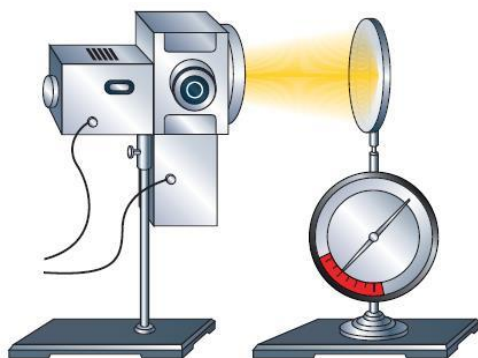


O.M.DUSMATOV, B.N.NURILLAYEV

Eksperimental fizika metodlari



Toshkent-2019

O'z R Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2019 yil 4 oktabrdagi
892 sonli buyrug'i asosida 5A110201 – Aniq va tabiiy fanlarni o'qitish
metodikasi (fizika va astronomiya) mutaxassisligi uchun
O'quv qo'llanma sifatida tavsiya qilingan

Eksperimental fizika metodlari

Taqrizchilar: M.Qurbonov – O'zMU professori, p.f.d;
K.Nasriddinov - TDPU professori, f-m.f.d.

KIRISH

Fizika (yunoncha “phyuzis” “tabiat” soʻzidan olingan) tabiiy borliq haqidagi fan boʻlib, koinotni tashkil etuvchi asosiy tarkiblarni, uning mohiyatini tushuntirib beruvchi maydon va uning xususiyatlarini oʻrganadi. Uning qonunlari barcha tabiatshunoslik bilimlarining asosidir. Shuning uchun ham fizikani uzoq vaqt davomida tabiat falsafasi deb ham ataganlar. Fizika quyidagi bir nechta asosiy qismlardan iborat:

1. Klassik mexanika
2. Elektrodinamika va klassik maydon nazariyasi
3. Kvant mexanikasi
4. Statistik fizika va Termodinamika
5. Optika va Spektroskopiya
6. Molekulyar fizika
7. Atom fizikasi
8. Kvant maydonlar nazariyasi
9. Gravitatsiya va Kosmologiya
10. Kalibrlangan maydonlar va supersimmetriya.

Fizika - tabiat haqidagi umumiy fan; materiyaning tuzilishi, shakli, xossalari va uning harakatlari hamda oʻzaro taʼsirlarining umumiy xususiyatlarini oʻrganadi. Bu xususiyatlar barcha moddiy tizimlarga xos. Turli va aniq moddiy tizimlarda materiya shakllarining murakkablashgan oʻzaro taʼsiriga tegishli maxsus qonuniyatlarni kimyo, geologiya, biologiya singari ayrim tabiiy fanlar oʻrganadi. Binobarin, fizika fani bilan boshqa tabiiy fanlar orasida bogʻlanish bor. Ular orasidagi chegaralar nisbiy boʻlib, vaqt oʻtishi bilan turlicha oʻzgarib boraveradi. Fizika fani texnikaning nazariy poydevorini tashkil qiladi. Fizikaning rivojlanishida kishilik jamiyatining rivojlanishi, tarixiy davrlarning ijtimoiy-iqtisodiy va boshqa shart-sharoitlari maʼlum ahamiyatga egadir.

Fizika fani eksperimental va nazariy fizikaga boʻlinadi. Eksperimental fizika tajribalar asosida yangi maʼlumotlar oladi va qabul qilingan qonunlarni tekshiradi. Nazariy fizika tabiat qonunlarini taʼriflaydi, oʻrganiladigan hodisalarni tushuntiradi va yuz berishi mumkin boʻlgan hodisalarni oldindan aytib beradi. Amaliy fizika ham mavjud (masalan, amaliy optika yoki amaliy akustika).

Oʻrganilayotgan obʼyektlar va materiallarning harakat shakllariga qarab, fizika fani bir-biri bilan oʻzaro chambarchas bogʻlangan elementar zarralar fizikasi, yadro fizikasi, atom va molekulalar fizikasi, gaz va suyuqliklar fizikasi, qattiq jismlar fizikasi, plazma fizikasi boʻlimlaridan tashkil topgan. Oʻrganilayotgan jarayonlarga va

materiyaning harakat shakllariga qarab, fizika moddiy nuqta va qattiq jism mexanikasi, termodinamika va statistik fizika, elektrodinamika, kvant mexanika, maydon kvant nazariyasini o'z ichiga oladi. Mazkur o'quv qo'llanmani "Eksperimental fizika metodlari" deb nomladik. Qo'llanmadan o'z nomiga ko'ra fizikadan laboratoriya metodlari emas, balki fizika sohasida amalga oshirilgan fundamental tajribalar, tajriba qurilmalari va natijalar o'z o'rnini topgan. Qo'llanma 5A110201-Aniq va tabiiy fanlarni o'qitish metodikasi (fizika va astronomiya) mutaxassisligi magistratura talabalariga mo'ljallangan bo'lganligi uchun uni alohida bo'limlarga va boblarga ajratmadik. Albatta, fizika sohasida amalga oshirilgan fundamental tajribalarning soni juda ham ko'p. Biz qo'llanmada aks ettirgan eksperimentlar juda ko'p sonli fizik tajribalarga nisbatan qaraganda "xamir uchidan patir" xolos. Shuningdek, har bir paragraf mavzusiga tegishli mustaqil yechish uchun masalalar ham berilgan. Buning sababi magistrant talabalarning har bir mavzu bo'yicha nazariy, amaliy bilim va ko'nikmalarini oshirish hamda mustahkamlashni maqsad qilib olinganligidir.

O'quv qo'llanmada keltirilgan eksperimentlar bilan magistrantlar bakalavriat davrida ham tanishgan bo'lishlari mumkin, lekin shunga qaramasdan bu qo'llanma ularning har bir eksperimentni alohida e'tibor bilan o'rganishi va mohiyatiga hamda amaliy tatbiqiga chuqurroq kirib borishlariga undaydi. Shuni ta'kidlash lozimki, o'quv qo'llanmaning bunday tartibda yozilish amaliyoti birinchi marta. Shu nuqtai nazardan qo'llanma ba'zi kamchiliklardan holi emas. Mualliflar o'quv qo'llanmaning sifatini oshirishga qaratilgan har qanday taklif, tanqid va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladilar.

1-§. Fizikaning rivojlanish tarixi

- 1.1. Inson sivilizatsiyasining eng erta erishilgan muvaffaqiyatlari va olingan natijalar;
- 1.2. Qadimiy Gretsiyada ilm fanning dastlabki rivojlanishi va shakllanishi;
- 1.3. Sharq mamlakatlarida fizikaning rivojlanishi.

1. Inson sivilizatsiyasining eng erta erishilgan muvaffaqiyatlari va olingan natijalar: Insonning yer yuzida paydo bo'lganligi xaqida arxeologlarning ma'lumotlariga ko'ra 16-12 million yillar bo'lsada¹, uning madaniyatining rivojlanganlik holati xaqidagi dastlabki ma'lumotlariga esa uzog'i bilan 7-9 ming yil bo'ldi xolos. U zamonlarda inson tayoq va toshdan yasalgan o'y-ro'zg'or asbob va qurollardan metallardan (bronza, mis, temir, qo'rg'oshin va boshqalar) olov yordamida yasalgan buyumlarga o'tgan, xilma-xil astronomik vositalar va ma'lumotlar to'plagan, kalendarlar ishlab chiqqan, atrofdagi tabiiy muhitni o'z hayotiga va faoliyatiga moslovchi bilimlarni yaratgan va ishlatib kelgan. Insoniyatning u zamondagi eng katta yutuqlaridan biri, albatta, bu olov olish va uni o'z hayotida ishlatishdir.

Bir necha ming yillar davom etgan evolyutsion rivojlanish natijasida insonning ongi va nutqi takomillashtirildi, tabiat va atrof muhit haqida yangi bilimlar to'plandi, olam va dunyo tuzilishi haqida ba'zi-bir tassavurlar shakllandi va atrofda sodir bo'ladigan hodisalarga o'ziga mos (ilmiy tilda - antropomorf) tushuntirishlar aniqlandi. SHu bilan birgalikda osmon, osmon yoritgichlari, ularning harakatlari, o'simlik va hayvonot olami (ilmiy tilda flora va fauna), iqlim hodisalari va boshqa ko'pgina ratsional va amaliy bilimlarni inson to'plab kelgan.

Bu to'plangan bilimlar va amaliy ko'nikmalar avloddan avlodga o'tib kelgan va insoniyatning bo'lajak ilm fanga va rivojlanib kelayotgan barqaror sivilizatsiyaga dastlabki poydevor bo'lgan. yer yuzida bunday deyarli rivojlangan markazlar Nil daryosi bo'ylab, Vavilonda (Tigr va yefrat ikki daryo oralig'ida), sharqiy Xitoyda, Hindistonda 4-6 ming yillar ilgari paydo bo'lgan. Bu hududlarda birinchilar qatorida quldorlik davlatlari paydo bo'lib, qurol va mehnat vositalari yasash texnologiyasi, chorvachilik va suvli yerlardagi dehqonchilik sistemalari uchun tegishli ayrim texnik masalalarni hal qilishga, shu davlatlarning to'liq harbiy ehtiyojlarini qoniqtirishga mo'ljallangan ijodiy harakatlar va bilimlar vujudga keldi.

¹Одамсимон Рамапитеклар 16-12 миллион йил илгари яшаганлар, Австралопитеклар - 6-2 миллион йил, Хабилислар (Homo habilis-эпчил инсон) - 2,6-1,75 миллион йил, Архантроплар (Homo erectus-тўғри қадам билан юрувчи инсон) - 1,9 миллион йилдан - 200 минг йил илгари, Неандарталлар -150-35 минг йил илгари яшаганлар. Замонавий монголоидлар, африкаликлар ва евразийликлар каби турли инсонларнинг – “Homo sapiens”ларнинг (ақли инсон) пайдо бўлганига эса тахминан 40 минг йилгина ўтди.

Ijtimoiy ehtiyoj va o'zaro savdo qilish jarayonlar davlatlarda o'zligini yozuvini va alifbelarini yaratilishiga hamda astronomik va matematik bilimlarni rivojlanishiga olib keldi. Masalan uzunliklarni, doira yuzasini, geometrik shakldagi jismlarni xajmini hisoblash usullari, sonlarni kvadrat va kublarga oshirish formulalari mavjud edi. Hozirgi zamon matematikasida ma'lum bo'lgan Pifagor soni, Pifagor teoremasi kabi ko'pgina tushuncha va qoidalar Pifagor (582-500 y.y. bizning eradan oldingi era) yashagan davrdan ming yil ilgari Qadimiy Misr va Vavilonda mavjud edi. (masalan, Pifagor soni 3,14... o'rniga barcha hisob-kitoblarni olib borishda unga xaqiqatga juda yaqin son, ya'ni - 3,16 olingan. Arximed esa aylananing uzunligi uning diametridan $\frac{22}{7}$ marta katta deb hisoblagan).

Qishloq xo'jaligi chorvachilik, dehqonchilik bilan shug'ullanish uchun tabiiy bilimlar o'rtasida astronomiya bo'yicha katta natijalarga erishildi. Yil 365 kundan tashkil topganligi, 12 oyga bo'linishi, osmondagi yulduzlarni 12 turkumlarga ajratib osmon Zodiaki turkumlari deb nomlandi. Bunday bilimlarga erishish uchun astronomiya bilan bir qatorda matematika ham rivojlanib keldi. Yuqorida qayd etilgan matematik bilimlar aynan shu davrlarda paydo bo'lgan. Ushbu qadimiy sivilizatsiyada juda katta, hayratda qoldiradigan mashhur inshootlar qurilgan. Qurilishlarni sifatli darajada olib borish uchun mexanika, statika, harakat sohalariga tegishli ayrim qoidalar ishlab chiqildi (richag, qiya tekislik, qurilish katoki va to'sinlar, ko'tarish mexanizmlari).

To'plangan ratsional va amaliy xarakterga ega bo'lgan bilimlar qadimiy insonning madaniyati yetarli darajada rivojlanganligini ko'rsatadi. Qadimiy SHarq sivilizatsiyalarida juda ko'p empirik bilimlar to'plangan. Xitoyda, Hindistonda, Misrda va Vavilonda tabiat, ayniqsa osmon, hodisalarining qaytarilishi, aniq tartib bilan sodir bo'lishlarini payqab, ularni o'rganishgan va tegishli ravishda qayd etishgan. Balki shuning uchun ham sharqda ayniqsa matematika, astronomiya, dehqonchilik va boshqa empirik bilimlar asosida olib boriladigan sohalar keng rivojlangan. Bizgacha saqlanib kelgan ma'lumotlardan nazariy bilimlar yoki nazariy yondashishlar xaqida biror bir narsani topib bo'lmaydi. Hatto Vavilon va Misrda ishlatilib kelgan (va bizning davrgacha saqlanib qolgan) matematika darsliklari masalalar to'plamini va ularni hisoblash ketma-ketligini namoyish etuvchi qo'llanmaga ko'proq o'xshaydi (xuddi oshpazlikda u yoki bu taomni pishirish uchun qanday ketma-ketlikda harakat qilish zaruriyatini o'rgatganday). Biror bir qoida yoki isbot berilmagan, nima uchun avval bo'lish, keyin ayirish kerak ekanligi ko'rsatilmagan va isbotlanmagan, "Shunday qilsang, kerakli natijani olasan" prinsipida tuzilgan.

2. Qadimiy Gretsiyada ilm fanning dastlabki rivojlanishi va shakllanishi:

Qadimiy Sharq sivilizatsiyalarda madaniyatning bir turi bo'lgan ilm fanning rivojlanishi xaqida juda oz ma'lumotlar mavjud. Shuning uchun ham bu muammo bo'yicha ma'lum bir batafsil fikrga kelib bo'lmaydi. Insoniyatning ilm fan bilan shug'ullanish va ini

rivojlantirish tarixi 2-3 ming yillar ilgari antik davrda (yoki epoxada) qadimiy Gretsiyada boshlangan degan ma'lumotlar bor.

Ilm fanning dastlabki rivojlanishi va shakllanishi antik davr² deb hisoblanadi. Uning markazi esa - qadimgi Gretsiya. Buning sababi nimada? Yuqorida aytilganidek insonning va sivilizatsiyaning rivojlanishi ancha oldin boshlangan (4-6 ming yillar ilgari). Ko'plab tabiat, osmon jarayonlari, harakat va boshqa turdagi hodisalar haqida yetarli ma'lumotlar to'plangan (4 ming yil ilgari qadimiy Vavilonda astronomik kuzatishlar natijasida hatto zilzila bo'lishi, Oy va Quyosh tutilish vaqtlarini zamoniga yarasha aniqlab berganligi haqida ma'lumotlar mavjud). Lekin qo'lga kiritgan bu muvaffaqiyatlar va yutuqlar ilmiy izlanishlar natijasida sodir bo'lgan emas.

Ular asosan hodisalarni sinchiklab qayd etish, kuzatish, eslab qolish natijasida sodir bo'lgan. Keyinchalik foydalanish davomida yuqori darajali ratsional yondashuv qo'llangan va "Shunday bo'lar ekan" yoki "Shunday ekan" deb ma'lumotlarni qabul qilish ta'minlangan. Hech qanday shubha, hech qanday ortiqcha savollar ("Nimaga?" "Sababi nimada?"), izlanishlar va isbotlarga hojat yo'q edi.

- Demak ilmiy faoliyatga tegishli ushbu fazilatlar (shubhalanish, qiziqish, savollar berib ularga javoblar qidirish, izlanishlar o'tkazish va masalani isbotini topish, jamiyatda ilmiy ijod bilan shug'ullanuvchi maxsus odamlar va markazlarning mavjudligi) birinchi marta qadimiy Gretsiyada uchraydi. Ana shuning uchun ham fan taraqqiyotining xronologiyasi qadimiy Gretsiyada boshlangan. Dalil sifatida bir necha omillar keltiramiz:

- fanlarning aksariyatini vatani Gretsiya deb hisoblanadi, (matematika, mexanika, fizika, biologiya, pedagogika, psixologiya, geografiya, androgogika va boshqalar);

- hozirgi zamon ilm fanda (va shu jumladan fizika va astronomiyada) ilmiy terminlarning (massa, atom, elektron, izotop va boshqalar) ko'plari jahon bo'yicha grek tilida saqlanib qolingani;

- fanlarning aksariyatini vatani Gretsiya deb hisoblanadi, (matematika, mexanika, fizika, biologiya, pedagogika, psixologiya, geografiya, androgogika va boshqalar);

- hozirgi zamon ilm fanda (shu jumladan fizika va astronomiyada) ilmiy terminlarning (massa, atom, elektron, izotop va boshqalar) ko'plari jahon bo'yicha grek tilida saqlanib qolingani;

- formulalarning grek alifbosida ishlatilishi;

²Эраμиздан олдинги эранинг VII-VI асрларидан бошлаб - греклар цивилизацияси пайдо бўлишидан, бизнинг эраμизни V асргача – Рим империясини кулашига қадар (12-11 аср давомида).

-grek olimlari eramizdan oldingi davrda yashagan bo'lsalarda ularning nomlari Fales (640 - 594), Demokrit (463-370), Pifagor, Geraklit (530-470), Aristotel (384-322); Platon (429-348). Arximed (287-212), Geron (150-100), Ptolemey (87-M5) va boshqalar har tomonlama o'rganiladi, ularning fikrlari, model va teoremlari ilmiy adabiyotlarda ko'p uchrab turadi. Qadimgi Gretsiyada inson o'z kuchini birinchi o'rinda uning ongi bilan anglatadi va fanni jamiyat taraqqiyoti rivojlanishiga qaratganlar;

Birinchi olimlar, faylasuflar ya'ni "donolik ishqibozlari" deb atalganlar. Donolikni o'rganishga talab kuchaya bordi, bu esa olim va o'qituvchi kasbini vujudga keltirdi. O'sha paytdan, ya'ni eramizdan oldingi davrda Platon akademiyasi, Aristotel litseyi tashkil etilgan edi. Bu tashkil etilgan o'quv maskanlari, tor sohadagi kasb egalari, injenerlar, vrachlar, astronomlar, matematiklar, fiziklar, geograflar va boshqa kasb egalarini shakllantirishda muhim omil bo'lib xizmat qilgan.

Yagona natural falsafa sifatida tabiat haqidagi ilm fan Qadimiy Gretsiyada 2,5 ming yil ilgari paydo bo'lgan. Atrofdagi dunyoni va hayotni sinchkovlik odamlar tomonidan olib borilgan kuzatishlar bu ilm fanni paydo bo'lishiga va rivojlanishiga tabiiy asos bo'ldi. Kuzatishlardan xulosalar qilingan, ular umumlashtirilgan va yaratilgan teoremlarga isbot sifatida qo'llangan. Qadim zamonlarda o'lchov yoki tajriba sinovlar o'tkazishga deyarli qiziqish bo'lmaganligi sababli kuzatishlar asosan falsafiy muhokama qilish, xulosa chiqarish, juda deganda - tahlil etish natijasida dohiyona g'oyalarni shakllantirish bilan cheklangan xolos.

Ilmiy eksperiment va sinovlar o'tkazish erkin odamlarga to'g'ri kelmaydi deb hisoblashga ikkinchi sabab - buning uchun tegishli moddiy-texnik baza bo'lishi, texnikani rivojlangan darajasi yuqori bo'lishi zarur. Lekin u vaqtda ularni ta'minlab berish imkoni yo'q edi. Shuning uchun ba'zi-bir jiddiy ilmiy eksperimentlar o'tkazishning o'rniga oddiy kuzatish va muhokama qilish bilan deyarli barcha tadqiqotlar yakunlangan edi. Bunday holat ko'p hollarda Olamning tuzilishi bo'yicha idealistik modellarni kelib chiqishiga sabab bo'lgan. Masalan, Platondan ilgari yashagan Eleylik Parmenidning (520-445 y.y. eramizdan oldingi era) fikricha atrofimizdagi materiyani yoki moddani ko'rinishi, shakli insonning tasavvurida qanday bo'lsa, xayotda ham shunday bo'ladi, ya'ni narsa – bu insonning u haqidagi fikridir, narsa - real mavjud materiya emas, deb qaralgan.

To'plangan bilimlar alohida fanlarga ajralmasdan yagona shaklda tabiat haqidagi fan sifatida saqlanib kelgan. Balki aynan shuning uchun ham (deyarli 1,5-2 ming yil davomida, XVII asrgacha) dastlabki ilm fanning nomi naturfilosofiya bo'lgan. Bu so'z tabiat haqida donishmand muhokama (munozara) qilish degan ma'noga ega³.

Grek olimlarning fizika sohasiga tegishli ayrim dohiyona g'oyalarini sharhlab o'tamiz: **Miletlik Fales** (625-547 eramizdan oldingi era) - Barcha yulduzlar yer

³ Натура грек тилида – табиат; фил..., фило...- севаман, севиш; софия – донишмандлик, философия – донишмандликка қизиқиш)

turkumiga kirgan moddalardan tashkil topgan degan g'oyani ilgari surgan, birinchilar qatorida masalalarni oddiy hisoblashdan nazariy isbotlashga o'tgan. Bizga uning 3 ta isbotlangan teoremlari ma'lum:

1. Istagan doiraning diametri uni teng ikki yarim doiraga bo'ladi.
2. Diametrga tirkalgan burchak - to'g'ri burchakdir.
3. Teng yonli uchburchakning yon burchaklari bir biriga teng.

Anaksimandr (Miletlik, qadimgi grek faylasufi, Falesning o'quvchisi, 610-547 eramizdan oldingi era) - Dunyolar doimo paydo bo'lishadi va keyinchalik buzilishadi.

Epikur (341-270 eramizdan oldingi era) - Bizning yerga o'xshash odam yashaydigan ko'plab dunyolar mavjud. Demokritning atomistik g'oyalarini qayta ko'rib chiqdi va to'ldirdi (uning asosida uchta prinsip yotadi: materiyaning saqlanishi, shakllarning saqlanishi hamda bo'shliqni mavjudligi).

Mitrodor (eramizdan oldingi eradagi III-II asrlar) - yerni qamrab olgan bepoyon fazoda u yagona odam yashaydigan joy deb hisoblash bug'doy ekilgan katta maydonda yagona bug'doy boshog'i o'sib chiqadi degan g'azablantiruvchi bema'nilik bilan teng.

Geraklit Efesskiy (eramizdan oldingi eradagi V asr) - Materiya butun mavjudotning bosh negizidir.

Aristarx Samoskiy (eramizdan oldingi eradagi IV-III asrlar) - Olamning geliotsentrik tuzilishi ya'ni barcha osmon jismlarining Quyosh atrofida harakatihaqidagi g'oyani kiritgan.

Aristotel (384-322 eramizdan oldingi era) - Olam (Koinot) miqyosida tabiatning kelib chiqishi, ya'ni tabiatshunoslik muammolari, kosmologiya va kosmogoniya bilan shug'ullanuvchi barcha olimlarni fizika sohasini o'rganuvchilar deb atagan. Bu ma'noda Aristotelning o'zini haqli ravishda birinchi fizik deb aytsa bo'ladi⁴.

- Kontinual dasturining (konsepsiyasining) negizida dunyo materiyadan tashkil topgan yoki boshqacha aytganda barcha material dunyo uzluksiz harakatdagi substansiyadan tashkil topgan.

- Tabiatda mavjud barcha narsa o'zidan-o'zi paydo bo'lmaydi va yo'qolmaydi. U abadiy yashaydi va ushbu substansiyaning xilma xil shakllarida o'zini namoyon etadi (bir shakldan ikkinchisiga o'zgarishi oqibatida). Zamonaviy ilmiy tilda bu elementar zarralardan tashkil topgan modda tuzilishi nazariyasining asosidir.

- Olam - bu doimiy aylangan Kosmosdir va uning harakati (qandaydir bir kichik fazo hajmidan) dastlabki bir turtkidan boshlangan (zamonaviy Katta Portlash va kengayuvchi Olam nazariyasining o'zi). Kosmos esa - bu qandaydir bir cheklangan va markazida yer joylashgan sfera. Fazo va vaqt shu Kosmos chegarasidagina mavjud va

⁴Аристотел илм фаннинг турли соҳалари бўйича 61 та китоб ёзиб қолдирган. Бизгача 4 таси сақланиб қолган: “Физика”, “Осмон ҳақида”, “Пайдо бўлиш ва йўқ қилиш ҳақида” ва “Метеорологика”.

doimiy harakatdagi “dastlabki materiya - substansiya” bilan to’ldirilgan. “Dastlabki materiya” bir necha “dastlabki kuchlar yoki dastlabki elementlar” (to’rtta kuch: havo, suv, olov, va yer) ta’sirida va to’rtta stixiya-tabiat hodisalari (sovuq, issiq, namlik, quruqlik) yordamida biridan biriga o’tadi (issiqlik va quruqlik birlashib olov yaratildi; issiqlik va namlik birlashib havo yaratiladi; sovuqlik va namlik birlashib suv yaratiladi; sovuqlik va quruqlik birlashib yer yaratiladi). Bu elementlar va stixiyalar o’z navbatida biridan biriga o’tishlari mumkin hamda xilma xil birlashmalar va yangi moddalarni hosil qilishlari mumkin (tosh, metall, go’sht, loy, jun va boshqalar).

- Jismlarning tabiiy va g’ayritabiiy harakati haqidagi tushunchalar kiritildi. (Er yuzida tabiiy harakat tepaga (engil jismlar) yoki pastga (og’ir jismlar) og’irlik kuchi ta’sirida yo’naltirilgan va harakat xususiyatlari jismning tabiatiga bog’liqdir. G’ayri tabiiy harakat esa faqat kuch ta’sir qilsa bor, kuch to’xtasa harakat ham to’xtaydi. (Aristotelni harakat haqidagi bu ta’rifi hatto XVII asr G.Galiley davrigacha saqlanib keldi).

Pifagor (eramizdan oldingi eraning V asr) - Torning uzunligiga ko’ra har xil tovushlarning paydo bo’lishi birinchilar qatorida o’rgangan va bu haqdagi o’z fikrlarni yozib qoldirgan. Ular antik ilm fanga miqdoriy kattaliklar kiritildi, sonlarni real ob’yektlar bilan moslashtirildi. Lekin bu yo’nalishda ularning ishlari abstrakt matematik sohaga o’tib ketdi.

Demokrit (460-370 eramizdan oldingi era) - Moddani belgilovchi va uni tashkil etuvchi eng kichik va bo’linmas zarra tushunchasini kiritildi va uni atom deb nomladi.

- Saqlanish prinsipini dastlabki ta’rifi berildi: hech nima hech narsadan yaratilmaydi va hamma mavjud narsa o’z-o’zidan yo’qolmaydi. Mavjudodning negizida o’zgarmas va bo’linmas, bo’sh fazoda harakatlanuvchi zarralar – atomlar yotadi. Ularning soni cheksiz, bir biridan shakli bilan, kattaligi, atomlarni o’zaro joylashganligi va bir biriga nisbatan qanday burchakda bo’lishiga hamda boshqa ichki strukturasi yo’qligi bilan farqlanadi. Moddalarning xilma xilligi ularni tashkil etuvchi atomlarning xilma xilligidan kelib chiqadi. Demak, olamni birligi va uni tashkil etgan ob’yektlarni ko’pligi va xilma xilligi bilan bog’liqligi atom tushunchasini kiritish natijasida hal qilindi.

Platon (428 (427) – 348 (yoki 347) eramizdan oldingi era) - O’z zamonini astronomiya va tabiiy fanlarini yutuqlari umumlashtirgan, bir g’oyaga keltirgan. Dunyo materiyadan tashkil topganligiga tan bersada, lekin uni tashkil etuvchi zarralar va elementlarga ayrim matematik sonlar, figuralar va g’oyalarni mos keltirgan (masalan, olovga - tetraedrni qarama qarshi qo’ygan, havoga - oktaedrni, suvga - ikosaedrni, yerga – kubni, ya’ni abstrakt topologik tushunchalar bilan materiya elementlarini bog’lagan). Natijada, muayyan materiya, borliq, inson g’oyalari va uning tasavvurlari bilan almashtirildi, real mavjud materiya inson ongida aks ettirilgan idealistik tasvir qanday

bo'lishiga bog'liq bo'lib qoladi. Materiya yo'q, faqat uni inson ongida yaratilgan va o'ziga moslashtirilgan tasviri bor xolos.

Sirakuzalik Arximed (287 – 212 eramizdan oldingi era) - Uning asosiy ilmiy ishlari “Statika” elementlarini ifoda etadi, injenerlik sohasida ko'p ixtirolar yaratgan (ekin sug'oradigan vintlari), jismlarning suzishi xaqida uni nomi bilan atalgan qonuni yaratgan.

- Quyosh atrofida yer aylanishi mumkin deb hisoblagan.

- Fizika sohasiga qo'shgan hissalar: tekis figuralarning muvozanatlik shartlari; jismlarning massa markazlarini aniqlash usuli, kuch momenti; kuchning yelkaga nisbatan teskari proporsionalligi; og'irlik va uzunlik to'g'risidagi tushuncha; yerning tortishish kuchini yenguvchi kuch haqida; suyuqlik tomchisining sharsimon bo'lishiga sabab yerning tortish kuchi ekanligi haqida; gaz va cyyuqliklar uchun Arximed qonuni; Arximed kuchi; jismlarning suyuqliqlarni suzish qonuni; optika va astronomiya bo'yicha Quyosh nurini bir nuqtaga yig'ib, uni harbiy ishlarda foydalanishni ko'rsatgan; turli muhitlardan o'tgan yorug'lik nurining sinishi va yo'nalishi o'zgartirilishi; Olam tuzilishi to'g'risida ikki sistema, geomarkaz va geliomarkaz tushunchasini kiritdi.

3. Sharq mamlakatlarida fizikaning rivojlanishi: Rim imperiyasi qulashi bilan antik davr ham tarixga o'tib ketdi va V-VI - asrdan boshlab, ilm fan “tarixining sahifalari” ni yaratish sharq, arab olimlariga o'tadi. Ularni ilmiy faoliyati, ilm fanga, uni rivojiga qo'shgan hissalar juda kattadir.

Arab xalifati juda katta hududni birlashtirib, Eron, Iroqni va boshqa atrofdagi elatlarni o'z qaramog'iga qaratib, buyuk arab xalifaligini vujudga keltirdi. Xalifatda arab tili va Islom dini joriy etildi. Xalifat poytaxti Bog'dod bo'lib, u yerda madaniy hayot ancha jonlandi, sharqning yirik ilmiy va madaniy markaziga aylandi. Ilm fan ravnaq topib, falsafa, matematika, tabiyot va boshqa fanlar rivojlana bordi. Ayniqsa, bu narsa Bog'dodda Xorun ar-Rashid (785-809 yillar) va uning o'g'li Ma'mun (813 - 833) hukmronlik qilgan davrda juda yaqqol namoyon bo'ldi. Bu davrda Bog'dod, Samarqand, Xorazm, Buxoro kabi yirik shaharlar o'rtasida savdo-sotiq, iqtisodiy, ilmiy va madaniy aloqalar, munosabatlar avj oldi.

Arab xalifasi va keyingi davrda O'rta Osiyo allomalari tabiiy fanlar, astronomiya, matematika va falsafa fanlari bo'yicha tadqiqot ishlari bilan mashg'ul bo'lganlar va bizlar, uchun boy meros qoldirdilar. Bular jumlasiga Muhammad al-Xorazmiy, Axmad al-Farg'oniy, Abu Nasr al Farobiy, Abu Ali ibn Sino, Abu Rayhon Beruniy, Umar Hayyom, Abu Maxmud, Hamid al Xo'jandiy, Nasiriddin at - Tusiy, Mirzo Ulug'bek, G'iyosiddin Koshiy va boshqalar. Mashhur siymolar o'z ijodlari va ilmiy meroslari bilan nafaqat O'rta Osiyo xalqlarining, balki dunyo xalqlarining boyligiga katta hissa qo'shganlar. Ularning nomlari bugun jahonning barcha halqlari orasida hurmat bilan tilga olinadi. Fizika fanining rivojlanishiga munosib hissa qo'shgan buyuk allomalarning ayrimlari haqida batafsil to'xtalib o'tamiz:

Abu Abdulloh Muhammad ibn Muso Al – Xorazmiy (780 yilda Xorazmda tug'ilib, 850 yilda Bog'dodda vafot etgan) - yevropada Xorazmiy nomi bilan tanilgan. Xorazm ilmiy maktabining ilk ko'zga ko'ringan namoyandasi Muhammad Xorazmiy hozirgi zamon o'nlik sanoq sistemasini kashf etdi, natural sonlar ustida to'rt arifmetik amallar bajarish algoritmini fanga kiritdi, kvadrat tenglamalarni yechish usullarini kashf etdi, “Zij” (“Astronomiya”) kitobida sinuslar va tengenslar jadvalini katta aniqlikda keltiradi). Al-Xorazmiy tomonidan o'nlik pozitsion sistemasining qo'llanishi Arifmetika fanining shakllanishida, shuningdek uning “Al-jabr va al-muqobala” kitobi Algebra fanining shakllanishiga asos bo'lgan. Amerikalik sharqshunos D.Sarton ta'biri bilan aytganda “Al-Xorazmiy barcha zamonlarning eng ulug' matematiklaridan biri” edi.



Sharq olimlari orasida faqat uning nomi va asarlari “algoritm” va “algebra” kabi zamonaviy ilmiy atamalarda abadiylashtirildi. Xorazmiy astronomiya bilan shug'ullanib, IX asrning 20 yillarida o'zining mashhur astronomik jadvali «Zij» ni yozadi. Unda keltirilgan ma'lumotlar hozirgi kunda ham o'z mavqeini yo'qotgani yo'q. Arifmetik, algebraik va geografik traktatalari singari Al Xorazmiyning “Zij” asari Yaqin va O'rta Osiyo mamlakatlarida ilk bor astronomik kitob sifatida qabul qilingan.

Asarning yaratilish tarixi: ushbu asarning yozilgan vaqti haqida ishonchli aniq ma'lumotlar bizgacha yetib kelmagan. Hattoki asarning arab tilidagi nusxasi ham saqlanmagan. O'rta Osiyo Fan tarixi va bibliografi (XII-XIII a.) Ibn-al Kifti bayon qilishicha (zamondoshi al-Xusayn ibn al-Odamiyning so'zlariga asoslanib), 773 yili Bog'dodga Hindistonning astronomiya va matematikaga bag'ishlangan “Sidxanta” nomli bitiklari olib kelingan. (arablar orasida esa u “Sindxind” nomi bilan mashhur). Xalif al-Mansur (754-775) buyrug'iga ko'ra Muhammad ibn Ibroxim al-Faraziy uni arab tiliga tarjima qildi va “Katta Sindxind” deb nomladi.

Biroq bitikning bu varianti juda katta va o'zlashtirilishi qiyin bo'lgani uchun xalif al-Ma'munning (813-833 y.) topshirig'iga ko'ra al-Xorazmiy uni qayta ko'rib chiqdi, qisqartirdi, o'zgartirdi va qo'shimchalar kiritdi. Xalifatning boshlang'ich va ellinizm davrlariga oid bo'lgan ko'pgina astronomik ma'lumotlarni hamda o'zining kuzatish ishlari natijalarini Al-Xorazmiy qo'shimchalar sifatida kitobga kiritdi. O'zgartirilgan variantiga (“Kichik Sindxind” nomli) al-Xorazmiy katta hissa qo'shdi. Balki shuning uchun ham keyinchalik asar Al-Xorazmiyning “Zij” i nomida olamga tanildi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, ushbu asar 819-833 yillar orasida, ya'ni Al-Xorazmiy Bog'dod akademiyasi kutubxonasining boshqaruvi davrida yaratilgan deyish mumkin. yevropada keng tarqalgan “Zij” ispan-arab astronomi va matematigi Maslam

al-Majritiy tomonidan 1007 yilda qayta ishlandi, asarga ozgina o'zgartirishlar kiritdi. 1126 yilda bu qayta ishlangan variant lotin tiliga Bat shaharlik Adelard tomonidan tarjima qilindi. Adelard ham o'z tarjimasiga ayrim o'zgartirishlar kiritgan. Lekin shunga qaramay Al-Xorazmiyning asari bu o'zgartirishlar natijasida o'zining asl nusxasi va tuzilishini deyarli saqlab qolgan.

“Zij” ning so'z boshida Al-Xorazmiy asarning yozilish maqsadi – sayyoralarning harakatini Arin meridianasiga nisbatan aniqlash deb yozadi (Arin - Hindistonning Ujayn shahriga to'g'ri kelgan meridian). Asarning birinchi beshta bobi astronomiyada zarur bo'lgan vaqtning ketma-ketligi va kalendariga bag'ishlangan. Qolgan boblarda astronomiyaga oid bir qator amaliy masala va muammolar hal qilingan. Al-Xorazmiy “Zij” i Adelarning tarjimasida 37 bobdan va 116 ta jadvaldan iboratdir. Insoniyat undan, matematika faniga qo'shgan buyuk xizmatlari uchun hamisha qarzдор bo'lib qolaveradi.

Abu Nasr Al – Farobiy - Sirdaryo bo'yidagi qadimgi O'tror (Farob) shahriga yaqin Vasidi qal'asida dunyoga keldi. Farobiy fanlarning hamma sohalarida o'chmas iz qoldirgan qomusiy olimdir.

Farobiy uning taxallusi bo'lib, to'liq nomi Abu Nasr Muhammad ibn Muhammad ibn Uslug' Tarxon – jahon madaniyatiga katta hissa qo'shgan o'rta osiyolik mashhur faylasuf, qomusiy olim. O'rta asrlarning bir qancha ilmiy yutuqlari, umuman Yaqin va O'rta Sharq mamlakatlarida taraqqiyparvar ijtimoiy-falsafiy tafakkur rivoji uning nomi bilan bevosita bog'liqdir. Farobiy o'z zamonasi ilmlarining barcha sohasini mukammal bilganligi va bu ilmlar rivojiga katta hissa qo'shganligi, yunon falsafasini sharhlab, dunyoga keng tanitganligi tufayli Sharq mamlakatlarida uning nomi ulug'lanib, “Al Muallim as-Soniy” – “Ikkinchi muallim” Aristoteldan keyingi sharq Arastusi deb ham yuritilgan.

Farobiy 70 dan ortiq tillarda erkin so'zlashgani haqida ko'pgina rivoyatlar bor. Farobiyga qadar fizika tabiat haqidagi fan deb qaralib, boshqa tabiiy fanlar bilan birga o'rganib kelingan. Farobiy fizika faniga ta'rif berib, uni boshqa fanlardan ajratdi. Va alohida bir fan sifatida shakllanishiga zamin yaratib berdi. Farobiy turkiy qabilalardan bo'lgan harbiy xizmatchi oilasida, Sirdaryo qirg'og'idagi Farob - O'tror degan joyda tug'ilgan. U tug'ilgan hudud Somoniylar tomonidan boshqarilib, arab xalifaligining shimoliy chegarasi hisoblangan. Farobiy boshlang'ich ma'lumotni ona yurtida oldi. So'ng Toshkent (SHosh), Buxoro, Samarqandda o'qidi. Keyinroq o'z ma'lumotini oshirish uchun arab xalifaligining madaniy markazi bo'lgan Bog'dodga keldi. Bog'dodda bu davrda musulmon dunyosining turli o'lkalaridan, xususan O'rta Osiyodan kelgan ko'p ilm ahllari to'planishgan edi. U yerga bora turib, Farobiy Eron shaharlari-Isfaxon, Hamadon, Rayda va boshqa joylarda bo'ldi. Taxminan 941 yildan boshlab Farobiy Damashqda yashagan. Shahar chekkasidagi bog'da qorovul bo'lib, kamtarona kun kechirib, ilm bilan mashg'ul bo'lgan. Farobiy 949-950 yillarda Misrda,

so'ng Damashqda yashab, shu yerda vafot etgan va "Bob as-sag'ir" qabristoniga dafn qilingan deyiladi.

Farobiy o'rta asr davri tabiiy-ilmiy va ijtimoiy bilimlarining qariyb barcha sohalarida 160 dan ortiq asar yaratgan. U turli bilimlarning nazariy tomonlari, falsafiy mazmuni bilan ko'proq qiziqqanligi uchun uning asrlarini 2 guruhga ajratish mumkin: 1) yunon faylasuflari, tabiatshunoslarining ilmiy merosini izohlash, targ'ib qilish va o'rganishga bag'ishlangan asarlar; 2) fanning turli sohalaridagi mavzularga oid asarlar.

Shuningdek Farobiy qadimgi Yunon mutafakkirlari - Platon, Aristotel, Evklid, Ptolamey, Porfiriylarning asarlariga sharhlar yozgan. Ayniqsa, Aristotel asarlari («Metafizika», «Etika» «Ritorika» «Sofistika» va b.) ni batafsil izohlab, qiyin joylarini tushuntirib bera olgan, kamchiliklarini ko'rsatgan, ayni vaqtda bu asarlarning umumiy mazmunini ochib beruvchi maxsus asarlar yaratgan. Farobiy sharhlari O'rta va YAqin Sharq ilg'or mutafakkirlarining dunyoqarashini shakllantirishda, ularni Aristotel g'oyalari ruhida tarbiyalashda muhim ahamiyatga ega bo'ldi.

Farobiy, "teplorod nazariyasini rad etdi. Farobiyning "Moddiyat" (Materiya) va shakl tovush tezligi, tovushning to'lqin tabiati, tovush chastotasi, tovush to'lqinining uzunligi va ana shularga asoslanib yaratilgan musiqa notasi, shuningdek, optikaga oid yana ko'pgina ishlari ham, jahon fanining rivojlanishiga qo'shilgan bebaho hissasidir. Farobiyning tabiiy-ilmiy fanlar haqidagi qarashlari "Ilmlarning kelib chiqishi va tasnifi" asarida batafsil yoritilgan. Kitobda O'rta asrda ma'lum bo'lgan 30 dan ortiq fanning ta'rifi, ahamiyati ko'rsatib berilgan. Bunda barcha fanlar 5 ta guruhga ajratiladi:

- til haqidagi ilm (7 bo'lim-gramatika, orfografiya, she'riyat);
- mantiq va uning bo'laklari;
- matematika (arifmetika, geometriya, optika, astronomiya, muzika, og'irliklar haqidagi ilm, mexanika);
- tabiatshunoslik va metafizika (8 bo'lim – bashorat qilish, tibbiyot, alkimyo);
- shahar haqidagi fanlar - siyosiy ilm, fikh, kalom (etika, pedagogika).

Fanlarning bu tasnifi o'z davrida ilmiy bilimlarning keyingi rivoji uchun katta ahamiyati ega bo'ldi. Shu narsa diqqatga sazovorki, Farobiy tabiiy va ijtimoiy fanlarni ularning vazifasidan kelib chiqib to'g'ri farqlagan. Uning talqinicha, matematika, tabiatshunoslik, metafizika fanlari inson aqlini bilimlar bilan boyitish uchun xizmat qilsa, grammatika, mantiq, she'riyat kabi ilmlar fanlardan to'g'ri foydalanishni, bilimlarni boshqarishga to'g'ri tushuntirish, ya'ni aqliy tarbiya uchun xizmat qilgan.

Farobiy "Yulduzlar haqidagi qoidalarda nima to'g'ri va nima noto'g'riligi to'g'risida" risolasida osmon jismlari bilan uyerdagi hodisalar o'rtasidagi tabiiy aloqalarni, xususan bulutlar va yomg'irlar paydo bo'lishining Quyosh issiqligi ta'sirida bug'lanishga sababiy bog'liqligini yoki Oy tutilishi, yerning Quyosh bilan Oy o'rtasiga tushib qolishiga bog'liq ekanligini ko'rsatgan edi. Bu bilan u osmon jismlariga qarab

«Fol ochuvchilar» ni fosh qildi. Shuningdek, u arzon metallarni qimmatbaho metallarga aylantirivchilarni tanqid qilib, kimyoga tabiiy ilmlarning bir qismi sifatida qaradi. Farobiy tabiblik bilan bevosita shug'ullanmagan bo'lsada, nazariy tibbiyotni yaxshi bilgan. Uning tibbiy qarashlari "Inson a'zolari haqida" risolasida bayon qilingan. U inson a'zolarini, turli xil kasalliklar sababini ularning paydo bo'lish sharoitlarini alohida-alohida o'rganishni, organizmning salomatligini tiklash uchun kerakli oziq-ovqatlarga e'tibor berishni qayd etadi.

Farobiy dunyoqarashining shakllanishiga asosan Sharqning qadimgi ilg'or madaniyati an'analari, arab xalifaligiga qarshi hatti-harakatlari, o'rta asr tabiiy-ilmiy tafakkur yutuqlari, YUnonistonning falsafiy merosi ta'sir ko'rsatdi. Farobiy o'z davridayoq buyuk olim sifatida dunyoga mashhur bo'lgan. Sharq halqlarida u haqda turli hikoya, rivoyatlar vujudga kelgan. O'rta asr olimlaridan ibn Xallikon, ibn Boja, ibn Rushd, ibn Xaldun kabi mutafakkirlar Farobiy ijodini o'rganib, uning g'oyalarini rivojlantirganlar. Taraqqiyparvar insoniyat Farobiy ijodiga hurmat bilan qarab, uning merosini chuqur o'rganadi. yevropa va sharq olimlari Farobiyning ilmiy merosini o'rganishga muayyan hissa qo'shdilar. Keyingi yillarda uning ijodi va ta'limotiga bag'ishlangan bir qancha tadqiqotlar, asarlar yuzaga keldi.

Abu Nasr al Forobiyning tovush tezligi, tovushning to'lqin tabiati, tovush chastotasi, tovush to'lqinining uzunligi haqidagi fikrlari va ularga asoslanib yaratilgan musiqa notasi hamda optikaga oid ko'pgina ishlari fizika fanining rivojlanishiga qo'shilgan katta hissa bo'ldi. Ibn Sino harakatning nisbiyligi, inersiya, kuch, massa va tezlanish orasidagi bog'lanish, aylanma harakat, markazga intilma kuch, chizikli tezlik, bo'shliq va atmosfera bosimi, konveksiya, issiqlikning tabiati, issiqlik uzatilishining turlari, yashin va yashinning turlari, momaqaldiroq hodisasi, tovush va yorug'lik tezligi, yorug'lik dispersiyasi, linza, atom tuzil ishi va boshqa mavzularga tegishli mulohazalarining aksariyati hozirgi zamon tushunchalariga juda mos keladi.

Abu Ali Husayn ibn Sino - 980 yilda Buxoroning Afshona qishlog'ida dunyoga keladi. Jahonga tabobat ilmining sultoni bo'lib, tanilgan ibn Sino qomusiy olimdir. U birinchilardan bo'lib, tabiiyot (fizika) ni boshqa fanlardan ajratib, alohida fan sifatida shakllantirdi. Markaziy Osiyo xalqlari madaniyatini o'rta asr sharoitida dunyo madaniyatining oldingi qatoriga olib chiqqan buyuk mutafakkirlardan biri Abu Ali Husayn ibn Abdulloh ibn Sino bo'lib, u yevropada Avitsenna nomi bilan mashhurdir. Ko'p manbalarda Ibn Sino, avvalo, tabib sifatida talqin etiladi, holbuki tabobat uning ilmiy sohalari orasida eng muhimlaridan biridir, xolos. Ibn Sino asarlarining asosiy qismi YAqin va O'rta Sharqning o'sha davr ilmiy tili hisoblangan arab tilida, ba'zilar fors tilida yozilgan. Uning bizga ma'lum bo'lgan katta asari "Kitob ush-shifo" ("SHifo kitobi") 22 jilddan iborat bo'lib, 4 ta katta bo'limini mantiq, fizika, matematika, metafizikaga doir masalalar egallagan. U natural sonlar ustida bajarilgan arifmetik

amallarni va kvadratga ko'tarish amalining to'g'riligini 9 yordamida tekshirish usulini o'ylab topgan, $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ formulani geometrik isbotlagan.

Uning "fizika" va "matematika" deb nomlangan asarlari tabiiyot fanining shakllanishida muhim ahamiyatga ega bo'ldi. Ibn Sinoning Beruniy bilan bo'lgan savol-javoblari va «Tib qonunlari» kitoblaridagi "Ko'z anatomiyasi" ga bag'ishlangan bob, bundan tashqari yashin kabi hodisalar haqidagi asarlari tabiiyot faniga qo'shilgan bebaho xazinadir.

Ibn Sinoning tabiiyot faniga bergan ta'rifi, harakat va harakat turlari, harakatning nisbiyligi, inersiya, kuch, massa va tezlanish orasidagi bog'lanish, aylanma harakat dinamikasi, markazga intilma kuch, chiziqli tezlik, bo'shliq va atmosfera bosimi, konveksiya, ob-havo (qor, yomg'ir, do'l), issiqlikning tabiati va issiqlik uzatilishining turlari, yashin va yashinning turlari, momaqaldiroq hodisasi, tovush va yorug'lik tezligi, yorug'lik dispersiyasi, oyning gardishlanishi sabablari, ko'z ko'rish sabablari, linza, atom tuzilishi kabi mavzularga tegishli bo'lgan mulohazalarning aksariyati hozir ham o'z qiymatini yo'qotmagan darajada hayratlanarlidir. Misol tariqasida Ibn Sino issiqlik tushunchasiga bergan ta'rifni keltiramiz: "Harakat moddalarning aralashuvidan vujudga kelib, jismlarning o'z muvozanat va mo'tadilligini saqlash uchun markazga intilishidan kelib chiqadi, ya'ni "Issiqlik harakat barobarinda mavjuddir". Abu Ali ibn Sino 1037 yilda vafot etgan

Abu Rayhon ibn Ahmad Beruniy: O'rta asr sharq olimlari orasida Abu Rayhon Bepyniyning ilmiy merosi alohida o'pin tutadi. Abu Rayhon ibn Ahmad Beruniy 973 yilning 4 oktyabrida Xorazmning qadimiy poytaxti Kat shahrida tug'ilgan (hozirgi Qoraqolpog'iston Respublikasi, Beruniy shahrida). Beruniy 21-22 yoshlarda astronomik kuzatishlarni diametri 15 cho'zimga (uzunlik o'lchovi, taxminan 0,5 m) teng doira va boshqa zaruriy asboblarni yordamida o'tkazgan.

Beruniy olimning taxallusi bo'lib, forschada «Berun» (tashqari) ya'ni, Beruniy so'zi shahar tashqarisida kechgan degan ma'noni bildiradi. Abu Rayhon esa uning laqabidir. Olimning otasi Ahmad, uni Muhammad deb ataganlar. Beruniy davrida Kat shahri mamlakatning asosiy hunarmandchilik, ishlab chiqarish va savdo markazi sifatida tanilgan. Abu Rayhon Beruniy o'sha davrlarda mashhur bo'lgan Muhammad Xorazmiy, Al-Farg'oniy, Farobiy singari olimlarning asarlarini mustaqil o'rgandi. Uning birinchi ustozlari matematik olim Abu Nocip ibn Iroq bo'lgan.

Hozirgacha Beruniyning 152 asari ma'lum bo'lib, bizgacha uning faqat 30 tasi saqlanib kelgan. Jami asarlarining 70 tasi astronomiyaga, 20 tasi matematikaga, 12 tasi geografiyaga va geodeziyaga, 4 tasi minerologiyaga, 1 tasi fizikaga, 1 tasi dorishunoslikka, 15 tasi tarix va etnografiyaga, 4 tasi falsafaga, 18 tasi adabiyotga bag'ishlangandir.

Beruniy o'z ona tilidan tashqari qadimiy sanskritda, eron ilmiy adabiyoti va tilini bilar edi, fors, arab, yahudiy, grek tillarida bimalol ilmiy ishlarini olib borar edi.

Beruniy yashagan davrda eksperimental fanlar bilan shug'ullanish keng rivojlangan. Beruniyning fizika sohasidagi bajargan ishlari mexanika, akustika, issiqlik, yorug'lik, elektr, magnetizm masalalariga bag'ishlangan edi.

Beruniy o'lchov birliklari, tezlik, chiziqli va burchak tezlik, og'irlik, solishtirma og'irliklar bo'yicha, tajribalar olib borgan. Tutash idishlar, favvora, artezian quduqlari va oddiy mehanizmlarning ishlash prinsiplarini o'rgandi. Bo'shliq (vakuum), atmosfera bosimi, konveksiya, suyuqlik, zarrachalari orasidagi tortish kuchi, inersiya, ta'sir, jismlarning erkin tushishi haqida o'z fikrlarini bildirgan.

Beruniy yorug'likning tabiati haqida fikr yuritar ekan, u yorug'lik nurini moddiy zarrachalar dastasi deb ta'kidlagan. Yorug'lik tezligini tovush tezligi bilan taqqosladi, yorug'likning sinishi, qaytishi, ranglarga bo'linish hodisalarini tushuntirishga urindi. Beruniy magnit qutblari, magnit xossalarning tashqi kuch ta'sirida o'zgarishi to'g'risidagi fikrlarni ilgari surdi.

U "Minerallar haqida" gi acapini yozdi va unda ishqalanish tufayli ayrim moddalar yengil narsalarni (somonga, sochga o'xshash) o'ziga torta olish xossasiga egaligini tushuntirish maqsadida «qahrabo» so'zini kiritib, unga izoh bergan («kahrabo» so'zi fors tilidan olingan bo'lib, «kah-osmon», «rabo-o'g'irlagich» degan ma'noni bildiradi). Beruniyning izohiga ko'ra «qahrabo» so'zining zamonaviy analogi "elektron" yoki elektr zaryad tushunchasiga yaqin keladi.

Beruniy gidrostatik usul bilan 50 dan ortiq, moddaning solishtirma og'irligini o'lchashga muvaffaq bo'lgan. U o'z qo'li bilan yasagan asbob yordamida moddalarning, shu jumladan, ko'pgina metallarning zichligini juda katta aniqlik bilan o'lchagan.

Beruniy yasagan konus shakldagi asbob aslida yuqoriga asta sekin torayib boradigan va silindr bo'yincha bilan yakunlangan shisha bo'lgan. Bo'yincha o'rtasida kichkina dumaloq teshik qilingan va unga tegishli kattalikdagi bukilgan trubka kavsharlangan. Idishga suv solingandan so'ng unga zichligi aniqlanadigan metall parchalari tushiriladi. O'rganilayotgan metall hajmida trubkadan oqib tushgan ortiqcha suv o'lchanilgan. Trubkaning bo'g'inchasi deyarli tor bo'lishi («kichik barmoq qalinligida»), hattoki undan kichik (bug'doy donasi) hajmidagi suv o'tsada tadqiqotchi uni sezishi zarur. Keyinchalik suv yaxshi oqishi uchun trubka kichkina tarnovcha bilan almashtirildi.

Zamonaviy o'lchov birliklarida (g/sm^3) oltin zichligi uchun Beruniy topgan qiymat 19,5 teng, simob zichligi esa - 13,56 tashkil etdi. Quyida yana bir nechta misolni keltiramiz: Beruniy aniqlangan qiymatlar zamonaviy natijalardan juda kam farq qiladi. yevropaga bu natijalar juda kech ma'lum bo'ldi va kirib keldi.

Jadval 1.

Metallar	Oltin	Simob	Kumus	Qo'rg'oshin	Mis	Temir
Beruniyning natijalari. (g/sm ³)	19.8	13.55	10.42	11.47	8.71	7.98
Hozirgi qabul qilingan qiymat (g/sm ³)	19.3	14.19	10.5	11.34	8.89	7.83

Beruniyning ilmiy yondashish jihatidan berilgan amaliy ko'rsatmalaridan biri e'tiborga sazovor. Moddalarning zichligini aniqlashda suvning tozaligiga, uning holati va temperaturasiga hamda suvni bitta manbadan, bir xil sharoitda olinish zarurligini ko'rsatgan. Bu zaruriyat suvning xususiyatlari yilning to'rt fasli, havoning holati va uning suvga ta'siridan kelib chiqadi. Bu esa Beruniyning tajriba jarayonida suvning holatiga qo'yiladigan talablarni to'g'ri tushunganligini isbotlaydi. Amerikadagi rus konsuli N.Xanikov 1857 yilda al-Xaziniyning «Donishmandlik tarozisi haqidagi kitobi» nomli qo'lyozmasini topdi. Bu qo'lyozmada Beruniyning «Metallar va noyob qimmatbaho toshlarning hajmlari o'rtasidagi munosabatlar» degan kitobidan ayrim hikmatli ko'chirmalar, zichlikni o'lchaydigan asbobning Beruniy talqinidagi tasvirnomasi hamda u tomonidan olingan tajriba natijalari keltirilgan. Shuningdek Beruniy tomonidan boshlangan o'lchovlarni Al-Xaziniy «Donishmandlik tarozisi» deb nom bergan, loyihalashtirgan va o'zi yasagan tarozi yordamida, davom ettirganligi haqidagi ma'lumotlar mavjud. Beruniy aniq astronomik va geografik o'lchovlarni ham olib borgan:

- ekliptikaning ekvatorga nisbatan qiyalik burchagini hamda uning asrlik o'zgarishini o'lchadi (1020 yil uchun uning o'lchovlari 23°34'0" natijani berdi. Zamonaviy ma'lumotga ko'ra 1020 yil uchun olingan aniq natija 23°34'45");
- Hindistonga qilgan safarida yer radiusini aniqlash metodini ishlab chiqdi (uning o'lchovlaridan yer radiusi 1081,66 farsaxga yoki taxminam 6490 km ga teng);
- Oy tutilishi paytida uning rangining o'zgarishi, Quyosh tutilishida uning toji paydo bo'lishini kuzatib bordi, keyinchalik ularni bayon etdi;
- Yerning Quyosh atrofida aylanishi hamda geotsentrik sistemaning zaifligi haqida o'z fikrlarini bildirdi;
- Hindiston haqida juda keng yozuvlar tayyorladi;
- Evklidning «Boshlang'ichlar» va Ptolomeyning «Almagest» asarlarini sanskrit tiliga tarjima qilgan.

Beruniy Hindistonga qilgan safari (13 yil) ilmiy jihatdan juda serhosil bo'lsada (tarixiy ma'lumotlarga ko'ra moddalarning zichligini aniqlash o'lchovlarini u aynan shu paytda o'tkazgan bo'lishi mumkin), lekin safar majburiy edi. 1017 yilda Xuroson va

Afg'oniston hukmdori Xorazmga urush e'lon qiladi va bosib oladi. Asirga tushganlar orasida Beruniy ham bor edi. Beruniy boshqa asirdagilar bilan birga G'aznaga u yerdan esa - Xindistonga badarg'a qilinadi. Og'ir sharoitga qaramay Beruniy o'zining ilmiy izlanishlarini to'xtatmaydi. Astronomiya va geografiya sohasidan qator ilmiy ma'lumotlarni va o'zining mashhur "Hindiston" asarini yozadi. Beruniyning "Hindiston" asari oxirlab qolganida Xorazmda hokimiyat yangilandi. Beruniyning hayotiga hamda taqdiriga bu voqea keskin ta'sir ko'rsatdi. Taxtga Maxmudning o'g'li Ma'sud o'tiradi. U Beruniy ijodiga xayrixoxlik bildirib, uni o'z himoyasiga oladi va davlat arbobi etib tayinlaydi. Beruniy siyosat bilan birgalikda ilmiy faoliyatni ham olib boradi.

Ma'sud ilm-fanni qadrlaydigan shaxs bo'lganligi uchun, Beruniy astronomiya va sferik trigonometriya sohasida qilingan ishlari haqidagi o'zining asarini Ma'sudga bag'ishlagan va "Ziji-Ma'sudiy" deb nomlangan.

SHu yillarda Beruniy va qadimiy Buxoroning buyuk olimi Abu Ali Ibn Sino (Avitsena, 980-1037) o'rtasida keng yozma aloqalar boshlandi. Ularda Aristotelning fizikasi va boshqa qator tabiiy-ilmiy masalalar muhokama qilingan edi. Bu munozoralarda Beruniy Aristotelning ko'pgina fikrlarini qattiq tanqid qilgan bo'lsa, Ibn Sino esa ko'proq Aristotelni himoya qilgan.

Al-Beruniyning mashhur asarlari qatoridan "Mineralogiya" va "SHifobaxsh moddalar haqidagi kitob" asarlari ham munosib o'rin egallaydi. Al-Beruniy 1048 yil 13 dekabrda olamdan o'tadi (ba'zi manbalarda 1050 yoki 1051 yillar ko'rsatilgan).

2-§. Fizikaning rivojlanish tarixi

- 2.1. XVI-XIX asrlarda fizika sohasidagi ilmiy izlanishlar;
- 2.2. XX-asrda fizika fanining rivojlanishi.

1. XVI-XIX asrlarda fizika sohasidagi ilmiy izlanishlar: Fizika tarixini 3 davrga bo'lib o'rganish mumkin: 1) qadim zamondan XVII-asrgacha bo'lgan davr; 2) XVII-asrdan XIX-asr oxirigacha bo'lgan davr. Bu davrdagi fizika fani, odatda, klassik fizika nomi bilan yuritiladi; 3) XIX-asr oxiridan hozirgi paytgacha bo'lgan davr. Hozirgi zamon fizikasi (yoki eng yangi fizika) shu davrga mansub.

Turli hodisalarni va ularning sababini o'rganish qadimgi zamon olimlarining bizgacha yetib kelgan asarlarida aks etgan. Miloddan avvalgi 6-asrdan to milodiy 2-asrgacha bo'lgan davrda moddalarning atomlardan tashkil topganligi haqidagi tushunchalar va goyalar yaratildi (Demokrit, Epikur, Lukretsiy), dunyoning geosentrik tizimi ishlab chiqildi (Ptolemey), elektr va magnit hodisalari kuzatildi (Fales), statika (Pifagor) va gidrostatikaning rivojlanishiga asos solindi (Arximed), yorug'lik nurining to'g'ri chiziqli tarqalishi va qaytish qonunlari ochildi, miloddan avvalgi IV-asrda Aristotel o'tmish avlodlar va zamondoshlarining ishlariga yakun yasadi. Aristotelning ijodi yutuqlar bilan birga kamchiliklardan ham xoli emas. U tajribalarning mohiyatini tan oldi, ammo uni bilimlarning ishonchli belgisi ekanini inkor etib, asosiy e'tiborni farosat bilan anglashda, deb bildi. Aristotel ijodining bu tomonlari cherkov namoyondalariga qo'l kelib, uzoq, davrlar fan taraqqiyotiga to'sqinlik ko'rsatdilar. IX-XVI-asrlarda ilmiy izlanishlar markazi Yaqin va O'rta Sharq mamlakatlariga siljidi. Bu davrga kelib, fan rivojiga, jumladan, fizikaning rivojiga O'rta Osiyo olimlari ulkan hissa qo'shdilar.

Fizika, matematika, astronomiya va tabiatshunoslikka oid masalalar Xorazmiy, Ahmad al Farg'oniy, Forobiy, Beruniy, Termiziy, Ibn Sino, Ulug'bek, Ali Qushchi va boshqa o'rta osiyolik olimlarning ishlarida o'z aksini topgan. Bu olimlarning fizikaga oid ilmiy ishlari, mexanika, geometriya, osmon mexanikasi, optika va turli tabiat xrdisalarini o'rganish bilan bog'liqdir. Xorazmiy o'rta ayerlarda, nazariy va amaliy tabiatshunoslik qali bo'lmagan davrda, dunyoviy fanlar, ilg'or ijtimoiy-falsafiy fikrlar ijodkori bo'lib chikdi. U Sharqning dastlabki akademiyasi "Bayt ul Hikma" ("Donolar uyi") ning shakllanishida faol ishtirok etgan. Bu yerda uning raxbarligida arablar va boshqa xalklar vakillari bilan bir qatorda Ahmad al Farg'oniy, Axmad Abdulabbos Marvaziy kabi o'rta osiyolik olimlar tadqiqotlar olib borganlar. "Algoritmi" so'zi "Xorazmiy" so'zining lotincha transkripsiyasi bo'lib, bu so'zni algebra masalalarini yechishda birinchi marta qo'llagan edi. Ahmad al Farg'oniyning "Osmon jismlari harakati" kitobi IX-asrda bitilgan bo'lib, XII-asrda lotin tiliga, XIII-asrda Yevropaning

boshqa tillariga tarjima qilinib keng tarqalgan edi. Ahmad al Fargʻoniy asarlari Yevropada Uygʻonish davri ilmiy tadqiqotchilarining asosini tashkil etgan asarlardan boʻldi. U yorugʻlikning sinishi va qaytishini aniklagan. Fargʻoniy stereografik proyeksiya nazariyasining asoschisi sifatida fazo jismlari harakatining tekisliklardagi proyeksiyalari nisbatlari asosida baʼzi bir kattaliklarni oʻlchash mumkinligini isbotladi. Bu fikr bugun ham astrofizika fanida oʻz qiymatini yoʻqotmagan.

Hakim Termiziy dunyoviy fanlarning ungacha boʻlgan yutuqlarini qomusiy olim sifatida oʻrgandi, jumladan, tabiat hodisalari va jarayonlarini tahlil etuvchi “Solnoma”, “Haftanoma” kabi asarlari maʼlum. Mirzo Ulugʻbek 15-asrda jahonda yagona rasadxona qurdi. Uning “Ziji Koʻragoniy” asarida astronomiyaning nazariy asoslari yoritiddi va 1018 ta yulduzning joylashish koordinatalarini juda katta aniqlikda berildi. Uning qiymatlari hozirgi qiymatlarga juda yaqin.

Fizik hodisalarni tushuntirishda oʻrta osiyolik olimlarning mulohazalari qadimiy anʼanalar taʼsirida rivojlangan boʻlsada, ular matematik usullarni keng joriy etib, tajribalardan foydalanib, fanga katta hissa qoʻshdilar. Klassik fizikaning rivojlanishi. XVII-asrga kelib G.Galiley mexanik harakatni tajriba yoʻli bilan oʻrganib, harakatni matematik formulalar asosida ifodalash zarurligini aniqladi va bu fizika fanining keskin rivojiga turtki boʻldi. U jismlarning oʻzaro taʼsiri natijasida tezlik oʻzgarib, tezlanish hosil boʻlishini, taʼsir boʻlmaganda harakat holatining oʻzgarmasligi, yaʼni tezlanishning nolga tengligini yoki tezlikning oʻzgarmasdan saklanishini qayd etib, Aristotelning shu masalaga qarashli fikrini, yaʼni taʼsir natijasida tezlik hosil boʻlishini inkor etadi.

Keyinchalik Galiley aniqlagan qonun inersiya qonuni yoki Nyutonning mexanikaga oid birinchi qonuni degan nom oldi. 1600 yilda U.Gilbert elektr va magnit hodisalarini oʻrganish bilan shuhrat qozondi hamda Yer yirik magnit ekanligini isbotladi. U kompas magnit milining burilishini Yerning katta magnitga oʻxshashi orqali tushuntirdi, magnetizm va elektrning oʻzaro bogʻlanishini tekshirdi. Galiley mexanikadagi nisbiylik prinsipini ochdi va erkin tushayotgan jism tezlanishi uning tezligi va massasiga bogʻliq emasligini isbotladi. E.Torrichelli yuqoridagi prinsipdan foydalanib, atmosfera bosimining mavjudligini aniqladi va birinchi barometrni yaratdi. R.Boyl va E.Mariott gazlarning elastikligini aniqladilar hamda gazlar uchun birinchi qonun Boyl-Mariott qonunini yaratdilar. Gollandiyalik astronom va matematik V.Snellius (Snell) bilan R.Dekart yorugʻlik nurining sinish qonunini ochdilar.

XVII-asr fizikasining eng katta yutuqlaridan biri klassik mexanikaning yaratilishi boʻldi. I.Nyuton 1687 yilda Galiley va oʻz zamondoshlarining gʻoyalarini umumlashtirib, klassik mexanikaning asosiy qonunlarini taʼriflab berdi. Nyuton tomonidan jismlar holati tushunchasining kiritilishi barcha fizik royalar uchun muhim

bo'ldi, jismlar tizimining holatini mexanikada ularning koordinatalari va impulslari orqali to'la aniqlash imkoniyati yaratildi. Agar jismning boshlangich vaqtdagi holati hamda harakat davomida unga ta'sir etuvchi kuchlarning tabiati ma'lum bo'lsa, Nyuton qonunlariga asoslangan holda shu jismning harakat tenglamasini tuzish mumkin. Bu harakat tenglamasidan foydalanib, ushbu jismning istalgan vaqtda fazodagi o'rnini, tezlik, tezlanish va fizik kattaliklarni aniqlash mumkin bo'ldi. Nyuton sayyoralar harakatlarini tushuntiruvchi Kepler qonunlari asosida Butun olam tortishish qonunini ochdi va bu qonun orqali Oy, sayyoralar va kometalar harakatini tavsiflab berdi. X.Poygens va G.Leybnits harakat miqdorining saqlanish qonunini ta'rifladilar.

XVII-asrning 2-yarmida fizik optika asoslari yaratila boshlandi, teleskop va boshqa optik qurilmalar dunyoga keldi. Fizik Grimaldi yorug'lik difraksiyasini, I.Nyuton esa yorug'lik dispersiyasini tadqiq qildi. 1676 yilda daniyalik astronom O.Ryomer yorug'lik tezligini o'lchadi. Shu davrdan yorug'likning korpuskulyar va to'liq nazarialari yuzaga keldi hamda rivoj topa boshladi. I.Nyuton yorug'likni korpuskula (zarra) lar harakati orqali tushuntirsa, X.Gyuygens uni faraz qilinuvchi muhit- efirda tarqaladigan to'liqlar yordamida tushuntirdi.

Shunday qilib, XVII-asr fanida klassik mexanika mustahkam o'rin egalladi, akustika, optika, elektr va magnetizm, issiqlik hodisalarini o'rganish sohalarida katta izlanishlar boshlandi. XVIII-asrga kelib tajriba va kuzatishlardan keng foydalangan klassik mexanika va osmon mexanikasi yanada tez sur'atlar bilan rivojlandi. Yer va Osmon hodisalarini mexanika qonunlari orqali tushuntirish asosiy maqsad hamda bosh ta'limotga aylandi. Hatto, o'rganilayotgan fizik hodisani mexanika qonunlari orqali tushuntirish mumkin bo'lmasa, tanlangan tushuntirish yo'li to'liq emas yoki noto'g'ri deb yuritilar edi. XVIII-asrda zarralar va qattiq jismlar mexanikasi bilan birga gaz hamda suyuqliklar mexanikasi ham rivojlandi. D.Bernulli, L.Eyler, J.Lagranj va boshqalar ideal suyuqlik gidrodinamikasiga asos soldilar. Fransuz olimi Sh.Dyufe elektrning ikki turi mavjudligini aniqladi hamda ularning o'zaro tortilish va itarilishini ko'rsatdi. Amerikalik olim B.Franklin elektr zaryadining saqlanish qonunini aniqladi. T.Kavendish va undan mustasno Sh.Kulon qo'zg'almas elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir kuchini tajribada aniqladilar hamda matematik ifodasini topib, asosiy qonun - Kulon qonunini ochdilar.

Rus fiziklari G.Rixman, M.V.Lomonosov va amerikalik olim B.Franklin atmosferada hosil bo'ladigan elektr, yashinning tabiatini tushuntirib berdilar. A.Galvani, A.Volta va keyinchalik rus fizigi hamda elektrotexnigi V.Petrovning kuzatishlari va tadqiqotlari elektrodinamikaning vujudga kelishi hamda tez sur'atlar bilan rivojlanishiga sabab bo'ldi. Optika sohasida P.Buger va I.Lambert ishlari tufayli fotometriyaga asos solindi. Infraqizil (ingliz optigi V.Gershel va ingliz kimyogari U.Vollston) va ultrabinafsha (ingliz kimyogari I. Ritter) nurlar mavjudligi aniqlandi. Issiqlik hodisalari,

issiqlik miqdori, tempetatura, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik va h.k.ni o'rganishda ham qator izlanishlar olib borildi. M.Lomonosov, R.Boyl, R.Guk, Bernullilar issiqlikning molekulyar-kinetik nazariyasiga asos soldilar.

XIX-asr boshida T.Yung va O.Frenellarning to'lqin nazariyasi asosida yorug'lik difraksiyasi va yorug'lik interferensiyasi yaratildi. Yorug'likni ko'ndalang to'lqin sifatida elastik muhitda tarqaladi deb, Frenel singan va qaytgan yorug'lik to'lqinlarining intensivligini belgilovchi miqdoriy qonunni aniqladi. Fransuz fizigi E.Malyus yorug'likning qutblanishi hodisasini kashf etdi, yorug'lik spektriga va difraksiyasiga tegishli izlanishlar olib bordi. Yorug'likning tabiati haqidagi korpuskulyar va to'lqin nazariyalari orasidagi deyarli ikki asr davom etgan kurash to'lqin nazariyasi foydasiga hal bo'ldi.

Italiyalik olimlar A.Galvani va A.Voltalarning elektr tokini kashf etishlari hamda dunyoda birinchi marta 1800 yilda galvanik elementning yasaliishi fizika fanining rivojlanishida katta ahamiyatga ega bo'ldi. 1820 yilda daniyalik fizik X.Ersted tokli o'tkazgichning kompas mili bilan o'zaro ta'sirda bo'lishini elektr va magnit hodisalar orasida bog'lanish borligi bilan tushuntirdi. Shu yillarda A.Amper zaryadlangan zarralarning tartibli harakati tufayli paydo bo'luvchi elektr toki bilan barcha magnit hodisalari bog'liq ekanligi to'g'risida xulosaga keldi va tajriba asosida tokli o'tkazgichlar orasidagi vujudga keluvchi o'zaro ta'sir kuchini ifodalovchi qonunning ochilishiga asos soldi (Amper qonuni). 1831 yilda M.Faradey elektromagnit induksiya hodisasini ochdi va elektromagnit maydon tushunchasi haqidagi ta'limotni yaratdi. Metallarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish Om qonunining (1826), moddalarning issiqlik xususiyatlarini o'rganish - issiqlik sig'imi qonunining yaratilishiga olib keldi.

Tabiatning barcha hodisalarini bir butun qilib bog'lovchi energiyaning saqlanish va aylanish qonunining ochilishi tabiatshunoslikda, jumladan, fizikaning rivojlanishida katta ahamiyatga ega. XIX-asr o'rtalariga kelib tajriba orqali issiqlik miqdori bilan bajarilgan ish miqdorining o'zaro qiyosiy tengligi isbotlandi va shu asosda issiqlik energiyaning maxsus turi ekanligi aniqlandi.

Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni issiqlik hodisalari nazariyasining asosiy qonuni bo'lib, u termodinamikaning birinchi bosh qonuni deb ataladi. Bu qonunni Yu.R.Mayer ta'riflagan, nemis fizigi G.Gelmgols aniqroq shaklga keltirgan (1874). Termodinamikaning rivojlanishida S.Karno, R.Klauzius, U.Tomson, E.Klapeyron va D.I.Mendeleyevlarning xizmatlari katta bo'ldi. S.Karno issiqlikning mexanik harakatga aylanishini aniqladi, R.Klauzius, U.Tomson issiqlik nazariyasining asosiy qonuni - termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini ta'rifladilar. R.Boyl, E.Mariott, J.GeyLyussak, B.Klapeyron ideal gazning holat tenglamasini aniqladilar.

D.I.Mendeleyev uni barcha gazlar uchun umumlashtirdi va boshqalar Termodinamika bilan birga issiqlikning molekulyar-kinetik nazariyasi rivojlanib bordi.

A.Eynshteyn, polyak fizigi M.Smoluxovskiy va fransuz fizigi J.Perrenlar Broun harakati atom hamda molekulalarning issiqlik harakati ekanligini isbotlab, molekulyar kinetik nazariya asoslari bo'lgan Broun harakatining miqdoriy nazariyasini yaratdilar. Bu esa, o'z navbatida, statistik mexanikaning to'la tan olinishiga olib keldi. J.K.Maksvell kiritgan ehtimollik xarakteriga ega bo'lgan statistik tushunchalar asosida gazlardagi molekulalar tezligi, erkin yugurish uzunligi, vaqt birligi ichidagi to'qnashuvlar soni va boshqa kattaliklarning o'rtacha qiymatlarini topishga yo'l ochildi, temperaturaning molekulalar o'rtacha kinetik energiyasiga bog'liqligi ko'rsatildi.

Materiyaning kinetik nazariyasi taraqqiy etishi L.Boltsman tomonidan statistik mexanika - Boltsman statistikasining yaratilishiga olib keldi. XIX-asrning ikkinchi yarmida J.K.Maksvell elektromagnit hodisalarning elektromagnit maydon tushunchasiga asoslangan yangi nazariyasini va uni ifodalovchi tegishli tenglamalar tizimini yaratdi. U tabiatda elektromagnit to'liqlarning mavjudligini, ularning aniq xususiyatlari - bosimi, difraksiyasi, interferensiyasi, tarqalish tezligi, qutblanishi va boshqalar borligini aniqladi. Maksvell nazariyasining eng muhim natijasi elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligi yorug'lik tezligiga teng bo'lgan qiymatga ega ekanligi to'g'risidagi xulosa hisoblanadi. Maksvell nazariyasidan yorug'likning elektromagnit xususiyatiga ega ekanligi kelib chiqdi. G.Gersning elektromagnit to'liqlarni aniqlash bo'yicha olib borgan tajribalari buni tasdiqladi. 1899 yil P.Lebedev yorug'likning bosimini tajriba orqali aniqladi. 1895 yilda A.S.Popov Maksvell nazariyasidan foydalanib simsiz aloqani amalga oshirdi. Yuqoridagi va boshqa tajribalar Maksvell elektromagnit nazariyasining to'g'ri ekanligiga qaratilgan gumonlarga yakun yasadi.

Shunday qilib, XIX-asr fizikasi ikki bo'limdan - jismlar fizikasi va maydon fizikasidan iborat bo'ldi. Jismlar fizikasi asosida molekulyar kinetik nazariya qabul qilingan bo'lsa, maydon fizikasi elektromagnit maydon nazariyasi asosiy rol o'ynadi. Klassik fizika modda, vaqt, fazo, massa, energiya va boshqalar haqidagi maxsus tasavvurlar, tushunchalar, qonunlar, prinsiplardan tashkil topgan. U klassik mexanika, klassik statistika, klassik termodinamika, klassik elektrodinamika va boshqa bo'limlarga bo'linadi. Klassik mexanikada harakat qonunlari - Nyuton qonunlaridan iborat. Moddiy nuqta, mutlaq qattiq jism, tutash muhitlar tushunchalari muhim rol o'ynaydi. Bularga moye tarzda moddiy nuqta mexanikasi, mutlaq qattiq jism mexanikasi, tutash muhit mexanikasi mavjud.

Ko'p amaliy hollarda qoniqarli natijalar beradigan klassik fizika katta tezliklar va mikroobyektlar bilan bog'liq hodisalarni to'g'ri tushuntirishga ojizlik qildi. Shunday hodisalar qatoriga qattiq jismlarning issiqlik sig'imi, atom tizimlarining tuzilishi va

ulardagi o'zgarishlar xarakteri, elementar zarralarning o'zaro ta'siri hamda bir-biriga aylanishi, mikrotizimlardagi energetik holatlarning uzlukli o'zgarishi, massaning tezlikka bog'liqligi va boshqa masalalar kiradi. Fizikaning yangi taraqqiyoti yuqoridagiga o'xshash hodisalarni ham to'g'ri tushuntirib bera oladigan yangi, noklassik tasavvurlarga olib keldi. Bunday tasavvurlarga asoslangan yangi fizika maydon kvant nazariyasi va nisbiylik nazariyasidan iborat.

Fizikaning klassik va noklassik fizikaga ajratilishi shartlidir. Galiley - Nyuton mexanikasi, Faradey-Maksvell elektrodinamikasi, Boltsman-Gibbs statistikasini, odatda, klassik fizikaga, maydon kvant nazariyasi va nisbiylik nazariyasini hozirgi zamon fizikasiga kiritishadi. Tarixiy jihatdan bu haqiqatan ham shunday. Ammo klassik fizika bilan hozirgi zamon fizikasini bir-biriga qarshi qo'yish asossizdir. Yangi texnika, kosmosni egallash kabi sohalarda klassik fizikadan keng foydalanib muhim yutuqlarga erishilmoqda. Maksvell tomonidan elektromagnit hodisalarni o'rganish jarayonlari uning klassik elektrodinamikani yaratishi bilan yakunlandi. 1897 yilda J.Tomson tomonidan elektron zarrasining ochishi fizikaning rivojlanishida yangi davr boshlab berdi.

Hozirgi zamon fizikasi. XIX-asr oxirida aniqlangan qator yangiliklar (elektronning ochilishi, elektron massasining tezlik o'zgarishi bilan o'zgarishi, harakatlanuvchi tizimlarda elektromagnit hodisalarining ro'y berishidagi qonuniyatlar va boshqalar) Nyutonning fazo va vaqt mutlaqligi to'g'risidagi tasavvurlarini tanqidiy tekshirib chiqish kerakligini taqozo qildi. J.Puankare, X.A.Lorents kabi olimlar bu sohada tadqiqotlar olib borishdi.

2. XX-asrda fizika fanining rivojlanishi: 1900 yilda M.Plank nur chiqarayotgan tizim - ossillyatorning nurlanish energiyasi uzluksiz qiymatlarga ega degan klassik fikrni rad etib, bu energiya faqat uzlukli qiymatlar (kvantlar) dangina iborat degan butunlay yangi farazni ilgari surdi. Shunga asoslanib nazariya bilan tajriba natijalarini taqqoslanganda ularning bir-biriga mos kelishini aniqladi. Plank gipotezasini A.Eynshteyn rivojlantirib, yorug'lik nurlanganda ham, tarqalganda ham kvantlar - maxsus zarralardan iborat bo'ladi degan fikrga keldi. Bu zarralarni fotonlar deb ataldi. Foton iborasini 1905 yilda A.Eynshteyn fotoeffekt nazariyasini talqin etishda qo'llagan, bu ibora fizika fanida 1929 yildagina paydo bo'ldi. Shunday qilib, fotonlar nazariyasiga muvofiq yorug'lik to'lqin (interferensiya, difraksiya) va zarra (korpuskulyar) xususiyatga ega.

1905 yilda A.Eynshteyn Plank gipotezasini rivojlantirib, maxsus nisbiylik nazariyasini yaratdi. 1911 yilda E.Rezerford tomonidan o'tkazilgan alfa zarralarning jismlarda sochilishini tekshirish tajribasi atom yadrosining mavjudligini isbotladi va u atomning planetar modelini taklif qildi. 1913 yilda N.Bor nurlanishning kvant xarakteri

asosida atomlardagi elektronlar ma'lum barqaror holatlargagina ega bo'lib, bu holatlarda energiya nurlanishi sodir bo'lmaydi, degan postulatni yaratdi. Nurlanish elektronlarning bir barqaror holatdan ikkinchi barqaror holatga "sakrab o'tishi"da, ya'ni diskret ravishda ro'y beradi. Bu postulat to'g'riligi J.Frank va G.Gers o'tkazgan tajribalarda o'z tasdig'ini topdi. Bor postulatlari atomning planetar modeli kvant xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi⁵.

A.Eynshteyn Butun olam tortishishi (gravitatsiya) masalasi bilan shug'ullanib, 1916 yilda fazo, vaqt va tortishishning yangi nazariyasi - umumiy nisbiylik nazariyasini yaratdi. Ilgaridan ma'lum va kuzatilgan, ammo to'g'ri hamda mukammal ilmiy tushuntirilmagan kelayotgan qator hodisa va faktlar nisbiylik nazariyasi tufayli har tomonlama oydinlashdi. Bu nazariya o'ziga qadar fanga ma'lum bo'lmagan ko'plab yangi hodisalar va qonunlarning borligini oldindan aytib berdi, eng yangi fan uchun g'oyat zarur bo'lgan natija va xulosalarga erishildi (massaning tezlik o'zgarishi bilan o'zgarishi, massa bilan energiyaning o'zaro bog'lanishi, yorug'lik nurlarining kosmosdagi jismlar yaqin atrofida chetlanib oqishi va boshqalar). M.Laue kristallarda atomlarning tartibli joylashishini Rentgen nurlari difraksiyasi yordamida birinchi bo'lib tushuntirib berdi. Rus fizigi G.V.Vulf va ingliz fizigi U.L.Bregg kristallarda atomlarning joylashishini, ular oralig'idagi masofalarni aniqlab, Rentgen strukturalari tahliliga asos soldilar. P.Debai, M.Bornlar kristall panjaralari garmonik tebranib turadigan ossilyatorlar yig'indisidan iborat, deb tushuntirdilar.

XX-asrning 20-yillariga kelib, kvant mexanikaga asos solindi, mikrozaralar harakatining norelyativistik nazariyasi to'la isbotlandi. Buning asosini Plank-Eynshteyn-Borlarning kvantlashuv va L.Broylning materiyaning korpuskulyar-to'lqin xususiyati to'g'risidagi (1924) g'oyalari tashkil etdi. 1927 yilda tajribalarda kuzatilgan elektronlar difraksiyasi bu fikrni tasdiqladi. 1926 yilda Avstriyalik fizik E.Shryodinger atomlarning uzlukli energiyaga ega ekanligini ifodalovchi kvant mexanikaning asosiy tenglamasini yaratdi.

Kvant mexanika bilan bir qatorda kvant statistika ham rivojlanib bordi. U ko'p mikrozaralardan tashkil topgan tizimlarning xossalari kvant mexanika qonunlari yordamida o'rganadi. 1924 yilda Hindistonlik fizik Sh.Boze kvant statistikasi qonuniyatlarini fotonlarga (spinlari 1 ga teng) tatbiq etib, muvozanatli nurlanish spektrida energiyaning taqsimlanishi uchun Plank formulasini, Eynshteyn esa ideal gaz uchun energiyaning taqsimlanish formulasini keltirib chiqardi. 1925 yilda Amerikalik

⁵ Резерфорд Э. Избранные научные труды. Строение атома и искусственное превращение элементов. – М.: Наука.

fiziklar J.Ulenbek va S.Gausmit elektronning xususiy harakat miqdori momentini aniqladilar. Shu yili V.Pauli bir xil kvant holatda faqat bittagina elektron bo'la olishini ko'rsatdi (Pauli prinsipi), shu asosda Mendeleev davriy sistemasiga nazariy tus berildi.

1926 yilda E.Fermi va P.Dirak Pauli prinsipiga bo'ysunadigan, spinlari 1/2 ga teng bo'lgan, bir xildagi zarralar tizimi uchun Fermi-Dirak statistikasini kashf qildilar. 1928 yilda Ya.Frenkel va V.Geyzenberg ferromagnetizm asosida kvantli almashinishdagi o'zaro ta'sirlar hal qiluvchi ekanligini ko'rsatdilar. 1932-1933 yillarda fransuz fizigi L.Neyel va Ya.Landaular antiferromagnetizm mavjud ekanligini oldindan bashorat qildilar. X.Kamerling Onnes tomonidan simob, qalay va ba'zi elementlar o'ta o'tkazuvchanligining hamda Kapitsa tomonidan geliy II ning, o'ta oquvchanlikning ochilishi kvant statistikasida yangi yo'nalishlar vujudga kelishiga olib keldi. 1950 yilga kelib L.Landau va V.Ginzburg o'ta o'tkazuvchanlikning batafsil nazariyasini ishlab chiqdilar.

1916 yilda A.Eynshteyn yaratgan majburiy nurlanishning kvant nazariyasi asosida 50-yillarga kelib yangi kvant elektronikasi rivoj topdi. N.Basov va A.Proxorov (ulardan mustaqil tarzda Amerikalik olim U.Tauns) yaratgan lazerda elektromagnit to'lqinlarni hosil qilish va kuchaytirishni amalga oshirdilar. Bu 60-yillarda yorug'likning kvant generatori - lazerning yaratilishiga olib keldi. XX-asrning ikkinchi choragida atom yadrolari tizimi sirlarini va mavjud bo'layotgan jarayonlarni o'rganish bilan elementar zarralar fizikasining yaratilishi fizikaning rivojida inqilobiy o'zgarishlar bo'lishiga olib keldi. A.E.Bekkerel, P.Kyuri va M.Sklodovskaya Kyuri bilan hamkorlikda radioaktiv nurlanishni, keyinchalik E.Rezerford bu nurlanishning o'z-o'zidan parchalanishi nurlanish bilan birgalikda hosil bo'lishini ochdilar. 1932 yilda J.Chedvik neytron zarrani ochdi. Rus olimi D.D.Ivanenko va V.Geyzenberglar atom yadrosining proton-neytrondan iborat ekanligini aniqladilar.

Yadro fizikasining rivojlanishida fundamental kashfiyotlarning ochilishi yangi davrni boshlab berdi. 1934 yil 15 yanvarda Parij Akademiyasi yig'ilishida Frederik Jolio va Iren Kyurilar radioaktivlikning yangi ko'rinishi ochilganligi haqida ma'lumot berdi. Ular ba'zi bir yengil elementlar (berilliy, bor, alyuminiy) zarralar bilan bombardimon qilinganda o'zidan musbat elektronlar chiqarishini Vil'son kamerasi metodi yordamida aniqlashga muvaffaq bo'ldik, deb aytdilar. Poloniyning al'fa nurlari bilan nurlantirilgan yengil elementlarning musbat elektronlar chiqarishi bu nurlar ta'siri to'xtatilgandan keyin ham uzoq vaqt davom etadi. Masalan, borda yarim soat davom etadi. Alyuminiyda esa ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$ fosfor ${}_{15}^{30}\text{P}$ izotopi radioaktiv hisoblanadi. U ning yarim yemirilish davri 3 min 15 s va quyidagi reaksiyaga ko'ra musbat elektronlarni chiqaradi: ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + e^+$

Tezlatkichlarning yaratilishi zaryadlangan zarralar ta'sirida yadro reaksiyalari hosil qilish imkonini yaratdi. Yadro bo'linishlari hodisasining ochilishi muhim natija bo'ldi. 1939-45 yillarda birinchi marta uran 235 zanjir reaksiyasi yordamida yadro energiyasi ajralib chiqishiga erishildi. Bu energiyadan tinch maqsadda foydalanish 1954 yildan amalga oshdi. 1952 yilda termoyadro sintezi (termoyadro portlashi) amalga oshirildi.

Atom yadrosi fizikasi rivoji bilan bir vaqtda elementar zarralar fizikasi ham rivojlandi. Birinchi muhim yutuqlar kosmik nurlarni tadqiq qilish bilan bog'liqdir. Myuonlar, pi mezonlar, k mezonlar, giperonlar kabi zarralar aniqlandi. Yuqori energiyali zaryadli zarralar tezlatkichlari yaratilishi bilan elementar zarralar, ularning xususiyatlari va o'zaro ta'sirlari rejali tadqiq qilina boshlandi. Tajribalarda ikki xil neytrinolar va boshqa ko'plab elementar zarralar ochildi.

Fizika tekshiradigan hodisalarni miqdoriy tahlil qilishda matematikadan keng foydalanadi. Hodisalarning ro'y berish jarayoni va ularning tabiatidagi murakkablikka qarab qo'llaniladigan matematik usullari ham murakkablashadi. Hozirgi davrda elementar matematika, differensial, integral hisoblar, analitik geometriya, oddiy differensial tenglamalar bilangina cheklanib qolish mumkin emas. Masalan, maydon nazariyasida tenzorlar, operatorlar kabi tushunchalardan keng foydalaniladi. Fizikaning rivojlanishi hamma vaqt boshqa tabiiy fanlar bilan chambarchas bog'liq bo'lib kelgan va boshqa tabiiy fanlarning rivojlanishiga va ko'pgina hollarda yangi fanlarning vujudga kelishiga sabab bo'lgan.

Masalan, fiziklar tomonidan mikroskopning ixtiro qilinishi kimyo, biologiya, zoologiya fanlarining keng ko'lamda rivojlanishiga sabab bo'ldi. Teleskopning yaratilishi, spektral analiz qonunlarining kashf etilishi astronomiya fanining rivojlanishini jadallashtirdi. Elektromagnit induksiya hodisasining kashf etilishi va radioning ixtiro qilinishi elektronika va radiotexnika fanlarining vujudga kelishiga olib keldi. Ko'plab sohalar mavjudki, ularni fizika boshqa fanlar bilan birgalikda o'rganadi. Shu tariqa kimyoviy fizika, biofizika, astrofizika, geofizika va boshqa fanlar vujudga kelgan. Fizikada yaratilgan kashfiyotlar texnikada turli sohalarining rivojlanishiga, pirovardida sanoat va xalq xo'jaligining jadal rivojlanishiga olib kelgan. Kundalik qayotda ishlatilayotgan elektr yoritish asboblari, radiopriyomniklar, televizorlar, zavod va fabrikalardagi turli xil stanoklar, zamonaviy elektron hisoblash mashinalari, kompyuterlar, samolyotlar va boshqalar fizikadagi yaratilgan kashfiyotlarning natijasidir. O'z navbatida, texnika fanlarining erishgan yutuqlari fizikaning yanada rivojlanishiga sababchi bo'lgan.

Texnikaning, umuman xalq xo'jaligining rivojlanib borishida uzluksiz ravishsa vujudga keluvchi fizik muammolarni hal etib borishga to'g'ri keldi. Bu esa texnika fanlarining hamma vaqt fizika bilan hamkorlikda ish olib borishini taqozo etadi.

O'zbekistonda yadro fizikasi, fizik elektronika, qattiq jismlar fizikasi, yuqori energiyali va kosmik nurlar fizikasi, yarimo'tkazgichlar fizikasi, akustooptika, akustoelektronika, lazerlar fizikasi, geliofizika, geliotexnika va boshqa fizika sohalarida muhim yutuqlarga erishildi.

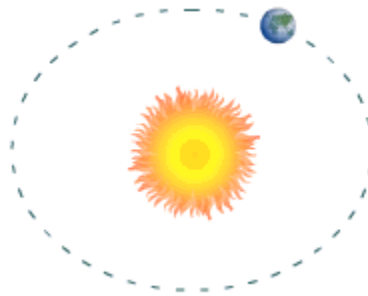
Hozir O'zbekiston FA Yadro fizikasi instituti, Fizika-texnika instituti, S.A.Azimov nomidagi "Fizika-Quyosh" IChB, U.O.Orifov nomidagi Elektronika instituti kabi o'nlab ilmiy muassasalar, O'zbekiston Milliy universiteti, Samarqand davlat universiteti, Toshkent davlat texnika universiteti va respublikadagi qariyb barcha oliy o'quv yurtlarida ham fizika fanining turli muammolariga oid ishlar olib borilmoqda. Mamlakatda fizika fanini rivojlantirishda U.O.Orifov, S.A.Azimov, S.V.Starodubsev, S.U.Umarov, G'.Yo.Umarov, R.B.Bekjonov, M.S.Saidov, U.G'.G'ulomov, P.Q.Habibullayev, Q.G'.G'ulomov, N.Y.To'rayev, M.M.Musaxonov, B.S.Yo'ldoshev, A.K.Otaxo'jayev, R.A.Mo'minov, A.T.Mamadalimov, T.M.Mo'minov, M.S.Yunusov va boshqalarning xizmatlari katta⁶.

-
1. Кудрявцев П.С, Краткий курс истории физики, Москва, 1974
 2. Rahmatov M.N., Vatanimiz fiziklari, Toshkent, 1983
 3. Ahadova M., O'rta Osiyolik mashhur olimlar va ularning matematikaga doyr ishlari, Toshkent, 1983
 4. Классическая наука Средней Азии и современная мировая цивилизация, Ташкент, 2000.

3-§. Gravitatsion doimiylikni aniqlash

- 3.1. Butun olam tortishish qonuni;
- 3.2. Kavendish tajribasi;
- 3.3. Rixars tajribasi;
- 3.4. Tortishish maydoni kuchlanganligi va potentsiali;
- 3.5. Kosmik tezliklar. Ekvivalentlik prinsipi.

1. Butun olam tortishish qonuni: Barcha planetalar o'z orbitalari bo'ylab, ma'lum bir tezlikda aylanayotganliklarini hozirgi kunda hamma ham yaxshi biladi. Ular: 1) Bir-biriga tortilib, to'qnashib ham ketmaydi. 2) Bir-biridan uzoqlashib ham ketmaydi.



1-rasm. Yerning Quyosh atrofida aylanishi

Bir-birlariga yaqinlashmasligiga sabab, ular muttasil orbitaviy harakatda bo'lganlari uchun, markazdan qochma kuch ostida uzoqlashishga harakat qilishadi. Ammo uzoqlashib ham keta olmaydi. Bu holatni mashhur fizik olim I.N'yuton «Butun olam tortishish qonuni» deb ataluvchi qonunida quyidagicha ifoda etadi: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

(3-1). Ya'ni, ikki jism orasidagi o'zaro tortishish kuchi, ularning massalari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofalar kvadratiga teskari proporsionaldir. Demak, barcha planetalar orasida shunday bir o'zaro tortishish kuchi va markazdan qochirma kuch mavjudki, ular ana shu kuch ostida bir birlaridan uzoqlashib ham keta olmaydilar yaqinlashib ham qolmaydilar. Borliq o'zaro juft, ammo bir biriga qarama-qarshi bo'lgan kuch ostida muvozanatdadir.

Ta'sirlashuv vaqtida birinchi jism ikkinchi jismni qanday kuch bilan tortsa, ikkinchi jism ham birinchi jismni xuddi shunday kuch bilan tortadi. Masalan, Yerning massasi Oyning massasidan 81 marta katta bo'lgani bilan Yer Oyni tortadigan kuch Oy Yerni tortadigan kuchga teng. Faqat ularning yo'nalishlari qarama-qarshi bo'ladi. Yer sirtida yotgan toshning har bir zarrachasi Yer sharining hamma zarrachalari tomonidan tortilib turadi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi Yerga nisbatan toshning og'irligini belgilaydi. Shunga o'xshash Oyning har bir zarrasi Yerning har bir zarrasiga tortilib

turadi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi Oy bilan Yerning bir-biriga tortilish kuchidir. Ana shu tortilish kuchi Oyni Yer atrofida ushlab turadi. Agar bu kuch birdaniga yo'qolganda edi, Oy o'z orbitasiga o'tkazilgan urinma bo'yicha orbitadan chiqib ketar edi.

Olamning bu darajada aniq hisob-kitob bilan yaratgan va idora etgan Alloh buyukdir. Demak tabiatdagi har bir narsaga ibrat nazari, tafakkur ko'zi bilan qaramoqligimiz lozim bo'ladi-ki, buning natijasida bu olam behuda, hisob-kitobsiz emas, balki aniq bir qonuniyat ostida yaratilganligini anglab yetamiz.

Butun tabiat bahramand bo'ladigan yorug'lik nurining o'ziga ham Alloh taolo ikki xil xususiyat ato etibdi: 1) Yorug'lik - to'liqin kabi tarqalish xususiyatiga ega. Bu nazariya N'yuton va uning izdoshlariga tegishli. 2) Yorug'lik – xuddi zarrachalar oqimi kabi sochilish xususiyatiga ham ega. Bu nazariya esa Gyuygens va uning izdoshlariga tegishlidir⁷.

Jismlarning Yerga tushishiga sabab Yer sharining tortish kuchi ekanligi haqidagi fikr yangilik bo'lmagan: buni qadimgilar ham, masalan Platon bilgan. Lekin bu tortishish kuchini qanday o'lchash kerak? Yer sharining hamma joyida u kuch bir xilmi? - ushbu savollar, Butun olam tortishish qonuni muallifi Nyutongacha bo'lgan olim va faylasuflarni birdek ajablantirib, o'ylantirib va shubhaga solib kelgan.

Nyuton, o'zini Keplerning sayyoralar orbitasi fazoda ellips chizishini, ushbu ellips fokusida esa Quyoshning markazi turishini uqtiruvchi qonunlaridan birini nazariy jihatdan qayta keltirib chiqarganini fahmladi. Lekin nazariyot va kuzatuvning bunday mos kelishining o'zi Nyutonni qanaotlantiradi. U mazkur nazariya bo'yicha, sayyoralar orbitasining elementlarini hisoblash mumkinmi, ya'ni, sayyoralar harakatining barcha tafsilotlarini aniqlash imkoni bo'ladimi – yo'qmi, amin bo'lmoqchi edi. Dastlabki paytlarda unga omad kelmay turdi.

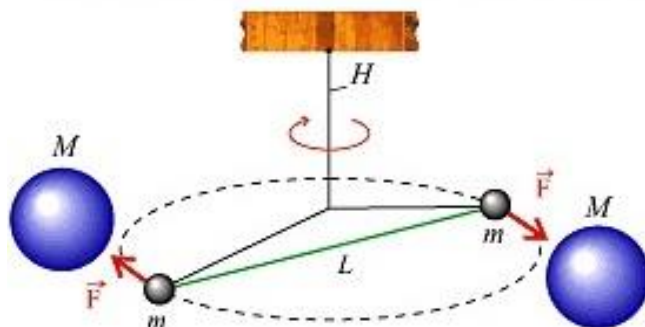
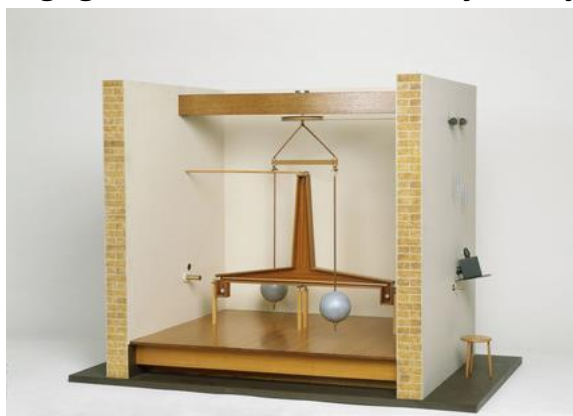
1683 yilning oxirida Nyuton Qirollik jamiyatiga o'zining Butun olam harakat qonunlari haqidagi ta'limotini, sayyoralar harakatiga oid qator teoremlar ko'rinishida bayon qildi. G'oya shunchalik dohiyona ediki, u orqali keladigan mashhurlik va obro' – e'tiborni baham ko'rish maqsadidagilar, uni o'zlashtirib olishga urinuvchi yoki, hasad qiluvchilar umuman topilmadi. Chunki, bu ta'limotning mohiyatini anglovchilarning o'zi nihoyatda sanoqli edi. Shubhasizki, Nyutondan avval ham bir necha ingliz olimlari mazkur muammoning yechimiga yaqin kelishgan edi. Lekin, savolning qiyinligini anglash, uni yechishni ham bilish degani emas. Nyuton – Butun olam harakat sirlarini ochgan buyuk daho sifatida insoniyat tarixida o'chmas iz qoldirdi⁸.

2. Kavendish tajribasi - Yerning gravitatsion tortishish doimiysi va uni aniqlash tajribasi. Bu tajribani 1798 yilda birinchi bo'lib Britaniyalik fizik Genri Kavendish o'tkazgan. U buralma tarozi deb ataladigan asbob yordamida sharlar

⁷<http://old.islom.uz/content/view/1139/1/>

⁸ <http://orbita.uz/index.php?option=com>

orasidagi tortishish kuchini o'lchadi. Tajriba qurilmasi mustahkam fundamentga o'rnatilgan quticha ichiga joylangan. Qutichaning qopqog'iga vertikal holda o'q o'rnatilgan bo'lib, uni aylantirish mumkin. O'qning pastki qismiga sterjen gorizontal holda mahkamlangan va uning uchlariga og'ir massali o'zaro teng M va M qo'rg'oshin sharlar osilgan. Ikkinchi bir gorizontal sterjenga mahkamlangan yana ikkita u qadar katta bo'lmagan massalari aniq o'lchangan, bir-biriga teng, qo'rg'oshin sharchalar kvars ipga osilgan. Kavendish og'ir sharlar osilgan o'qni burab, har birining massasi M bo'lgan ikkita qo'rg'oshin sharchalarni m massali sharchalar yaqiniga keltirdi. Bu vaqtda yengil sharlar osilgan sterjen ma'lum burchakka burilganini payqadi. M va m orasidagi gravitatsion tortishish sterjenni aylanishga majbur qiladi va kvars ip buraladi.

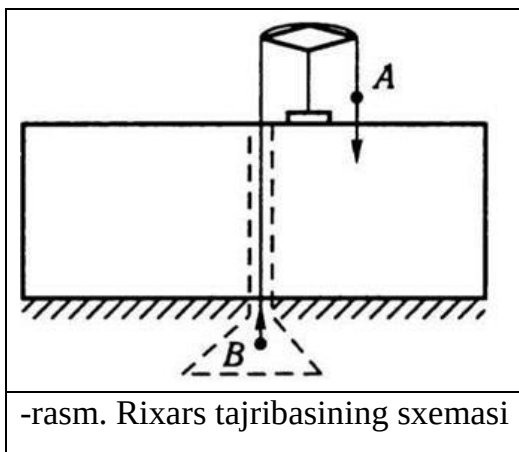


1-rasm. Genri Kavendish buralma tarozisining modeli

U yengil sharlar osilgan sterjenni ko'tarib turgan o'qning burilishga ko'rsatgan qarshiligini va burilish burchagini o'lchadi. Natijada M va m , M va m sharlar orasidagi umumiy tortishish kuchi $2F$ ni hisoblash imkoniyatiga ega bo'ldi va m bilan M massalar orasidagi masofani aniq o'lchab oldi. Natijada u Yerning gravitatsion doimiysini hisoblab topdi.

Kavendish tajribasida $m = 730 \text{ g} = 0,73 \text{ kg}$; $M = 158 \text{ kg}$ bo'lgan. Kavendish tajribasi bir necha marta qaytarilib, $G = 6,685 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ekanligi ma'lum bo'ldi. Bu tajribaga asoslanib Yer va boshqa sayyoralar massalari aniqlanadi. Kavendish hisoblab topgan gravitatsion doimiysining qiymati undan keyingi topilgan qiymatlardan atigi 1% ga farq qildi xolos.

3. Rixars tajribasi: 1898 yilda G.Kavendishning 100 yilligi munosabati bilan F.Rixars gravitatsiya doimiysini hisoblash uchun boshqa usulni qo'lladi. Tarozi shayinining uchlariga katta aniqlikda teng massali ikkita A va B sharlar osilgan. Sharlar osilgan iplarning massalari ham e'tiborga olindi.



Bu sharlar o'zaro muvozanatlashishi kerak edi. Lekin ularning biri A 100 t massali qo'rg'oshin ustida, ikkinchi B shar esa qo'rg'oshin ostida joylashganligi uchun qo'rg'oshinning tortishish kuchi natijasida sharlarning biri yengillashib, ikkinchisi og'irlashadi. A shar qanchaga og'irlashsa, B shar shunchaga yengillashadi. Shuning uchun muvozanat buzilib, A shar og'ir keladi.

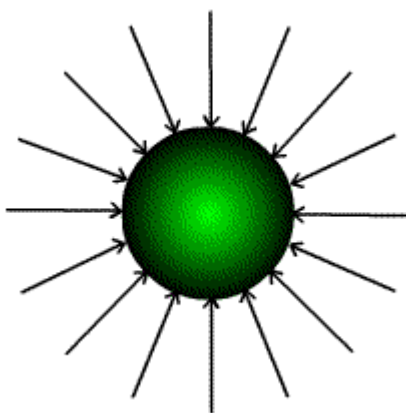
Muvozanatni tiklash uchun B yelkaga qo'yilishi kerak bo'lgan qo'shimcha kuch sharlarni qo'rg'oshin devor tortadigan $2F$ kuchga tengdir. Gravitatsiya doimiysini bunday aniqlash usuli eng aniq usuldir⁹.

Bir-biridan uzoqda turuvchi jismlar aloqada bo'ladi. Yer, Quyosh va boshqalar. Bu jismlar materiyani alohida formasi bo'lgan maydon orqali ta'sirlashadilar. Har bir jismni atrofida o'z maydoni mavjud. Umuman maydon bu biror kuch ta'siri seziladigan fazo sohasidir. Tortishish kuchlari yoki ta'siri seziladigan soha **tortishish (gravitatsion) maydoni** deb ataladi. Olamdagi hamma jismlar tortishish maydoni ta'sirida bo'ladilar. Xarakteristikalar bo'lib, kuchlanganlik va potentsiali hisoblanadi.

4. Tortishish maydonining kuchlanganligi bilan tanishib chiqaylik. Buning uchun gravitatsion maydonni biron ixtiyoriy nuqtasiga "sinov jism" ni kiritish kerak. Uni o'lchami juda kichik va massasi juda oz bo'lishi kerak. Unga ta'sir kiluvchi kuch $F = m_c G$ (3-2) bo'ladi. Bunda $G = F / m_c$ (3-3) maydon kuchlanganligidir va u maydonning kuch xarakteristikasi bo'lib, xizmat qiladi. Birligi: N/kg. (3-2) ni e'tiborga

olsak $G = \gamma \frac{Mm}{m_c r^2} = \gamma \frac{M}{r^2}$ (3-4) chiqadi. Demak, maydon kuchlanganligi maydonni

hosil qiluvchi jism massasi va shu jism bilan maydonning ayni bir nuqtasigacha bo'lgan masofaga bog'liq kattalik ekan.



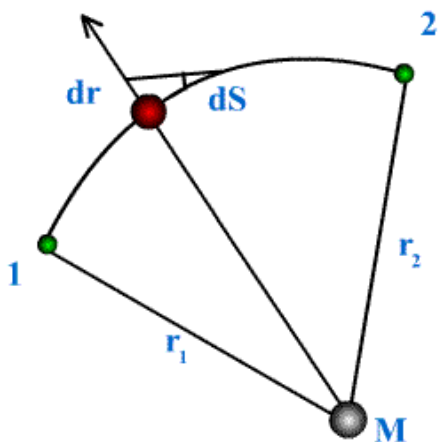
Maydonni grafik tasvirlash uchun kuch chiziqlari tushunchasi kiritiladi. Kuchlanganlik vektori G - urinma bo'lgan chiziq kuch chizigi deyiladi.

Biror moddiy nuqtaning gravitatsion maydonini kuch chiziqlari shu nuqta tomon radial to'g'ri chiziq bo'ladi. Kuchlanganlik G vektori radius bo'ylab maydon markazi tomon yo'nalgan maydon markaziy maydon deyiladi. Agar maydon bir necha jismlar tomonidan yuzaga keltirilgan bo'lsa superpozitsiya

⁹ Дусмуратов М.Б. Физика. Тошкент.: 2015. 40-бет.

printsipi o'rinli bo'lishi kerak

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots G_n = \sum_{i=1}^n G_i \quad (3-5)$$



Tortishish maydonining yana bir xarakteristikasi **potentsialdir**: Buni tushunish uchun gravitatsion maydonda jismni ko'chirishda bajarilgan ishni topish kerak. Aytaylik m moddiy nuqta qo'zgalmass M jismdan ularni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab uzoqlashayotgan yoki yaqinlashayotgan bo'lsin. U holda juda kichik dr ko'chishda tortishish maydonining bajargan ishi markaziy kuch tomonidan bajarilib bu kuch radial

yo'nalishga ega. Shuning uchun

$$dA = F_T dS \cos \alpha = F_T dr \quad (3-6) \quad dr = dS \cos \alpha \quad (3-7)$$

$$A_{12} = \int_{r_1}^{r_2} F_T dr = \int_{r_1}^{r_2} \gamma \frac{Mm}{r^2} dr = \gamma \frac{Mm}{r_2} - \gamma \frac{Mm}{r_1} = \gamma \frac{Mm}{r_1} - \left(-\gamma \frac{Mm}{r_2} \right) = W_{p1} - W_{p2} \quad (3-8)$$

Bundan ko'rinadiki, tortishish kuchlari konservativ kuchlar bo'lib, jismni tortishish kuchi maydonida ko'chirishda bajarilgan ish jismning potentsial energiyasini

kamayishiga teng bo'lar ekan. $W_p = -\gamma \frac{M \cdot m}{r}$ (3-9) deb belgilandi.

Demak, Yerning tortish maydonida jismni ko'chirishda bajarilgan ish yo'lining uzunligiga va shakliga bog'liq bo'lmay balki Yer bilan jismni bir biriga nisbatan egallangan holatiga bog'liq ya'ni potentsial energiya ko'rinishida bo'ladi.

$$\text{Bunda} \quad \varphi = -\gamma \frac{W_p}{m} = -\gamma \frac{M}{r} \quad (3-10) \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i \quad (3-11)$$

Kuchlanganlik maydonni kuch xarakteristikasi, potentsial esa energetik xarakteristikasi ekan. Ular orasidagi bog'lanishni topaylik. Maydon markazidan r uzoqlikdagi m jismni dr ga siljitish uchun $F \cdot dr$ ish bajariladi. Bu ish jismni potentsial energiyasini $-dW_p$ ga o'zgartiradi. $dA = Fdr = -dW_p$ (3-12) $F = -\frac{dW_p}{dr}$ (3-13)

$$G = \frac{F}{m} = -\frac{dW_p}{m dr} = -\frac{d\left(\frac{W_p}{m}\right)}{dr} = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (3-14)$$

Yoki potentsial bir xil bo'lgan nuqtalar ekvipotentsial sirtlarni hosil kiladilar $\vec{G} = -grad\bar{\varphi}$ (3-15) potentsial gradientidir. Sun'iy kosmik jismlar - yuldoshlar, sayyoralar, yulduzlarni uchirish uchun ularga kosmik tezliklar berish kerak. Ular 3 xil bo'ladi.

5. Kosmik tezliklar. Ekvivalentlik prinsipi: *Birinchi kosmik tezlik:* Jism Yer yaqinida doiraviy orbita bo'ylab harakatlanishi ya'ni sun'iy yo'ldosh bo'lib qolishi uchun (Yerdan uncha baland bo'lmaganda $r \approx R_0$) $mg = \gamma \frac{Mm}{R_0^2}$ (3-16) $g = \gamma \frac{M}{R_0^2}$ (3-17)

$$\frac{mv^2}{R_0} = \gamma \frac{Mm}{R_0^2} \quad (3-18) \quad v^2 = gR_0 \quad (3-19)$$

$$v = \sqrt{gR_0} = \sqrt{9.8 \cdot 6.4 \cdot 10^6} = 7900 \text{ m/s} = 7.9 \text{ km/s} \quad (3-20)$$

Agar tezlik v_1 dan sal katta bo'lsa jism elliptik orbita bo'yicha harakatlanadi.

Ikkinchi kosmik tezlik: Jism Yer tortish doirasidan chiqib sun'iy sayyora aylanishi uchun unga Yerdan cheksizlikka siljish ishiga teng kinetik energiya berish kerak

$$\frac{mv_2^2}{2} = \gamma \frac{Mm}{R_0} \quad (3-21) \quad v_2^2 = 2\gamma \frac{M_{Yer}}{R_0} = 2gR_0 \quad (3-22)$$

$$v_2 = \sqrt{2gR_0} = \sqrt{2}v_1 = 11.2 \text{ km/s} \quad (3-23)$$

bunday tezlikda jism parabolik orbita bo'yicha harakatlanib Yer tortish doirasidan chiqib ketadi.

Uchinchi kosmik tezlik: Jism Yer sirtida uchirish paytidagi uning kinetik energiyasi kamida uni Yerning ta'sir doirasidan chiqarish uchun zarur bo'ladigan energiya bilan mazkur nuqtadan Quyosh atrofidagi parabola bo'ylab harakatlanishi uchun zarur bo'lgan energiya yig'indisiga teng bo'lishi zarur

$$\frac{mv_3^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} \quad (3-24) \quad \text{bundan } v_3 = \sqrt{v_2^2 + v_1^2} = 16.7 \text{ km/s} \quad (3-25)$$

Bu uchinchi kosmik tezlik deb ataladi. Bunday tezlikka ega bo'lgan jism faqat Yerning tortish kuchinigina emas, balki Quyoshning tortishini yengib, Quyosh sistemasi doirasidan yulduzlararo fazoga chiqib ketadi.

Ekvivalentlik prinsipi: Shunday qilib massa ikkita har xil qonunlarda uchraydi:

$$F = ma \quad (3-26 \text{ va}) \quad F = \gamma \frac{M \cdot m}{r^2} \quad (3-27).$$

Birinchida u jismni inertlik xossalarini, ikkinchida esa tortishish xossalarini xarakterlaydi. Shu sababli inert massa va gravitatsion massalar har xilmi degan savol tug'ilishi tabiiydir. Bunga faqat tajriba javob beradi. Jismlarni erkin tushishini ko'raylik ma'lumki, Yerga yaqin jismlar

$$F = \gamma \frac{M_{Yer} m_{gr}}{R_0^2} \quad (3-28) \quad \text{kuch bilan tortiladilar va shuning natijasida tezlanish oladi:}$$

$$a = \frac{F}{m_{iner}} = \gamma \frac{M}{R_0^2} \cdot \frac{m_{gr}}{m_{iner}} \quad (3-29)$$

Tajriba hamma jismlar uchun tezlanish bir xil bo'lishini ko'rsatadi. $\gamma \frac{M}{R^2}$

ko'paytma doimiydir. Bundan $\frac{m_{grav}}{m_{iner}}$ nisbat hamma jismlar uchun bir xil bo'ladi degan

xulosaga olib keladi. Lorand Etyosh (venger fizigi 1887), Robert Genri Dikke (Amerikalik fizik 1964), Vladimir Borisovich Braginskiy (Rossiya) va Vladimir Ivanovich Panov (Rossiya, 1971) tajribalari yuqoridagi fikrni tasdiqladi: Demak

$$\frac{m_{grav}}{m_{iner}} \approx 1. \quad \text{Bu fikr fanda ekvivalentlik prinsipi deb nom olgan.}$$

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Yer sirtidan uchirilgan kosmik kemandagi ikkinchi kosmik tezligi aniqlansin. Eslatma: Ikkinchi kosmik yoki parabolik tezlik deb, jism Yer sirtidan cheksizlikka uzoqlashishi uchuniga berilishi zarur bo'lgan eng kichik tezlikka aytiladi. Bunda havoning qarshiligi hisobga olinmaydi va jismga faqatgina Yerning tortish maydoni ta'sir qiladi deb faraz qilinadi.
2. Kosmik kema tik yo'nalishda uchirish maqsadida yer sirtida o'rnatilgan. Kema Yer sirtidan uning radiusiga teng (6,37 Mm) masofaga uzoqlashishi uchun uchirishda kemaga qanday eng kichik tezlik berilishi kerak? Kosmik kema va Yerning o'zaro tortishish ta'sir kuchidan boshqa kuchlar inobatga olinmasin.
3. Yerning sirtidan tashqarida uning markazidan r masofada joylashgan m massali jismning Yer bilan tortishish o'zaro ta'sir potensial energiyasining ifodasi topilsin. $W_p(r)$ bog'lanish grafigi tuzilsin.

4. Yerning tortishish maydonida Yer markazidan $3R$ masofadagi nuqtada joylashgan m massali jism $2R$ masofadagi nuqtaga ko'chadi. Agar jismning birinchi nuqtadagi tezligi $v_1 = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ km/s}$ bo'lsa, jismning ikkinchi nuqtadagi tezligi aniqlansin. Erkin tushish tezlanishi g ma'lum deb hisoblansin.
5. Yer sirtidan qanday balandlikda tortishish maydoni kuchlanganligi $G_h = 1 \text{ H/kg}$ bo'ladi? Yerning radiusi R ma'lum deb hisoblansin.
6. Har birining diametri 20 sm dan bo'lgan, bir-biriga tegib turgan ikkita iyemir sharning o'zaro tortish kuchi aniqlansin.
7. Mars sayyorasining radiusi $3,4 \text{ Mm}$, uning massasi $6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$. Mars sirtidagi tortishish maydoni kuchlanganligini aniqlang.
8. Yer va Quyosh sirtlaridagi tortishish maydoni potensialining qiymatlarini aniqlang¹⁰.
9. Vostok-2 kosmik yo'ldoshning Yer sirtidan minimal uzoqlashishi 183 km , maksimal uzoqlashishi esa 244 km . Yo'ldoshning Yer atrofida aylanish davrini toping.
10. Mars planetasining ikkita yo'ldoshi bor – Fobos, Deymos. Birinchisi Mars markazidan 9500 km masofada joylashgan, ikkinchisi esa, 24000 km masofada joylashgan. Bu yo'ldoshlarning Mars atrofida aylanish davrlarini toping¹¹.
- 11.7. CH 4-9. Yerning massasi Oyning massasidan $81,6$ marta katta. Yer va Oyning massa markazlari orasidagi masofa $60,3R$ (R -Er radiusi) ga teng. Yer va Oy tortishish maydonlari kuchlanganliklari yig'indisi nolga teng bo'lgan nuqta Yer markazidan qanday masofada (R larda hisoblaganda) bo'ladi?
12. Yerning Janubiy va Shimoliy qutblaridan bir vaqtda ikkita raketa bir xil tezliklar bilan gorizontaal yo'nalishda harakatga keltirildi. $\tau = 3 \text{ soat } 20 \text{ min}$ vaqtda raketalar bir-biridan maksimal uzoqlikda bo'ldilar. Raketalar orasidagi maksimal masofani aniqlang. Yer sirtida erkin tushish tezlanishi ma'lum deb oling. Yer radiusi 6400 km .

¹⁰ Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 72-82 бетлар.

¹¹ Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Москва.: Наука. 1976. 52-53 стр.

4-§. Erkin tushish tezlanishini aniqlash metodlari

- 4.1. Erkin tushish tezlanishining Yerning o'rtacha zichligiga bog'liqligi;
- 4.2. Yer sirtidan balandlik va chuqurlikka bog'liqligi;
- 4.3. Erkin tushish tezlanishining joyning geografik kengligiga bog'liqligi.

1. Erkin tushish tezlanishining **Yerning o'rtacha zichligiga** bog'liqligi: Yer uch o'qli ellipsoid shaklida bo'lib, shar shakliga taxminan yaqin. Yer sharining har bir zarrasi uning markaziga tortilib turadi. Yerning ichki qismidagi qatlam ustidagi qatlamning og'irligidan ham eziladi. Shuning uchun Yer markaziga kirib borgan sari zichlik ortib boradi degan xulosa kelib chiqadi. Bundan tashqari og'irroq elementlar ichkariroqdan joy egallashi tabiiy. Yerning o'rtacha zichligi 5500 kg/m^3 bo'lib, Yerning yuza qatlamlari zichligi o'rtacha zichlikdan kichik va Yer markaziga yaqin qatlamlar zichligi o'rtacha zichlikdan katta bo'ladi. Yerning turli chuqurliklaridagi zichligini tekshirish ishlarini Dejendr boshlagan bo'lib, ko'p olimlar bu tekshirishlarni davom ettirgan. Urning o'rtacha zichligini uning massasi va radiusidan foydalanib aniqlash mumkin:

$$\rho_{o'rt} = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi \cdot R_{o'rt}^3} = \frac{3M}{4\pi \cdot R_{o'rt}^3} = 5507 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4-1)$$

Yerning o'rtacha radiusi – bu Yer ellipsoidining hajmiga teng bo'lgan sharning hajmidir. Yer sirtida erkin tushishi tezlanishining o'rtacha qiymati o'rtacha Yer radiusiga quyidagicha bog'langan: $g_{o'rt} = \frac{4}{3}\pi \cdot G\rho_{o'rt}R_{o'rt} = 9,8025 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (4-2)

2. Erkin tushish tezlanishining Yer sirtidan **balandlik va chuqurlikka** bog'liqligi: Kinematika bo'limidan ma'lumki, Yer sirtiga yaqin nuqtalarda erkin tushish tezlanishining o'rtacha qiymati $g_0 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ga teng. Buni birinchi bo'lib G.Galiley aniqlagan. Lekin Yer sirtidan ko'tarilib borgan sari erkin tashlangan jism $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ dan kichik tezlanish bilan harakat boshlar ekan. Yerga yaqinlashgan sari erkin tushish tezlanishining qiymati oshib borib. Yerga urilishda $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ga erishar ekan. Chunki ancha baland nuqtada turgan jism Yerga kuchsizroq tortiladida. Agar Yer sirtida o'rtacha erkin tushish tezlanishi g_0 bo'lsa, Yer sirtidan h balandlikdagi erkin tushish tezlanishi quyidagicha aniqlanadi: $g_h = g_0\left(\frac{R}{R+h}\right)^2 = g_0\left(\frac{R}{R+h}\right)^2$ (4-3)

Yerga chuqurlashib borgan sari erkin tushish tezlanishi qanday o'zgarib borishini ko'raylik. Yerning radiusini R deb, Yer markazidan $r < R$ masofada joylashgan ixtiyoriy k nuqtaning tortilishini tekshiraylik. – k nuqta r radiusli ichki sferoid tomonidan va $R - r$ qalinlikdagi tashqi shar qatlami tomonidan tortilib turadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, k nuqtaga tashqi shar qatlamining ayrim nuqtalari tomonidan ta'sir qiladigan kuchlar kompensatsiyalashib, faqat r radiusli ichki sferoidning ta'sirigina qoladi xolos. Ichki sferoidning massasi Yer shari massasidan kichik bo'lgani sababli k nuqta Yer sirtidagidan kamroq kuch bilan tortiladi. Shuning uchun Yerning ichki qismida erkin tushish tezlanishi $9,81 \frac{m}{s^2}$ dan kichik chiqadi. Agar Yer sharining zichligini bir jinsli

desak, sfera ichidagi massa $m = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho_{o'rt}$ (4-4) Bu holda k nuqtada birlik

massaga ta'sir qiluvchi kuch o'sha nuqtadagi tezlanishni beradi: $g_h = g_o \frac{r}{R} = g_o \frac{R-r}{R}$ (4-5)

Demak, erkin tushish tezlanishi Yer sirtida maksimal bo'lib, chuqurlashib borgan sari chiziqli ravishda kamayib boradi va Yer markazida nolga teng bo'ladi. Biroq Yerning o'zagi og'ir metallardan (temir, nikel, kobalt ...) tashkil topgan bo'lib, uning o'rtacha zichligi 90000 kg/m^3 dan ortiq. Yer qobig'ining o'rtacha zichligi esa, 2500 kg/m^3 ga teng. Shuning uchun Yer ichiga chuqurlashib borganda dastlab 40 km ga yaqin chuqurlikda, ya'ni Yer qobig'i bilan ruda qatlami orasida o'zining maksimal qiymatiga erishadi. So'ngra Yer markaziga yaqinlashgan sari erkin tushish tezlanishi chiziqli bog'lanishga qaraganda sekinroq kamayadi.

3. Erkin tushish tezlanishining **Yerning geografik kengligiga** bog'liqligi: Ko'pincha Yer sharini dumaloq deb ataymiz. Lekin Yer aniq shar shaklida bo'lmay, shar shakliga yaqin uch o'qli ellipsoiddan iborat ekan. Yerning sutkalik aylanma harakatida markazdan qochuvchi inersiya kuchi vujudga keladi va bu kuch Yer ekvatorida eng katta bo'ladi. Shuning uchun Yer radiusi ekvatorida eng katta, qutbda esa eng kichik bo'ladi. O'z navbatida erkin tushish tezlanishining qiymati ham ekvatorida eng kichik, qutbda esa eng katta bo'ladi. Ekvator va qutbdagi nuqtalardan Yer markazigacha masofalar taxminan 20 km ga farq qiladi. Bu nuqtalardagi tezlanishlar quyidagicha:

$$g_{ekv} = G \frac{M}{R_{ekv}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,965 \cdot 10^{24}}{(6,378 \cdot 10^6)^2} = 9,78064 \frac{m}{s^2} \quad (4-6)$$

$$g_{qutb} = G \frac{M}{R_{qutb}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,965 \cdot 10^{24}}{(6,358 \cdot 10^6)^2} = 9,8422 \frac{m}{s^2} \quad (4-7)$$

Erkin tushish tezlanishining dengiz sathida va har xil kengliklardagi qiymatlarini aniqlash uchun 1930 yilda Xalqaro geodezik kongress tomonidan quyidagicha formula qabul qilindi:

$$g = 9,78049 \cdot (1 + 0,005288 \cdot \sin^2 \varphi - 0,000006 \cdot \sin^2 \varphi) \quad (4-8)$$

Bu formuladan foydalanib, erkin tushish tezlanishining dengiz sathidagi va har xil kengliklardagi qiymatlarini hisoblab topish mumkin.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Yer ekvatorida jismlar vaznsiz bo'lishi uchun bir sutka necha soatga teng bo'lishi kerak?
2. Agar qutbda ekvatorga nisbatan jism og'irligi ikki barobar katta bo'lsa, sharsimon planetaning zichligi topilsin. Planetaning o'z o'qi atrofida aylanish davri $T=2$ soat 40 min ga teng.
3. Evkatorida qutbiga nisbatan prujinali tarozi 10% kam ko'rsatadigan planetaning o'rtacha zichligi topilsin. Planetada bir sutka $T=24$ soatga teng¹².
4. Ma'lumki, planetaning aylanishi tufayli og'irlik kuchi qutbdagiga qaraganda ekvatorida kam bo'ladi. Planeta sirtidan qanday h balandlikda qutbda og'irlik kuchi ekvatoridagi og'irlik kuchiga tenglashadi? Planetani radiusi R bo'lgan shar deb hisoblang. Planetaning o'z o'qi atrofida aylanish davri T , moddaning o'rtacha zichligi ρ .
5. Ch 4-7. Yerning radiusi Oyning radiusidan 3,66 marta katta. Yerning o'rtacha zichligi Oyning o'rtacha zichligidan 1.66 marta katta. Yer sirtidagi erkin tushish tezlanishi g ni ma'lum deb hisoblab, Oy sirtidagi erkin tushish tezlanishini aniqlang.
6. Ch 4-8. Kichik bir sayyoraning radiusi 250 km, o'rtacha zichligi 3 g/sm^3 . Sayyora sirtidagi erkin tushish tezlanishini aniqlang.
7. Ch 4-24. Hamma nuqtalaridagi zichligi bir xil deb hisoblash mumkin bo'lgan sayyoradagi erkin tushish tezlanishi g ning uning markazidan boshlab hisoblangan masofaga bog'lanishi topilsin. $g(r)$ bog'lanish grafigi chizilsin. Sayyoraning radiusi R ni ma'lum deb oling.
8. Biror bir planetaning ekvatorida qutbiga nisbatan jismlar ikki barobar kichik og'irlikka ega. Planeta moddasining zichligi $\rho=3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Planetaning o'z o'qi atrofida aylanish davrini aniqlang.
9. 1 m balandlikdan po'lat plitaga 100 g massali sharcha erkin tushadi va 0.5 m balandlikka sakraydi. Plita tomonidan sharchaga qanday kuch impulsi uzatilganligini aniqlang.

¹² Турсунметов К.А., Узоқов А.А., Бўрибоев И, Худойбергенов А.М. Физикадан масалалар тўплами. Академик лицей ва касб ҳунар коллежлари учун ўқув қўлланма. Т.: Ўқитувчи. 2005. 58-бет.

10. Massasi $m_1 = 300 \text{ g}$ bo'lgan jism $N = 10 \text{ m}$ balandlikdan erkin tushadi $h = N/2$ balandlikda jismga massasi $m = 10 \text{ g}$, tezligi 400 m/s bo'lgan gorizontal uchib ketayotgan o'q tegib jism ichida qolib ketadi. To'qnashishdan keyin jism tezligini va tezlikning gorizontal tashkil etuvchisi hosil qilgan burchakni toping.
11. Yer sirtini ekvatorida yotgan nuqtalarni chiziqli tezligi v ni va markazga intilma tezlanishi a_μ ni aniqlang.
12. Massasi $m=30 \text{ t}$ bo'lgan reaktiv samolyot $v=1800 \text{ km/soat}$ tezlik bilan ekvator bo'ylab G'arbdan Sharqqa tomon uchmoqda. Agar samolyot shu tezlik bilan Sharqdan G'arbgga qarab uchsa, ko'tarish kuchi qanchaga o'zgaradi?
13. Jism ekvator bo'ylab Yer sirtiga parralel ravishda uchishi uchun unga qanday gorizontal tezlik bermoq lozim? Ekvatorda Yerning radiusini $R=6400 \text{ km}$, og'irlik kuchi tezlanishini $g=9.7 \text{ m/s}^2$ deb olish mumkin.

5-§. Molekulalarning tezliklarini aniqlash.

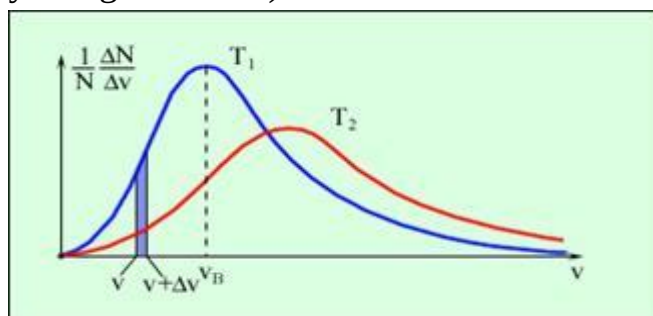
5.1. Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti;

5.2. Shtern tajribasi.

1. Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti: Gazlarda molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasini J.Maksvell nazariy yo'l bilan ehtimollar nazariyasi asosida aniqladi. Maksvell qonuni deb ataluvchi Maksvell taqsimot funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$f(v) = \frac{\Delta n}{n \Delta n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 \cdot e^{-\frac{\mu v^2}{2RT}} \quad (5-1)$$

Bu yerda n - molekulalarning umumiy soni, μ - gazning molyar massasi, R - universal gaz doimiysi, e - natural logarifm asosi. Bu formula asosida Maksvell molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimotini aniqladi. Masalan: 140°C temperaturada azot molekulalarining eng katta ehtimoliy tezligi 500 m/s, 300 m/s dan 700 m/s gacha tezlik bilan harakatlanadigan molekulalar 59 % ni tashkil qiladi, 12,6 % molekulalar kichik tezlik bilan harakat qiladi, 28,4 % molekulalar katta tezlik bilan harakat qiladi (molekulalarning umumiy soniga nisbatan).



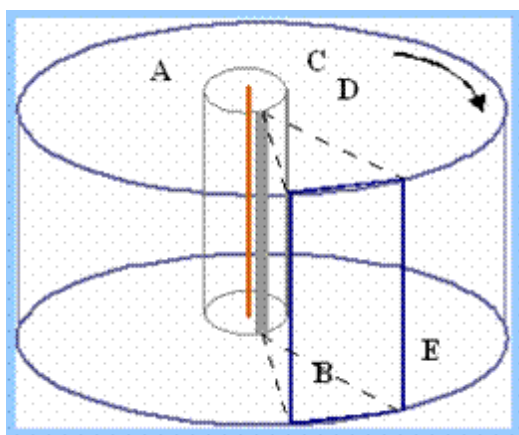
5.1-rasm. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti $T_2 > T_1$

2. Shtern tajribasi: Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti Maksvell taqsimotiga mos kelishini eksperimental tekshirish maqsadida birinchi marta 1920 yilda nemis olimi Otto Shtern tomonidan tajriba o'tkazildi. Tajribada modda tuzilishining molekulyar kinetik nazariyasi to'g'riligi amalda isbotlandi. Molekulalarning isiqlik harakati tezligi bevosita o'lchandi va gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti mavjudligi tasdiqlandi.

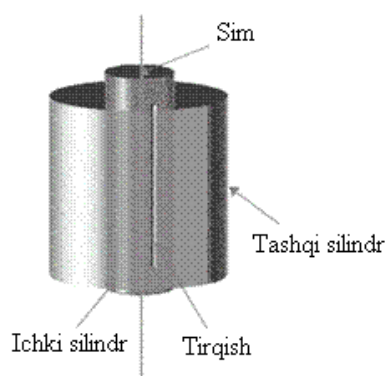
Tajribada molekulalar manbai sifatida kumush bilan qoplangan platina sim olingan. Platina simni elektr toki bilan yuqori haroratgacha qizdirilganda (962°C), kumush intensiv bug'langan, kumush atomlari issiqlik harakati tezligi bilan uchib chiqishi natijasida hosil bo'lgan gazdan foydalanilgan. Bug'langan kumush atomlari qarshiliksiz harakatlanishi uchun qizdiriladigan sim havosi so'rib olingan idishga (vakuumga) joylashtirilgan. Atomlar dastasini hosil qilish uchun ularning yo'liga

ingichka tirqishli to'siq qo'yilgan. Kumush atomlari tirqish orqali o'tib, jez plastinaga tushgan va tirqish qarshisida ingichka kumush iz ko'rinishida o'tirgan. Maxsus asbob yordamida butun qurilma jez plastina sirtiga parallel yo'nalgan o'q atrofida katta burchak tezlik bilan aylantirilganda atomlar harakatining turli tezliklariga to'g'ri keladigan atomlar soni turlicha bo'lishi sababli, kumush iz yoyiladi va uning qalinligi ham turlicha bo'ladi. Qatlamning eng qalin sohasiga eng katta ehtimolli tezlik bilan harakatlanayotgan atomlar o'tiradi. Tajribada aynan shu eng katta ehtimolli tezlik aniqlangan va uning qiymati nazariy hisoblangan qiymat bilan mos tushgan.

Atomlar oqimi B tirqishdan o'tib (5.2-rasm), undan l m masofadagi tashqi ekranda D iz qoldirgan. Tajribani ikkinchi qismida butun qurilma qizdirilgan tola atrofida 2500-2700 aylana/minut tezlik bilan aylantirilgan.



5.2-rasm. Tajriba sxemasi



5.3-rasm. Tajriba qurilmasi

Aylantirish tufayli ilgari D nuqtaga kelib tushgan atomlar oqimi siljib, ekranning ekranning D' nuqtaga kelib tushgan. Bu nuqtalar orasidagi s siljishni hisoblaylik.

Kumush atomlarining tezligi v bo'lsa l masofaga yetib borishi uchun $\frac{l}{v}$ vaqt kerak

bo'lgan, bu vaqt ichida ω burchak tezligi bilan aylanayotgan ekran $s = \frac{l}{v} \omega \cdot R$ (5-2)

masofaga siljishga ulgurgan. Atomlarning tezliklari turlicha bo'lgani uchun, atomlarni ekrandagi izi D' yoyilgan va notekis bo'lgan. Tajribada olingan s masofalar intervalini o'lchab, atomlarni o'rtacha tezligi hisoblangan. Bu tezlik ikkinchi bo'limdagi

$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ (5-3) formula bo'yicha hisoblangan o'rtacha kvadratik tezlik bilan sifat

jihtadan mos keldi, atomlarni turli tezliklar bilan harakatlanishini tasdiqladi.

Shtern tajribasidagi qiyinchilik shundan iborat bo'lganki, o'lchanadigan s masofalar 1mm atrofida bo'lib, D' izlarni yoyilishi sonli o'rganilishi qiyin edi. Shuning uchun bu sohadagi tajribalar davom ettirildi. 1927 yilda Eldridj va Lammert

molekulalarni tezliklar bo'yicha taqsimotini o'rganish uchun yorug'lik tezligini o'lchash uchun Fizo tajribasidagi tishli g'ildiraklar metodini qo'llashdi. Miller va Kush 1955 yilda o'tkazishgan tajribalarida molekulalar dastasidan bir xil tezlikli zarralarni ajratib olish uchun aylanuvchi tsilindrda burchak ostida joylashgan shunday tirqishlar teshishdiki, silindr ω tezlik bilan aylanayotganda bu tirqishdan faqat bir xil tezlikli zarralargina o'tgan. Shtern tomonidan o'tkazilgan boshqa tajribalarda esa atomlarni ekranda yoyilib tushishi shaffof ekranda o'rganildi, natijada izni nozik optik metodlar bilan o'rganish mumkin bo'ldi. Bu tajribalar zarralarni tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimotiga bo'ysinishini turli aniqliklar bilan tasdiqladi.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. 10^{-8} g massali chang zarrachasi havoda muallaq turibdi. Havo qatlamining chang zarrachalarining konsentratsiyasi 1% dan ko'pga farq qilmaydigan qalinligi aniqlansin. Butun hajmda havoning temperaturasi bir xil va 300 K ga teng.
2. Idishda modda miqdori 1,2 mol' bo'lgan gaz saqlanadi. Bu gazni ideal gaz sifatida qarab, tezliklari eng katta ehtimoliy tezlikning 0,001 qismidan kam bo'lgan molekulalar soni aniqlansin.
3. Radon bilan to'ldirilgan sentrifuganing rotori 50 Gs chastota bilan aylanmoqda. Rotorning radiusi 0,5 m. Agar rotor markazidagi bosim P_0 normal atmosfera bosimiga teng bo'lsa, gazning rotor devorlariga bosimi P aniqlansin. Butun hajmda havoning temperaturasi bir xil va 300 K ga teng.
4. Shtern tajribasida atomlarning o'rtacha tezligi 300 m/s va asbobning aylanish chastotasi 20 ayl/s bo'lsa, metall polosaning siljishini toping. Katta silindrning radiusi 10 sm, kichik silindrning radiusini e'tiborga olmang.
5. Agar Shtern tajribasida asbobning aylanish chastotasi 150 s^{-1} bo'lganda kumush molekulasi burchak siljishi 5,40 ni tashkil etsa, kumush molekulasida qanday tezlikka ega bo'ladi? Ichki va tashqi silindrlar orasidagi masofa 2 sm.
6. Qanday T temperaturada ideal gaz molekulasida issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi 1m balandlikdan erkin tushgan 1g massali sharchaning kinetik energiyasiga teng bo'ladi¹³? Bol'sman doimiysi $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.
7. Sentrifugada 271K temperaturadagi muayyan gaz bor. 0,4 m radiusli sentrifuganing rotori 500 rad/s burchak tezlik bilan aylanmoqda. Agar rotor

¹³ Турсунметов К.А., Узоқов А.А., Бўрибоев И, Худойберганов А.М. Физикадан масалалар тўплами. Академик лицей ва касб хунар коллежлари учун ўқув қўлланма. Т.: Ўқитувчи. 2005. 58-бет.

devori yonidagi bosim uning markazidagi bosimidan 2,1 marta katta bo'lsa, gazning nisbiy molekulyar massasi aniqlansin.

8. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasidan eng katta ehtimolli tezlik formulasini keltirib chiqaring.
9. Normal sharoitdagi vodorod 1m^3 hajmni egallab turibdi. SHu hajmda biror $v_{\max}=1\text{ m/s}$ dan kichik tezlikka ega bo'lgan molekulalar soni topilsin.
10. Ideal gaz molekulalarining eng katta ehtimolli impul'si ifodasini keltirib chiqaring.
11. Energiyasi eng katta ehtimolli energiyaga teng bo'lgan ideal gaz molekulasini impul'sining ifodasini keltirib chiqaring.
12. Impul'slari eng katta ehtimolli impul'sga teng bo'lgan ideal gaz molekulalarining soni topilsin¹⁴.

¹⁴ Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 156-158 бетлар.

6-§. Avogadro doimiysini aniqlash metodlari

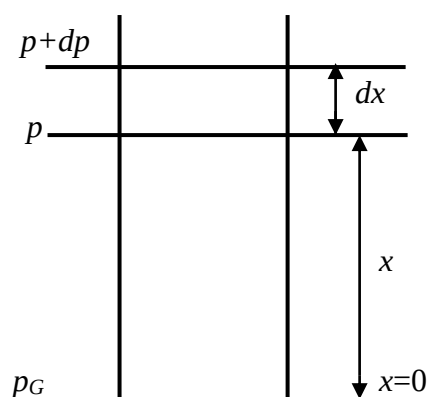
6.1. Barometrik formula;

6.2. Perren tajribasi.

1. Barometrik formula: Molekulalar sonining ulkan ekanligi har bir molekula harakatini alohida o'rganishni keraksiz qilib qo'yadi. Zarralar soni bunchalik katta bo'lganida ularning harakatini xarakterlovchi kattaliklarning o'rtacha qiymatlarinigina, masalan, ularning o'rtacha tezligi, o'rtacha energiyasi va shu kabilarni bilish bilan cheklanish mumkin ekan. Molekulyar sistemalarni o'rganishda biz shu usuldan foydalanamiz. Har qanday moddaning uch agregat holatidan eng soddasi gazsimon holatidir, chunki bu holda molekulalar orasidagi ta'sir qiluvchi kuchlar juda kichik bo'lib, ularni nazarga olmaslik mumkin.

Shuning uchun ham molekulyar fizikani bayon qilish gazlarning xossalarini o'rganishdan boshlanadi. Bunda dastlab molekulalararo kuchlar juda kichikkina emas, hatto batamom yo'q deb faraz qilinadi. Sodda bo'lishi uchun molekulalarning o'lchamlarini ham nazarga olmaymiz, ya'ni ularni moddiy nuqtalar deb olamiz. Bunday qilinganda gaz molekulalarini mutlaqo erkin deb hisoblanishi kerak. Bu degan so'z, ular hech qanday kuch ta'siriga duch kelmagan barcha jismlar harakatlangani kabi to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi demakdir. Binobarin, har bir molekula o'zini idishda boshqa molekula yo'qdek tutadi.

Garchi ma'qul sharoitlarda bu farazlar o'rinli bo'lib, bunday ideallashtirish bizni haqiqatdan unchalik uzoq olib ketmasa-da, kelgusida real gazlarni o'rganishda ulardan voz kechamiz. O'zaro ta'sirlashmaydigan moddiy nuqtalar to'plami singari xossalarga ega bo'lgan gaz *ideal gaz* deb ataladi. Ideal gazlarning kinetik nazariya (GKN) ni bayon qilish bizning birinchi vazifamiz bo'ladi.



6-1-pacm

Molekulyar harakatlar tamomila tartibsiz (xaotik) bo'ladi, u esa shunga olib keladiki, gazning zarralari idishning butun hajmi bo'ylab tekis taqsimlanadi va har bir hajm birligida o'rtacha birday sonda zarralar bo'ladi. Muvozanat holatida gazning bosimi va temperaturasi butun hajm bo'yicha birday bo'ladi. Biroq molekulalarga tashqi kuchlar ta'sir qilmagandagina shunday bo'ladi. Bunday tashqi kuchlar ta'sir qilganda molekulyar harakatlar gazlar tabiatini o'ziga xos o'zgartirib yuboradi.

Masalan, og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan gaz (havo) ni ko'raylik. Agar molekulalarning issiqlik harakati bo'lmaganda edi, ularning

hammasi og'irlik kuchi ta'sirida yerga «qulab» tushar va butun havo yer sirti yaqinida yupqa qatlam hosil qilib to'plangan bo'lar edi. Agar og'irlik kuchi mavjud bo'lmay, molekulyar harakat mavjud bo'lganda edi, molekulalar butun olam fazosi bo'ylab tarqalib ketgan bo'lar edi. Atmosfera - yerning havo qobig'i o'zining hozirgi tarzida ayni bir vaqtda molekulalarning issiqlik harakati (xaotik) va yerga tortishish kuchi borligi tufayli mavjuddir. Shu bilan birga atmosferada molekulalarning balandlik bo'yicha tugal aniq taqsimlanishi mavjud bo'ladi. Molekulalarning shunday taqsimlanishiga mos ravishda gaz bosimining balandlikka bog'liq holda o'zgarish qonuni qaror topadi, bu qonunni topish qiyin emas.

Havoning vertikal ustunini ko'raylik (6-1-rasm). yerning $x=0$ bo'lgan sirtida bosim P_0 ga, x balandlikda esa P ga teng bo'lsin. Balandlik dx ga ortganida bosim dp ga o'zgaradi. Ma'lumki, biror balandlikdagi havoning bosimi yuzi bir birlikka teng bo'lgan shunday balandlikdagi vertikal havo ustuni og'irligiga teng. Shuning uchun dp yuzi bir birlikka teng bo'lgan havo ustunining x va $x+dx$ balandliklardagi og'irliklari farqiga teng, ya'ni asos yuzi bir birlikka teng bo'lgan dx balandlikdagi havo ustuni og'irligiga teng: $dp = -\rho g dx$, bu yerda ρ —havoning zichligi (hajm birligidagi massasi) va g —og'irlik kuchining tezlanishi. Gazning ρ zichligi, ravshanki, molekula massasi t ni ularning hajm birligidagi soni p ga ko'paytirilganiga teng: $\rho = m n$. (6-1). Kinetik nazariyadan ma'lumki, molekulalar soni $n = \rho / kT$. Binobarin, $\rho = m p / kT$ va $dp = -\frac{mg}{kT} p dx$. Bu tenglamani (o'zgaruvchilarni ajratish uchun)

quyidagi ko'rinishda qayta yozish mumkin: $\frac{dp}{p} = -\frac{mg}{kT} dx$. (6-2)

Agar temperatura hamma balandlikda birday deb hisoblasak (umuman aytganda bu noto'g'ri), bu holda bu tenglamani integrallab shunday ifoda olamiz: $\ln p = -\frac{mg}{kT} x + \ln C$.

(6-3) bu yerda C —integrallash o'zgarmasi. Bundan $p = C e^{-\frac{mg}{kT} x}$, (6-4) C o'zgarmas $x=0$ bo'lganda $P = P_0$ ekanligi shartidan aniqlanadi. (6-4) tenglamaga x va P ning bu qiymatlarini qo'yib yozsak: $C = p_0$. Binobarin, bizni qiziqtirayotgan havo bosimining yer yuzidan balandlikka bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$p = p_0 e^{-\frac{mg}{kT} x}$ (6-5) yoki $m = \mu / N_0$ ekanligini nazarga olsak (bu yerda μ —molekulyar massa, ya'ni mol' massasi, N_0 — Avogadro soni), quyidagini hosil qilamiz:

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g}{RT} x} \quad (6-6).$$

Bosimning balandlik ortishi bilan kamayib borishini ko'rsatuvchi (6-6) tenglama *barometrik formula* deb ataladi. Bu tenglamadan gazning bosimi balandlik ortishi bilan eksponensial qonunga muvofiq kamayib borishi ko'rinib turibdi. Bu qonundan

yer sirtidan balandlikni aniqlash uchun foydalaniladi, buning uchun shu balandlikdagi bosim va dengiz sathi balandligidagi bosim o'lchanadi (albatta, dengiz sathidagi balandligidagi bosimni bir marta o'lchash yetarli).

Tog' cho'qqilari, samolyotning uchish balandligini o'lchashga mo'ljallangan asboblarning shkalalari bevosita metrlarda darajalangan maxsus barometrdan iborat bo'ladi. Bu maqsadlar uchun, biroq (6-6) tenglamada temperaturaga tuzatma kiritish kerak, chunki barometrik formulani chiqarishda biz temperaturani barcha balandliklarda o'zgarmas bo'ladi deb faraz qildik, holbuki temperatura balandlik ortgan sari pasayib boradi.

(6-6) barometrik formuladan foydalanib Bol'sman doimiysi k ni aniqlash mumkin, biroq temperatura tuzatmasi tufayli aniqlik uncha katta bo'lmaydi.

Avval ko'rganimizdek, gazning bosimi hajm birligidagi molekular soniga proporsional ($p = nkT$) bo'lgani uchun (6-6) formula, shuningdek balandlik ortishi bilan

molekula zichligining kamayish qonunini ham ifodalaydi: $n = n_0 e^{-\frac{mg}{kT}x}$, (6-7) bu yerda n va n_0 - oralaridagi balandlik farqi x ga teng bo'lgan nuqtalardagi hajm birligidagi molekular soni. Bu formula, xuddi (6-7) formula singari, yerning atmosferasi cheksizlikkacha yoyilgan ekanini ko'rsatadi.

Barometrik formula (6-6) va (6-7) ni chiqarishda biz og'irlik kuchi tezlanishi g ni o'zgarmas, ya'ni balandlikka bog'liq emas deb faraz qildik. Shunga asoslanib (11) tenglamani integrallayotganda g ni integral belgisidan tashqariga chiqardik. Bunday soddalashtirishni x ning nisbatan kichik qiymatlari (o'nlab kilometrlar chamasi) uchungina qabul qilish mumkin. Katta badandliklarda og'irlik kuchi tezlanishi yer sirtidan uzoqlashgan sari kamayishini nazargaolish kerak. Haqiqatan ham, butun olam tortishish qonunidan Yer markazidan r masofada og'irlik kuchining tezlanishi $g(r) = \gamma \frac{M}{r^2} = \gamma \frac{M}{(r_0 + x)^2}$ (6-8) ga teng bo'ladi, bu yerda γ — gravitatsiya doimiysi (SI

sistemasida uning qiymati $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$, SGS sistemasida esa $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-8}$ dina·sm²/g²); M — Yerning massasi va r_0 — Yerning radiusi. Shuning uchun (11) tenglama

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{Mm}{kT} \frac{dx}{(r_0 + x)^2} \quad (6-9)$$

ko'rinishda yozilishi kerak. Integrallaganimizdan keyin quyidagini olamiz:

$$\ln p = \gamma \frac{Mm}{kT} \frac{1}{r_0 + x} + \ln C \quad (6-10)$$

$$\text{Yoki} \quad p = C \exp\left(\gamma \frac{M m}{k T} \frac{1}{r_0 + x}\right) = C \exp\left(\gamma \frac{M}{r_0^2} \frac{m}{k T} \frac{r_0^2}{r_0 + x}\right) = C \exp\left(\frac{mg}{k T} \frac{r_0^2}{r_0 + x}\right) \quad (6-11)$$

ko'rinishga keladi. Bu yerda e^A ko'rinishidagi eksponensial funksiyaning daraja ko'rsatkichi A juda katta ifoda bo'lganida yozilish formasidan foydalanilgan.

Integrallash o'zgarmasi C ni $x = 0$ bo'lganda bosim $p = p_0$ bo'ladi degan shartdan topiladi. x va P ning bu qiymatlarini (11) formulaga qo'yib, quyidagi ifodani topamiz:

$$C = p_0 \exp\left(-\frac{mgr_0}{kT}\right), \quad (6-12)$$

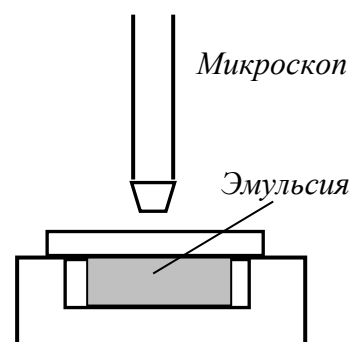
nihiyat, bosimning balandlikka bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$p = p_0 \exp\left[-\frac{mgr_0}{kT} \left(1 - \frac{r_0}{r_0 + x}\right)\right]. \quad (6-13)$$

Bu formuladan yuzaki qaraganda paradoksal natija kelib chiqadi, hatto yerdan cheksiz uzoqlashganda, ya'ni $x \rightarrow \infty$ bo'lganda ham bosim nolga teng emas:

$$p_\infty = p_0 e^{-\frac{mgr_0}{kT}}. \quad (6-14)$$

Bu degan so'z, yerning (shuningdek boshqa planetalarning ham) atmosferasi cheksizlikkacha yoyilgan va gazning zichligi hech qayerda ham nolga teng bo'lmasligi kerak. Fizik jihatdan bunday bo'lishi mumkin emas, chunki molekulalar soni chekli, Koinot esa cheksiz. Shuning uchun yerning atmosferasi muvozanat holatida emas, degan xulosa qilishga to'g'ri keladi. Muvozanat holatida bo'lmasligi shundaki, atmosfera gazi uzluksiz olam fazosiga yoyilib ketadi. Biroq bu yer atmosferasining yo'qolib ketishiga olib kelmagan (va milliard yillar davomida olib kelmaydi), chunki havo zarralarining faqat juda kichik miqdorigina yerning atmosfera qobig'ini tashlab ketadi. Biroq bunday holat, masalan, Oyning atmosferasini yo'qotishga olib kelishi (qachonlardir Oy atmosferaga ega bo'lgan bo'lsa) mumkin edi (bu to'g'rida keyinroq batafsil to'xtalib o'tamiz).



6-2-расм

2. Perren tajribasi: (6-14) formuladan Perren barometrik formulani tajribada tekshirish va Bol'sman doimiysini aniqlash (yoki xuddi shunday Avogadro sonini aniqlash) uchun foydalandi. Bunda Perren o'zining Broun harakatiga doir tajribalarida ko'rsatganidek, uncha katta bo'lmagan muallaq zarralarni juda katta o'lchamli o'zaro ta'sirlashmaydigan molekulalar deb qarash mumkin ekanligi faktidan foydalandi. Shuning uchun Broun zarrasiga o'xshash zarralar suyuqlikda muallaq

bo'lib og'irlik kuchi ta'siriga duch kelsa, balandlik o'zgarishi bilan gaz molekulari singari, ya'ni (6-14) qonunga muvofiq taqsimlanadi deyish mumkin.

Perren bir-biriga aralashmaydigan ikki suyuqlikdan iborat emulsiya tayyorladi. Bu emulsiyada bir suyuqlik ikkinchisida muallaq bo'lgan mayda tomchilar hosil qiladi, bu tomchi zarralarining o'lchamlari deyarli bir xil va taxminan sharsimon shaklda. Vertikal o'rnatilgan va aniqlik darajasi juda kichik bo'lgan mikroskop yordamida muallaq zarralarning balandlik bo'yicha taqsimlanishi kuzatildi (6-2 - rasm). Buning uchun mikroskop emulsiyaning turli balandliklardagi (chuqurlikdagi) qatlamlariga fokuslandi.

Mikroskopning ko'rish maydonida 0,001 mm dan qalin bo'lmagan qatlamdagi zarralargina ko'rindi va bu qatlamdan yuqorida yoki pastda bo'lgan zarralar mutlaqo ko'rinmasdi. Ko'rish maydonidagi zarralar soni uncha ko'p bo'lmay, ularni sanash mumkin edi. Bu son, ravshanki hajm birligidagi zarralar soni p ga proporsional bo'ladi. O'lchashlar ko'plab marta o'tkazildi va ularning o'rtachasi aniqlandi. Ba'zi tajriba seriyalarida sanalgan zarralarning umumiy soni ko'p minglarcha bo'ldi. Bu o'lchashlar haqiqatan ham zarralarkonsentratsiyasi (16) formula bilan ifodalangan eksponensial qonunga muvofiq o'zgarishini ko'rsatdi, bunda zarraning Arximed qonuniga muvofiq og'irlik yo'qotishi nazarga olingan.

Agar zarraning massasi m bo'lsa, u holda uning og'irligi Arximed ko'tarish kuchini nazarga olganda quyidagiga teng bo'ladi: $mg\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)$, (6-15) bu yerda ρ_0 - zarra moddasining zichligi, ρ esa bu zarra muallaq turgan suyuqlikning zichligi. Shuning uchun (16) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$n = n_0 \exp \left[-\frac{mg\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)}{kT} x \right]. \quad (6-16)$$

(6-16) formuladan shu narsa kelib chiqadiki, agar mikroskopning ko'rish maydonida emulsiyaning x_1 va x_2 qatlamidagi zarralar soni n_1 va n_2 ni sanalsa, u holda quyidagi

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp \left[-\frac{mg\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)}{kT} (x_1 - x_2) \right] \quad (6-16a)$$

nisbatdan Bol'sman doimiysi k ni aniqlash mumkin bo'ladi, buning uchun zarralarning massasi t , ularning zichligi ρ_0 , suyuqlik zichligi ρ va T temperaturani o'lchash kerak. Suyuqlikning zichligi va temperaturasi umumiy ma'lum bo'lgan metodlar

bilan o'lchanadi. Emulsiya zarralarining massasi va zichligini o'lchashgina, ularning o'lchamlari juda kichik (mikroskopik) bo'lgani uchun qiyinchilik tug'diradi.

Zarralar moddasining zichligini Perren emulsiyaning massasini va hajmini o'lchash yo'li bilan aniqladi. Buning uchun dastlab ma'lum idish (piknometr)ni to'ldirgan suvning M_0 massasi tortish yo'li bilan aniqlandi. Bundan piknometrning hajmi M_0/ρ_1 aniqlandi (bu yerda ρ_1 — suvning zichligi). So'ngra xuddi shu piknometrni to'ldirgan (suvdagi) emulsiyaning M_1 massasi aniqlandi. Shundan keyin emulsiyali piknometr pechga joylashtirildi va suyuqlik bug'lantirib yuborildi; piknometr qaytadan tortildi va buning natijasida emulsiyadagi zarralarning M_2 massasi

aniqlandi. Bu o'lchashlardan emulsiyadagi suvning hajmi
$$V_{suv} = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}, \quad (6-17)$$

so'ngra emulsiya zarralarining hajmi aniqlanadi:
$$V_{yi} = \frac{M_0}{\rho_1} - \frac{M_1 - M_2}{\rho_1}, \quad (6-18)$$

demak, zarralar moddasining zichligi ρ_0 topiladi:
$$\rho_0 = \frac{M_2}{V_{yi}} = \frac{M_2 \rho_1}{M_0 - M_1 + M_2}. \quad (6-19)$$

Emulsiya zarralarining radiusini (biz ularni sof shar shaklida deb olgan edik) Perren kapillyar nayni to'ldirib turgan emulsiyada zarralarning tushish tezligi v ni o'lchash yo'li bilan aniqladi. Qovushoqligi η bo'lgan suyuqlikda v tezlik bilan tushayotgan r radiusli sharchaga yuqoriga vertikal yo'nalgan
$$F = 6\pi\eta av \quad (6-20)$$
 ishqalanish kuchi ta'sir qiladi. Bundan tashqari, tushayotgan sharchaga yuqoriga yo'nalgan Arximed

kuchi $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g$, (6-21) bu yerda ρ suyuqlikning zichligi va og'irlik kuchi

$mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0 g$ (6-22) (ρ_0 — sharcha moddasining zichligi) ta'sir qiladi. Arximed

kuchi va og'irlik kuchining natijaviysi $F_1 = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho)g$ (6-23) sharchani pastga qarab g tezlanish bilan harakatlantiradi ($\rho_0 > \rho$). Biroq sharchaning tezligi orta borgan sari ishqalanish kuchi G' ortadi va sharchani tormozlaydi. Buning natijasida sharcha harakatining shunday o'zgarmas tezligi yuzaga keladiki, bunda $6\pi\eta av = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho)g$ (6-24)

tenglik qaror topadi. Perren xuddi shu tezlikni o'lchadi. (6-24) (formuladan zarraning radiusi va uning tegishli massasi aniqlanadi:
$$a = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho_0 - \rho)}}, \quad m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0. \quad (6-25)$$

Shunday qilib, (6-25) formulaga kiruvchi barcha kattaliklarni o'lchash mumkin.

(6-25) ni logarifmlagandan so'ng Bol'sman doimiysi k ni hisoblash formulasi

$$\text{quyidagi ko'rinishga keladi: } k = \frac{m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right) g (x_2 - x_1)}{T \ln(n_1 / n_2)}. \quad (6-26)$$

Perren tajribalaridan olingan k ning qiymati hozirgi vaqtda qabul qilingan qiymatidan birmuncha kichik. Keyinroq boshqa tadqiqotchilar shu metodning o'zi bilan k ning aniqroq qiymatini oldilar.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. 150°C temperaturada azot molekulalarining qancha qismi 300 m/s dan 325 m/s gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi?
2. Ballonda 2.5 g kislorod bor. Tezliklari o'rtacha kvadratik tezlikdan katta bo'lgan kislorod molekulalarining sonini toping.
3. Idishda 1600 K temperaturali 8 g kislorod bor. Ilgarilanma harakatining kinetik energiyasi $6,65 \cdot 10^{20}$ J dan yuqori bo'lgan kislorod molekulalari-ning sonini toping.
4. Idishdagi geliy va argon aralashmasining temperaturasi 1200 K. Geliy va argon atomlarining o'rtacha kvadratik tezligi va o'rtacha kinetik energiyasi aniqlansin.
5. 400K temperaturadagi vodorod molekulasi-ning eng katta ehtimoliy tezligi aniqlansin.
6. Tezliklari $\sqrt{\bar{v}^2}$ dan $\sqrt{\bar{v}^2} + \Delta v$ intervalda yotgan molekulalarning ΔN_1 soni tezliklari v_x dan $v_x + \Delta v$ intervalda yotgan molekulalarning soni ΔN_{21} dan necha marta kichik.
7. V5-107. Qanday balandlikda havo bosimi dengiz sathidagi bosimning 75% ini tashkil qiladi? Temperaturani o'zgarmas va 0°C deb hisoblang.
8. Ch10-5. yer sirtidagi kuzatuvchi 100 m balandlikka ko'tarilganda atmosfera bosimi qanchaga kamayadi? yer sirtidagi atmosfera bosimi 100 kPa. Temperatura 290 K va balandlikka bog'liq emas deb hisoblang.
9. V-5-112. Perren elektroskop yordamida muallaq gimmigut zarrachalar konsentratsiyasining balandlikka qarab o'zgarishini kuzatadi va barometrik formulani qo'llab, eksperimental ravishda Avogadro sonining qiymatini topadi. Perren tajribalaridan birida qatlamlarning orasi 100 mkm bo'lganda pastki qatlamdagi muallaq gimmigut zarrachalarning soni yuqori qatlamdagidan ikki marta ko'p ekanligini aniqladi. Gimmigutning temperaturasi 20°C. $0,3 \cdot 10^{-4}$ sm diametrli gimmigut

zarrachalari zichligi zarrachalar zichligida $0,2 \text{ g/sm}^3$ ga kam bo'lgan suyuqlikka aralashtirilgan. Bu berilganlarga asosan Avogadro sonini toping¹⁵.

10. Ch10-3. Havoda muallaq turgan chang zarrachalarining har birining massasi 1 ag dan. 1m balandlikdagi chang zarrachalari konsentratsiyasi n_1 ning ularning $h_0=0$ dagi konsentratsiyasi n_0 ga nisbati 0,787 ga teng. Havoning temperaturasi 300 K. SHu berilganlar bo'yicha Avogadro doimiysining qiymatini toping.

11. Ch10-9. Uchayotgan samolyot kabinasidagi barometr hamma vaqt bir xil 8 kPa bosimni ko'rsatdi. Shuning natijasida uchuvchi balandlikni o'zgarmas deb hisobladi. Lekin havoning temperaturai 1K ga o'zgardi. Uchuvchi balandlikni aniqlashda qanday Δh xatolikka yo'l qo'ydi? Temperatura balandlikka bog'liq emas va yer sirtidagi bosim 100 kPa ga teng.

12. Passajir samolyoti 8300 m balandlikda uchadi. Passajirlarni kislorod massasi bilan ta'minlamaslik uchun kompressor yordamida 2700 m balandlikdagi bosimga teng doimiy bosim tutib turiladi. Kabina ichidagi va tashqarisidagi bosimlar farqini toping. Tashqi havoning o'rtacha temperaturasi 0°C deb qabul qilinsin¹⁶.

¹⁵ В.С.Волькенштейн. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Тошкент, “Ўқитувчи”, 1996. 5-112-масала.

¹⁶ Умумий физика курсидан масалалар тўплами. М.С. Цедрик таҳрири остида. Тошкент, “Ўқитувчи”, 1991.

7-§. Gazlarda ko`chish hodisalari

- 7.1. Gazlarda diffuziya. Fik qonuni;
- 7.2. Statsionar diffuziya;
- 7.3. Diffuziya koefitsiyentini o`lchash;
- 7.4. Gazlarning issiqlik o`tkazuvchanligi;
- 7.5. Fure qonuni;
- 7.6. Issiqlik o`tkazuvchanlik koefitsiyentini o`lchash;
- 7.7. Gazlarning qovushoqligi.

1. Gazlarda diffuziya. Fik qonuni: Bir-biriga tegib turgan ikki yoki bir necha modda molekulalarining issiqlik harakati tufayli bir-birining ichiga singib o`tish hodisasi **diffuziya** deb ataladi. Gaz tarkibi jihatidan bir jinsli bo`lmagan hollarda ham, ya`ni u konsentrasiyasi nuqtadan nuqtaga o`zgaruvchi ikki yoki bir necha komponentadan tarkib topgan hollarda ham gazda diffuziya vujudga keladi. Diffuziya jarayonida aralashma komponentalaridan har biri gazning bu komponenta konsentrasiyasi katta bo`lgan qismlaridan konsentrasiyasi kichik bo`lgan qismlariga o`tishi ro`y beradi.

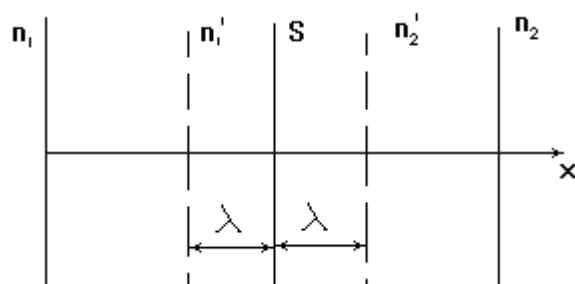
Diffuziya hodisasini miqdoriy tavsiflash uchun diffuziya oqimi tushunchasi kiritilgan. **Diffuziya oqimi** diffuziyalanuvchi komponentaning vaqt biriligi ichida diffuziya yo`nalishiga perpendikulyar bo`lgan yuza birligidan o`tgan molekulalar soni bilan o`lchanadi.

Tajribalar biror komponentaning diffuziya oqimi shu komponenta konsentrasiyasi (zichligi) gradiyentiga proporsional ekanligini ko`rsatadi (Fik qonuni). Agar gaz aralashmasining, bizni qiziqtirgan komponentasining, konsentrasiyasi faqat  $x$  yo`nalish bo`ylab o`zgarsa, u holda konsentrasiya gradiyenti, ya`ni konsentrasiyaning  $x$  yo`nalish bo`ylab o`zgarish tezligi $\frac{dn}{dx}$ bo`ladi va diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni) shunday ifodalanadi:

$$N = -D \frac{dn}{dx} \quad (7-1)$$

Bundagi D - **diffuziya koefitsiyenti** deb ataladi. U konsentrasiya gradiyenti bir birlikka teng bo`lgandagi diffuziya oqimiga son jihatdan teng bo`lgan kattalikdir.

Diffuziya stasionar yoki nostasionar bo`lishi mumkin. Stasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o`zgarmay qoladi. Shu sababli diffuziya oqimi ham o`zgarmaydi.



7-1 – rasm.

Nostasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o'zgaradi. Shunga muvofiq ravishda vaqt o'tishi bilan diffuziya oqimi ham o'zgaradi.

2.Statsionar diffuziya: Gaz aralashmalaridan birining diffuziyasi X yo'nalishda ro'y berayotgan bo'lsin. Bu yo'nalishda konsentrasiya gradiyenti vaqt o'tishi bilan o'zgarmasdan qolsin. Bunday holdagi diffuziya, ya'ni ixtiyoriy ikki nuqta orasidagi konsentrsiyalar farqi o'zgarmasdan qoladigan holda yuz beradigan diffuziyaga **stasionar diffuziya** deb ataladi.

Stasionar diffuziyadan foydalanib, diffuziya koeffisiyentini topishga harakat qilamiz. Diffuziya yo'nalishiga (x ga) perpendikulyar bo'lgan S yuzani olaylik (7-rasm). Aniqlik uchun $n_1 > n_2$ deb olaylik. Yuzaning har ikki tomonidagi konsentrsiyalar farqi tufayli X o'qi bo'ylab yuzaga keluvchi diffuziya oqimi S yuzaning 1 sm^2 ni 1 c da x o'qning musbat qiymatlari yo'nalishida kesib o'tayotgan molekulalar soni N_1 bilan ana shu vaqt ichida qarama-qarshi yo'nalishda kesib o'tayotgan molekulalar soni N_2 orasidagi ayirmaga teng bo'ladi:

$$N = N_1 - N_2 \quad (7-2)$$

Agar barcha molekulalar birday $\bar{v}$ tezlik bilan harakat qilmoqda deb olinsa, u holda molekulalarning harakati barcha o'qlar bo'ylab teng ehtimolli ekanini hisobga olib, N_1 va N_2 larni quyidagi munosabatlar orqali ifodalash mumkin:

$$N_1 = \frac{1}{6} n_1' \bar{v} \quad N_2 = \frac{1}{6} n_2'' \bar{v} \quad (7-3)$$

Bu yerda n_1' va n_2'' molekulalarning S yuzaning ikki tomonidan λ masofadagi konsentrsiyalari.

U holda diffuziya oqimi N_1 yuqoridagi tenglamalarga binoan quyidagicha aniqlanadi: $N = \frac{1}{6} (n_1' - n_2'') \bar{v}$ (7-4) bu yerda $n_1' - n_2''$ bir-biridan 2λ masofada turgan

nuqtalardagi konsentrsiyalar farqi. Agar konsentrasiya gradiyenti qiymati $\frac{dn}{dx}$ bo'lsa,

bu farq $n_1' - n_2'' = -2\lambda \frac{dn}{dx}$ (7-5) ga teng bo'ladi. (4) ni e'tiborga olib, diffuziya oqimi

uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz: $N = -\frac{1}{3} \lambda \bar{v} \frac{dn}{dx}$ (7-6)

Bu ifodani Fik qonuni ifodasi $N = -D \frac{dn}{dx}$ (7-7) bilan taqqoslab diffuziya

koeffitsiyenti uchun bizni qiziqtirgan ifodani olamiz: $D = \frac{1}{3} \bar{g} \bar{\lambda}$ (7-8)

Bu ifodadagi $\bar{\lambda}$ bosimga teskari proporsional bo'lganligi uchun diffuziya koeffitsiyentining ham gaz bosimiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi. $\bar{g} \propto \sqrt{T}$ ga proporsional, bundan tashqari temperaturaning ortishi $\bar{\lambda}$ ning biroz bo'lsada ortishiga olib keladi. Shu sababli diffuziya koeffitsiyenti $\sqrt{T}$ dan kattaroq bo'lgan miqdorga proporsional.

3. Diffuziya koeffitsiyentini o'lchash: Diffuziya koeffitsiyentini o'lchashning eng oddiy metodlaridan birini Loshmidt (1870) taklif qilgan edi. Uning foydalangan asbobi bir-biri ustiga qo'yilgan va jo'mrak bilan ulangan ikki naydan iborat edi. Naylarning uzunligi 500 sm ga yaqin va diametrlari 2,6 sm bo'lgan. Jo'mrakni berkitib, naylarga tekshiriladigan gazlar to'ldiriladi. Og'irlik kuchi ta'sirida gazlarning diffuziyasi tezlashmasligi uchun og'irroq gaz pastki nayga, yengilrog'i esa ustki nayga to'ldiriladi.

Agar jo'mrakni ochib qo'yilsa, bir gazning ikkinchisiga diffuziya yo'li bilan o'tishi boshlanadi. Biror vaqt o'tganidan keyin jo'mrak berkitiladi va hosil bo'lgan aralashmaning naylardan biridagi tarkibi o'rganiladi. Tahlil ma'lumotlaridan foydalanib, tajriba vaqti va asbobning geometrik o'lchamlaridan bir gazning ikkinchi gazga diffuziyanish koeffitsiyentini hisoblab topish mumkin. Bunday asbobda vodorod va karbonat angidrid bilan o'tkazilgan tajriba jo'mrak yarim soat ochiq turganida atigi 33% vodorodning pastki nayga o'tganligini ko'rsatdi. Bu, albatta, diffuziya jarayonining normal bosimda juda sekin borishini tasdiqlovchi dalildir.

Bunday qurilma yordamida o'tkazilgan tajribalar, shuningdek diffuziya koeffitsiyentining aralashmadagi komponentalar konsentratsiyasiga ham zaif bog'langan ekanligini ko'rsatadi. Bu diffuziya koeffitsiyenti konsentratsiyaga juda kuchli bog'liq bo'lishi kelib chiqadigan $D_{12} = \frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \lambda_1 \bar{g}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \lambda_2 \bar{g}_2 \right)$ (7-9) tenglamaning unchalik aniq emasligini ko'rsatadi. D_{12} - o'zaro diffuziya koeffitsiyenti.

4. Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi: Gazlar (frans. gaz) - modda holatlaridan biri. Har bir modda temperatura va bosim o'zgarishiga qarab qattiq, suyuq va gaz holatda bo'ladi. Mac, suv qattiq (muz), suyuq (suv) yoki gaz (bug') holatda bo'lishi mumkin. Gaz molekulalari siqiluvchan, harakatchan, zichligi juda kichik, birbiri bilan tez aralashadi. Gaz tashqi ta'sir bo'lmaganda idish hajmining hammasini egallaydi. Gaz molekulalari orasidagi tortishish kuchi qattiq va suyuq jism molekulalarinikidan ancha kichikdir. Normal sharoitda gaz zichligi suyuqliklar zichligiga nisbatan 1000 baravar kam yoki gaz molekulalari orasidagi masofa suyuqliklarnikiga nisbatan 10 baravar katta bo'ladi.

Agar gaz notekis isitilgan, ya'ni uning bir qismida temperatura ikkinchi qismidagidan farq qilsa, u holda temperaturaning tenglashishini kuzatish mumkin, ya'ni gazning issiqroq qismi soviydi, sovuqroq qismi esa isiydi. Bundan ko'rinadiki, gazning issiqroq qismidan sovuqroq qismiga issiqlik oqishi bilan bog'liq bo'lgan hodisa kuzatiladi. Gazda (yoki har qanday boshqa moddada) issiqlik oqimining hosil bo'lish hodisasi **issiqlik o'tkazuvchanlik** deb ataladi.

O'z holiga qo'yilgan har qanday jismda, xususan gazda, issiqlik o'tkazuvchanlik temperaturalarning tenglashishiga sabab bo'ladi, bu jarayon **nostatsionar** jarayondir. Ammo ko'pincha shunday hollar ham bo'ladiki, bunda temperaturalar farqini sun'iy ravishda o'zgartirmasdan saqlab turiladi. Masalan, cho'g'lanma elektr lampasida bevosita cho'g'langan tola yaqinidagi gaz yuqori temperaturaga (tolaning temperaturasi) ega bo'lgani holda, lampa shisha ballononing devorlariga tegib turgan gaz qismining temperaturasi ancha past bo'ladi.

Lampa ulangandan bir necha vaqt keyin tola va devorlar orasida o'zgarmas temperaturalar farqi yuzaga keladi. Bunday farq bir tomondan lampaga elektr tarmog'idan keltiriladigan elektr energiya hisobiga, ikkinchi tomondan esa issiqlikning lampa devorlaridan atrof havoga berilishi hisobiga saqlanadi. Lampa ichidagi gazda vaqt davomida o'zgarmaydigan, ya'ni **statsionar** issiqlik oqimi yuzaga keladi. Temperaturalarning qaror topgan farqi gazning issiqlik o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'ladi (cho'g'lanish lampasida issiqlik gaz orqali uzatilgandan tashqari ayni shu holda asosan nurlanish natijasida uzatilishini ham nazarda tutish lozim). Keltirilgan misolda lampa tolasi va ballonining shakli murakkab bo'lgani uchun issiqlik oqimini hisoblash murakkab.

Issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonining miqdoriy qonuniyatlarni topish uchun oddiyroq holni qarab ko'raylik. Gazdagi biror yo'nalish (masalan x o'qi yo'nalishi) bo'ylab temperatura nuqtadan nuqtaga, ya'ni x ning funksiyasi sifatida o'zgarayotgan bo'lsin, bu o'qqa perpendikulyar tekislikda esa u birday saqlanayotgan bo'lsin.

Temperaturaning x o'q bo'ylab o'zgarishi $\frac{\partial T}{\partial x}$ temperatura gradiyenti bilan xarakterlanadi (agar temperatura biz faraz qilganimizdek faqat x o'q bo'ylab o'zgarayotgan bo'lsa, u holda $\frac{\partial T}{\partial x}$ o'rniga $\frac{dT}{dx}$ ni yozish mumkin. Issiqlik oqimi

$$\bar{Q} = -\chi \cdot \frac{dT}{dx} \quad (7-10)$$

5.Fure qonuni: Issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonuni Fure qonunidir. 1807 yilda fransuz olimi Fure issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonida jism (modda) ning barcha nuqtalarida issiqlik oqimi va temperatura gradiyenti orasidagi o'zaro bog'lanish bir xil qiymatli ekanligini eksperimental isbotladi.

Issqlik oqimi deb, birlik yuzadan vaqt birligi ichida o'tadigan issiqlik miqdori tushuniladi. O'lchov birligi Vt . Fure qonuniga asosan issiqlik oqimi temperatura gradientiga proporsionaldir: $\bar{Q} = -\chi \cdot grad(T) \cdot S$ (7-11)

bu yerda: χ — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ($Vt/m \cdot K$) bolib, qiymati son jihatdan temperaturalar farqi $1^{\circ}C$ bo'lganda devorning birlik qatlamidan vaqt birligi ichida o'tadigan solishtirma issiqlik miqdoriga teng. Temperatura gradiyenti vektorlar analizida quyidagi hosila bilan aniqlanadi:

$$grad(T) = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k} \quad (7-12)$$

Temperatura gradiyentining ma'nosi shuki, temperaturaning bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga o'zgarishining bu nuqtalar orasidagi masofa birligiga nisbatiga teng. Temperatura gradiyentining mavjudligi issiqlik o'tkazuvchanlik yuzaga kelishining asosiy shartidir.

Issiqlik oqimining yo'nalishi temperaturaning pasayish yo'nalishi bilan mos keladi. Agar x ning ($dx > 0$) ortishiga temperaturaning pasayishi ($dT < 0$) mos kelsa, issiqlik x ning o'sayotgan tomoniga oqayotgan bo'ladi, ya'ni issiqlik oqimi shu oqimni yuzaga keltirgan mavjud temperatura gradiyentini kamaytirish tomoniga yo'nalgan bo'ladi.

Statsionar sharoitlarda gaz orqali vaqt birligida oqib o'tgan Q issiqlik miqdori berilgan temperatura gradiyentini saqlab turgan issiqlik manbai quvvatiga teng. Bu quvvatni (u ko'pincha elektr quvvati bo'ladi) issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini eksperimental aniqlashda bevosita o'lchanadi¹⁷.

Issiqlik oqimining sirtiy zichligi uchun Fure qonuni $\bar{q} = -\chi \cdot grad(T)$ (7-13)

Issiqlik ish ko'rinishidagi energiyaning uzatilishi bo'ladi. Issiqlik energiyasining uzatilishi natijasida modda molekulalari qatlamlarida temperaturalar farqi vujudga keladi. Sistemaga berilgan issiqlik miqdori Q harfi bilan belgilanadi. Har bir modda solishtirma yonish issiqligiga ega. Va u q harfi bilan belgilanadi. Moddalarning solishtirma yonish issiqligi shu modda issiqlik miqdorining massasiga nisbati bilan aniqlanadi: $q = \frac{Q}{m}$ (7-14). Issiqlikning yana boshqa bir turi bor. U yashirin issiqlik miqdori deb ataladi. Va o'z nabatida bu issiqlik 2 turga bo'linadi: Solishtirma erish issiqligi $r = \frac{Q}{m}$ (7-15), Bug' hosil bo'lish solishtirma issiqligi $\lambda = \frac{Q}{m}$ (7-16).

¹⁷ Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекуляр физика. 168-бет.

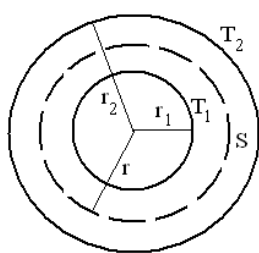
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining ifodasi $\chi = \frac{1}{3} n \bar{v} \lambda \frac{C_v}{N_A}$ (7-17) Agar

$C_v = \mu \cdot c_v$ ekanligini hisobga olsak, formulani qayta yozish mumkin:

$$\chi = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v} \lambda c_v = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda c_v \quad (7-18)$$

6. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini o'lchash: Gazlar Issiqlik o'tkazuvchanligini eksperimental o'rganish biroz murakkablik tug'diradiki, gazda issiqlikning ko'chishi faqat biz yuqorida bayon qilgan issiqlik o'tkazuvchanlik mexanizmi bilangina emas, shuningdek, gazda oson vujudga keladigan erkin konveksiya yo'li bilan ham ruy beradi. Konveksiya – temperaturalar farqi bo'lganda og'irlik kuchi ta'sirida gaz massasi bilan birgalikda issiqlikning ko'chishidir. Konveksiya ham issiqlik o'tkazuvchanlik singari, gazda temperaturani baravarlashtirishga intiladi, shuning uchun tajribada issiqlik uzatishning bu ikki mexanizmini bir-biridan ajratish qiyin, shu sababli issiqlik o'tkazuvchanlikni o'lchashda konveksiya yuzaga kelmaydigan sharoitni amalga oshirish lozim.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini o'lchashning keng tarqalgan usullaridan birini 1888 yilda nemis fizigi Lyudvig SHlayermaxer taklif qilgan.



7-2-rasm. Tajriba qurilmasi

Tadqiq qilinayotgan gaz bilan radiuslari r_1 va r_2 bo'lgan ikki koaksial silindrlar orasidagi fazo to'ldiriladi (7-2-rasm). Bu silindrlardan biri (deyarli hamma vaqt ichki silindr) W quvvat iste'mol qiladigan elektr pechi yordamida qizdiriladi, ikkinchisi esa uning temperaturasi T_2 o'zgarmas saqlanishi uchun sovutiladi. Ichki silindr sifatida hamma vaqt tok o'tib turadigan ingichka sim olinishi ham mumkin, uning o'zi qizdirgich bo'la oladi.

Qizdirgich ishga tushirilgandan bir oz vaqt o'tgach, statsionar holat qaror topib, qizdirilayotgan silindrning T_1 temperaturasi ham o'zgarmas bo'lib qoladi. SHu bilan ichki va tashqi silindrlar orasida temperaturalar farqi $T_1 - T_2$ qaror topadi. Bu temperaturalar farqining kattaligi gazning issiqlik o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'ladi. Bunday bog'lanishni aniqlash qiyin emas. Agar silindrning balandligi h bo'lsa (konveksiya tufayli xatoga yo'l qo'ymaslik uchun tik o'rnatiladi), ixtiyoriy r radiusli S silindrik kesim (ya'ni $S = 2\pi \cdot rh$) orqali 1 s da oqib o'tuvchi issiqlik miqdori quyidagi tenglama bilan aniqlanadi: $\bar{Q} = -\chi \cdot \frac{dT}{dr} S$ (7-19). Agar silindrning balandligi uning radiusiga qaraganda yetarlicha katta bo'lsa, silindr o'qi bo'ylab temperaturani hamma joyda birday deb olish mumkin. Statsionar holatda W qizdirgichning quvvati Q ga teng.

Binobarin, $W = -2\pi \cdot rh \chi \frac{dT}{dr}$ (7-20) bundan

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \cdot \frac{1}{r} \quad (7-21) \text{ yoki } dT = -\frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \cdot \frac{dr}{r} \quad (7-22).$$

Bu ifodani integrallaymiz: $T = -\frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \ln r + C$ (7-23) Bu yerda C - integrallash

doimiysi bo'lib, uni $r = r_1$ bo'lganda temperatura $T = T_1$ va $r = r_2$ bo'lganda $T = T_2$ shartlaridan topish mumkin, ya'ni $T_1 = -\frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \ln r_1 + C$ (7-24)

$$T_2 = -\frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \ln r_2 + C \quad (7-29) \quad T_1 - T_2 = \frac{W}{2\pi \cdot \chi h} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (7-25).$$

T_1 va T_2 temperaturalarni o'lchab va asbobning geometrik o'lchamlari hamda qizdirgichning quvvatini bilgan holda, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblab

topish mumkin: $\chi = -\frac{W}{2\pi \cdot h(T_1 - T_2)} \ln \frac{r_2}{r_1}$ (7-26)

7. Gazlarning qovushoqligi: Agar gaz qo'shni qatlamlarining tezliklari turlicha bo'lsa, bu qatlamlar orasida ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Gazlarda (suyuqliklarda) qo'shni qatlam tezliklari farqi tufayli yuzaga keluvchi ishqalanish kuchlari ichki ishqalanish yoki qovushoqlik kuchlari deyiladi. Qovushoqlik kuchlarining yuzaga kelishiga sabab shuki, qatlamlararo molekulalar almashinuvi tufayli harakat tezligi katta bo'lgan qatlamdan kichik tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamga impul's uzatilishi ro'y beradi. Natijada tezroq harakatlanayotgan qatlam tezligi kamaya boradi, sekinroq harakat qilayotgan qatlam tezligi esa orta boradi.

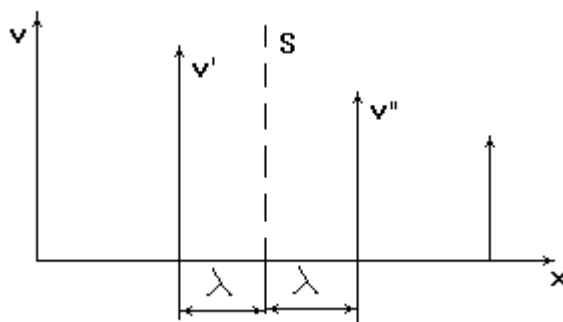
Ma'lumki, jism harakat miqdorining o'zgarishi biror kuch ta'siri bilan bog'liq. Biz yuqorida ko'rgan jarayon ham impulsning o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgani sababli gaz o'zini huddi unga biror kuch ta'sir qilayotgandek tutadi.

Agar tashqi kuchlar yordamida gazning turli qatlamlarining harakat tezliklari orasidagi farq o'zgarmas saqlab turilsa, u holda qatlamdan qatlamga o'tuvchi impul's oqimi ham o'zgarmas (stasionar) bo'ladi, shu bilan birga bu oqim tezlikning kamayish yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Gaz harakatining tezligi faqat x yo'nalishida o'zgarayotgan bo'lib, uning yo'nalishi x o'qqa perpendikulyar bo'lsin. U holda x o'qqa perpendikulyar bo'lgan birlik yuzadan 1c ichida olib o'tilgan harakat miqdori quyidagi tenglama bilan aniqlanadi: $L = -\eta \frac{d\vartheta}{dx}$ (7-27) bu yerda $\frac{d\vartheta}{dx}$ - tezlikning x o'q bo'ylab gradiyenti bo'lib, tezlikning uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi o'zgarishini bildiradi. η - koeffitsiyent gazning **qovushoqlik koeffitsiyenti** yoki gazning ichki ishqalanish koeffitsiyenti deb ataladi.

Qovushoqlik koeffitsiyentining fizikaviy ma'nosi shundan iboratki, u son jihatidan tezlik gradiyenti birga teng bo'lganda birlik yuzadan vaqt birligi ichida shu yuzaga perpendikulyar yo'nalishda ko'chirib o'tilgan harakat miqdoriga teng.

Gazning qovushoqlik koeffitsiyentini diffuziya koeffitsiyentini hisoblagandagi usul bilan aniqlash mumkin. Gazning oqish tezligiga parallel boʻlgan kichik S yuzani koʻraylik (7.3-rasm).



7.3-rasm.

Gazning oqish tezligi X oʻqning musbat yoʻnalishida kamayadigan, yaʼni uning S yuzadan oʻng tomonda oqish tezligi yuzidan chap tomondagi oqish tezligidan kichik boʻlsin. Agar S dan chap tomonda λ ga teng masofadagi oqish tezligi g' boʻlsa, u holda molekulaning oqish tezligi bilan bogʻliq boʻlgan impulni $m g'$ ga teng boʻladi (m - molekula massasi). Vaqt birligi ichida birlik yuzini kesib oʻtuvchi molekulalar soni $\frac{1}{6} n \bar{g}$ ga teng ekanligini eʼtiborga olsak, shu vaqt ichida S maydonning yuz birligidan chapdan oʻngga va oʻngdan chapga koʻchib oʻtayotgan impuls oqimi mos ravishda quyidagilarga teng boʻladi:

$$L_1 = \frac{1}{6} n \bar{g} m g' \quad L_2 = \frac{1}{6} n \bar{g} m g'' \quad (7-28)$$

U holda vaqt birligida yuz birligi orqali oʻtuvchi natijaviy impuls oqimi L quyidagiga teng boʻladi:

$$L = L_1 - L_2 = m \bar{g} n (g' - g'') \quad (7-29)$$

bu yerda $g' - g''$ gazning bir-biridan 2λ ga teng masofada boʻlgan nuqtalardagi oqish tezliklarining farqi, yaʼni $g' - g'' = -2\lambda \frac{dg}{dx}$ (7-30)

(7-29) va (7-30) dan $L = -\frac{1}{3} m n \bar{g} \cdot \lambda \frac{dg}{dx}$ (7-31). Bu ifodani (7-22) formula bilan

solishtirib, qovushoqlik koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani olamiz $\eta = \frac{1}{3} m n \bar{g} \cdot \lambda$

(7-32) yoki $\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{g} \cdot \lambda$ (7-33) bu yerda $\rho = mn$ - gazning zichligi.

Gaz va suyuqliklarning qovushoqligi ularning shunday hossaliki, bu hossa tufayli ularning turli qatlamlarining harakat tezliklari tenglashadi. Agar gaz qoʻshni qatlamlarining tezliklari turlicha boʻlsa, harakat tezligi katta boʻlgan qatlamdan kichik tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamga impuls uzatilishi tufayli bu qatlamlarning tezliklari tenglashadi. Agar tashqi kuchlar yordamida gazning turli qatlamlarining harakat tezliklari orasidagi farq oʻzgarmas boʻlsa, u holda qatlamdan qatlamga oʻtuvchi impuls oqimi ham oʻzgarmas (stasionar) boʻladi, shu bilan birga

bu oqim tezlikning kamayish yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. Demak, gazlarning qovushqoqligi ko'chish hodisasi bo'lib, unda impuls ko'charkan.

Faraz qilaylik, gaz harakatining tezligi x o'q yo'nalishida o'zgarayotgan va bu o'qning yo'nalishi gaz harakatining tezligi yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsin. Bu o'qqa perpendikulyar yo'nalishda gazning harakat tezligi barcha nuqtalarda bir hil bo'ladi. Ushbu tezlik faqat x ning funksiyasi hisoblanadi. Tajribadan x o'qqa perpendikulyar bo'lgan bir birlik yuzadan birlik vaqt ichida olib o'tilgan impuls

quyidagi tenglama orqali aniqlanishi kelib chiqadi: $L = -\eta \frac{dv}{dx}$ (7-34)

Bu yerda $\frac{dv}{dx}$ - tezlikning x o'q bo'ylab gradiyenti bo'lib, tezlikning bu o'q bo'ylab o'zgarish tezligini, minus ishora esa impulsning tezlik kamayotgan yo'nalishda ko'chishini bildiradi. η koeffitsiyent gazning qovushqoqlik yoki ichki ishqalanish koeffitsiyenti deyiladi. U ham diffuziya va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari singari gazning hossasiga bog'liq bo'ladi. Bu koeffitsientni dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti yoki dinamik yopishqoqlik deb qam ataladi. $\frac{\eta}{\rho}$ nisbatga kinematik yopishqoqlik yoki kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti deyiladi.

Impuls bir qatlamdan ikkinchisiga ko'chganida bu qatlamlarning impulsleri o'zgaradi va ularning har biriga impulsning vaqt birligi ichida o'zgarishiga teng bo'lgan kuch ta'sir qiladi. Demak, qovushqoqlik shunga olib keladiki, gazning biror qo'shni qatlamga nisbatan harakatlanayotgan ixtiyoriy qatlamiga biror kuch ta'sir qiladi.

Bu kuch turli tezliklar bilan harakatlanayotgan gaz qatlamlari orasidagi ishqalanish kuchidir. Shuning uchun uni ichki ishqalanish deb yuritiladi va u quyidagicha topiladi: $F = -\eta \frac{dv}{dx} S$ (7-35) bu yerda S - bir-biriga tegib turgan gaz

qatlamlarining yuzi. Gazning ikki qo'shni qatlamlarini ajratib turgan sirt birligiga ta'sir qiluvchi kuch: $F = -\eta \frac{dv}{dx}$ (7-36). Qovushqoqlik koeffitsiyenti tezlik

gradiyenti birga teng bo'lganda yuza birligigata'sir qiluvchi kuchga son jihatidan teng. Ichki ishqalanish sababli gaz (yoki suyuqlik) ning trubadan oqishi uchun biror bosimlar farqi kerak bo'ladi. Oqim tezligi biror berilgan qiymatga ega bo'lishi uchun ichki ishqalanish koeffitsiyenti qancha katta bo'lsa, bosimlar farqi ham shuncha katta bo'lishi kerak. Truba kesimidan vaqt birligi ichida oqib o'tuvchi gaz hajmi V va buning uchun kerak bo'lgan bosimlar farqi orasidagi

bog'lanish Puazeyl formulasi bilan aniqlanadi: $V = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta l}$ (7-37) l - trubaning

uzunligi, R - uning radiusi. Bu formuladan foydalanib, biror vaqt oralig'ida

trubadan oqib o'tgan gaz hajmini, truba uchlaridagi bosimlar farqini va trubaning geometrik o'lchamlarini o'lchagan holda gazning qovushqoqlik koeffitsiyentini aniqlash mumkin.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Normal sharoitda geliy atomlari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi 180 nm. Geliy uchun diffuziya koeffitsiyenti aniqlansin.
2. Azot uchun 1) normal sharoitda, 2) 100 Pa bosim va 300 K temperaturada diffuziya koeffitsiyenti aniqlansin.
3. Izobarik; 2) Izoxorik jarayonlar uchun diffuziya koeffitsiyentining temperaturaga bo-liqligini aniqlang.
4. Dinamik qovushoqligi 17 mkPa·s bo'lgan azot molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligini toping.
5. Normal sharoitlarda geliyning diffuziyasi $1,06 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ ga teng. Ushbu sharoitlarda geliy uchun dinamik qovushoqlikni toping.
6. 1) Izobarik; 2) izoxorik jarayonlar uchun dinamik qovushoqlikning temperaturaga bog'liqligini aniqlang. Bu bog'lanishlarni grafik ravishda tasvirlang.
7. 1) Izotermik; 2) Izoxorik jarayonlar uchun dinamik qovushoqlikning bosimga bog'liqligini aniqlang. Bu bog'lanishlarni grafik ravishda tasvirlang.
8. Normal sharoitdagi geliyning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini aniqlang.
9. Normal sharoitda havoning dinamik qovushoqligi 17,2 mkPa·s. Xuddi shu sharoit uchun havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini aniqlang. K ning qiymati $k=(9\gamma-5)/4$ formula bo'yicha hisoblansin.
10. 1) Izobarik; 2) izoxorik jarayonlar uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligini aniqlang. Bu bog'lanishlarni grafik ravishda tasvirlang.
11. Izotermik; 2) Izoxorik jarayonlar uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining bosimga bog'liqligini aniqlang. Bu bog'lanishlarni grafik ravishda tasvirlang.
12. Oralaridagi masofa 5mm bo'lgan ikkita katta parallel plastina orasidagi bo'shliq geliy bilan to'ldirilgan. Bitta plastinaning temperaturasi 290 K, boshqasini 310K qilib tutib turiladi. Issiqlik oqimining zichligi q hisoblansin. Hisoblash geliyning bosimi 1) 0,1 mPA; 2) 1 mPA ga teng holatlar uchun bajarilsin.

8- §. Zaryadlarning o'zaro ta'sirini o'rganish. Kulon tajribalari.

8.1. Elektr zaryadlari, Elektr zaryadlarining saqlanish qonuni;

8.2. Zaryadlarning o'zaro ta'siri, Kulon tajribalari, Kulon qonuni.

1. Elektr zaryadlari, Elektr zaryadlarining saqlanish qonuni: Bizga ma'lumki, barcha jismlar zarrachalardan - atom va molekulalardan tuzilgan. Atomlar esa o'z navbatida musbat zaryadlangan yadro va uning atrofida harakatlanadigan elektronlardan, yadro esa musbat zaryadlangan proton va zaryadsiz neytronlardan tashkil topgan. Neytral atomlarda elektronlar soni yadrodagi protonlar soniga teng bo'ladi.

Elektron manfiy, yadro esa musbat zaryadlidir. Agar biror ta'sir natijasida elektr jihatdan neytrallik buzilsa, bunday jism zaryadlanib qoladi. Jismdagi manfiy zaryadlar musbat zaryadlardan ortiq bo'lsa, jism manfiy zaryadlangan, aksincha musbat zaryadlangan deyiladi.

Amerika olimi R.Milliken va rus olimi A.F.Ioffe elektronning manfiy zaryadli ekanligini va uning zaryad miqdori $e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, massasi esa $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ ga tengligini tajribada isbotlaganlar. Keyinchalik yadro tarkibiga kiruvchi protonning zaryadi ham elektronning zaryadiga miqdoran teng, ammo ishorasi musbat $q_p = + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ va massasi esa $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ ekanligi va tabiatda faqat ikki turdagi, ya'ni manfiy va musbat zaryadlar mavjudligi isbotlangan. SHu zaryadlardan biri ortiq yoki kam bo'lsa jism zaryadlanib qoladi. Fizika fani taraqqiyotining hozirgi kun bosqichida elektron va protonlarning zaryadi eng kichik elementar zaryad bo'lib, har qanday zaryadlangan jismning zaryadi elektron yoki protonning zaryadiga karrali bo'ladi, ya'ni kvantlangan bo'ladi. Demak, jismlarning zaryadi faqat $0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \dots, \pm Ne$ qiymatlarga ega bo'ladi, ya'ni $q = \pm Ne$ (8.1).

Eramizgacha VII asrdayoq qadimgi grek olimi Fales tomonidan ipakka ishqalangan qahraboning o'ziga yengil buyumlarni tortish qobiliyati borligi ko'rsatib o'tilgan edi. Keyinchalik XVI asrning oxirida ingliz vrachi hamda fizigi Gilbert bu hodisa bilan qiziqib qolib unga doir ko'pgina tajribalarni o'tkazdi. U qahrabodan tashqari shisha, ebonit, olmos, tog' xrustali, oltingugurt, smola va shu kabi qator jismlar ham ipak, jun, mo'ynaga ishqalanganda o'ziga yengil jismlarni tortishini aniqladi. Bunday xossaga ega bo'lgan jismlarga elektrlangan jismlar, jismlarda bunday xossaning paydo bo'lishiga esa elektrlanish hodisasi deb ataladi. 1881- yilda nemis olimi Gelmgols elektr hodisalarni elektr jihatdan zaryadlangan elementar zarralarning mavjudligi bilan tushuntiruvchi gipotezani aytdi. Keyinchalik 1897-yilda ingliz olimi Tomson tomonidan elektronning va 1919 -

yilda Rezerford tomonidan protonning kashf etilishi bu gipotezani to'g'ri ekanligini isbotladi.

Keyinchalik yana boshqa qator elementar zarralar (pozitron, neytron, mezon, neytrino va hokazolar) kashf etilib, ularning ayrimlari elektr jihatdan zaryadlangan, ayrimlari esa neytral ekanligi ham aniqlandi. Barcha elementar zarralarning zaryadi kattalik jihatdan bir xil bo'lib, elektron zaryadiga teng va elementar elektr zaryadi deb ataladi.

Elektrostatikada zaryadning ideal fizik modeli **nuqtaviy zaryad** hisoblanadi. Maydonning qaralayotgan nuqtasidan zaryadgacha bo'lgan masofaga nisbatan zaryadning o'lchamlari hisobga olmaslik darajada kichik bo'lsa, zaryadning o'lchamlarini hisobga olmasdan uni nuqtaviy zaryad deb qarash mumkin. Boshqacha aytganda nuqtaviy zaryad - elektr zaryadiga ega bo'lgan moddiy nuqtadir.

Agar zaryadlangan jismning o'lchami ancha katta bo'lib, uni nuqtaviy zaryad deb qarash mumkin bo'lmasa, bu jismning ichida zaryadlar qanday taqsimlanganligini bilish kerak:

a) Zaryadning hajmiy zichligi: Zaryadlangan jismni kichik ΔV hajm larga ajratamiz va bu hajmga to'g'ri kelgan zaryadni Δq bilan belgilaymiz. ΔV hajm cheksiz kamaygandagi $\frac{\Delta q}{\Delta V}$ nisbat berilgan nuqtadagi elektr zaryadining hajmiy zichligi deb ataladi. Uni ρ harfi bilan belgilanadi: $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$ (8.2). Agar zaryad o'tkazgichning butun hajmi bo'ylab tekis taqsimlangan bo'lsa $\rho = \frac{q}{V}$ (8.3). Elektr zaryadi hajmiy zichligining birligi: (C/m³).

b) Zaryadning sirt zichligi: Jismga elektr zaryad berilganda yuza birligiga to'g'ri kelgan elektr miqdori bilan o'lchanadigan kattalik zaryadlarning sirt zichligi deb ataladi. Zaryadning sirt zichligini σ harfi bilan belgilaymiz. S yuzada q zaryad tekis taqsimlangan bo'lsa, $\sigma = \frac{q}{S}$ (8.4) deb yozish mumkin. Sirtning shakliga qarab, sirt egriligi turlicha bo'lgan joylarda elektr zaryadning sirt zichligi ham turlicha bo'ladi. Zaryad sirt bo'yicha tekis taqsimlanmagan holda sirtni juda mayda sirt elementlariga bo'lib chiqiladi. Yuza qanchalik kichik bo'lsa, bu yuzaga to'g'ri keladigan zaryadni tekis taqsimlangan deb qarash mumkin. Kichik yuza elementiga to'g'ri keladigan o'rtacha zaryad zichligi $\langle \sigma \rangle = \frac{\Delta q}{\Delta S}$ (8.5) bo'ladi.

Zaryad sirt zichligining sirt elementiga tegishli biror nuqtadagi haqiqiy qiymatini bilish uchun sirt elementi ΔS ni chegaralovchi yopiq chiziqni shu nuqta bilan tutashib ketguncha cheksiz kichraytirish kerak, u holda ΔS ga mos kelgan Δq ham cheksiz kichraya boradi. Shunday qilib, mana shu cheksiz kichrayib borayotgan

ikki kattaliklar nisbatining limiti nuqtadagi zaryad sirt zichligini ifodalaydi

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS} \quad (8.6). \text{ O'lchov birligi: (C/m}^2\text{).}$$

c) **Zaryadning chiziqli zichligi:** $d \ll l$, $\tau = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl} \quad (8.7)$ dq - jismning dl uzunligida joylashgan zaryad. Agar zaryad o'tkazgichning butun uzunligi bo'ylab tekis taqsimlangan bo'lsa $\tau = \frac{q}{l} \quad (8.8)$. O'lchov birligi: (C/m).

Elektr zaryadlari erkin harakatlanadigan moddalar o'tkazgichlar deyiladi. O'tkazgichlarga qattiq va suyuq holatdagi barcha metallar, ishqor va tuzlarning suvdagi eritmaları, suyultirilgan gazlar kiradi. Metallarda harakatlanuvchi zaryadlar erkin elektronlardir; ularning o'tkazgich bo'ylab ko'chishi o'tkazgichda hech qanday kimyoviy o'zgarishlar hosil qilmaydi. Elektrolitlar, kislotalar, ishqorlarning eritmalarida musbat va manfiy ionlar harakatlanadi va bu harakat o'tkazgichlarda kimyoviy o'zgarishlar bo'lishiga olib keladi.

Zaryadlarning ko'chishi cheklangan (ya'ni erkin elektronlari kam bo'lgan yoki ionlari deyarli bo'lmagan) jismlar dielektriklar yoki izolyatorlar deyiladi. Bunday moddalarga qahrabo, shisha, ebonit, kauchuk, olmos, oltingugurt, ipak, distillangan suv, spirt, kerosin, moy va shu kabilar kiradi.

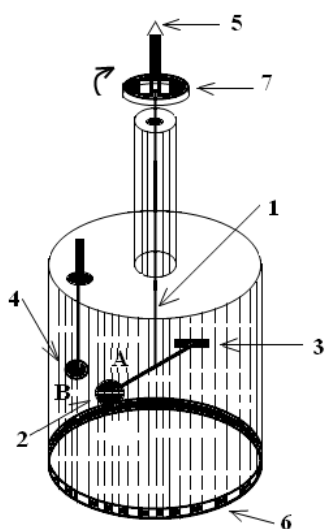
Yarim o'tkazgichlar oraliq holatdagi o'tkazgichlardir. Ularning elektr o'tkazuvchanligi asosan tashqi sharoitlar, jumladan, temperaturaga bog'liq bo'ladi. Ular yuqori temperaturalarda o'tkazgichlarga, past temperaturalarda izolyatorlarga aylanib qoladilar. Bunday moddalarga selen, kremniy, germaniy, grafit va shu kabilar kiradi.

3. Zaryadlangan jismga boshqa zaryadlanmagan jismni tekkizsak, bu jismlarda elektr zaryadlar qayta taqsimlanadi, ya'ni birida ortiqcha musbat zaryadlar hosil bo'ladi, ikkinchisida esa shuncha manfiy ortiqcha zaryad hosil bo'ladi. Bir xil ishorali zaryadlangan jismlar bir-birlaridan qochishadi, turli ishoralilari esa bir-birlari bilan tortishadi. Tajriba xulosalarini umumlashtirish natijasida M.Faradey (1791-1867) tabiatning fundamental qonuni - **zaryadlarning saqlanish qonunini** kashf etdi. Ikki jismning o'zaro bir-biri bilan ta'sirlashuvi tufayli bir jismda ma'lum miqdorda manfiy zaryad vujudga kelsa, ikkinchi jismda xuddi shuncha miqdorda musbat zaryad vujudga keladi. Demak zaryadlar yangidan paydo bo'lmaydi ham, yo'qolmaydi ham. Ular jismlarda mavjud, faqat bir jismdan ikkinchi jismga yoki jismning bir qismidan ikkinchi qismiga ko'chadi, xolos. Bu xulosa zaryadning saqlanish qonuni deyiladi. Unga muvofiq yakkalangan sistemada elektr zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmaydi,

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum q_i = \text{const, yoki} \quad dq/dt = 0 \quad (8.9)$$

Zaryad miqdori turli inersial sanoq sistemalarida o'lchanganda ularning qiymatlari o'zgarmasligi isbotlangan. Demak, elektr zaryadi relyativistik invariantdir degan xulosaga kelamiz, ya'ni zaryad miqdori uning harakat tezligiga bog'liq emas. Elektr zaryadi yo'qolishi ham, yangidan hosil bo'lishi ham mumkin. Ammo doimo qarama-qarshi ishorali ikkita elementar zaryad yo'qoladi yoki hosil bo'ladi.

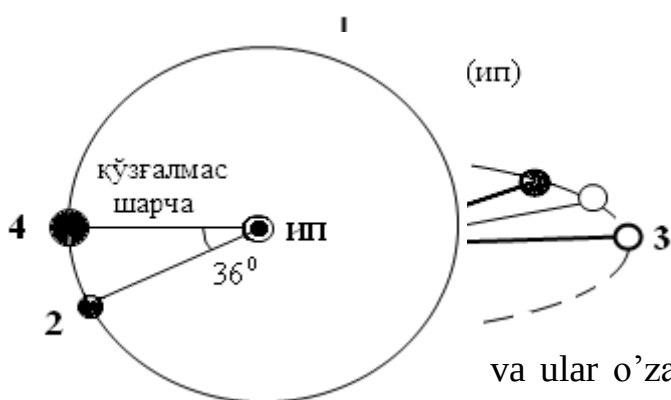
2. Zaryadlarning o'zaro ta'siri, Kulon tajribalari, Kulon qonuni: Elektr zaryadlarning ta'sirini buralma tarozilar yordamida aniqlash mumkin (45 chizma). Mazkur asbobda ikkita kichik metall sharchalar (**A** va **B**) izolyatsiyalovchi sterjenlarga maxkamlangan. **B** sharcha bilan ulangan sterjen qo'zg'almas qilib o'rnatiladi (chizmaga qarang), bir uchida muvozanatlovchi yuki ikkinchi uchida esa **A** sharchasi bor ikkinchi sterjen ingichka elastik ipga osib qo'yiladi.



Ipning yuqori qismi **A** va **B** sharchalarni bir biriga yaqinlashtirish va uzoqlashtirish imkonini beradigan aylanma osmaga mahkamlangan. Sharchalarni zaryadlab (elektrlab) va shunda ipning buralish burchagiga qarab zaryadlarning o'zaro ta'sir «kuchini» aniqlashadi. Shuni aytib o'tish kerakki, sharchalar orasidagi mavjud gravitatsion tortishish ta'sirni inobatga olmasak ham bo'laveradi: $F_{\text{эл}}/F_{\text{ГП}} \sim 10^{40}$.

8.1-rasm. Kulon qurilmasi.

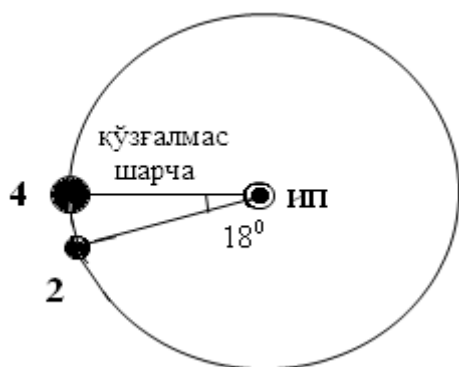
Asbobni tarkibiy qismlari: 1– ingichka elastik ip, 2 – oltin suv yuritilgan sharcha, 3 – muvozanatlovchi yuk, 4 – tarozining qopqog'iga o'rnatilgan sharcha, 5 – ster-jencha, 6 – pastki burchak shkalasi, 7– yuqori burchak shkalasi. **A** va **B** sharchalar o'rnatilgan sterjen – shishasimon sterjen.



5 – sterjenchani aylantirib 2 (**A**) va 4 (**B**) sharchalarni bir-biriga tekkazishadi. Undan so'ng 4 sharchani chiqarib olib uni zaryalab to 2 sharchaga tekkunicha yana tushirishadi. Bunda zaryadning bir qismi 4 dan 2 – chi sharchaga o'tadi, va ular o'zaro itarishadi. SHu bilan birga ingichka

8.2 – rasm.

ip 1 biror φ_1 burchakka buriladi (8.2 -rasm). Buralgan burchakni 6 shkaladan aniqlash mumkin (8.1-rasm). Faraz qilaylik sharchaga **q** zaryad berilgan bo'lsin. **B** sharcha **A** sharchaga tekkandan so'ng **A** sharchaga **q** zaryadning bir qismi o'tadi va sharchalar bir-biridan qochadi. Natijada ip yuqorida aytilgan φ_1 burchakka buraladi. Kulon tajribasida mazkur burchak $\varphi_1 = 36^\circ$ teng edi. Keyin Kulon sharchalarni 5 sterjenchani soat strelkasi bo'ylab burab $\varphi_2 = 18^\circ$ gacha yaqinlashtirdi. Buning uchun 5 sterjenchani 7 shkala bo'ylab $\alpha = 126^\circ$ burchakka burashga majbur bo'ldi. Buni tushunish unchalik qiyin emas, toki sharchalar orasida itarilish kuchlari bor ekanki, ular bir biridan qochadi. Demak sharchalarni 18° gradus burchakkacha yaqinlashtirish uchun 5 sterjenchani $\alpha = 126^\circ$ (7 chi shkala ko'rsatishi bo'yicha) burchakka burishga to'g'ri keldi. U xolda ip $\beta = \alpha + \varphi_2 = 144^\circ$ gradus burchakka buralgan bo'ladi. Bu qiymat ilgari $\varphi_1 = 36^\circ$ dan to'rt maro-taba katta. Savol tug'ilishi mumkin: nega aynan to'rt marotaba? Nega yana o'sha dastlabki $\varphi_1 = 36^\circ$ gradus burchak emas? Bu savollarga javob berishdan avval, biz shuni ta'kidlab o'tishimiz kerakki, ip bu tortilishga qaraganda buralishida ko'proq elastiklik xususiyatini nomoyon qiladigan jismdir. Zaryadlar bir-biridan itarilganda ip dastlab $\varphi_1 = 36^\circ$ gradusga buraladi va shundagina muvozanatga keladi. Energetik nuqtai nazardan kelib chiqsak, bunday bo'lishligi bejiz emas. Ip buralganda u $w = \frac{D\varphi^2}{2}$ energiya zahirasiga ega bo'ladi. Demak agar ip $\varphi_1 = 36^\circ$ ga buralgan bo'lsa bu deganiki **B** shar hosil qilgan elektr maydon **A** (qo'zg'almas) sharni o'zidan uzoqlashtirish uchun sarflagan energiyasi shu $w = \frac{D\varphi^2}{2}$ o'tadi (chunki ip buraladida!). Uzoqlashayotgan vaqtidayoq ip buralaveradi (47 chizma) va aynan $\varphi_1 = 36^\circ$ ga yetganda to'xtaydi. Bu vaziyatda (konfiguratsiyada) elektr maydonni uzoqlashtirish uchun bajargan ishi (sarflagan energiyasi) $w = \frac{D\varphi_1^2}{2}$ teng bo'ladi. Bu

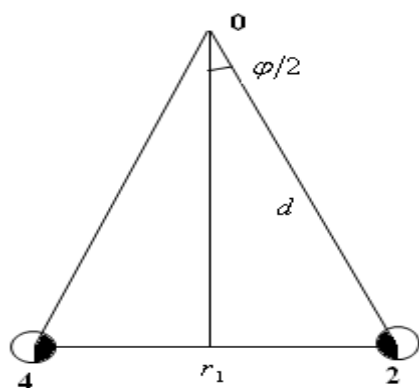


8.3 – rasm.

burashni, ya'ni $\varphi_2 = 18^\circ$ ni 4 sharcha maydoni bajardi. Natijada ip umumiy xisobda 144° burchakka buraldi. Bu qiymat dastlabki burchak qiymatidan 4 marta katta. Bunda sharchalar orasidagi masofa $r_1(\varphi_1)$ to $r_2(\varphi_2)$ gacha o'zgardi.

Agar eshkak uzunligi d bo'lsa, u holda: $r_1 = 2d \sin \frac{\varphi_1}{2}$ va $r_2 = 2d \sin \frac{\varphi_2}{2}$ (8.4 – rasm). Bu yerdan $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sin 18^\circ}{\sin 9^\circ} \approx 2$. Demak, masofa ikki marta kamaysa ipning

buralish burchagi 4 marta ortadi. SHunchalik tashqi kuch momenti ham ortadi. Bundan muhim xulosaga kelamiz: ikkita zaryadlangan sharchalar orasidagi elektr



8.4 – rasm.

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}.$$

$$1 \text{ K} \cdot \text{л} = 3 \cdot 10^9 \text{ CTC}_q,$$

$k = 9 \times 10^9 \text{ H} \cdot \text{m}^2 / \text{K} \cdot \text{л}^2$ $e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ CTC}_q$. Elektrodinamikada odatda SGS (Gauss absolyut birliklar sistemasi qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Elektrostatik maydon va uning xarakteristikallari
2. Elektr maydon kuchlanganligi
3. Gauss teoremasi
4. Gauss teoremasining turli elektrostatik maydonlarni hisoblashga tatbiqi
5. Elektrostatik maydon potentsiali

6. Elektrostatik maydonda potensial va potentsiallar farqini hisoblash.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Ch.13.6¹⁸. Ikkita 1 mkC va -1 mkC nuqtaviy zaryadlar orasidagi masofa 10 sm ga teng. Birinchi zaryaddan 6 sm, ikkinchi zaryaddan 8 sm masofadagi nuqtada joylashgan 0,1 mkC zaryadga ta'sir etuvchi kuchni aniqlang.

2. Ch.13.10. Ikkita musbat q va 4q nuqtaviy zaryadlar bir-biridan 60 sm masofada mahkamlangan. Muvozanat vaziyatida bo'lishi uchun uchinchi zaryadni berilgan zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziqning qaysi nuqtasida o'rnatish kerak? Agar zaryad faqat mahkamlangan zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlana olsa, muvozanat turg'un bo'lishi uchun zarya qanday ishorali bo'lishi kerak? (20, 40 +)

3. Ch.13.10. Uzun ingichka tayoqcha 10 mkC/m chiziqli zaryad zichligi bilan bir tekis zaryadlangan. Tayoqcha o'qining davomida, yaqin uchidan 20 sm masofada 10 nC nuqtaviy zaryad turibdi. Zaryadlangan tayoqcha va nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchini aniqlang.

4. Ch.14.7. 8 sm radiusli ingichka xalqada 10 nC/m chiziqli zichlik bilan tekis taqsimlangan zaryad bor. Xalqaning hamma nuqtalaridan 10 sm masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganlini toping.

5. Ch.14.25. Ikkita cheksiz parallel plastina 10 nC/m² va -30 nC/m² sirt zichliklari bilan tekis zaryadlangan. 1m² yuzaga to'g'ri keluvchi plastinkalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini aniqlang.

6. Ch.14.37. Katta metall plastinada sirt bo'ylab tekis taqsimlangan zaryad bor (10 nC/m²). Plastinadan uzoq bo'lmagan joyda 100 nC nuqtaviy zaryad turibdi. Zaryadga plastina tomonidan ta'sir qiluvchi kuchni toping.

7. Ch.14.51. 20 sm radiusli sfera markazida 10 nC nuqtaviy zaryad turibdi. Sfera sirtining yuzasi 20 sm² bo'lgan qismi orqali kuchlanganlik vektorining oqimini toping.

8. Ch.14.55. 1 mkC zaryad doiraviy yuzacha chetlaridan bir xil 20 sm uzoqlikda joylashgan. YUzachaning radiusi 12 sm. YUzacha chegaralarida kuchlanganlikning o'rtacha qiymatini aniqlang (24,3).

9. Ch.5. Elektr maydon zaryad uzunligi bo'ylab 0,1mkC/m zichlik bilan tekis taqsimlangan ingichka tayoqcha tomonidan hosil qilingan. Tayoqcha uchlaridan uning uzunligiga teng masofada yotuvchi nuqtadagi maydon potensialini aniqlang.

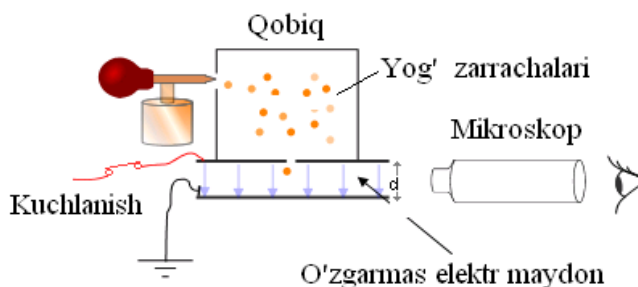
¹⁸ Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 203-223 бетлар.

10. Ch.15.38. Elektr maydonni musbat nuqtaviy zaryad hosil qilgan. Zaryaddan 12 sm uzoqlikdagi nuqtadagi maydon potentsiali 24 V. SHu nuqtadagi potentsial gradiyentining yo'nalishi va qiymati aniqlansin.

9- §. Metallar elektr o'tkazuvchanligining elektron nazariyasi. Metallarda elektr toki.

- 9.1. Elementar zaryadni aniqlash. Ioffe va Milliken tajribasi;
- 9.2. Mandelshtam va Papaleksi, Tolmen va Styuart tajribalari;
- 9.3. Rikke tajribasi;
- 9.4. Metallarda tok tashuvchilarning tabiati;
- 9.5. O'tkazgichlar qarshiligini tushuntirish;
- 9.6. Metallar elektr o'tkazuvchanligining elektron nazariyasi;
- 9.7. Om qonunining tushuntirilishi;
- 9.8. Joule-Lens qonunining tushuntirilishi;
- 9.9. Videman-Frans qonuni;
- 9.10. Metallar elektron nazariyasining kamchiliklari.

1.Elementar zaryadni aniqlash. Ioffe va Milliken tajribasi: XX asr boshlarida (1906-1916 yillarda) rus fizigi A.F.Ioffe va amerikalik fizik R.Milliken bir-biridan mustaqil ravishda eng kichik zaryad, ya'ni elektron zaryadini aniqlashga bag'ishlangan eng aniq tajribalarni o'tkazishga muvaffaq bo'ldilar. A.F.Ioffe tajribasida mayda rux tomchilari hosil qilingan va naycha orqali ikki zaryadlangan plastinkalar orasiga tushirilgan (9.1-rasm). Tomchi og'irlik kuchi ta'sirida tusha boshlagan, lekin plastinkalarga yetarlicha zaryad berilsa (yuqoridagi plastinkaga musbat, pastdagisiga manfiy), u plastinkalar orasida muallaq turgan.



9.1-rasm. Ioffe va Milliken tajribasi qurilmasi

Faraz qilaylik, tomchi manfiy zaryadlangan bo'lsin. Elektr maydoni tomonidan tomchiga $F_e = qU/d$ kuch ta'sir etadi. Bu kuch $F = mg$ og'irlik kuchi bilan tenglashganda tomchi muvozanatda bo'ladi. Agar tomchi ul'trabinafsha nur bilan yoritilsa, u bir qism zaryadini yo'qotgan va yana tusha boshlagan.

Plastinkalarga berilayotgan kuchlanish oshirilib, tomchi yana to'xtatilgan. Bu jarayonni bir necha marta takrorlab, tomchining zaryadi elektron zaryadiga, ya'ni y

$e=1.6 \cdot 10^{-19}$ Kl ga karrali ekanligi aniqlangan. Tabiatda zaryadlar doim elektron zaryadiga karrali bo'ladi.

Milliken o'sha zamon uchun dadil bo'lgan masalani – alohida mayda yog' tomchilarining elektr zaryadini o'lchash masalasini o'z oldiga qo'ydi. Milliken qurilmasining asosiy qismi ikkita parallel plastinka bo'lib, bu plastinkalar orasida bir jinsli elektr maydon hosil qilindi. Bu maydonga changlagich vositasida moy tomchilari purkaldi. Moyning to'yingan bug'i bosimi past bo'ladi va shuning uchun tajriba davomida tomchilarning bug'lanishini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Havoning temperaturasi va bosimi qat'iy toimiy bo'lishi uchun butun asbob muhofazalovchi g'ilof ichiga joylandi. Moy changlantirilganda tomchilar elektrlanib, og'irlik kuchi, elektr maydon va boshqa kuchlar ta'siri ostida harakat qildi. Tomchilarning harakatini maxsus darcha orqali mikroskopda kuzatildi.

Oldin tomchining og'irlik kuchi ρVg , itarib chiqaruvchi kuch $\rho_0 Vg$ va havoning qarshilik kuchi F_q ta'siri ostida tushishning barqarorlashgan tezligi v_0 ($v_0 = const$) o'lchandi (bu yerda mayning ρ zichligi, ρ_0 havoning zichligi, V tomchining hajmi). Harakat tezligi uncha katta bo'lmaganda qarshilik kuchi tezlikka to'g'ri proporsional: $F_q = bv$ (9-1). Bu yerdagi b koeffitsiyent tomchining radiusiga va havoning qovushqoqligiga bog'liq. Uni aniqlasa bo'ladi.

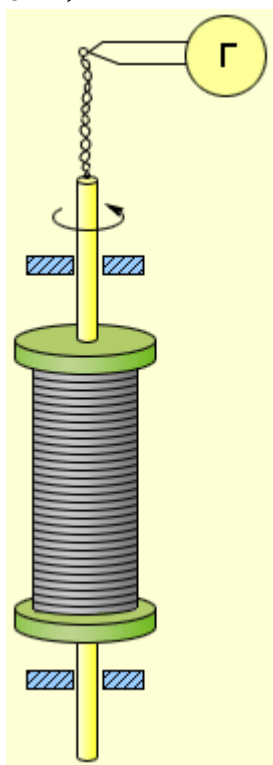
So'ngra plastinkalar orasida tomchilarni yuqoriga ko'taruvchi elektr maydon hosil qilindi va tomchi harakatining maydon ta'sirida qaror topgan v tezligi o'lchanadi. O'zgarmas tezlik bilan harakatlenganda hamma kuchlarning yig'indisi nolga teng bo'lgani uchun birinchi holda tomchining tezligi v_0 $\rho Vg - \rho_0 Vg - bv_0 = 0$ (9-2) tenglamadan aniqlanadi. Maydon berilganda tomchining barqaror harakati tenglamasi $\rho Vg - \rho_0 Vg + bv - qE = 0$ (9-3) ko'rinishda bo'ladi. Bu formulalardan tomchi zaryadining

qiymatini aniqlash mumkin: $q = \frac{b \cdot (v_0 + v)}{E}$ (9-4). Moy tomchilari Rentgen nurlari bilan nurlantirilganda elektr maydondagi tomchilarning harakati tezligi sakrab o'zgargan. Bu esa tomchining zaryadi Rentgen nurlari ta'sirida uzlukli o'zgarishidan dalolat beradi. yentgen nurlari tomchidan ayrim elektronlarni yulib olgan. (9-4) formula yordamida aniqlanadigan zaryad son qiymati elektron zaryadi qiymatiga yaqin chiqqan.

R.Milliken va A.F.Ioffe elektronning manfiy zaryadli ekanligini va uning zaryad miqdori $e = - 1,6 \cdot 10^{-19}C$, massasi esa $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}kg$ ga tengligini tajribada isbotlaganlar. Elektron elektr zaryadining eng aniq qiymatlari zaryadlangan moy tomchilarining elektr maydonidagi harakatini kuzatish jarayonida olingan. Keyinchalik yadro tarkibiga kiruvchi protonning zaryadi ham elektronning zaryadiga miqdoran teng, ammo ishorasi musbat $q_p = + 1,6 \cdot 10^{-19} C$ va massasi esa $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} kg$ ekanligi va tabiatda faqat ikki turdagi, ya'ni manfiy va musbat zaryadlar mavjudligi isbotlangan.

SHu zaryadlardan biri ortiq yoki kam bo'lsa jism zaryadlanib qoladi. Fizika fani taraqqiyotining hozirgi kun bosqichida elektron va protonlarning zaryadi eng kichik elementar zaryad bo'lib, har qanday zaryadlangan jismning zaryadi elektron yoki protonning zaryadiga karrali bo'ladi, ya'ni kvantlangan bo'ladi. Demak, jismlarning zaryadi faqat $0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \dots, \pm Ne$ qiymatlarga ega bo'ladi, ya'ni $q = \pm Ne$ (9-5).

2.Mandelshtam va Papaleksi, Tolmen va Styuart tajribalari: 1913-yilda L.I.Mandelshtam va D.Papaleksi (Rossiya), tomonidan tezlanuvchan harakatdagi o'tkazgich bilan bo'ladigan tajribani amalga oshirdilar. Ular sim o'ralgan g'altakni uning o'z o'qi atrofida buralma tebranishga keltirdilar. Buralma tebranishlar qilayotgan simli g'altakda haqiqatdan ham o'zgaruvchan tok vujudga kelishini aniqladilar. Tok impulsi o'tishi hisobiga hosil bo'lgan tovushni eshitish uchun g'altakning uchiga telefon ulangan. So'ngra bu tajribani qaytadan G.Lorens tavsiya qildi. L.I.Mandelshtam va D.Papaleksi tajribalaridan keyin metallarda tok tashuvchi zarralar elektronlar ekanligiga shubha qolmadi. Shunga qaramasdan, 1916-yilda Tolmen va Styuart (AQSH) lar maxsus tajriba o'tkazib, miqdoriy natijalar oldilar.



9.2-rasm

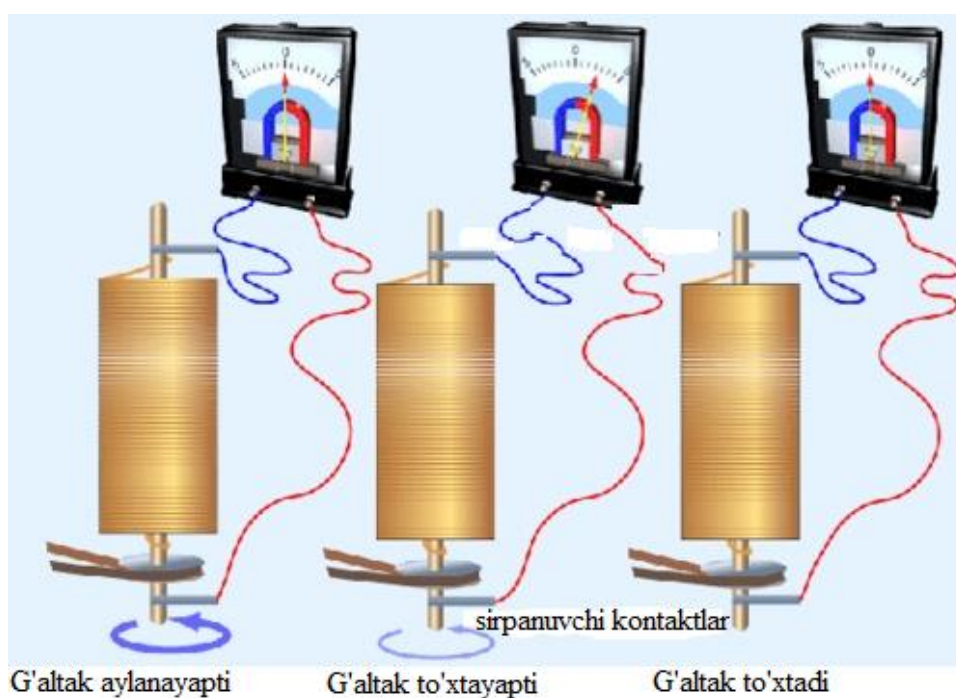
Tolmen va Styuart tajribasining sxemasi 9.2-rasmda keltirilgan ingichka simdan qilingan o'ramlari soni ko'p bo'lgan g'altak o'z o'qi atrofida tez aylantirilgan. Chulg'amlarning uchlari g'altak aylanganda buraladigan uzun yumshoq simlar vositasida sezgir ballistik galvanometrga ulangan, ya'ni telefon o'rnida gal'vanometrdan foydalangan.

G'altak buralib bo'lgandan keyin u maxsus moslama yordamida keskin tormozlangan. Chulg'amning umumiy uzunligi taxminan 500 m, sim harakatining chiziqli tezligi $300 \frac{m}{s}$ ga teng. O'lchashlarda yer magnit maydonining ta'siri mufassal bartaraf qilingan, chunki u induksional toklarning paydo bo'lishiga sabab bo'lishi mumkin (elektr qarshilikning sababi). Tajribalarning natijalari tormozlanganda ballistik gal'vanometrning strelkasi og'ib, zanjirda tok mavjud

ekanligini ko'rsatgan. Chunki g'altak tormozlanganda o'tkazgich tarkibidagi erkin zaryadlar inersiyasi tufayli o'z harakatini davom ettirib, zanjirda tok hosil qiladi¹⁹ (9.3-rasm). G'altak aylanayotgan va to'xtab turgan holatlarda hech qanday tok hosil bo'lmagan. Tolmen va Styuart g'altak to'xtayotgandagi hosil bo'lgan tokni gal'vanometr yordamida o'lchab, zanjirda qisqa muddatli tokning paydo bo'lishiga

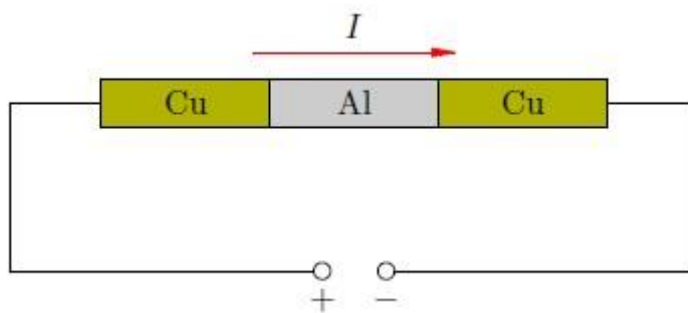
¹⁹ Назаров, Ў.Қ. Умумий физика курси. II том. Техника олий ўқув юртлари талабалари учун ўқув қўлланма. Тошкент.: Ўзбекистон. 2002. 76-80 бетлар.

sababchi bo'lgan zaryad miqdorini o'lchagan va tok tashuvchi zaryadlarning solishtirma zaryadini hisoblagan: $\frac{l}{m} = \frac{v l}{q R}$. Bu tenglamada l - o'ralgan simning uzunligi, v - g'altakning chiziqli tezligi, R - uning qarshiligi. G'altakka o'ralgan o'tkazgichni almashtirish orqali yuqorida tafsiloti berilgan tajriba har xil metallardan tayyorlangan simlar uchun takrorlangan. Tajribadan olingan solishtirma zaryad $\frac{q}{m} = 1,7589 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ ga teng bo'lib, hamma metallar uchun o'zgarmas qolgan. Uning qiymati boshqa usullar bilan aniqlangan elektronning solishtirma zaryadiga yaqin bo'lib chiqdi $\frac{e}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Tajribalar natijalari metallarda elektr tokini tashuvchilar manfiy zaryadlangan elektronlar ekanligini ko'rsatdi. Bunday elektronlar **o'tkazuvchanlik elektronlari** deb ataladi.



9.3-rasm. Tolmen va Styuart tajribasining ko'rinishi.

3.Rikke tajribasi: XX asrning boshlariga qadar o'zgarmas tok qonunlarini tushuntiradigan yetarlicha nazariy asos yo'q edi. Shuning uchun metallarda tok tashuvchilar tabiatini tushuntirish uchun bir qator maxsus tajribalar o'tkazildi. Bu tajribalar ichida qiziqrog'i Rikke (Germaniya 1901) tajribasi hisoblanadi.



9.4-rasm. Rikke tajribasi.

U o'tkazgichdan tokning o'tishi modda atomlarining ko'chishi bilan bog'liqmi, degan savolga javob berishi kerak edi. Olingan natijalardan tok tashuvchilari erkin zaryadlar bo'lib, ular modda atomlari bilan bog'lanmagan va barcha moddalar uchun bir xil degan xulosaga kelindi. Rikke uchlari juda toza yo'nilgan ikkita mis va bitta alyuminiy yilindrni oladi (9.4-rasm). silindrlar dastlab tortilgan, so'ngra birgalikda mis-alyuminiy-mis ketma-ketligida qo'yilgan. Ana shunday tarkibli o'tkazgich orqali bir xil yo'nalishda bir yil davomida uzluksiz ravishda tok o'tkazib turildi. Butun yil davomida silindrlar orqali $3,5 \cdot 10^6$ C ga teng zaryad oqib o'tgan.

Yana qayta tortishlar (tarozida) shuni ko'rsatdiki, tokning o'tishi silindrlarning og'irligiga hech qanday ta'sir etmas ekan. Shuningdek, bir-biriga tegib turuvchi uchlar mikroskop ostida qarab tekshirilganda ham bir metallning ikkinchisiga kirib qolganligi qayd qilingan emas. Rikke tajribasining natijalari metallarda zaryad tashish atomlar bilan emas, balki barcha metallar tarkibiga kiruvchi qandaydir zarralar vositasida amalga oshishidan darak beradi. Bunday zarralar 1897 yilda Tomson tomonidan kashf qilingan elektronlar bo'lishi mumkin.

Metallarda tok tashuvchilar aynan elektronlar ekanligini ko'rsatish uchun tashuvchilarning solishtirma zaryadi kattaligini va ishorasini aniqlash kerak edi. SHu nuqtai nazardan qilingan tajribalar quyidagi mulohazalarga asoslangan edi. Agar metallarda oson siljiy oladigan zaryadlangan zarralar mavjud bo'lsa, u holda metall o'tkazgich tormozlangan vaqtda bu zarralar ma'lum vaqt davomida inersiya bo'yicha harakatini davom ettirishi kerak. Natijada o'tkazgichda tok impul'si paydo bo'ladi va bunda ma'lum miqdor zaryad ko'chiriladi. O'tkazgich dastlab v_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. Uni a tezlanish bilan tormozlay boshlaymiz.

Zaryad tashuvchilar inersiyasi bo'yicha harakatni davom ettirib, o'tkazgichga nisbatan $-a$ tezlanishga ega bo'ladi. Qo'zg'almas o'tkazgichda kuchlanganligi $E = -\frac{ma}{e}$ bo'lgan elektr maydoni hosil qilib, ya'ni o'tkazgich uchlari $U = El$ (l - o'tkazgich uzunligi, e - zaryad tashuvchi, m - massa) potentsiallar farqini berish orqali ham zaryad tashuvchilarga xuddi shunday tezlanish berish mumkin. Bu holda o'tkazgich bo'ylab

kuchi $i = \frac{U}{R}$ bo'lgan tok o'tadi. Demak, dt vaqtda o'tkazgich har bir ko'ndalang kesimidan

$$dq = idt = -\frac{maldt}{R \cdot e} = -\frac{mlv}{R \cdot e} \quad \text{zaryad o'tadi. Butun tormozlanish vaqtida}$$

$$q = idt = \int_0^t dt = -\int_{v_0}^0 \frac{mldv}{R \cdot e} = \frac{mlv_0}{R \cdot e} \quad \text{zaryad o'tadi. Bunda } q, l, v_0, R \text{ kattaliklar o'lchanishga}$$

mansubdir. Shunday qilib, o'tkazgichni tormozlab va bu holda zanjirdan o'tadigan zaryadni o'lchab, zaryad tashuvchilarning solishtirma zaryadini aniqlash mumkin. Tok impul'sining yo'nalishi zaryad tashuvchining ishorasini belgilaydi²⁰.

Metallardagi tokning elektron tabiati elektronlarning inersiyasiga doir tajribalarda o'zining ishonchli isbotiga ega bo'ldi. Doimiy v tezlik bilan harakatlanayotgan zaryadlanmagan metall parchasini ko'z oldimizga keltiraylik. Metall bilan birga elektronlar ham shunday tezlik bilan harakatlanadi, shuning uchun elektronlarning kristall panjaralarga nisbatan hech qanday siljishi bo'lmaydi, binobarin elektr toki ham bo'lmaydi. Biroq elektronlarning zaryaddan tashqari massasi ham bor va shuning uchun ular ma'lum inersiyaga egadirlar.

Metallning harakati har qanday o'zgarganda elektronlar panjara harakatidan yo'q qoladi, yo oldinga ketadi, buning natijasida elektr toki paydo bo'ladi. Bu hodisani tramvay vagoni keskin to'xtaganida yoki joyidan tusatdan qo'zg'alganda yo'lovchilar oladigan turtkilarga o'xshatish mumkin.

Bu tokning yo'nalishi metallda harakatlanayotgan zarralarning zaryadi ishorasiga bog'liq bo'lishini ko'rish oson. Masalan, metall tormozlanganda zarralar panjaradan ilgarilab ketadi va unga nisbatan ungdan chapga qarab harakatlanadi. Agar zarralar musbat zaryad olib o'tayotgan bo'lsa, hosil bo'lgan i_+ tok ham o'ngdan chapga yo'nalgan bo'ladi. Agar zarralar manfiy zaryadlangan bo'lsa, u holda i_- tokning yo'nalishi teskari bo'ladi. Shuning uchun tajribada hosil bo'lgan tokning yo'nalishini tekshirib, metallardagi zaryad tashuvchilarning ishorasini aniqlash mumkin. Bu tok bilan olib o'tilgan zaryad kattaligini ham o'lchasak, zaryad tashuvchilar zaryadining ular massasiga $\frac{e}{m}$ nisbatini aniqlash, binobarin, ularning tabiatini aniqlash mumkin.

4. Metallarda tok tashuvchilarning tabiati: Metallarda elektr tokini tashuvchi zarrachalar elektronlar ekanligi eksperimental tasdig'ini topdi. Odatda qattiq holatdagi barcha metallarni kristallar deb ataladi. Metallarda atomlar kristallik panjaralar hosil qilib joylashadi. Panjarada tashqi (valent) elektronlarning atom yadrosi bilan bog'lanishi zaiflashadi. Ular atomdan osongina ajralib chiqishi va erkin zaryadlarga aylanishi mumkin. U holda metallar o'zini erkin elektronlar gazi bilan to'ldirilgan musbat ionli panjaralarday tutadi.

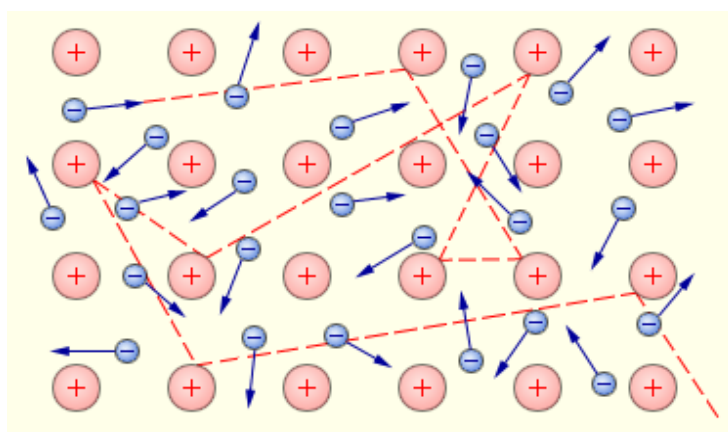
²⁰ Савельев.И.В. Умумий физика курси. II том. Тошкент.: Ўқитувчи. 1975. 202-203 бетлар.

Erkin elektronlar konsentratsiyasini quyidagicha aniqlash mumkin: $n = \frac{D}{A} \cdot N_A$

$D \approx (1-20) \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$ metallar zichligi. $A \approx (10-250) \frac{kg}{kat}$ kiloatom massasi,

$n \approx (10^{28} - 10^{29}) \frac{1}{m^3}$ konsentratsiya.

5.O'tkazgichlar qarshiligini tushuntirish: Tok bo'lmaganda metallarda hajmiy zaryadlar bo'lmagani sababli, metallarda musbat zaryadlar ham bo'ladi, biroq ular tok hosil bo'lishida ishtirok etmaydi, deb xulosa chiqarish mumkin. Metallarning musbat zaryadlari uning kristall panjarasini hosil qiluvchi ionlardir. Metallarda o'tkazuvchanlik elektronlari erkin harakatlanmaydi, biroq panjaralardagi ionlar bilan to'qnashishlarga duch keladi. Tashqi elektr maydon bo'lganda elektronlar faqat tartibsiz issiqlik harakatida bo'ladi – har bir elektron xuddi biron harakatdagi gaz yoki zarra singari murakkab trayektoriya chizadi (9.5-rasm).



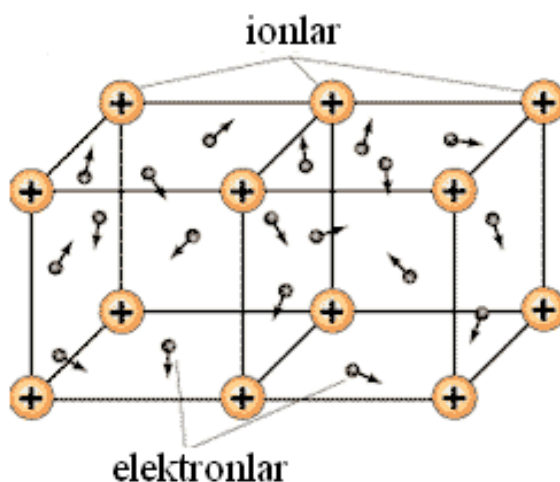
9.5-rasm. Elektronlarning issiqlik harakati.

Issiqlik harakatining tartibsiz bo'lishi tufayli ixtiyoriy yo'nalishda harakatlanayotgan elektronlar miqdori o'rtacha hamma vaqt qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan elektronlar miqdoriga teng bo'ladi. Shuning uchun tashqi maydon bo'lmaganda elektronlarning ixtiyoriy yo'nalishi olib o'tgan yig'indi zaryadi nolga teng bo'ladi.

Tashqi elektr maydon qo'yilganda elektronlar maydonning yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda qo'shimcha tartibli harakat oladi. Shuning uchun elektronlarning amaldagi harakati tartibli va tartibsiz harakatlarning yig'indisidan iborat bo'ladi, binobarin, shuning uchun elektronlarning harakat yo'nalishi paytida paydo bo'ladi. Bu holda maydonga qarama-qarshi harakatlanayotgan elektronlar soni maydon yo'nalishi bo'ylab harakatlanuvchi elektronlar sonidan ko'p bo'ladi, ya'ni elektr zaryad ko'chishi **elektr toki** paydo bo'ladi. Elektronlarning biz ko'rib o'tgan harakat manzarasi metallarning elektr qarshiligini tushuntirishga imkon beradi. Ketma-ket ikki

to'qnashishlar orasida elektronlar maydon ta'sirida tezlanma harakat qiladi va tegishli energiya oladi.

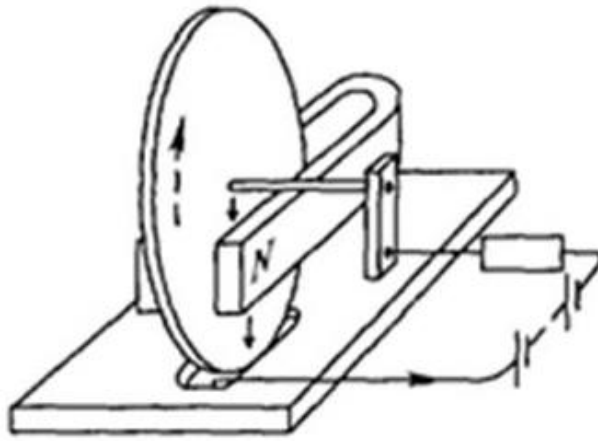
Bu energiya to'qnashishlarda qisman yoki to'la ravishda musbat ionga beriladi va ionlarning tartibsiz tebranishlariga energiyasiga, ya'ni issiqlikka aylanadi. Shuning uchun tok o'tganda metallar qiziydi. Xuddi shuningdek, tashqi maydon yo'qotilganda elektronlarning tartibli harakati to'qnashishlar natijasida tartibsiz issiqlik harakatiga aylanadi va elektr tok o'tmaydi (9.6-rasm). SHunday qilib, elektronlarning metallarga harakati to'qnashishlar tufayli yuzaga keladigan ishqalanish bilan ro'y beradi, bu ishqalanish gazlardagi ichki ishqalanishga o'xshaydi. Ko'rinib turibdiki, elektr qarshilikning bo'lishiga sabab elektronlarning metall panjarasidagi musbat ionlar bilan to'qnashishidir.



9.6-rasm. Metallarda elektronlarning harakati (maydon bo'lmaganda).

Metallarda elektronlarning ishqalanishi faqat Joul-Lens issiqligining hosil bo'lishigina emas, shu bilan birga, o'tkazuvchanlik elektronlari bilan metall panjarasi orasida harakat miqdori almashinishiga ham olib keladi. Buni 9.7-rasmida tasvirlangan tajribada namoyish qilish mumkin. Gorizontaal o'q atrofida kichik ishqalanish bilan aylana oladigan metall disk magnit qutblari orasiga joylashtirilgan.

Disk elektr zanjiriga ulangan, shuning uchun unda diskning o'qi va simobli idishda botib turgan chekkasi orasidan o'tuvchi tok bor. Diskda tok bo'lganda u aylanadi, tokning yo'nalishi o'zgarganda diskning aylanish yo'nalishi ham o'zgaradi. Diskning pastki yarmida harakatlanayotgan elektronlarga, tokka va magnit maydonga tik yo'nalgan Lorens kuchi ta'sir qiladi. Agar elektronlar ishqalanishsiz harakatlanganlarida edi Lorens kuchi elektronlarning metall ichidagi trayektoriyalarinigina o'zgartirar, disk esa qo'zg'almas qolar edi. Elektronlarning ishqalanishi tufayli ular oladigan harakat miqdori diskka beriladi, natijada disk harakatga keladi.



9.7-rasm.

6. Metallar elektr o'tkazuvchanligining elektron nazariyasi: Moddalarning turli xossalarini unda elektronlarning mavjudligi va harakati bilan tushuntirish elektron nazariyasining mazmunini tashkil qiladi. Metallarning klassik elektron nazariyasida elektronlarning harakati Nyutonning klassik mexanika qonunlariga bo'ysunadi, deb tasavvur qilinadi. So'ngra, bu nazariyada elektronlarning o'zaro ta'siri nazarga olinmaydi elektronlarning musbat ionlar bilan o'zaro ta'siri esa faqat to'qnashishlar sifatida qaraladi. Boshqacha aytganda, o'tkazuvchanlik elektronlari metallar fizikasidagi ideal atomar gaz singari **elektron gaz** deb qaraladi.

Ya'ni bu nazariyaning asosida gazlar klassik nazariyasi xulosalarida qo'llanilgan ideal elektron gazi modeli yotadi. Panjara tugunlari bilan to'qnashganda energiya almashinuvi yuz beradi - issiqlik muvozanati o'rnatiladi.

Metall hajmi bilan chegaralangan fazoda erkin elektronlarning harakatini tartibsiz deb qarash mumkin. Bundan xulosa shuki, erkin elektronlar bilan kristall panjara tugunlarida joylashgan ionlar orasidagi ta'sir kuchi deyarli nolga teng. Agar elektronning massasi molekula massasidan taxminan ming marta kichik ekanligini hisobga olsak, ideal gazning barcha qonunlari elektron gaz uchun ham o'rinni bo'lishi ravshanlashadi. Jumladan, elektron gaz ideal gazdagi energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanish qonuniga ham bo'ysunishi kerak, bu qonunga muvofiq har bir erkinlik darajasiga o'tib keluvchi issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi $\frac{1}{2}kT$ ga teng. Erkin elektron uchta erkinlik darajasiga ega bo'lgani uchun bitta elektronga to'g'ri keladigan tartibsiz issiqlik harakati o'rtacha energiyasi quyidagiga

teng bo'ladi: $\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ (9.1). Bu yerda v_T^2 issiqlik harakati tezligi kvadratining o'rtacha qiymati. 1900-1904 yillar davomida P.Drude va X.Lorens ideal gaz qonunlarini elektron gazga tatbiq etib, metallardagi elektr o'tkazuvchanlikning elektron nazariyasini

yaratdilar. Elektronlarning xaotik (tartibsiz) harakati tezligi tartibini taxminan hisoblash

mumkin:
$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (9.2)$$

$T=300$ C bo'lganda

$$v \approx 10^5 \frac{m}{s}.$$
 Bundan ko'rinadiki, elektronlar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi

juda katta, birinchi kosmik tezlikdan yuz karra ortiq ekan. Xo'sh, shunday katta tezlik bilan tartibsiz harakat qiluvchi elektronlar nima uchun metall tashqarisiga chiqib ketmaydi, degan savol tug'iladi. Masala shundaki, Bunday elektronlarning ayrimlari metallan chiqib ketadi (ularning soni millionlab bo'ladi) va metall sirtida musbat zaryadlar ortiqcha bo'lib qoladi, ya'ni metall musbat zaryadlanib qoladi. Bu esa qolgan elektronlarning chiqib ketishiga to'sqinlik qiladi, elektronlarning metall sirtidan chiqish ishiga sabab bo'ladi. Bular – metall sirtidagi hodisalardir. Biz esa metall ichidagi erkin elektronlarga qaytib kelaylik. Elektr maydon bo'lganda o'tkazgichda elektronlarning xaotik harakati maydonga qarama-qarshi yo'nalishdagi tartibli harakatga aylanadi.

Dielektriklar nima uchun tok o'tkazmasligini bilgan o'quvchi metallar nima uchun tok o'tkazishini tushunishi oson. Metallarning yuqori elektron zonasidagi ruxsat berilgan kvant holatlar elektronlar sonidan ancha ko'p. Elektr maydon ta'sirida bu elektronlar o'z harakatlarini o'zgartirib, tokka hissa qo'shadi, metallarning o'tkazgich hossalarni ta'minlaydi. Shu ma'noda ularni erkin elektronlar deb ataladi. Quyi, valent zonalaridagi elektronlar dielektriklardagi elektronlar kabi elektr tokka hissa qo'shmaydilar.

Tok zichligi va elektronlar tartibli harakat tezligi orasidagi bog'lanishni topamiz: Bu yerda ishlatilayotgan "erkin" so'zini nisbiy tushunish kerak. Metalldagi elektronlar haqiqatan erkin bo'lganda edi, ular elektr maydonda tezlanuvchan harakatlanib, doimiy elektr maydonda doimiy tok emas, tinimsiz oshib boruvchi tok kuzatilishi kerak edi. Bu esa empirik Om qonuniga zid keladi. Metalldagi erkin elektronlar kristall panjaraning ichida, katta zichlikka ega bo'lgan moddaning ichida, musbat ionlar bilan ta'sirlashgan holda harakatlanadigan elektronlardan iboratdir. Tajriba ular Om qonuniga bo'ysunishini ko'rsatadi: $j = \sigma E$. (9.3)

Ikkinchi tarafdin tok zichligini ta'rifiga ko'ra: $j = nev$, (9.4)

Bu yerda v - elektronlar tartibli harakat tezligi. Metallardagi nisbatan katta $j = 10 A/mm^2$ tok zichligi va yuqorida topilgan elektronlar konsentrasiyasini qo'llab, elektronlar tartibli harakat tezligini topish mumkin: $\vec{v} \approx 1 mm/s$. Tartibli harakat tezligini bunday kichik bo'lishi elektronlar konsentrasiyaning juda kattaligi bilan

bog'liq. Bundan ko'rinadiki, elektronlar tartibsiz harakati tezligi ularning tartibli harakati tezligidan taxminan 10^8 tartibga katta ekan.

U holda elektr tarmog'iga ulangan istemolchi elektr chiroqlarining deyarli bir vaqtda yonishiga qanday izoh berish mumkin? Zanjir manbaga ulanganda yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladigan elektr maydon hamma nuqtalarda deyarli bir xil vaqtda harakatga keladi va o'tkazgichdagi elektronlarni baravariga tartibli harakatga keltiradi.

Elektronlarning tartibli harakat tezligi ularning tartibsiz harakati tufayli kristal panjaralardagi ionlar bilan tez-tez to'qnashib turishi natijasida kichik bo'ladi.

7.Om qonunining tushuntirilishi: Bu tushuntirishning fizikaviy mohiyatini aniqlash va hisoblashlarni soddalashtirish uchun barcha elektronlarning ikkita ketma-ket to'qnashishlar orasidagi erkin yugurish vaqti t birday deb faraz qilinadi. So'ngra elektron har bir to'qnashishda to'plagan energiyasining hammasini panjaraga beradi va shuning uchun to'qnashishdan so'ng o'z harakatini boshlang'ich tezliksiz boshlaydi, deb hisoblanadi. E kuchlanganlikli elektr maydon ta'sirida metallda hosil bo'ladigan j tok zichligi hisoblanadi va quyidagi kelib chiqadi: $j = nev$ (9.5). Bu yerda n – o'tkazuvchanlik elektronlarining konsentratsiyasi, e – elektronning zaryadi, v – elektronlarning tartibli harakati o'rtacha tezligi (dreyf tezligi). Har bir elektronga eE ga teng kuch ta'sir qiladi va elektron $\frac{eE}{m}$ tezlanish oladi. Shuning uchun erkin yugurish

oxirida elektronning tezligi quyidagiga teng bo'ladi: $v_{maks} = \frac{eEt}{m}$ (9.6). To'qnashishlar

orasida elektron tekis tezlanuvchan harakatlangani uchun tezlikning o'rtacha qiymati uning maksimal qiymatining yarmiga teng bo'ladi: $v_{maks} = \frac{1}{2} \cdot \frac{eEt}{m}$ (9.7). Dreyf tezligi

maydonning E kuchlanganligiga proporsional, shuning uchun ham $v = bE$ (9.8.) deb olish mumkin. Bunda $b = \frac{1}{2} \cdot \frac{et}{m}$ kattalik E ga bog'liq bo'lmaydi, b kattalik

elektronlarning harakatchanligi deb ataladi. Bu kattalik kuchlanganligi 1 ga teng bo'lgan maydonda dreyf tezligiga teng. Agar tezlikni $\frac{m}{s}$ larda, maydon kuchlanganligi

$\frac{V}{m}$ larda o'lchansa, harakatchanlik esa $\frac{m^2}{V \cdot s}$ larda o'lchanadi. Barcha elektronlar uchun

erkin yugurish vaqti bir xil bo'lmaganligi uchun, $b = \frac{et}{m}$ (9.9.) bo'ladi. Bu yerda t elektronlarning erkin yugurish o'rtacha vaqti. (9.7.) ning qiymatini (9.5.) ga qo'ysak,

$$j = n \cdot e^2 \cdot \frac{t \cdot E}{2 \cdot m} \quad (9.10).$$

Ko'rinib turibdiki, j tok zichligi maydonning E kuchlanganligiga proporsional, bu esa Om qonuni bilan ifodalanadi. Solishtirma elektr o'tkazuvchanlikning ifodasi uchun quyidagi kelib chiqadi:

$$\gamma = \frac{1}{2} n e^2 \frac{t}{m} \quad (9.11).$$

Bu ifoda o'tkazuvchanlik elektronlarining konsentratsiyasi qancha katta va erkin yugurish vaqti t qancha katta bo'lsa, elektr o'tkazuvchanlik shuncha katta bo'lishini ko'rsatadi. Bu tushunarli, chunki t vaqt qancha katta bo'lsa, elektronlarning tartibli harakati uchun to'qnashishlar shuncha kam bo'ladi.

8. Joule-Lens qonunining tushuntirilishi: Erkin yugurish oxiriga kelib elektronlarning maydon ta'siri $\frac{1}{2} m v_{maks}^2 = \frac{1}{2} e^2 t^2 \frac{E^2}{m}$ (9.12) ga teng kinetik energiya oladi. YUqoridagilarga muvofiq, bu energiyaning hammasi panjara bilan to'qnashganda issiqlikka aylanadi. Vaqt birligi ichida har bir elektron $\frac{1}{t}$ to'qnashishlarga duch keladi, binobarin, shuncha marta ko'p issiqlik ajratadi. Har bir hajm birligida n ta elektron bo'lgani uchun metallning hajm birligida 1 s da ajraladigan issiqlik miqdori Q_1 quyidagiga teng bo'ladi:

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{t \cdot E^2}{m} \quad (9.13). \quad (9.12) \text{ dan foydalanib, quyidagi formula olinadi:}$$

$$Q_1 = \gamma \cdot E^2 = \frac{E^2}{\rho} \quad (9.14). \text{ bunda } \rho = \frac{1}{\gamma} \text{ metallning solishtirma qarshiligi. (9.14.) formula differensial shakldagi Joule-Lens qonunini ifodalaydi.}$$

9. Videman-Frans qonuni: Drude nazariyasining yana bir yutug'i Videman-Frans empirik qonuni bilan bog'liq. Metallarda issiqlik o'tkazuvchanligining ikki mexanizmi bor. Ulardan biri – kristall panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligi, ikkinchisi – erkin elektronlar sistemasining issiqlik o'tkazuvchanligi. Engil elektronlarning issiqlik harakatidagi tezliklari panjara ionlarinikidan yuzlab marta ortiq bo'lgani uchun, issiqlik o'tkazuvchanlik masalasida faqat elektron gaz issiqlik o'tkazuvchanligini hisobga olsak bo'ladi. Molekulyar fizikada topilgan ideal gaz issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini o'tkazuvchanlik elektronlar gaziga qo'llaymiz: $\lambda = \frac{1}{3} \rho < \vartheta > l c_v$ (9.15)

Bu yerda c_v - solishtirma issiqlik sig'im, elektron gaz uchun: $\rho c_v = \frac{3}{2} k n$,

$$\lambda = \frac{1}{2} k n \bar{\vartheta} \bar{l} \quad (9.16) \quad \text{Topilgan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini}$$

elektr o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (9.14) bilan solishtiraylik. O'rtacha tezlikni (9.16) ifoda vositasida yozsak: $\frac{\lambda}{\sigma} = \frac{k m < \vartheta >^2}{e^2} = \frac{8}{\pi} \left(\frac{k}{e} \right)^2 T.$ (9.17)

Bu tenglikka ko'ra barcha metallarning bir xil temperaturadagi issiqlik o'tkazuvchanlik va elektr o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlarini nisbati bir xil bo'lishi kerak ekan. Shuning uchun elektr o'tkazuvchanligi yaxshi bo'lgan metallarning issiqlik

o'tkazuvchanligi ham yaxshi bo'ladi. Avval empirik ravishda topilgan bu qonun **Videman-Frans qonuni** deyiladi.

λ/σ nisbatni 300K temperatura uchun hisoblasak, $5.7 \cdot 10^{-6} V^2/K$ natijani olamiz. Ayrim moddalar uchun odatdagi temperaturada (300K) tajribaga asosan o'lchangan nisbat quyidagi qiymatlarga ega: alyuminiy uchun – $5.8 \cdot 10^{-6} V^2/K$, mis uchun – $6.4 \cdot 10^{-6} V^2/K$, qo'rg'oshin uchun – $7 \cdot 10^{-6} V^2/K$. Demak nazariya bilan tajriba mosligi yomon emas ekan.

10. Metallar elektron nazariyasining kamchiliklari: Drude nazariyasi metallardagi erkin elektronlar haqidagi sodda tasavurlarga asoslangan. Shunga qaramay erkin elektronlar gazining elektr o'tkazuvchanlik xossalarini, Om, Joul – Lens qonunlarini, Videman – Frans qonunlarini qoniqarli tushuntirib beradi. Bu Drude nazariyasining yutug'idir, fizik bilimlarni rivojlanishidagi navbatdagi qadamdir. Lekin unda qiyinchiliklar ham mavjud. Birinchidan, tajribaga ko'ra metallarning solishtirma qarshiligi $\rho = 1/\sigma$ temperatura bilan chiziqli bog'liq. (9.17) formulaga ko'ra $1/\sigma = C < \vartheta >$ va temperaturadan olingan kvadrat ildizga proporsional bo'lishi kerak. Demak, Drude nazariyasi metallar solishtirma qarshiligini temperatura bilan oshib borishini faqat sifat jihatdan to'g'ri tushuntirar ekan.

Drude nazariyasining ikkinchi qiyinchiligi issiqlik sig'im masalasidadir. Metallarning o'tkazuvchanligi erkin elektronlar haqidagi tasavvurlar bilan tushuntirilar ekan, bu gaz $\frac{3}{2} kN_A = \frac{3}{2} R$ molyar issiqlik sig'imga ega bo'lishi kerak va demak, dielektrlarda erkin elektronlar bo'lmagani uchun, metallarning issiqlik sig'imi dielektrlarnikidan shu miqdorga ortiq bo'lishi kerak. Lekin tajribaga ko'ra, metallar va dielektrlarning molyar issiqlik sig'imi sezilarli farq qilmaydi. Fandagi bu qiyinchilik elektron gazning kvant nazariyasining yaratilishiga va fizik bilimlarning yanada rivojlanishiga olib keldi. Elektron gazning issiqlik sig'imi kvant nazariyasi statistik fizika fanida o'rganiladi va issiqlik sig'imi muammosini hal etadi²¹. Bunday kamchiliklarga qaramay, klassik elektron nazariya elektr tokining ko'pchilik qonunlarini sifat jihatdan tushuntirib bera oladi.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Ch.20.2. O'tkazgich kesimining yuzasi 1mm^2 , tok kuchi 10 A bo'lganda mis o'tkazgichdagi elektronlarning tartibli harakati o'rtacha tezligini aniqlang. Misning har bir atomiga ikkita o'tkazuvchan elektron to'ri keladi, deb hisoblang.

²¹ Orifjonov S.B. Elektromagnitizm. T.: Noshir. 2011. 300 bet.

2. Ch.20.5. Uzunligi 2m va ko'ndalang kesimi yuzasi $0,4 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis o'tkazgichdan tok oqmoqda. Bunda har bir sekundda $0,35 \text{ J}$ issiqlik miqdori ajralmoqda. Bu o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidan 1s da qancha elektron o'tadi?

3. Ch.20.9. Metall tayoqcha o'z o'qi bo'ylab 200 m/s tezlik bilan harakatlanmoqda. Agar tayoqchanning uzunligi 20 m to'liq zanjirning (gal'vanometr zanjirini ham hisoblaganda) qarshiligi 10 mOm bo'lsa, tayoqcha keskin to'xtatilganda uning uchlariga ulangan gal'vanometr orqali oqib o'tuvchi zaryad miqdorini toping.

4. Ch.20.10. Metallning solishtirma qarshiligi 10 Mm/m . Agar erkin elektronlarning konsentratsiyasi 10^{28} 1/m^3 bo'lsa, elektronlarning metalldagi erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi topilsin. Elektronlar tartibsiz harakatining o'rtacha tezligini 1 mm/s deb oling.

5. Ch.20.12. Agar issiqlik o'tkazuvchanligining solishtirma o'tkazuvchanligiga nisbati $6,7 \cdot 10^{-6} \text{ V}^2/\text{C}$ bo'lsa, metallar elektr o'tkazuvchanligining mumtoz nazariyasiga asoslanib elektronlarning metalldagi o'rtacha kinetik energiyasini aniqlang.

6. Ch.20.14. Qarshiligi 5 Om bo'lgan mis-konstantan termopara 100 Om qarshilikli gal'vanometrغا ulangan. Termoparaning bitta kavsharlangan joyi eriyotgan muzga, boshqasi esa qaynoq suyuqlikka botirilgan. Zanjirdagi tok kuchi 37 mA , termopara doimiysi 43 mV/C . Suyuqlikning temperaturasini aniqlang.

7. Ch.20.15. Kavsharlaridagi temperaturalar farqi 50°C ga teng bo'lganda 4 Om qarshilikli termopara va 80 Om qarshilikli gal'vanometr dan tashkil topgan zanjirdagi tok kuchi 26 mA . Termopara doimiysini aniqlang.

8. Ch.20.17. Ikkita elektrolitik vanna ketma-ket ulangan. Ma'lum vaqt ichida birinchi vannada $3,9 \text{ g}$ rux, ikkinchisida $2,24 \text{ g}$ temir ajraldi. Rux ikki valentli. Temirning valentligini toping.

9. Ch.20.22. Agar eritma orqali 5 min vaqt davomida 2 A tok oqqan bo'lsa, elektrolitik vanna katodida o'tirib qoladigan ikki valentli metallning modda miqdori va atomlar soni aniqlansin.

10. Ch.20.28²². Azot Rentgen nurlari bilan inlashtirilmoqda. Agar muvozanat shartida gazning har bir kub santimetrda 10^7 juft ion bo'lsa, azotning o'tkazuvchanligi aniqlansin. Musbat ionlarning harakatchanligi $1,28 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, manfiy inlarniki esa $1,81 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$.

²² Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 289-293 бетлар.

10- §. Elektrolitlarda elektr toki

- 10.1. Elektrolitik o'tkazuvchanlik;
- 10.2. Faradey qonunlari;
- 10.3. Elektrolitik dissotsiatsiya;
- 10.4. Elektrolitik o'tkazuvchanlik nazariyasi;
- 10.5. Elektrodning qutblanishi;
- 10.6. Elektrolizning texnikada qo'llanishi.

Elektr toki metallarda (qattiq moddalarda) erkin elektronlarning harakati, elektrolitlarda (suyuqliklarda) ionlarning, gazlarda esa ionlar bilan elektronlarning harakatidan hosil bo'ladi. Biz quyida elektrolitlardan tok o'tganda bo'ladigan hodisalar va ularning qonuniyatlari bilan tanishib chiqamiz. Elektrolit eritmasi orqali tok o'tganida eritmadagi moddalarning ajralib chiqish hodisasiga elektroliz hodisasi deb ataladi.

Elektrolitda tashqi elektr maydon bo'lmaganda dissotsiatsiylanish natijasida hosil bo'lgan ionlar xaotik tartibsiz harakatda bo'ladi. Elektrolitga tashqi elektr maydoni qo'yilganda esa ionlar tartibli harakatlana boshlaydi. Musbat zaryadli ionlar manfiy elektrod – katod tomon harakatlanganligi uchun, ular kationlar deb ataladi. Manfiy zaryadli ionlar musbat elektrod – anodga tomon harakatlanganligi sababli, ular anionlar deb ataladi. Ionlar tegishli elektrodga borib etganidan keyin unga ortiqcha elektronni beradi yoki undan etmaganini olib neytral atomlarga yoki molekulalarga aylanadi.

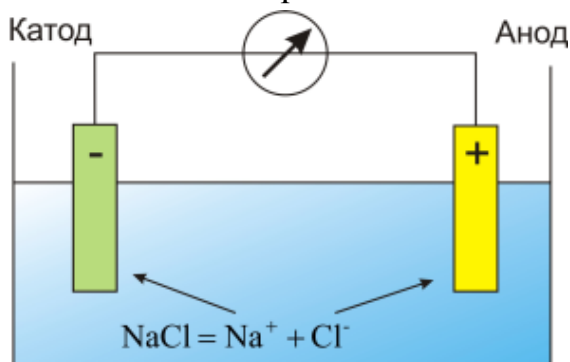
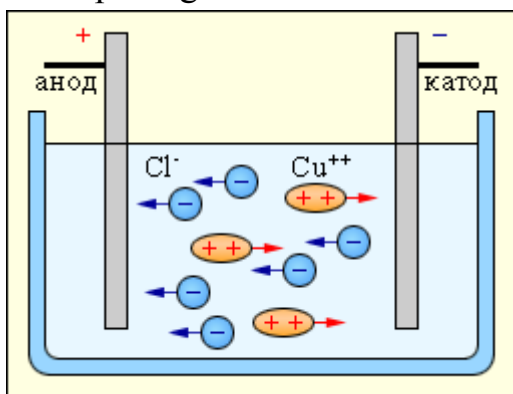
1. Elektrolitik o'tkazuvchanlik: Toza suyuqliklarning ko'pchiligi elektr tokini yomon o'tkazadi. Masalan, mutlaqo toza suv, kerosin, mineral yog'lar va xokazolar juda yomon o'tkazuvchilardir. Biroq, tuzlar, kislotalar hamda ishkorlarning suvdagi va ba'zi boshqa suyuqliklardagi eritmaları tokni yaxshi o'tkazadi. Masalan, distillangan suvga ozgina osh to'zi solinsa yoki bir necha tomchi sulfat kislota tomizilsa, suv yaxshi o'tkazgich bo'lib qoladi.

Tok o'tganda qismlarga ajratiladigan o'tkazgichlar yuqorida aytganimizdek, **ikkinchi jins** o'tkazgichlar yoki **elektrolitlar** deyiladi, ularning o'tkazuvchanligi esa *elektrolitik o'tkazuvchanlik* deyiladi (10.1-rasm). Elektrolitik o'tkazuvchanlik eritmada ionlar, ya'ni zaryadlangan atom va molekulalarning bo'lishi tufayli vujudga keladi. Birinchi jins o'tkazgichlarda tok erkin elektronlarning harakatidan vujudga keladi, elektrolitda, tashqi elektr maydon ta'sirida ionlarning harakati tok hosil qiladi.

Mutlaqo toza suv tokni juda sust o'tkazishini hozirgina aytib o'tgan edik. Bu hol suvning asosan neytral molekulalardan tashkil topganligini va unda tashqi elektr maydon ta'sirida harakat qilib tok hosil qiladigan yetarli miqdorda erkin elektronlar yoki biror boshqa zaryadli erkin zarralarning yo'qligini bildiradi. Bir qator moddalarning, masalan, qand, glitserin va boshqalarning suvdagi eritmasi ham tok

o'tkazmaydi. Bu moddalarning molekulari eriganda hech qanday o'zgarishlar yuz bermaydi molekular neytralligicha qoladi va dissotsilanmaydi.

Tuz va kislotalarning eritmaları esa Vant-Goffning odatdagi formulasiga ko'ra hisoblab topiladigan bosimdan ko'ra kattaroq osmotik bosim hosil qiladi.



10.1-rasm. Elektrolitik o'tkazuvchanlik eritmada ionlar bo'lishi tufayli vujudga keladi

Agar erigan modda molekularining bir qismi dissotsilanadi, ya'ni qismlarga ajraladi deb hisoblasak, osmotik bosimning anomal katta qiymatini bevosita tushuntirish mumkin ekanligi ko'rgan edik. Eritmaning ayni vaqtdagi o'tkazuvchan bo'lib qolishi molekula dissotsilangan qismlari zaryadli, bunga sabab suv dielektrik doimiysining qiymati katta ($\epsilon=81$) ekanligidir. Aytaylik C idishga (10.1-rasm) CuSO_4 mis kuporosining eritmasi quyilgan va unga ikkita K ko'mir hamda A mis elektrod tushirilgan bo'lsin. B batareyaning manfiy qutbi K ko'mir elektrodga, musbat qutbi A mis elektrodga ulangan.

Bunda elektrodlar zaryadlanib qoladi va ular orasida eritmada elektr maydon hosil bo'ladi. Mis kuporasi molekularining dissotsilanishida hosil bo'lgan ionlar bu maydon ta'sirida harakat qila boshlaydi, eritmada tok o'tadi. Musbat zaryadli ionlar K katodga keladi, unga o'z zaryadlarini berib, katodda neytrallangan zarra holida ajraladi. Manfiy ionlar A anodga qarab harakat qila boshlaydi va unda ajraladi.

Mis kuporosi eritmasi orqali biror vaqt davomida tok o'tkazib ko'mir katodning qora sirtida qizg'ish metall mis qoplami o'tirayotganini osongina kuzatish mumkin. Bundan eritmada mis musbat ionlar ko'rinishida bo'lganiga ishonish mumkin. Dissotsilangan CuSO_4 molekulasi qolgan qismi, ya'ni SO_4 gruppasi manfiy ionlar hosil qilishi kerak. Shunday qilib, mis kuporasi molekulari eriyotganda misning musbat ionlariga va SO_4 manfiy ionlarga dissotsilanadi, degan natijaga kelimiz va uni quyidagi yozamiz:



$^{++}$ va $^{--}$ qo'sh ionlar mazkur holda ionlarning ikki zaryadli ekanini, ya'ni mos ravishda ikkita elektron yo'qotishi yoki ikkita elektron kushib olishi natijasida hosil bo'lganini bildiradi. Misning Cu^{++} musbat ionlari katodga keladi va u yerda mis atomlari sifatida ajraladi. SO_4^- manfiy ionlar anodga keladi. Agar anod mis bo'lsa, SO_4^- ionlar anodda neytrallanib, u bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi va qaytadan mis

kuporasi molekulasini hosil qiladi: $SO_4^{--} + Cu = CuSO_4 + 2e$ (10.3) bunda e anodga o'tgan elektronni bildiradi.

Hosil bo'lgan mis kuporasi molekulari yana eritmaga o'tadi. Natijada mis kupjrsining eritmadagi miqdori o'zgarmay qoladi; katodda mis ajralib chiqadi, anodning misi SO_4 ioni bilan kimyoviy reaksiyaga kirishib, eritmaga o'tadi. Bu misol xarakterlidir, u bir tomondan elektrolitning o'tkazuvchanligi erigan modda molekularining dissotsilangan ionlari harakatiga bog'liqligini ko'rsatadi, ikkinchi tomondan, erigan moddaning tarkibiy qismlari elektrodlarda hamma vaqt ham ajrala bermasligini ko'rsatadi. Elektrolizning pirovard natijasi ionlar ajraladigan joylarda bo'ladigan kimyoviy reaksiyalarga bog'liqdir.

Bu reaksiyalar **ikkilamchi reaksiyalar** deyiladi, ularni hisobga olmasdan turib elektrolitik dissotsiatsiya jarayoni to'g'ri o'rganib bo'lmaydi. Ravshanki, ikkilamchi reaksiyalarning xarakteri faqat eritma tabiatigagina emas, elektrodning materialiga ham bog'liq bo'ladi. Bu va bundan boshqa elektroliz hodisalarning analizi ko'rsatishicha metallar va vodorod hamma vaqt **musbat ionlar** hosil qiladi, bu ionlar odatda **kationlar** deb yuritiladi. Molekulalarning qolgan qismlari (radikallar, galogenlar va h.k.) **manfiy ionlar** hosil qiladi, bu esa **anionlar** deb yuritiladi.

2. Faradey qonunlari: Elektrolizning miqdoriy qonunlarini ingliz fizigi Faradey 1836 - yilda aniqlagan. Ion o'tkazuvchanlik haqidagi tasavvurlar asosida bu qonuniyatlarni nazariy isbot qilish qiyin emas. Faradeyning elektroliz qonunlari quyidagilardan iborat.

Faradeyning **birinchi qonuni** elektrodda ajralgan modda miqdori, tok kuchi va tokning elektrolit orqali utish vaqti orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Bu qonunning ma'nosi quyidagicha soddadir. Elektrodda ajralib chiqqan moddaning M massasi I tok kuchiga va tokning t o'tish vaqtiga proporsionaldir: $M = kIt$ (10.4)

Bu yerda k proporsionallik koeffitsiyenti, bu koeffitsiyent faqat ajralib chiqqan moddaning tabiatiga va elektrolit tarkibiga bog'liq bo'ladi. I tok kuchining t vaqtga ko'paytmasi elektrolitdan o'tgan elektr miqdoridan iboratdir: $q = It$ (10.5) undan foydalanib, Faradeyning birinchi qonunini quyidagicha yozish mumkin: $M = kq$ (10.6) ya'ni, ajralib chiqqan moddaning M massasi elektrolitdan o'tgan q elektr miqdoriga proporsionaldir. k koeffitsiyentni ajralayotgan moddaning **elektrokimyoviy ekvivalenti** deyiladi. $q=1$ bo'lganda son jihatdan quyidagiga teng bo'ladi: $M = kq$ (10.6).

Demak, elektrokimyoviy ekvivalent son jihatdan elektrolitdan birlik elektr miqdori oqib o'tganda ajralgan modda massasiga tengdir. Faradeyning ikkinchi qonuni elektrokimyoviy ekvivalent kattaligini aniqlaydi. Faradeyning ikkinchi qonunini ifodalashdan avval moddaning ba'zi bir kimyoviy xarakteristikalarini eslatib o'taylik. Elementning **kimyoviy ekvivalenti** deb shunday o'lchamsiz kattalikka aytiladiki, bu

kattalik moddaning kimyoviy birikmalarda 1,0078 g vodorod o'rnini bosadigan grammlarda olingan massasiga teng bo'ladi.

Kimyoviy birikmada elementning bitta atomi o'rnini oladigan vodorod atomlari soni **elementning valentligi** deyiladi. Elementning atom og'irligini A bilan, uning valentligini n bilan belgilasak, kimyoviy ekvivalent $\frac{A}{n}$ ga teng bo'ladi. Agar biz $\frac{A}{n}$ gramm element olsak, bu elementning bunday miqdori **gramm ekvivalent** bo'ladi.

Faradeyning **ikkinchi qonuni** elementlarning k elektrokimyoviy ekvivalentlari ularning kimyoviy ekvivalentlariga proporsional ekanligini ifodalaydi:

$$k = \frac{CA}{n} \quad (10.7) \text{ bunda } C \text{ proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib,}$$

barcha elementlar uchun bir xil. Odatda C koeffitsiyent o'rniga quyidagi unga teskari bo'lgan kattalik kiritiladi: $C = \frac{1}{F}$ (10.8) Bunda Faradeyning ikkinchi qonuni

$$\text{quyidagicha ko'rinishga keladi: } k = \frac{1}{F} \frac{A}{n} \quad (10.9)$$

F kattalik **Faradey soni** deyiladi. (10.9) ifodadan elektrokimyoviy ekvivalentning qiymatini Faradeyning birinchi qonuni (10.8) ifodasiga qo'yib, Faradeyning ikkala qonunini birlashtiruvchi formulani hosil qilamiz: $M = \frac{Aq}{Fn}$ (10.10)

Bundan, moddaning bir gramm ekvivalenti, ya'ni son jihatdan $\frac{A}{n}$ ga teng bo'lgan M massasi ajralganda, q son jihatdan F ga teng bo'ladi. Demak, F Faradey soni shunday q elektr miqdoriga tengki, bu elektr miqdori elektrolit orqali o'tganda elektrodda bir gramm ekvivalent modda ajratib chiqaradi. Elektrokimyoviy ekvivalentlarni o'lchash natijasida Faradey soni uchun quyidagi qiymat olingan:

$$F = 96494 \frac{\text{Kulon}}{\text{gramm} - \text{ekvivalent}}$$

Elektron nazariyaning yaratilishida Faradey qonunlari muhim rol uynaydi. (5.8.) formuladan shu narsa kelib chiqadiki, har qanday moddaning bir gramm ekvivalenti ajralishi uchun elektrolit orqali juda muayyan elektr miqdori, ya'ni son jihatdan F Faradey soniga teng bo'lgan elektr miqdori utishi kerak. Gramm ekvivalentdagi N' atomlar soni elementning valentligi n ga bog'liq va $N' = \frac{N_A}{n}$ (10.11) ekanligi ravshan, bunda N_A Avogadro soni. Shunday qilib, har bir atomning ajralishi elektrolit orqali

$$q = \frac{F}{N'} = \frac{F}{N_A \cdot n} \quad (10.12)$$

elektr miqdori o'tishi bilan bog'liq. Elektrolitlar o'tkazuvchanligining ion nazariyasiga ko'ra, tokning elektrolit orqali utishi ionlarning ko'chishidan iboratdir, bundan esa (10.10.) formulaga ko'ra har bir element ioni elementning n valentligiga

proporsional bo'lgan q zaryad olib o'tishi kelib chiqadi. Ionning eng kichik e zaryadi bir valentli ionning ($n=1$) zaryadiga mos keladi, Demak, $e = \frac{F}{N}$ (10.13)

Elementning valentligi n butun son bilan ifodalandi, shu sababli har qanday ion tashib o'tadigan q zaryad $q = ne$ (10.14) ya'ni, eng kichik e zaryadga butun karrali bo'ladi. SHunday qilib, Faradey qonuni moddaning atom nazariyasi bilan birgalikda elektrning atom tuzilishi haqidagi tasavvurga olib keladi. Gelmgols va Stoney 1881-yili bir vaqtda va bir-biridan mustaqil ravishda shunday xulosaga keldilar. Moddaning har bir atomi e elementar zaryadga karrali zaryadni yo'qotish yoki qabul qilishi mumkin. Bu e elementar zaryad elektron zaryadi ekanligi ravshandir. Agar atom bitta yoki bir nechta ortiqcha elektron qabul qilsa, manfiy ion hosil bo'ladi. Masalan, elektrolitik dissotsiatsiyada vodorod va ishqoriy metallar (litiy, natriy, kaliy va h.k.) bir valentli musbat ionlar hosil qiladi, ya'ni ular bittadan elektron yo'qotgan atomlardir. $ZnSO_4$ va $CuSO_4$ sulfatlar dissotsilanganda rux va mis ikki valentli musbat ionlar hosil qiladi, ya'ni ular ikkitadan elektroni etishmaydigan atomlardir.

Cl , Br , J galogenlar bir valentli manfiy ionlar hosil qiladi, ularning atomlari bittadan ortiqcha elektron qabul qila oladi. Bitta elementning o'zi turlicha valentlikda uchrashi mumkin. Shunga muvofiq ravishda turlicha zaryadli ionlar hosil bo'ladi. Masalan, ikki valentli temir to'zlari dissotsilanganda hosil bo'ladigan musbat temir ioni ikkita elektronini yo'qotgan temir atomidan iborat, temirning uch valentli to'zlarining dissotsilanishida hosil bo'ladigan temir ioni uchta elektronini yo'qotgan atomdan iborat bo'ladi.

(10.13) munosabat F Faradey soni va N_A Avogadro soni orqali elektron zaryadini aniqlashga imkon beradi. Avogadro sonini $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$ deb olsak,

$$e = \frac{F}{N} = 96494k$$

bu elektron zaryadining hozir qabul qilingan qiymatidir. Biroq, N_A Avogadro sonini eksperimental aniqlash usullarining aniqligi elektron zaryadini bevosita o'lchash usullari aniqligidan kam bo'lgani uchun tenglikdan odatda N_A Avogadro sonini F Faradey soni va e elektron zaryadi orqali aniqlashda foydalaniladi.

3. Elektrolitik dissotsiatsiya: Elektrolitik o'tkazuvchanlik eriyotgan modda molekulalarining dissotsiatsiyalanish natijasida eritmada hosil bo'lgan ionlarga bog'liq. Erituvsining molekulalari bilan o'zaro ta'sirlashish natijasida eritmada molekulalar dissotsiatsiyalanadi. Dissotsiatsiya darajasi erigan modda tabiatiga ham, erituvchi molekulalarining tabiatiga ham bog'liqdir.

Agar modda erituvchi sifatida foydalanilayotgan bo'lsa, uning dielektrik doimiysi dissotsilanish qobiliyati orasida paralleldek bo'ladi. Erituvchining dielektrik doimiysi qancha katta bo'lsa, uning dissotsilanish darajasi shuncha katta bo'ladi. Dissotsilanish

darajasini miqdor jihatdan xarakterlash uchun α dissotsiatsiya koeffitsiyenti kiritiladi. Aytaylik, eritmaning hajm birligida erigan moddaning p_0 molekulasi bor va undan $p'_0 = \alpha \cdot p_0$ qismi ionlarga dissotsilangan, $p''_0 = p_0 - \alpha \cdot p_0 = p_0(1 - \alpha)$ (10.15) qismi ionlarga dissotsilanmagan bo'lsin, α dissotsiatsiya koeffitsiyenti molekularning eritmada dissotsilanish darajasini ko'rsatadi. Agar $\alpha = 1$ bo'lsa, barcha molekular dissotsilangan, $\alpha = 0$ bo'lsa, dissotsiatsiya yo'q demakdir.

Eritmada dissotsilanish darajasining mazkur qiymatida molekularning ionlanish jarayoni muvozanatda bo'ladi. Biror vaqt oralgida dissotsilanayotgan molekular soni eritmada bo'lgan molekular soniga proporsional bo'ladi. Demak, vaqt birligi ichida hajm birligida vujudga keluvchi yangi juft ionlar sonini quyidagiga teng deyish mumkin: $\Delta p'_0 = \beta \cdot p_0(1 - \alpha)$ (10.16) bunda β proporsionallik koeffitsiyenti. Molekula hosil bo'lishi uchun har ikkala ishorali ionlar kerak bo'lganidan, molekula bo'lib qo'shilayotgan ionlar soni musbat ionlar soniga ham, manfiy ionlar soniga ham proporsional bo'ladi. Har bir ishorali ionlarning hajm birligidagi soni αp_0 ga teng, shuning uchun vaqt birligi ichida hajm birligida o'zaro qo'shilayotgan ion juftlari sonini quyidagiga teng deb hisoblash mumkin: $\Delta p''_0 = \gamma \alpha \cdot p_0 \alpha \cdot p_0 = \gamma \alpha^2 p_0^2$ (10.17) bunda γ proporsionallik koeffitsiyenti.

Ionlanish jarayoni bilan molizatsiya jarayoni orasidagi muvozanat sharti yangidan hosil bo'layotgan ionlar jufti sonining o'zaro qo'shilayotgan ionlar jufti soniga teng bo'lishidan iborat ekanligi ravshan, ya'ni $\Delta p'_0 = \Delta p''_0$ (10.18)

$$\text{bundan (10.17) va (10.18) ifodalarga ko'ra: } \beta \cdot p_0(1 - \alpha) = \gamma \alpha^2 p_0^2 \quad (10.19)$$

$$\text{bu tenglikdan quyidagini topamiz: } 1 - \frac{\alpha}{\alpha^2} = \frac{\gamma p_0^2}{\beta p_0} = \frac{\gamma p_0}{\beta} \quad (10.20)$$

Bu formula dissotsiatsiya koeffitsiyenti α ni hajm birligidagi erigan molekular soni p_0 bilan bog'laydi. $\frac{\gamma}{\beta}$ koeffitsiyentlar nisbati p_0 ga bog'liq emas va faqat eritmaning tabiatiga va eritma turgan sharoitga (temperaturaga) bog'liqdir. (10.20) formula eritmada molekularning dissotsilanish darajasi haqida ba'zi xulosalar chiqarishga imkon beradi. Dastlab, eritma juda kuchsiz, ya'ni hajm birligidagi erigan modda molekulari soni nolga yaqin, $p_0 \approx 0$ deb olamiz, u holda $\alpha \approx 1$ ya'ni, kuchsiz eritmalarda α birga yaqin bo'lib, bu amalda barcha molekularning dissotsilanganini bildiradi.

Aksincha, biz dissotsilanish darajasini kichik deb faraz qilsak, (10.20) tenglikning suratidagi α koeffitsiyentni birga nisbatan nazarga olmaslik mumkin, u holda quyidagi

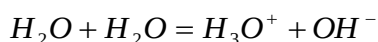
$$\text{hosil bo'ladi: } \alpha = \sqrt{\frac{\beta}{\gamma p_0}} \quad (10.21) \quad \text{bu holda dissotsilanish darajasi hajm birligidagi erigan}$$

modda molekulari sonidan olingan kvadrat ildizga proporsional yoki, boshqacha qilib

aytganda, eritma konsentratsiyasidan olingan kvadrat ildizga teskari proporsional bo'ladi.

Dissotsiatsiya koeffitsiyentining qiymatini eritmaning elektr o'tkazuvchanligi orqali aniqlash mumkin, eritmaning tabiati va konsentratsiyasiga bog'liq ravishda α koeffitsiyent birdan kichik turlicha qiymatlar olishi mumkin.

Masalan, KCl uchun konsentratsiya $0,0001 \frac{mol}{l}$ bo'lganda, $\alpha=0,993$ konsentratsiya $1 \frac{mol}{l}$ bo'lganda $\alpha = 0,757$ bo'ladi. Toza suv ham dissotsilangan bo'ladi, biroq uning dissotsilanish darajasi juda kuchsiz bo'ladi. Suv H^+ musbat ionlarga va OH^- gidroksil manfiy ionlarga dissotsiatsiyalanadi. H^+ ionlar suv bilan birikib, H_2O^+ ionlarini hosil qiladi, umuman suvning dissotsilanish jarayoni quyidagi xarakterda bo'ladi:



Juda toza suv uchun α taqriban $1,7 \cdot 10^{-9}$ ga teng. Bunda H^+ ionlarning konsentratsiyasi taqriban $10^{-7} \frac{mol}{l}$ bo'ladi. Bu holda 1 sm^3 suvga taqriban $6 \cdot 10^{12}$ ta H^+ ioni va shuncha OH^- gidroksil manfiy ioni to'g'ri kelishini hisoblab topish mumkin.

4. Elektrolitik o'tkazuvchanlik nazariyasi: Tashqi elektr maydon bo'lmaganda elektrolitda ionlar issiqlik harakat bajaradilar, Demak, natijaviy tok nolga teng bo'ladi. Maydon bo'lganida musbat ionlar elektr maydoni yo'nalishida i_+ qo'shimcha tezlik, manfiy ionlar esa maydonga qarama-qarshi yo'nalishda i_- qo'shimcha tezlik oladilar. Ionlarning tartibsiz issiqlik harakatiga ularning ko'chma harakati qo'shiladi va eritmada zaryadlarning ma'lum yo'nalishda ko'chishi, ya'ni elektr toki vujudga keladi.

Metallarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganayotganda maydoning elektronga uning erkin yo'li uzunligi davomida ta'sirini nazarga olgan edik. So'ngra, elektron metall kristall panjarasining o'zagini tashkil etuvchi ionlar bilan to'qnashganda tashqi maydon ta'sirida olgan qo'shimcha tezligini yo'qotadi, deb hisobladik. Ionlarning elektrolitdagi harakatiga kelganda, uni makroskopik nuqtai nazardan tekshiramiz; biz elektrolitda ionga ikkita kuch, qE elektr kuchi (bunda q ion zaryadi, E elektr maydon kuchlanganligi) va muhitning qarshilik kuchi ta'sir qiladi, deb hisoblaymiz.

Ionlar elektronlarga nisbatan yirikroq bo'lgani va erituvchining molekulalari bilan zich qurshab olinganligi uchun shunday mulohaza qilish mumkin. Ko'p hollarda ionga neytral molekulalar yopishib oladi va E maydon ta'sirida **solvat** deb ataluvchi butun kompleks harakat qiladi.

Ionlarning mavjud tezliklarida ishqalanish kuchi tezlikka proporsional deyish mumkin va bu kuch ion tezligiga qarama-qarshi tomonga yo'nalgan ekanligi ravshan.

SHunday qilib, musbat ionga ta'sir qiluvchi ishqalanish kuchini k_+u_+ deyish mumkin, bunda k_+ ishqalanish koeffitsiyenti. Musbat ionning massasini m_+ bilan, uning

tezlanishini w_+ bilan belgilab, musbat ionning yo'nalgan harakati uchun quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$m_+ w_+ = qE - k_+ u_+ \quad (10.22)$$

Bu tenglamaning ko'rsatishicha, kichik tezliklarda qE elektr kuchi katta rol o'ynaydi, bu kuch ta'sirida ionning u_+ tezligi o'sadi, biroq u_+ tezlik usgan sari $k_+ u_+$ ishqalanish kuchi ham usadi va biror paytga kelib shunday kattalikka erishadiki, bunda (10.22) tenglamaning ung tomoni nolga teng bo'lib qoladi: $qE - k_+ u_+ = 0$ (10.23)

$$u \text{ holda } w_+ \text{ tezlanish ham nolga teng va Demak, tezlik } u_+ = \frac{qE}{k_+} \quad (10.24)$$

kattalikka teng doimiy qiymat oladi. Bundan ionning barqaror yo'nalgan harakatining u_+ tezligi elektr maydon kuchlanganligi E ga proporsionalligi kelib chiqadi. Manfiy ionning u_- tezligi uchun ham shunga o'xshash munosabat topamiz: $u_- = \frac{qE}{k_-}$

(10.25) bunda k_- manfiy ionning ishqalanish ko'effitsiyenti. Elektrolitdagi tok har ikkala ionlarning harakati tufayli vujudga keladi, elektrolitning hajm birligidagi har bir ishorali ionlar soni αp_0 . Demak, musbat ionlarning maydon bo'ylab va manfiy ionlarning maydonga qarshi harakati tufayli vujudga keladigan tok zichliklarining yig'indisi bilan ifodalanadigan tok zichligi quyidagiga teng bo'ladi: $i = i_+ + i_- = qn_0 \alpha u_+ + qn_0 \alpha u_- = qn_0 \alpha (u_+ + u_-)$ (10.26) bunda q har bir ion tashiydigan zaryad.

Eritmaning hajm birligiga to'g'ri keladigan erigan moddaning gramm ekvivalentlari soniga teng bo'lgan h kattalikni **ekvivalent konsentratsiya** deb ataymiz.

Bunda $h = \frac{n_0}{N'}$ bo'ladi, h_0 hajm birligidagi erigan modda molekulalari soni, H' gramm ekvivalentdagi molekulalar soni. qh_0 ko'paytmani H' ga ko'paytirib va bo'lib, quyidagini topamiz: $qn_0 = \frac{qN'n_0}{N'}$ (10.27) Lekin, aytilganlarga ko'ra: $\eta = \frac{n_0}{N'}$ va $F = qN'$ bunda F Faradey soni. Bulardan $qn_0 = \eta F$ (10.28) qh_0 ning bu qiymatini (10.28) ifodaga qo'yib quyidagini topamiz: $i = F\eta\alpha(u_+ + u_-)$

$$(10.29)$$

yoki ionlarning u_+ va u_- tezliklari o'rniga ularning (10.28) va (10.29) ifodalarini qo'ysak: $i = FE\alpha\left(\frac{q}{k_+} + \frac{q}{k_-}\right)$ (10.30). Son jihatdan ionlarning maydon kuchlanganligi

$E=1$ bo'lgandagi tezliklariga teng bo'lgan $\frac{q}{k_+}$ va $\frac{q}{k_-}$ nisbatlar **ionlarning**

harakatchanligi deyiladi. Ularni u_+^0 va u_-^0 bilan belgilaymiz. U holda (7.8) tenglikni shunday ko'rinishda yozish mumkin: $i = FE\eta\alpha(u_+^0 + u_-^0)$ (10.31). $F\eta\alpha(u_+^0 + u_-^0)$ kattalik berilgan eritma uchun doimiydir. Om qonuniga ko'ra, tok

zichligi $i = \sigma E$ bo'lgani tufayli (10.31) tenglik elektrolitik o'tkazuvchanlik uchun Ohm qonunini ifodalaydi.

Elektrolit uchun σ elektr o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'lar ekan:

$$\sigma = F\eta\alpha(u^0_+ + u^0_-) \quad (10.32)$$

(10.32) munosabatning ko'rsatishicha, elektrolitning elektr o'tkazuvchanligi α dissotsiatsiya koeffitsiyentiga va ionlar harakatchanliklari yig'indisi $(u^0_+ + u^0_-)$ ga proporsional ekan.

Dissotsiatsiya koeffitsiyenti α eritmaning konsentratsiyasiga bog'liq, shu sababli σ bilan η orasidagi (10.32) formula bilan ifodalangan bog'lanish murakkab bo'ladi. Toza erituvchi uchun elektr o'tkazuvchanlik $\sigma=0$, chunki η konsentratsiya nolga teng bo'ladi. So'ngra, η ortgan sari elektr o'tkazuvchanlik orta borib, biror maksimumga erishadi. Konsentrlangan eritmalarda α dissotsiatsiyalash darajasi kamayishi tufayli σ yana kamayadi. σ ning sulfat kislotaning suvdagi eritmasi konsentratsiyasiga qarab o'zgarishi keltirilgan. $\frac{\sigma}{h}$ kattalik ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik deyiladi. Uni L bilan belgilaymiz, u holda (10.32) ga ko'ra:

$$A = F\alpha(u^0_+ + u^0_-) \quad (10.33)$$

Faradey soni hamda berilgan elektrolit uchun ionlar harakatchanliklarining yig'indisi doimiy kattalik bo'lgani sababli (10.33) ga ko'ra $L = S\alpha$ (10.34). Bunda S doimiy kattalik. Demak, ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik α dissotsiatsiya koeffitsiyentiga proporsionaldir. Juda kuchsiz eritma uchun $\alpha=1$, va bu holda $L=S$, ya'ni juda kuchsiz eritma uchun ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik konsentratsiyasiga bog'liq bo'lmay qoladi. Ekvivalent elektr o'tkazuvchanlikning bu doimiy qiymatini L_∞ bilan belgilab, (10.34) formuladan quyidagini keltirib chiqaramiz: $\alpha = \frac{L}{L_\infty}$ (10.35) bundan

berilgan konsentratsiyadagi ekvivalent elektr o'tkazuvchanlikning juda kuchsiz konsentratsiyasidagi ekvivalent elektr o'tkazuvchanlikka nisbati orqali α dissotsiatsiya koeffitsiyentini aniqlash mumkinligi kelib chiqadi.

L_∞ ning qiymati ionlar harakatchanliklari yig'indisiga bevosita bog'liqdir. Haqiqatan ham, (10.35) ifodadan $L_\infty = F(u^0_+ + u^0_-)$ (10.36). Bundan, juda kuchsiz konsentratsiyadagi ekvivalent elektr o'tkazuvchanlikni aniqlash bilan ionlar harakatchanliklarining yig'indisini topish mumkin. Ionlar harakatchanliklarining o'zini topish uchun $\frac{u^0_+}{u^0_-}$ nisbatni bilish yetarli. Bu nisbatni quyidagicha hisoblash asosida topish mumkin. Hajm birligidagi har bir ishorali ionlarning p_0 soni elektrolitning barcha qismlarida birday bo'ladi deb olgan edik. Biroq ionlarning harakatchanligi turlicha bo'lishi tufayli ularning soni katod va anod yaqinida vaqt utishi bilan turlicha

o'zgaradi. Aytaylik, eritma shunchalik kuchsizki, dissotsiatsiyalanish amalga oshgan ($\alpha=1$) va demak, hajm birligidagi ionlar juftining p_0' soni erigan moddaning hajm birligiga to'g'ri keluvchi molekulalari p_0 soniga teng bo'lsin. Demak, dastlab katod yaqinida hajm birligida n_0 musbat ion bor edi. Tok o'tayotganda musbat ionlar katodga kela boshlaydi, manfiylar undan keta boshlaydi. Katodga yangidan keluvchi barcha musbat ionlar katodga ajraladi.

SHu sababli ularni hisobga olishning keragi yo'q, endi manfiy ionlarni ko'raylik, katodga chegaradosh turgan hajm birligidan t vaqt ichida $p_0 u_- t$ manfiy ion ketadi. Buning natijasida o'shancha musbat ion juftsiz qolib, katodda ajraladi. SHunday qilib, t vaqt ichida katod yaqinida ionlar juftining soni $p_0 u_- t$ juftga kamayadi va quyidagiga teng bo'lib qoladi:

$$p_{0t}^{(K)} = p_0 - p_0 u_- t = p_0 (1 - u_- t) \quad (10.37).$$

Demak, t vaqt ichida katod yaqinida ionlar jufti soni $\frac{p_{0t}^{(K)}}{p_0} = 1 - u_- t$ (10.38) nisbatda o'zgaradi. Xuddi

shuningdek, t vaqt ichida anod yaqinida ionlar jufti soni $\frac{p_{0t}^{(A)}}{p_0} = 1 - u_+ t$ (10.39)

nisbatda o'zgarishini topamiz. Bizning farazimizga ko'ra dissotsiatsiya to'la bo'lganligidan hajm birligidagi juft ionlar soni hajm birligidagi erigan molekulalar soniga teng bo'ladi, hajm birligidagi erigan molekulalar soni esa η ekvivalent konsentratsiyasiga proporsionaldir. Bundan, (10.38) ifodaga ko'ra $\frac{\eta_t^{(K)}}{\eta_0} = 1 - u_- t$ (10.40)

bunda $\eta_t^{(K)}$ elektroliz boshlangandan t vaqtdan keyin katod yaqinidagi ekvivalent konsentratsiya, η_0 ekvivalent konsentratsiyasining boshlang'ich qiymati. Shuningdek, (10.40) ifodadan $\frac{\eta_t^{(K)}}{\eta_0} = 1 - u_- t$ (10.41) bunda $\eta_t^{(A)}$ elektroliz boshlangandan t vaqtdan keyin anod yaqinidagi ekvivalent konsentratsiyasi qiymati. (10.39) va (10.40) munosabatlardan quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{u_+}{u_-} = \frac{\eta_0 - \eta_t^{(A)}}{\eta_0 - \eta_t^{(K)}} \quad (10.42)$$

u_+^0 va u_-^0 ionlar harakatchanliklari ularning tezliklariga proporsional, shuning uchun:

$$\frac{u_+^0}{u_-^0} = \frac{\eta_0 - \eta_t^{(A)}}{\eta_0 - \eta_t^{(K)}} \quad (10.43)$$

tenglikdan ko'rinishicha, elektroliz natijasida eritmalar konsentratsiyasining elektrodlar yaqinida kamayish darajasini tekshirish bilan ionlar harakatchanliklari nisbatini topish mumkin ekan.

Ionlar	u^0	(10.41) va (10.42.) formulalardan foydalanib, ionlar harakatchanliklarining o'zini ham topish mumkin. Ba'zi
N	0,003263	

K	0,000669	ionlar uchun u^0_+ va u^0_- harakatchanliklarining qiymatlari jadvalda keltirilgan. Yuqoridagi jadval ma'lumotlaridan foydalanib, amalda erishiladigan maydon kuchlanganliklarida ionlarning tezliklari juda kichik bo'ladi va sekundiga santimetr bir necha mingdan bir ulushidan oshmaydi.
Na	0,000450	
OH	0,001802	
Cl	0,000677	
NO ₃	0,000639	

Ionlarning harakatchanligi konsentrlangan eritmalarda suyultirilgan eritmalaridagidan kichik bo'ladi. Konsentrlangan eritmalarda qolgan ionlarning maydonini tashqi maydonga nisbatan e'tiborga olmaslik mumkin emas. Ionlar harakatini rangli eritmalar hosil qiluvchi ionlardan foydalanish bilan bevosita namoyish qilish mumkin. Ikkita K va A platina elektrodi U simon nayga zichliklari birday ikkita turli eritma ostiga to'q binafsha rangli kaliy permanganat ($KMnO_4$) eritmasi va ustiga rangsiz kaliy nitrat (KNO_3) eritmasi quyiladi. Naydan tok o'tkazganda MnO_4 ion rangli eritmasining chegarachi anod tomonga sezilarli siljiy boshlaydi.

5. Elektrodلarning qutblanishi: Aytaylik, biror elektrolitga ikkita birday metall elektrod, masalan, mis kuporasining suvdagi eritmasiga ikkita platina plastinka botirilgan bo'lsin. Bunday kombinatsiya noldan farqli E.Y.K hosil qilmasligini biz ko'rsatib o'tgan edik, ikkita turli birinchi jins o'tkazgichni elektrolitga botirgandagina noldan farqli E.Y.K vujudga keladi. Lekin platina elektrod botirilgan mis kuporasi eritmasidan elektrodلarni biror tashki E.Y.K manbaiga, masalan, galvanik, elementga ulab so'ngra tok o'tkazaylik. U holda katod vazifasini bajarayotgan platina elektrodda mis, anodda SO_4^{2-} ion ajraladi, SO_4^{2-} ionning suv bilan kimyoviy reaksiyaga kirishishidan sulfat kislota (H_2SO_4) hosil bo'ladi va elektrodda kislorod ajraladi.

Natijada elektrodلarning simmetriyasi buziladi, ulardan biri mis qatlami bilan, ikkinchisi kislorod pardasi bilan koplanadi. Endi eritmaga botirilgan elektrodلar birday bo'lmaydi va ma'lum E.Y.K ga teng bo'lgan galvanik element hosil qiladi, bu element **qutblanish elementi** deb ataladi. Agar bu elementni tashki E.Y.K manбайдan uzib qo'yib, biror qarshilik bilan tutashtirilsa, u holda element teskari tartibda boruvchi kimyoviy reaksiyalar natijasida elektrodلarning simmetriyasi tiklanguncha oqadigan tok beradi.

Elektrodلarning materiali bir xilligi tufayli dastlabki simmetriyasining buzilishi eritmalar elektrolizida har gal yuz beraveradi. Elektrodلarning eritmalar elektrolizida o'zgarishi elektrodلarning qutblanishi, bunda vujudga keluvchi E.Y.K esa qutblanish E.Y.K deyiladi. Aslida qutblanish hamma vaqt ham ko'rsatilgandek kaytuvchan bo'lavermaydi, element zaryadlangandan keyin boshlang'ich holat to'la tiklanmasligi mumkin.

Qutblanish E.Y.K mavjudligi qator muhim xulosalarga olib keladi. Birinchidan, Om qonunining elektrolitlarga qanday ko'rinishda tadbiq qilinishi masalasini tekshirib

ko'rishimiz mumkin. Birinchi jins o'tkazgichdan tok o'tganda I tok kuchi, o'tkazgich uchlaridagi U_1-U_2 potentsiallar ayirmasi va o'tkazgichning R qarshiligi Om qonuniga ko'ra o'zaro quyidagi munosabat orqali bog'langandir: $I = \frac{U_1-U_2}{R}$ (10.44)

Bunga muvofiq tok kuchi bilan potentsiallar ayirmasi orasidagi bog'lanish grafik ravishda koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi. Elektrolitdan tok o'tganda elektrodlardagi U_1-U_2 potentsiallar ayirmasi faqat dastlabki paytdagina IR ko'paytmaga teng bo'ladi, biror vaqtdan keyin esa elektrodning qutblanishi natijasida, dastlabki I tokni tiklab turish uchun quyidagi potentsiallar ayirmasi berish zarur bo'ladi: $U_1-U_2 = IR + \xi'$ (10.45). Shunga muvofiq I tok kuchining U_1-U_2

$$\text{potentsiallar ayirmasiga bog'lanishi quyidagicha: } I = \left(\frac{U_1-U_2}{R} \right) - \left(\frac{\xi'}{R} \right) \quad (10.46)$$

munosabat bilan ifodalanadi, ya'ni grafik ravishda bu munosabat odatdagi Om qonuni (10.45) holidagidek, koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq emas, balki absissalar o'qini koordinatasi ξ' bo'lgan a nuqtada kesib o'tuvchi to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi.

Elektrolitdan t vaqt ichida o'tib turgan tokning bajargan ishi (62) tenglikka ko'ra quyidagiga teng bo'ladi: $A = I(U_1 - U_2)t = I^2Rt + \xi't$ (10.47) biroq I^2Rt kattalik elektrolitda ajraladigan Q issiqlikdan iboratdir, bundan $A = Q = \xi't$ (10.48) ya'ni, Q issiqlik ajratishga sarflanadigan ishdan tashqari, elektroliz vaqtida yana $AF = \xi't$ qo'shimcha ish bajariladi. Elektr tok elektrolitni parchalamaydi. Eritiladigan modda erish jarayonida ionlarga dissotsiatsiyalanadi. Tok o'tayotganda elektrodlarda ionlarning ajralishigina ro'y beradi, xolos.

Biroq biz elektrolitga botirilgan o'tkazgich bilan elektrolit orasida potentsiallar ayirmasi vujudga kelishi va buning natijasida elektrod yaqinida ionlarga elektr kuchlari ta'sir qilishini ko'rgan edik. Ionlar elektrodga ajralishi uchun qandaydir potensial to'siqni yengishi zarur. $AF = \xi't$ ish ana shu potensial to'siqni engishga sarflanadi. R qarshilikni kichraytirish yo'li bilan Lens-Joul $Q = I^2Rt$ issiqligi ajralishiga sarf bo'ladigan ishni istalgancha kichik qilish mumkin. Qarshilikni kichraytirish uchun katta elektrodlar olish va ularni bir-biriga yaqin joylashtirish kerak.

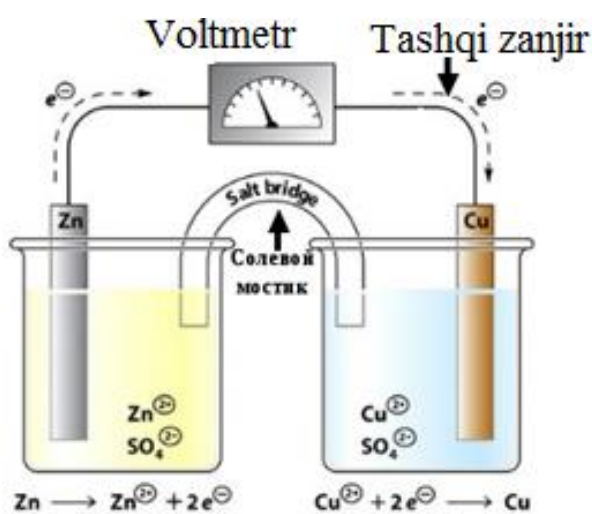
Lekin A' ishni bajarmaslik mumkin emas; uning qiymati elektrolitning tarkibi va elektrodning moddasi bilan belgilanadi. Elektrodning qutblanishi kaytuvchan tabiatli bo'lgan hollardagina ξ' kattalik qutblanish E.Y.K ga teng bo'ladi, biroq ko'p hollarda ξ' kattalik qutblanish E.Y.K dan kattaroq bo'ladi. Mazkur ionlarning elektrodga ajralish jarayoni boshlanishi uchun **“ortiqcha kuchlanish”** kerak bo'ladi. Bu ortiqcha kuchlanish bir necha undan bir voltlar atrofida bo'lishi mumkin. Masalan, elektrodlar kaytuvchan qutblangan hollarda sulfat kislotaning suvdagi eritmasi

elektrolizi boshlanishi uchun elektrodlardagi potentsiallar ayirmasi 1,22 V bo'lishi kerak, haqiqatda esa, toza platina elektrodlar ishlatilganda elektroliz 1,64 V dagina boshlanadi.

Elektrodlardagi potentsiallar ayirmasining ularda ma'lum ionlar ajralishiga mos qiymati **ajratish potentsiali** deyiladi. Turli ionlar uchun ajratish potentsiali turlicha bo'ladi, shunga ko'ra bir xil ishorali bir necha xil ionlarga (masalan, Cu^{2+} va Zn^{2+} ionlar) bo'lgan eritmadan bir nav ionlarni ajratib olish mumkin. Bu hol toza metallar olish uchun elektrolizdan texnikada foydalanishda katta rol o'ynaydi. Bu mavzuda biz elektrodlar qutblanishi tufayli kelib chiqadigan ikkinchi natijani galvanik elementlar ishlay boshlaganidan keyin ular E.Y.K ning pasayishini ham ko'rib chiqamiz. Galvanik elementni tashqi qarshilikka ulaganda tok o'tishi natijasida elektrolitning parchalanishi ro'y beradi, natijada elektrodlar qutblanadi va qutblanish E.Y.K vujudga keladi, bu E.Y.K elementning boshlang'ich ξ' E.Y.K ini kamaytiradi.

Bundan tashqari, elementda bo'ladigan o'zgarishlar uning ichki qarshiligini orttiradi. Masalan, elektrodlardan birida vodorod pufaklari ajralganda elementning qarshiligi kuchli ravishda ortadi. Qutblanish E.Y.K ning zararli ta'sirini bartaraf qilish uchun galvanik element birinchi va ikkinchi jins o'tkazgichlarning shunday kombinatsiyasidan tuzilishi kerakki, bunda elektrodning qutblanishi amalga oshmaydigan bo'lsin.

Daniel elementida (10.2 – rasm) bunga erishishi uchun mis va rux plastinkalari o'rtasidan g'ovak to'siq bilan ajratilgan turli eritmalarga botiriladi. Buning natijasida element ishlaganda rux plastinka eriydi va mis plastinkaga mis o'tiradi, xolos, bu jarayon plastinkalar moddalarning hech qanday o'zgarishiga olib kelmaydi. Biroq eritmalarning g'ovak to'siq orqali muqarrar diffuziyasi Daniel elementining ishlash davrini cheklab qo'yib, amalda uning beradigan foydasini kamaytiradi.



10.2 – rasm. Daniel elementi

1865 yilda **J.Leklanshe** tomonidan birinchi marganets-rux gal'vanik elementi yasalgan. Leklanshe elementida katod yaqinida ajraladigan vodorod marganes peroksidi

bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi, shu sababli ko'mir elektrodning qutblanishiga yo'l qo'yilmaydi. Normal elementning nisbatan murakkab tuzilishiga sabab shuki, elektrodlar va elektrolitlarning ana shunday kombinatsiyasi tufayli qutblanish amalda to'la bartaraf qilinadi. Normal element ishlaganda uning elektr yurituvchi kuchi vaqt utishi bilan o'zgarmaydi.

6. Elektrolizning texnikada qo'llanilishi: Texnikada elektrolizdan juda keng foydalaniladi. Elektroliz yo'li bilan ba'zi metallar olinadi (Elektrometallurgiya), metallarni aralashmalardan tozalanadi (metallarni tozalash va rafirlash); tegishli eritmalarni elektroliz qilish yo'li bilan ba'zi gazlar (kislorod, vodorod, xlor va h.k) olinadi; elektroliz yordamida turli buyumlar metall qatlam bilan qoplanadi (Gal'vanostegiya); kerakli buyumlarning relefli metall nusxalari (tipografiya klavishalari) tayyorlanadi (Gal'vanoplastika); akkumulyatorlarni zaryadlashda va boshqalar qo'llanadi.

Akkumulyatorlar. Elektrolitga botirilgan ikkita bir xil metall elektroddan tok o'tganidan keyin bu elektrodning qutblanishini va biror vaqt tok manbai bo'la oladigan galvanik element hosil bo'lishini ko'rdik. SHunday qilib, ikkita birday birinchi jins o'tkazgich va ikkinchi jins o'tkazgichdan iborat sistema tuzish bilan akkumulyator, ya'ni elektr energiyani yigish qobiliyatiga ega bo'lgan asbob yasashimiz mumkin ekan. Biroq akkumulyator amaliy ahamiyatga ega bo'lishi uchun ikki shartni qanoatlantirishi kerak. Bular:

1. Elektrodning qutblanishi turg'un bo'lishi;
2. Akkumulyatorida bo'ladigan jarayonlar qaytuvchan bo'lishi;

Birinchi shart akkumulyatordan tok olmaganda uning o'z-o'zidan zaryadlanmasligi uchun zarurdir. Ikkinchi shart esa, akkumulyatorning kelgusida ishga yaroqsiz qilib qo'yadigan o'zgarishlar bo'lmasligi uchun zarurdir.

Elektrometallurgiya. Metallurgiyada elektrolizdan turli maqsadlarda foydalaniladi. Elektrolitik usulda alyuminiy va toza mis olish eng ko'p tarqalgan. Rudalarni eritib olinadigan misning tarkibida odatda CuS va Cu_2S oltingugurtli birikmalar bo'ladi. Ana shunday misdan anodlar yasaladi, sulfat kislota eritmasi elektrolit bo'lib xizmat qiladi. Bunda katodda yetarlicha toza mis ajralib chiqadi. Hozirgi zamon texnikasida ishlatilayotgan alyuminiyning hammasi eritilgan alyuminiy to'zlarini elektroliz qilish yo'li bilan olinadi. Bunda glinozyom bilan birga alyuminiy va natriyning eritilgan ftorli kush tuzlari elektrolit rolini o'ynaydi. Elektrodlar sifatida kumir plastinkalar ishlatiladi. Tok o'tayotganda ajraladigan issiqlik hisobiga to'z erigan holda saklab turiladi. Alyuminiy ishlab chiqaruvchi zavodlar arzon elektr energiya ishlab chiqaruvchi gidroelektr stansiyalar yaqiniga kuriladi. Alyuminiy tuzlari elektroliz qilinadigan vannalar orqali o'n minglab amper tok o'tkaziladi. Magniy, natriy va boshqa ishkoriy metallarni ham elektrolitik usul bilan olinadi.

Galvanoplastika. Sankt-Peterburg Fanlar akademiyasining akademigi B.S.Yakobi 1837-yili birinchi marta misdan relief yupqa qatlamli buyumlar yasash uchun elektrolizdan foydalandi. Yakobi kashf qilgan jarayon galvanoplastika nomini oldi. Dastlab mum yoki biror boshqa plastik materialdan mazkur buyumning modeli yasaldi va bu modelga o'tkazuvchanlik berish uchun grafit qatlam koplandi. Mis kuporasini elektroliz qilishda bu model katod bo'lib, mis plastinka esa anod bo'lib xizmat qiladi. Bunda modelga mis pardasi o'tirib qoladi, bu pardaning qalinligi elektroliz vaqtiga bog'liq bo'ladi. Hosil bo'lgan pardani keyin modeldan ajratib olish mumkin. Elektrolizdan, shuningdek, bir materialdan yasalgan buyum sirtini boshqa biror material qatlami bilan qoplashda ham foydalaniladi. Masalan, elektrolitik usulda nikellash keng qo'llaniladi. Kitoblarni va boshqa bosma asarlarni bezash uchun klishe tayyorlash texnikasida galvanoplastikaning ahamiyati katta.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Radiusi $R = 5 \text{ sm}$ bo'lgan o'tkazgich sfera mis kuporosi eritmasi bilan to'ldirilgan elektrolitik vannaga joylashtirilgan. Agar 1 s da har bir kvadrat santimetr yuzaga $q = 0,01 \text{ Kl}$ zaryad tushadigan bo'lsa, 30 minut vaqt davomida sferaning massasi qanchaga ortadi? Misning molyar massasi - $0,0635 \text{ kg/mol}$ '. $(2 \cdot 10^{-3} \text{ kg})^{23}$.

2. Bir soat davom etgan elektrolizda tok kuchi 5 A ga teng bo'ldi. Bu vaqtda ajralgan atomar vodorodning temperaturasi qanchaga teng bo'ladi? Uning bosimi 10^5 Pa ga, hajmi esa $1,5 \text{ l}$ ga teng? Vodorodning elektrokimyoviy ekvivalenti $k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/C}$. (100 C).

3. Buyumni nikellash jarayonida 1 soat davomida $l = 0,01 \text{ mm}$ qalinlikdagi nikel o'tiradi. Agar nikelning molyar massasi $M = 0,0587 \text{ kg/mol}$ ', valentligi n h 2, zichligi $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, tok zichligini toping. (81 A/m^2).

4. Massasi 200 g kumush olish uchun sarf bo'ladigan elektr energiyasini aniqlang. Qurilmaning F.I.K 80%, elektroliz 20 V kuchlanish ostida olib boriladi. Kumush uchun elektrokimyoviy ekvivalent $k = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ kg/C}$. ($4,47 \cdot 10^{-6} \text{ J}$).

5. Nima uchun yoy razryadida tok kuchining ortib borishi bilan kuchlanish kamayib boradi? Tushuntiring.

Tok kuchining ortib borishi bilan katotdan chiqadigan termik emissiya kuchayadi, zaryad tashuvchilarning soni ortadi, natijada elektrodlar oralig'idagi bo'shliqqa qarshilik kamayadi. Bunday holatda qarshilikning pasayishi tokning oshishiga qaraganda tezroq ro'y beradi, shuning uchun kuchlanish pasayadi. Shiziqli Om qonuni $U = IR$ gazlarda buziladi.

6. Elektron molekula bilan to'qnashganda elastik urilishda absolyut noelastik urilishdagiga nisbatan molekulaga kamroq energiya berishini isbotlang.

$$\Delta W_a \approx \frac{m_e v_0^2}{2},$$

²³ http://class-fizika.ru/10_a158.html

7. Kal'siyning suvdagi eritmasida ionlar harakatchanligi $6,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ga teng. Kuchlanganligi 300 V/m bo'lgan maydonda ionlar erishadigan tezlikni aniqlang ($0,02 \text{ mm/s}$).

8. 10 minut davom etgan elektroforez jarayonida biologik to'qimalarga kalsiy ionlarining kirib borish chuqurligi $1,2 \text{ sm}$ bo'lib chiqdi, ionlarning tezligini toping. ($0,02 \text{ mm/s}$).

9. Elektrodlar bir-biridan 12 sm masofada joylashgan bo'lib, ular orasidagi kuchlanish 36 V bo'lganda 20 minut vaqt ichida ionlar 1 sm ga ko'chirildi. Tajribalar natijalariga ko'ra ionlarning harakatlanishini aniqlang. ($2,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$).

10. 25°C da suvli eritmada natriy ionlarining harakatlanishi $5,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, xlor ionlariniki esa 1,5 baravar yuqori. Xlor ionlarining harakatchanligini toping. ($7,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$).

11.Ch.20.17. Ikkita elektrolitik vanna ketma-ket ulangan. Ma'lum vaqt ichida birinchi vannada $3,9 \text{ g}$ rux, ikkinchisida $2,24 \text{ g}$ temir ajraldi. Rux ikki valentli. Temirning valentligini toping.

12. Ch.20.19. Agar miskuporasidagi elektrolizdan oqayotgan tokning zichligi 80 A/m^2 bo'lsa, 5 soat vaqt davomida ajraladigan mis qatlamining qalinligini aniqlang.

13.Ch.20.22. Agar eritma orqali 5 min vaqt davomida 2 A tok oqqan bo'lsa, elektrolitik vanna katodida o'tirib qoladigan ikki valentli metallning modda miqdori va atomlar soni aniqlansin.

14.Ch.20.23. Tok zichligi 10 A/m^2 bo'lganda 5 minut vaqt ichida elektron sirtining 1 sm^2 yuzasidan ikki valentli metallning nechta atomi ajraladi?

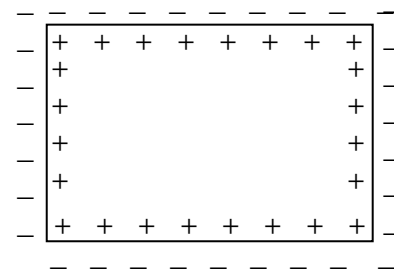
15.Ch.20.28²⁴. Azot Rentgen nurlari bilan ionlashtirilmoqda. Agar muvozanat shartida gazning har bir kub santimetrida 10^7 juft ion bo'lsa, azotning o'tkazuvchanligi aniqlansin. Musbat ionlarning harakatchanligi $1,28 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$, manfiy inlarniki esa $1,81 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$.

²⁴Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997.289-293 бетлар.

11- §. Vakuumdagi elektr toki. Termoelektrik hodisalar

- 11.1. Chiqish ishi. Kontakt potentsiali;
- 11.2. Termoelektron emissiya va elektron lampalar;
- 11.3. Kontakt potentsiallar ayirmasi;
- 11.4. Termoelektrik hodisalar.

1. Chiqish ishi. Kontakt potentsiali: Ma'lumki, metallidagi erkin elektronlarning o'rtacha tezligi juda katta bo'lib ($\langle v \rangle \approx 10^5 \text{ m/s}$), ular haqiqatan erkin bo'lganida metall sirtidan chiqib ketishi mumkin edi. Lekin ayrim elektronlarning metall sirtidan uchib chiqishi metallni musbat zaryadlanishiga olib keladi. Bu musbat zaryad elektrostatika qonunlariga binoan metall sirtida mujassamlashadi va uchib chiqqan elektronlarni uzoqlashishiga to'sqinlik qiladi. Metall sirtida dinamik muvozanat vujudga keladi, sirtidan chiqqan elektronlar soni qaytib tushayotgan elektronlar soniga teng bo'ladi. Uchib chiqib so'ngra qaytib tushayotgan ko'plab elektronlar metall sirti yonida manfiy zaryadlangan elektronlar bulutini hosil qiladi. Bu bulutning qalinligi millimetrlarning ulushlarini tashkil etib, metall sirtidagi musbat zaryad bilan kondensatordagi kabi qarama-qarshi zaryadli qo'sh qatlamni hosil qiladi (11.1-rasm), bu qo'sh qatlamning elektr maydoni elektronlarni metallidan butunlay chiqib ketishiga to'sqinlik qiladi. Metall tashqi elektron bulut bilan birgalikda elektr neytral qoladi.



11.1- rasm.

Elektronni metallidan butunlay chiqib ketishi uchun unga qo'shimcha energiya berish zarur. Chiqib ketgan elektron energiyasini nolga teng deb hisoblashimiz mumkin, demak metallidagi elektronlar energiyasi ularning kinetik energiyasi katta bo'lishiga qaramay manfiy ekan: $W = -e\varphi$, $\varphi > 0$. (11.1)

Bu yerda φ - chiqish potentsiali deb ataladi, uning musbatligi metall musbat zaryadlanib qolishi bilan bog'liq. Elektron energiyasining manfiyligi uni potensial chuqurda yotishini ko'rsatadi. Elektronning metaldan chiqish ishi $eV (= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J})$ - elektron volt birligida o'lchanadi va turli metallar uchun turlichadir:

Metallar	Chiqish ishi (eV)	Metallar	Chiqish ishi (eV)
Volfram	4.5	Nikel	5.0
Temir	4.74	Platina	5.29
Oltin	4.68	Kumush	4.74
Mis	4.47	Rux	4.0
Natriy	2.3	Seziy	1.97

Elektronlarning metallardan chiqishi qizdirish hisobiga ro'y bersa - termoelektron emissiya, yoritish hisobiga vujudga kelsa – fotoeffekt, turli zarralar oqimi ta'sirida vujudga kelsa – ikkilamchi emissiya deb ataladi.

2.Termoelektron emissiya va elektron lampalar: Metaldagi erkin elektronlar yorug'lik fotonlarini yutib, metall sirtidan chiqib ketishi mumkin, bu hodisa fotoeffekt deb ataladi. Foton energiyasi $\hbar\omega$ bu jarayonda elektronni metallardan chiqish ishi $e\varphi$ ga va elektronning natijaviy E_k kinetik energiyasiga sarflanadi:

$$\hbar\omega = e\varphi + E_k. \quad (11.2)$$

Foton energiyasi kamaygani sari E_k ham kamayib boradi va nihoyat fotoeffektning qizil chegarasida fotonning energiyasi faqat chiqish ishiga etadi: $\hbar\omega_q = e\varphi$. Chastota ω bundan kichik bo'lsa, fotoeffekt kuzatilmaydi.

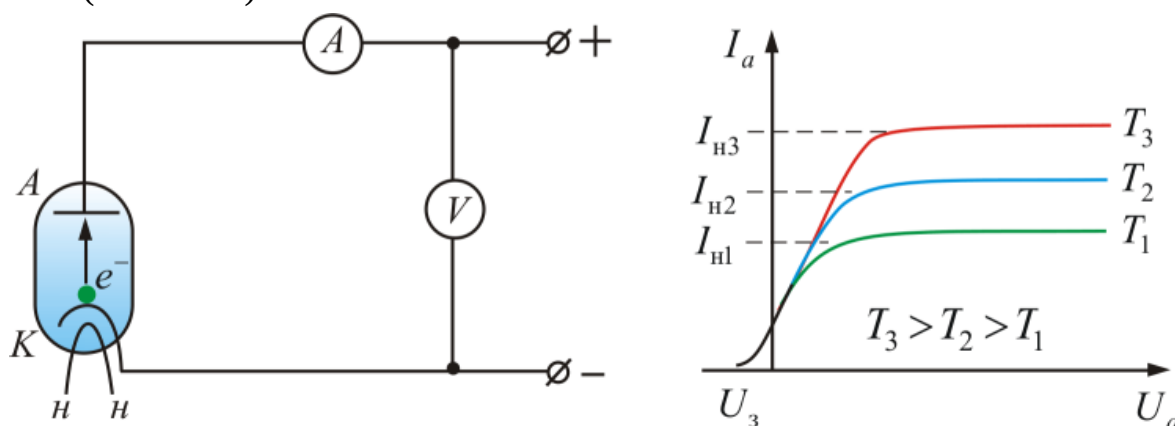
Fotoeffektni bunday tushuntirilishi A.Eynshteynga (1905 yil) tegishli bo'lib, bunda olim hodisani birinchi marta yorug'lik kvanlari haqidagi tasavvurlar asosida tushuntirgan, aynan shu ishi uchun Nobel mukofotining sovrindori bo'lgan. Shunday qilib fotoeffektning xossalari bir tarafdin fotonlarni mavjudligini isbotlasa, ikkinchi tomondan elektronlarni metallardan chiqish ishini o'lchash imkonini beradi.

Klassik tasavvurlar bo'yicha metaldagi erkin elektronlar gaz molekullari kabi issiqlik harakatida bo'lgan, Maksvell taqsimotiga bo'sunadigan zarrachalar sistemasidir. Maksvell taqsimoti bo'yicha elektronlarni orasida oz miqdorda metallardan chiqish energiyasiga ega bo'lgan elektronlar ham uchraydi va ular metallardan chiqib ketadi. Bu jarayon *termoelektron emissiya* deb ataladi. Termoelektron emissiyaning intensivligi bir tarafdin chiqish ishiga bog'liq bo'lsa, ikkinchi tarafdin teperaturaga bog'liq: intensivlik ortishi uchun temperatura yuqoriroq, chiqish ishi kichikroq bo'lishi kerak. Lekin odatdagi temperaturalarda (300 K) emissiya intensivligi Shunday kichik bo'ladiki, hodisani sezish mumkin emas. hodisani sezish uchun mahsus sharoit kerak:

- ◆ Elektronning chiqish ishi kichikroq bo'lgan metall;
- ◆ Yuqori temperatura;
- ◆ Metallardan chiqqan elektronlarni undan uzoqlashishi uchun sharoit.

Metallar orasida tseziy elektronlarni chiqish ishi kichikligi bilan ajralib turadi va elektronikada qo'llaniladi. Ko'p hollarda po'lat, nixrom kabi o'tkazgichlarni sirti nodir metall bo'lgan tseziy bilan qoplanadi. Metalni qizdirish uchun undan elektr toki o'tkazilib, Joul issiqligi bilan qizdiriladi. Emissiya elektronlarini erkin harakatlanishi uchun metall vakuumli shisha kolbaga joylashtiriladi, vakuum kolbadagi havoni maxsus nasoslar bilan so'rib hosil qilinadi. Bunday asbob 1905 yilda J.Fleming tomonidan "o'zgaruvchan tokni

doimiy tokka aylantiruvchi asbob” nomi bilan yaratilgan va elektronika asrining poyqadami bo‘lgan, hozirgi paytda *elektron lampa*, yoki *elektrovakuumli diod* deb ataladi (11.2-rasm).



11.2-rasm. Elektrovakuumli diodning volt-amper xarakteristikasi

Termoelektron emissiya buyuk ixtirochi T.Edisson tomonidan kashf etilgan. Lekin Edisson bu hodisa ahamiyatini yetarli anglamagan, jami 1093 patentga ega bo‘lgani holda, emissiya hodisasiga patent olmagan. Lekin termoelektron emissiya hodisasi ba‘zan uning ismi bilan “Edisson effekti” deb ham ataladi. Termoelektron emissiya hodisasini nazariy jihatdan O.Richardson (1902) o‘rganib chiqdi. Zarralarni tezliklar bo‘yicha Maksvell taqsimotiga asosan, Richardson energiyasi chiqish ishidan katta bo‘lgan elektronlar sonini statistik hisoblab, quyidagi natijaga kelgan:

$$j = AT^2 \exp(-e\phi/kT). \quad (11.3)$$

Bu yerda j - emissiya elektronlarining tok zichligi, $e\phi$ - elektronlarning chiqish ishi, A - doimiy koeffitsient.

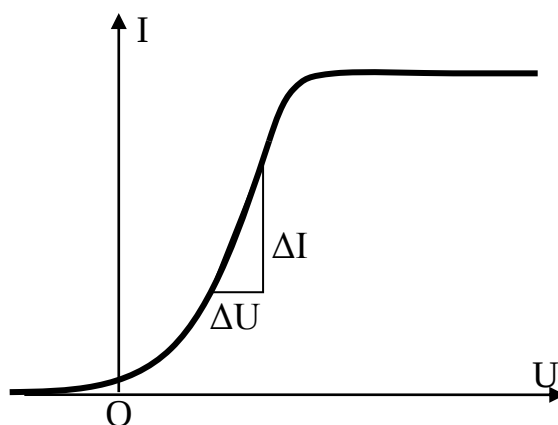
S.Deshman (11.3) formula kvant fizikasi nuqtai nazaridan ham to‘g‘riligini tasdiqlab, $A = 120 \text{ A/sm}^2 \text{ K}^2$ koeffitsientni nazariy hisoblagan, shuning uchun formula Richardson – Deshman formulasi deb ataladi. Chiqish ishi $e\phi = 1.97 \text{ eV}$ (tseziyning parametri), temperatura $T = 300 \text{ K}$ desak, Richardson – Deshman formulasiga ko‘ra $j \approx 10^{-26} \text{ A/sm}^2$ (bu natijaga ko‘ra 1 sm^2 sirdan 10^7 s davrda bitta elektron chiqishi kerak). Emissiya materialini temperaturasi 1300K etkazsak, emissiya tok zichligi $j = 4.7 \text{ A/sm}^2$ etadi, temperaturani 4-5 marta oshishi natijasida emissiya 26 tartibga oshdi. Demak, emissiya toklaridan texnikada foydalanish mumkin bo‘lishi uchun emissiya manbai albatta qizdirilishi kerak ekan. Shunga o‘hshab, emissiya intensivligi chiqish ishining qiymatiga ham kuchli bog‘liqdir.

(Richardson-Deshman formulasi yana yarimo‘tkazgichlardagi temperatura bilan bog‘liq o‘tkazuvchanlik elektronlar sonini hisoblashda ham qo‘llaniladi. Buning sababi shundaki, o‘tkazuvchanlik elektronlarning soni ham, termoelektronlar soni ham asosiy zonadagi elektronlarning bir qismi – eng katta energiyalik elektronlarning bir holda chiqish ishini bajarib, boshqa holda

taqiqlangan zonani sakrab o'tish bilan yuqori energiyalik holatga o'tishi bilan bog'liq. Bir-biriga o'hshash statistik masalalar bir yechimga keltiradi.)

Elektrovakuumli diod bir tarafdin elektron emissiyani o'rganish vositasi bo'lsa, ikkinchi tarafdin elektron emissiyani qo'llanishidir. Dastlab emissiyani lampadagi kuchlanish U ga bog'lanishini tahlil etaylik. Elektron lampa elektr sxemada 11.2-rasmdagi kabi belgilangan bo'lsada, konstruktiv jihatdan boshqacha yasaladi. Masalan emitter tarang tortilgan va tok o'tkazib qizdirilayotgan simdan iborat bo'ladi. Emitterni qizdiruvchi tokni oshirib, anod tokini oshirish mumkin. Emission elektronlarni etib borishi engilroq bo'lishi uchun kollektor emitterni o'rab turuvchi tsilindr shaklida yasaladi. TSilindrni radiusi kichikroq bo'lsa, ortiqroq emission tokka erishish mumkin. Anod tokini tashqi kuchlanishga bog'lanishi (11.3-rasm) diodning volt - amper xarakteristikasi deyiladi.

Tashqi qarshilik cheksiz katta bo'lsa (yoki tashqi zanjir uzib qo'yilsa) anod toki nolga aylanib, elektronlar chiqargan emitter musbat, elektronlarni qabul qilgan kollektor manfiy zaryadlanib qoladi, ular orasida doimiy, qiymati emitter temperaturasiga bog'liq bo'lgan kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanish tokni bekituvchi kuchlanish deb ataladi. Tashqi qarshilikni kamaytirib borsak, tashqi zanjirda Om qonuniga ko'ra tok (anod toki) paydo bo'ladi, emitter va kollektor orasidagi tokka to'sqinlik qiluvchi kuchlanish kamayib, ular orasida emissiya elektronlarining oqimi paydo bo'ladi. Bu tok 11.3-rasmda kordinata boshidan chapda tasvirlangan.



11.3-rasm

Zanjirda hosil bo'lgan tok biror maqsadda foydalanilishi mumkin. Demak elektron emissiya vositasida *bironta harakatlanuvchi qismlari bo'lmagan* tok manbai yaratilishi mumkin ekan. Unda emitterni qizdirish uchun sarflangan issiqlik energiyasi to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga, elektr tokiga aylantiriladi. Bunday qurilma *termoemission tok manbai* deb ataladi, u real ahamiyatga ega bo'lishi uchun yetarli quvvatga, foydali ish koefitsientiga, iqtisodiy samaradorlikka ega bo'lishi kerak.

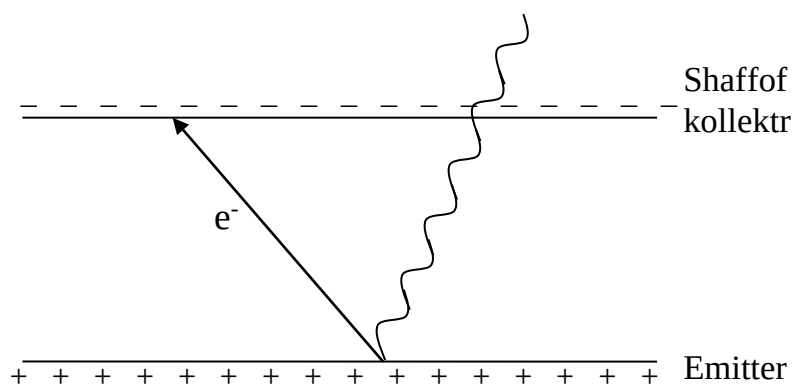
Termoelektron tok manbaining harakatlanuvchi qismlari bo'lmagani uchun emitterni isitish, kollektorni sovitish amalga oshganda tinimsiz yillab ishlashi mumkin. Manbaining bunday ishonchli bo'lishi ayniqsa kosmik sharoitda muhim ahamiyatga ega va kosmik kemalarning ayrimlarida termoemission tok manbai qo'llanilgan. Emitter uchun issiqlik manbai sifatida radiaktiv modda qo'llanilgan,

kollektor kosmik kemandagi soya tarafida joylashib, fazoga issiqlik elektromagnit to'liqlarini chiqarib, sovitilgan (kosmik fazoni temperaturasi relikt nurlanish bilan belgilanadi va 2,3 K ga teng). Kelajakda emitterni ko'zgular yordamida yig'ilgan Quyosh nurlari yordamida isitish rejalari bor, bunda elektr energiya Quyosh nurlari energiyasi hisobiga hosil qilinadi.

Quyosh doimiy $S \approx 1.3 \text{ kWt/m}^2$ Poynting vektorining modulidan iborat bo'lib, birlik yuzaga tushayotgan Quyosh nurlanishining quvvatini bildiradi. Atmosfera bu quvvatni bir qismi akslantirishi va yutishi hisobiga Er sirtida quyosh doimiy kamayadi. Kosmosda esa bunday cheklov yo'q. Emitter va kollektor sirtini oshirib ixtiyoriy katta Quyosh quvvatni yig'ish mumkin.

Termoemission tok manbaini kosmosda qo'llanilishining qulayligi shundaki, emitter va kollektor orasidagi vakuumni ushlab turuvchi nozik va og'ir shisha idish kerak emas, nasoslar yordamida havoni so'rib olish ham shart emas. U yerda tabiiy vakuum mavjud, demak emitter va kollektor sirtlarini juda katta qilib yasash mumkin.

Quyosh energiyasidan elektr tokini olish uchun fotoeffektdan ham foydalanish mumkin. Masalan, $E = 2\text{V}$ EYK hosil qilish kerak, elektronlarning chiqish potentsiali - 1V bo'lsin. Unda chastotasi $h\nu > 3\text{eV}$ shartni qanoatlantiruvchi fotonlar elektronlarni emitterdan kollektorga o'tkazib, tok manbasiga hissa qo'shishi mumkin. Buning uchun emitter va kollektor o'zaro parallel va yaqin joylashishi, termoelektron emissiya kuzatiladigan sharoitga o'xshab, emitter va



11.4-rasm

kollektor orasida vakuum bo'lishi kerak. Kollektor shaffof bo'lib, nurlar kollektor orqali emitterga tushib, fotoeffekt hosil qilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi (11.4-rasm).

Fotoeffektning chegaraviy to'liq uzunligini hisoblasak: $\lambda = c/\nu < hc/3\text{eV} = 400\text{nm}$. Ya'ni Quyosh nurlanishidagi butun yorug'lik va ultrabinafsha nurlar, nurlanish energiyasini asosiy qismi tok manbasiga hissa qo'shishi mumkin va uning FIK juda yuqori, masalan 50% bo'lishi mumkin. Internetda chiqish ishi yuqoridagi hisobda qo'llanilgan 1eV dan ham kichkina,

0.4eV bo'lgan nanouglerod materiali haqida ma'lumot topish mumkin. Bunday material infraqizil nurlarning energiyasini ham katta qismini elektr energiyasiga aylantirishga xizmat qilishi mumkin. Bunday fotoelektrik qurilmalarda yuqori temperaturaga ham zarurat yo'q.

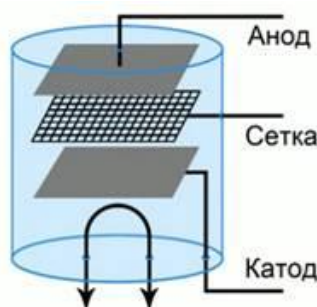
O'quvchiga tushuntirish nuqtai nazaridan, termoelektron tok manbaini birinchi bo'lib bayon etdik. Lekin tarixan elektrovakuumli diod boshqa muhim vazifalarni bajargan. Tashqi kuchlanish manbai vositasida diodning emitteriga manfiy, kollektoriga musbat kuchlanish berilsa, bu anod tokini oshishiga olib keladi (11.3-rasmda koordinata boshidan o'ng taraf). Emitter temperaturasi doimiy bo'lgani holda tok kuchi kuchlanishga quyidagicha bog'liq ekan:

$$I = CU^{3/2}. \quad (11.4)$$

Bu yerda C elektrodلarni shakli va o'lchamlari, emitter materialiga bog'liq bo'lgan doimiy. Bunday bog'lanish Boguslavskiy – Lengmyur qonuni, yoki $3/2$ qonuni deb ataladi. Kuchlanishni katta qiymatlarida tokning to'yinishi kuzatiladi.

Tokni kuchlanishga bunday bog'lanishini quyidagicha izohlash mumkin. Tashqi kuchlanish bo'lmaganida, emissiya qilgan elektronlarni bir qismigina kollektorga borib etadi. Tashqi (musbat) kuchlanish kollektorga borib etadigan emissiya elektronlarini sonini oshiradi. Tashqi kuchlanishning katta qiymatlarida emissiya elektronlarining barchasi kollektorga borib etib, anod tokining to'yinishi kuzatiladi. To'yinish tokining qiymati emitter temperaturasi va sirtiga Richardson – Deshman formulasi bilan bog'liqdir.

Elektrovakuumli diod unga musbat kuchlanish berilganda tok o'tkazadi, manfiy kuchlanish berilganda tok o'tkazmaydi. Shuning uchun uning dastlabki qo'llanishi – “o'zgaruvchan tokni doimiy tokka aylantirish” dan iborat bo'lgan. Elektrovakuumli diodga, emitter va kollektor orasiga metall to'r kiritib, anod tokini boshqaruvchi kuchli vosita hosil qilinadi. Bunday qurilma *uch elektrodli lampa* deb nomlanadi.



11.5-rasm. Uch elektrodli lampa

To'r teshik bo'lgani uchun emitterdan chiqqan elektronlarning oz qismi unga tushadi, asosiy qismi ilgariidek, kollektorga borib etadi. Lekin to'r emitterga yaqinroq turgani uchun, unga berilgan musbat kuchlanish anod tokini oshiradi,

manfiy kuchlanish anod tokini kamaytiradi, to'ring kuchlanishini anod tokining qiymatiga ta'siri emitter va kollektor orasidagi kuchlanishga nisbatan ahamiyatliroq bo'lib qoladi. To'rga kuchsiz signallarni ulab (masalan antenna vositasida tutilgan elektromagnit to'lqinlarni), anod tokini kuchli o'zgarishiga erishish mumkin. Shunday qilib, uch elektrodli lampa kuchsiz signallarni kuchaytiruvchi element bo'lib xizmat qiladi.

Elektrovakuumli diodni, uch elektrodli lampani yaratilishi elektronika asrini boshlab berdi. Radio, televidenie, turli aloqa vositalari, radiolokatsiya, nihoyat kompyuterlarning dastlabki turlari bayon etilgan elektron lampalarga asoslangan edi. Yarimo'tkazgichli diod va tranzistorlar ularning vazifasini bajaruvchi ixcham va energiyani tejovchi keyingi avlod elektron qurilmalari bo'ldi. Yarimo'tkazgichli diod va tranzistorlarni integral sxemalarda yaratila boshlashi bilan elektron asboblarni rivojlanishining zamonaviy pog'onasi boshlandi. Bir integral sxemada ba'zan milliarddan ortiq elektron elementlar yaratiladi. Zamonaviy elektronika yutuqlarini Bu yerda bayon etish uchun joy etmaydi.

3. Kontakt potentsiallar ayirmasi: Ikki turli metallar kontaktga keltirilsa, ular orasida elektronlar almashish bo'lib, kontakt potentsiallar farqi vujudga keladi. Buning ikki mexanizmi mavjud.

Ularning birinchisi – **ichki** kontakt potentsiallar farqi metallardagi erkin elektronlar konsentratsiyasining farqi hisobiga vujudga keladi va konsentratsiya kattaroq bo'lgan metallardan ikkinchi metallga elektronlarning o'tishidan, ya'ni diffuziya hodisasidan iborat. Juda tez bunga to'sqinlik qiluvchi potentsiallar farqi vujudga kelib, bir taraflama diffuziya to'xtaydi. Vujudga keladigan potentsiallar farqi molekulyar fizika metodlari bilan hisoblanadi (k - Boltsman doimiyi):

$$\Delta\varphi_1 = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{n_1}{n_2} \right). \quad (11.5)$$

Metallardagi erkin elektronlar konsentratsiyalari kuchli farq qilmagani uchun Bu yerdagi logarifm qiymati birga yaqin bo'ladi. Temperaturani 300K deb hisoblasak: $\Delta\varphi \approx 10^{-2}V$.

Ikkinchi, **tashqi** kontakt potentsiallar farqi quyidagicha tushuntiriladi. Metallar kontaktga keltirilgan sirtida manfiy elektronlar buluti bo'lmaydi, bir metaldan chiqqan elektronlar ikkinchisiga o'tib qoladi va ikkinchisidan chiqqan elektronlar birinchisiga o'tib qoladi. Lekin elektronlar turli potensial chuqurlarda joylashgani uchun, chiqish ishi kichikroq bo'lgan metaldan ko'proq elektronlar chiqib, bu metall musbat, ikkinchi metall manfiy zaryadlanadi. Zaryadlanish kuchaygan sari musbat zaryadlangan birinchi metaldan elektronni chiqishi qiyinlashib, manfiy zaryadlangan ikkinchi metaldan elektronni chiqishi engillashib

boradi. Nihoyat metallarning potentsiallar farqi chiqish ishlarini farqiga etishi bilan dinamik muvozanat vujudga kelib, potentsiallar farqi o'zgarmay qoladi:

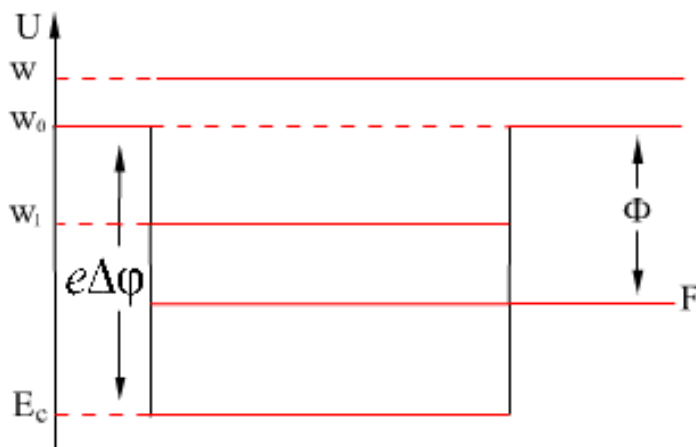
$$\Delta\varphi_2 = e(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (11.6)$$

Amaliy masalalarda $|\Delta\varphi_2| \gg |\Delta\varphi_1|$ bo'lib, tashqi kontakt potentsiallar farqi ko'proq ahamiyatga ega.

Elektr toklari bo'lmaganda birinchi metalning butun hajmida potentsial doimiy (φ_1) va ikkinchi metalning butun hajmida potentsial doimiy (φ_2) bo'ladi, potentsiallar farqi esa faqat kontaktning yupqa sirtida vujudga keladi.

4. Termoelektrik hodisalar: Moddalar tuzilish nazariyasiga ko'ra, metallar kristall panjara tuzilishiga ega bo'lib, erkin elektronlar uning sirtidan bug'lanib turadi. Shuning uchun metal sirti qo'sh elektr qatlam bilan o'ralgan bo'ladi (11.1-rasm). Bu qo'sh elektr qatlam elektronni metal sirtidan cheksizlikkacha chiqishga yo'l qo'ymaydigan potentsial o'raning chuqurli W_p metal ichida va sirtida elektron ega bo'lishi mumkin bo'lgan energiyalar farqi qadar bo'ladi.

Agar energiyalar o'qida elektron energiyasini energetik sath bilan belgilasak, yuqorida aytilganlarni quyidagi tarzda tasvirlash mumkin bo'ladi. Absolyut nol temperaturada elektron ega bo'lishi mumkin bo'lgan eng yuqori W_F **Fermi sathi** deyiladi (11.6-rasm).



11.6-rasm. Fermi sathi

Elektron metall sirtidan cheksizlikkacha chiqib ketish uchun qo'sh elektr qatlam kuchini yengishda ish bajara oladigan energiyaga ega bo'lishi lozim. Ana shu energiyaga **chiqish ishi** deyiladi.

$$A_{ch} = W_p - W_F; \quad A_{ch} = e(\varphi_+ + \varphi_-) \quad (11.7)$$

1797-yilda italiyalik olim Volta chiqish ishlari har xil bo'lgan turli jinsli metallar bir-biriga tekizilganda, ularning uchlarida potentsiallar ayirmasi vujudga kelishini aniqladi. U shunday metallar qatorini tuzdiki, (Al, In, Sn, Cd, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu) har bir metall o'zidan oldingisiga nisbatan musbat zaryadlanib, tugun potentsiallar ayirmasi yig'indisi 0,1-10 V ga chamasiga yetadi.

1. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, ochiq zanjirdagi tugun potensiallar ayirmasi oraliq metallarning tabiatiga bog'liq bo'lmay, faqat chetki metallar kimyoviy tabiatiga, kontakt temperaturasi ham bog'liq bo'ladi.

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{0_2}}{n_{0_1}} \quad (11.8)$$

2. Agar zanjir berk bo'lib, kontaktlar temperaturasi birday bo'lsa, potensial sakrashlarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi:

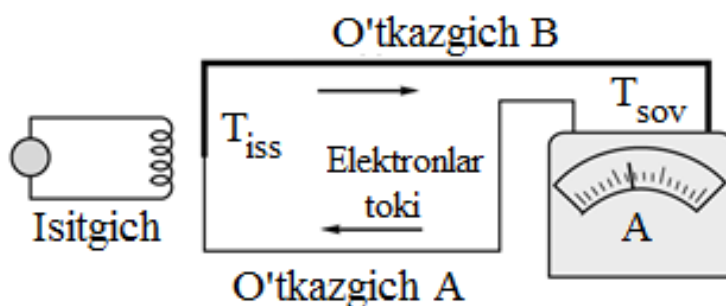
$$\sum_{i=1}^n \Delta\varphi = 0 \quad (11.9)$$

Zeebak effekti (1821y). Turli metaldan yasalgan ikki simning turli uchlari birlashtirilib, yopiq xalqa hosil qilgan bo'lsin, bunday yopiq zanjir termopara deb nomlanadi. Termopara simlari orasida kontakt potensiallar farqi vujudga keladi, lekin tok oqmaydi. Agar kontaktlar turli temperaturada tursa, turli kontaktlarda vujudga kelayotgan potensiallar farqi son jihatdan farqlanib, zanjirda elektr yurituvchi kuch vujudga keladi va tok oqa boshlaydi. Kontakt potensiallar farqi temperaturaga bog'liqligini e'tiborga olgan holda termoparada vujudga keladigan EYK (termo EYK) temperaturalar farqiga mutunosibdir:

$$E = \alpha(T_2 - T_1). \quad (11.10)$$

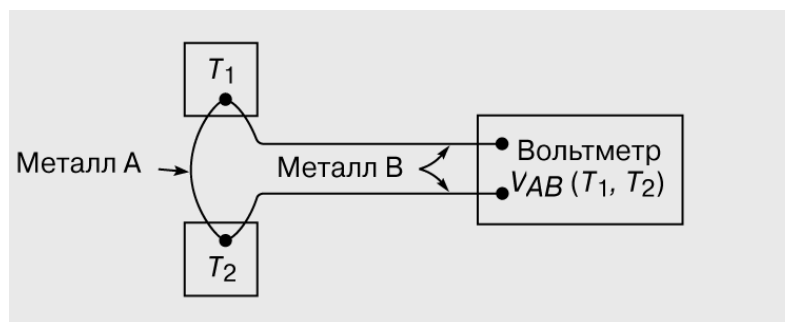
Zeebak doimiyi α metallarning turiga bog'liqdir. Bu yerda $\alpha = \frac{k}{e} \ln \frac{n_{0A}}{n_{0B}}$

α ma'lum bo'lsa Zeebak effektidan termoparaning ikki kontaktidagi temperaturalar farqini katta aniqlikda o'lchash uchun foydalaish mumkin. Buning uchun termoparadagi tokni o'lchash asbobini shkalasiga temperaturalar farqini belgilab chiqish, ya'ni darajalash zarur.



11.7-rasm Zeebak effekti.

Termoparadagi tokning yo'nalishi termopara uchlaridagi temperaturalar farqini kamaytirishga harakat qiladi: issiq kontaktda issiqlik yutiladi, sovuq kontaktda issiqlik ajralib chiqadi (Pelte effekti).

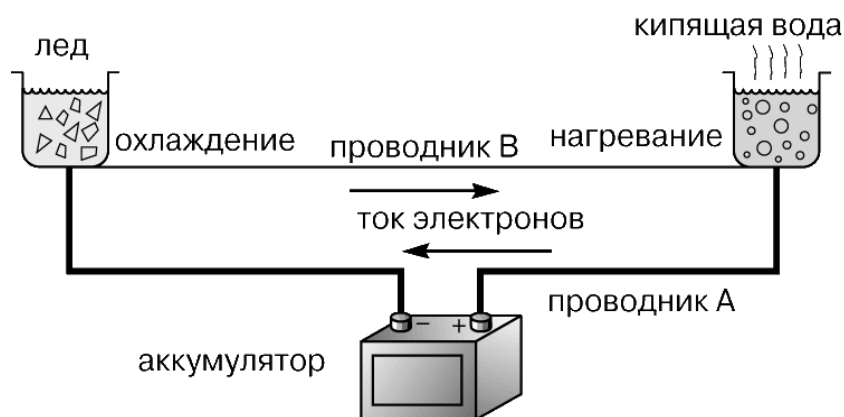


11.8-rasm. Termoparadan kichik tok manbai sifatida foydalanish mumkin

Kontakt temperaturasi T ga farq qilganda berilgan juft metall uchun qancha volt E.Y.K hosil bo'lishini bildiradi va termoelektr yurituvchi kuch doimiysi deyiladi. U har bir juft o'tkazgich sistemasi uchun xos bo'lgan o'zgarmas kattalik hisoblanadi. Masalan, In, Ag jufti uchun ($0 - 100^{\circ}C$) $\alpha = 0,5 \frac{mV}{^{\circ}C}$ ($300-400^{\circ}C$)

chegarasida $\alpha = 4,6 \frac{mV}{^{\circ}C}$. Termoparalarni ketma-ket ulab, termoustuncha hosil qilinadi va undan kam quvvatli tok manbai sifatida foydalaniladi, bundan tashqari o'ta yuqori va past temperaturalarni aniq o'lchashda ishlatiladi.

Pelte effekti. 1834 yilda fransuz soatsozi J.Pelte kontakt holatga keltirilgan 2 ta har xil metall o'tkazgichdan tok o'tganda kontakt joyida temperaturaning o'zgarishini payqagan. Lekin buni termoelektrik effekt ekanligiga e'tibor bermagan. 1838 yilda Sankt-Piterburg fanlar akademiyasining a'zosi E.X.Lens yetarlicha katta tok bo'lganda 2 ta har xil metall o'tkazgichdan tok o'tganda kontakt joyida tokning yo'nalishiga qarab kalorimetrlardagi suvning biri qaynashi, ikkinchisi muzlaguncha sovushi mumkinligini ko'rsatgan. Pelte hodisasini quyidagi tajribada kuzatish mumkin 2 ta har xil metall o'tkazgich kontakt holatga keltirilsa (11.9 - rasm) va A va B kalorimetrdagi tushirilsa va o'tkazgichga tokni ulasak, A va B kalorimetrlarining birida issiqlik ajraladi (tokning yo'nalishiga bog'liq)



11.9-rasm. Pelte effekti.

Kalorimetrdan birida o'tkazgichdan t vaqtda I tok o'tsa, unda Joul- Lens qonuniga ko'ra, Q_j issiqlik va Pelte hodisasiga ko'ra Q_p issiqlikka teng issiqlik miqdori ajraladi, ya'ni

$$Q_1 = Q_j + Q_p = IRt + Q_p$$

$$\text{Ikkinchi kalorimetrda esa } Q_2 = Q_j - Q_p = IRt - Q_p$$

$$\text{Unda } Q_1 - Q_2 = I^2 R t + Q_p = I^2 R t - Q_p = 2Q_p$$

Kavsharlangan uchlarida ajralgan yoki yutilgan Q_p Pelte issiqligi bu uchdan o'tgan to'liq q zaryadga proporsional yoki I tok kuchining t vaqtga ko'paytmasiga proporsional bo'ladi: $Q_p = Pq = Pit$ (11.11)

P koefitsiyent bir-biriga tegayotgan o'tkazgichlarning turiga va ularning temperaturasi bog'liq bo'ladi, bu koefitsiyent Pelte koefitsiyenti deb ataladi. Pelte hodisasi bilan Joul-Lens issiqligi ajralishi orasida muhim farq bor. Joul-Lens issiqligi tok kuchi kvadratiga proporsional va tokning yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi. Pelte issiqligi esa tok kuchining birinchi darajasiga proporsional va tokning yo'nalishi o'zgarganida o'z ishorasini o'zgartiradi. So'ngra, Joul-Lens issiqligi o'tkazgichning qarshiligiga bog'liq bo'ladi, Pelte issiqligi esa unga bog'liq bo'lmaydi.

Agar Q_p joullarda q kulonlarda o'lchansa, u holda P koefitsiyent $\frac{J}{Kl}$ larda yoki Voltlarda ifodalanadi. Tajribaning ko'rsatishicha, ko'pchilik metall juftlari uchun Pelte koefitsiyenti, shuningdek, termoelektr yurituvchi kuch ham bir necha tartib katta bo'ladi. Odatdagi sharoitlarda Pelte issiqligi Joul-Lens issiqligiga qaraganda kichik. Shuning uchun Joul-Lens issiqligi Pelte issiqligidan ortib ketmasligi uchun Joul-Lens issiqligini iloji boricha kamaytirish kerak, buinng uchun qarshiligi kam bo'lgan ancha yo'g'on simlarni ishlatish kerak bo'ladi.

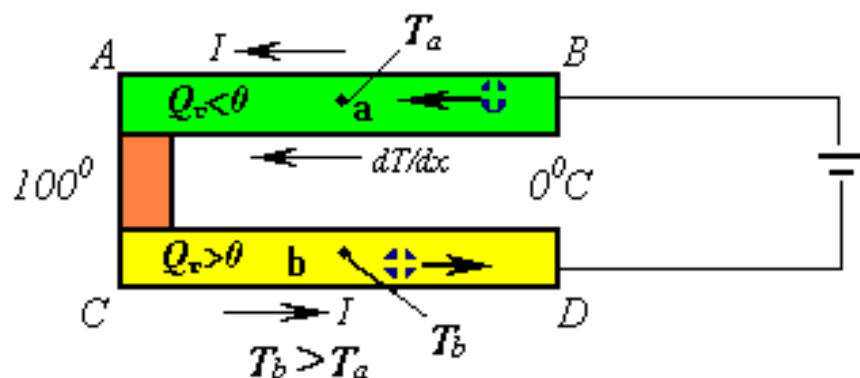
Pelte issiqligining kelib chiqish sababi quyidagicha tushuntiriladi. Har bir elektron o'z harakatida faqat o'z zaryadini emas, shu bilan birga o'zidagi bor energiyani ham olib o'tadi. Shuning uchun o'tkazgichdan elektr toki o'tayotganida unda ma'lum energiya oqimi yuzaga keladi. Bu energiya oqimi temperatura o'tkazgichning barcha nuqtalarida birday bo'lib, issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli energiya ko'chishi sodir bo'lmaganda ham mavjud bo'ladi. Energiya oqimining yo'nalishi elektronlarning harakat yo'nalishi bilan birday bo'ladi, ya'ni j tok zichligiga teskari yo'nalgan.

Tok zichligi aynan borday bo'lgani holda turli o'tkazgichlarda energiya oqimi turlicha bo'ladi. Shuning uchun 1 o'tkazgichdagi kontakt tekisligiga keluvchi energiya 2 o'tkazgich kontakt tekisligidan ketayotgan energiyaga teng emas. Bu energiyalarning farqi Pelte issiqligidan iborat. Tokning yo'nalishiga tik bo'lgan birlik yuzadan vaqt birligi ichida o'tuvchi elektronlar soni $N = \frac{j}{e}$ ga teng.

Har bir elektronning energiyasi uning W_k kinetik energiyasi va $-e\varphi$ potensial energiyasi yig'indisidan iborat bo'ladi. Agar W_k qaralayotgan N elektronlar guruhi uchun o'rtacha kinetik energiyasi bo'lsa, u holda energiya oqimining kattaligi quyidagiga teng bo'ladi: $P = -\frac{j}{e}(W_k - e\alpha)$ (11.12).

Boshqacha aytganda, ikki metall orasida $\Delta\varphi$ kontakt potensiallar farqi vujudga keladi va bunda tok oqmaydi. Tashqi elektr maydonlar hisobiga kontaktdagi potensiallar farqini o'zgartirib, undan tok oqizish mumkin. Doimiy tokning yo'nalishiga qarab, elektronlar kontakt sohasida kontakt potensiallar farqi hisobiga yoki tezlashadi, yoki sekinlashadi (elektr energiyani yutadi yoki elektr maydonga energiya beradi). Tezlashgan elektronlar kontaktni sovitadi, sekinlashgan elektronlar kontaktni isitadi. Bu hodisadan kichik elektron priborlarni sovitish yoki isitish uchun foydalanish mumkin. $\Delta\varphi$ kichik bo'lgani uchun Pelte effektiga asoslangan isitkich yoki sovitkichning quvvati katta bo'lmaydi, lekin uning tuzilishining soddaligi (ikki simning kontakti) uning qo'llanishiga sabab bo'ladi.

Tomson effekti. Termoelektr hodisalarini tadbiq qilib, V.Tomson shunday xulosaga keldiki, agar o'tkazgich notekis qizdirilgan bo'lsa, hatto bir jinsli o'tkazgichdan ham tok o'tganida issiqlik ajralishi yoki yutilishi mumkin ekan. Bu issiqlik yoki Joule-Lenz issiqligiga qo'shiladi yoki undan ayriladi. Tomson effekti deb ataluvchi bu hodisa aniq qilib aytganda, bevosita kontakt hodisalarga kirmaydi. Biroq uning kelib chiqishi kontaktlarda bo'ladigan hodisalarga chambarchas bog'langan. Tomson effektini quyidagicha kuzatish mumkin, ayni bir moddadan qilingan ikkita bir xil sterjenlarni tok manbaiga ulab, sterjenning uchlarida esa turli temperaturalar saqlab turiladi.



11.10-rasm. Tomson effekti.

Sterjenlarda $\frac{dT}{dx}$ temperatura gradiyenti hosil bo'ladi va issiqlik oqimlari yuzaga keladi. Sterjenlarning birida tokning yo'nalishi va temperatura gradiyenti bir xil yo'nalishda, boshqasida esa teskari yo'nalishda bo'ladi. Zanjirda elektr toki

bo'lmaganda temperaturalari bir xil bo'lgan ikkita uchlardagi temperaturalarning farqi o'lchanadi. Tok bo'lganda uchlardagi temperaturalar turlicha bo'lib qoladi, bu sterjenlarning birida Joul-Lens issiqligiga qo'shimcha ravishda biror miqdorda issiqlik ajralishini (Tomson issiqligi), ikkinchisida esa yutilishini ko'rsatadi. Tomson effektining ishorasi turli o'tkazgichlar uchun turlicha bo'ladi. Masalan, vismut va ruxda, agar issiqlik oqimi va tokning yo'nalishi bir xil bo'lsa, issiqlik ajralishi kuzatiladi.

Biroq, temir, platina, surmada xuddi shunday sharoitlarda issiqlik yutilishi kuzatiladi. Tokning yo'nalishi o'zgarganda barcha o'tkazgichlarda effekt ishorasining o'zgarishini kuzatish mumkin, ya'ni issiqlik ajralishi o'rniga uning yutilishini yoki aksincha, bo'lishini kuzatish mumkin. Tomson effekti o'tkazgich qiziganda uning xossalari o'zgarishi bilan tushuntiriladi. Dastlab, bir jinsli bo'lgan o'tkazgich notekis qizdirilganda bir jinsli bo'lmay qoladi, shuning uchun Tomson hodisasining mohiyati jihatidan Pelte hodisasining o'ziga xos namoyon bo'lishi deb qarash mumkin, bunday farq faqat kimyoviy tarkibining o'zgarishi tufayli emas, temperaturalarning farqi tufayli yuzaga keladi. Aylaylik, Q_T o'tkazgichning V hajmida t vaqt davomida Tomson issiqligi ajralgan bo'lsin. U holda $\frac{Q_T}{Vt}$ hajm va vaqt birligi ichida ajralgan issiqlik miqdorini bildiradi. Bu

kattalik $\frac{dT}{dx}$ temperatura gradiyenti va σ zichligiga proporsional, ya'ni

$\frac{Q_T}{Vt} = \sigma \frac{dT}{dx}$ σ - proporsionallik koeffitsiyenti **Tomson koeffitsiyenti** deb ataladi.

Bu koeffitsiyent o'tkazgichning turiga va uning holatiga, xususan, o'tkazgichning hasroratiga bog'liq bo'ladi. Tomson koeffitsiyenti kichik qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, vismut uchun xona temperaturasi $\sigma = 10^{-5} \frac{V}{C}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Gaz to'ldirilgan idish Rentgen nuri bilan yoritilganda uning har bir mm hajmida sekundiga 10^{10} ta molekula ionlashdi. Rekombinatsiya natijasida idishning 1 sm^3 hajmida 10^8 musbat va shuncha manfiy ionlar bo'lib muvozanatlashadi. Rekombinatsiya koeffitsiyentini toping²⁵.

2. Ionizatsion kamera elektrodleri har birining yuzi 100 sm^2 va ular oralig'i $6,2 \text{ sm}$. Agar ionizator 1 sm^3 hajmda sekundiga har qaysi ishorali iondan 10^9 tadan hosil qilsa, kameradagi to'yinish toki qancha bo'ladi? Ionlar bir valentli deb hisoblansin.

²⁵ Волькенштейн В.С. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўқитувчи. 1980. 179-180 бетлар.

3. Oldingi masaladagi rekombinatsiya koeffitsiyenti 10^{-6} bo'lgan holda kameraning 1 sm^3 hajmida hosil bo'lishi mumkin bo'lgan juft ionlar soni topilsin.

4. Uzunligi 84 sm va ko'ndalang kesimining yuzi 5 mm^2 bo'lgan trubka, har bir sm^3 muvozanat holda 10^7 juft ionli ionlashtirilgan havo bilan to'ldirilgan. Ionlarning harakatchanligi $u_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ va $u_- = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lgandagi trubkaning qarshiligi topilsin. Ionlar bir valentli deb hisoblansin.

5. 2 masaladagi ionizatsion kameradagi elektrodlar orasidagi potentsiallar ayirmasi 20 V bo'lsa, bu elektrodlar orasidan qancha tok o'tadi? Ionlarning harakatchanligi $u_+ = u_- = 1 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ va rekombinatsiya koeffitsiyenti 10^{-6} . Topilgan tok to'yinish tokining qancha qismini tashkil qiladi?

6. Elektron qanday eng kichik tezlik bilan harakatlanganda vodorod atomini ionlashtira oladi? Vodorod atomining ionizatsiya potentsiali 13,5 V.

7. Geliy atomining ionizatsiya potentsiali 24,5 V. Ionizatsiya ishi topilsin.

8. 1) seziy va 2) platinadan ajralib chiqish uchun bu metallardagi erkin elektronlar tezligi kami bilan qancha bo'lishi kerak?

9. 2400 K temperaturadagi volframning temperaturasini 100K ga orttirganda solishtirma termoelektron emissiyasi necha marta ko'payadi?

10. Toriy aralashgan volframdan yasalgan katodning ish temperaturasi 1800K bo'lgandagi solishtirma emissiyasi shu temperaturadagi sof volframdan yasalgan katodning solishtirma emissiyasidan necha marta ko'p bo'ladi? Emissiya doimiysi B sof volfram uchun $60 \text{ A}/\text{sm}^2 \cdot \text{grad}^2$, toriy aralashgan volfram uchun esa $3 \text{ A}/\text{sm}^2 \cdot \text{grad}^2$ deb olinsin.

11. Sof volfram 2500K temperaturada beradigan miqdordagi solishtirma emissiyani toriy aralashgan volfram qanday temperaturada berishi mumkin. Kerakli ma'lumotlar oldingi masaladan olinsin.

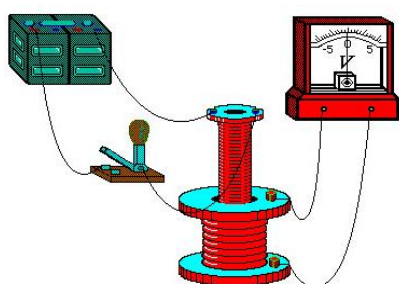
12- §. Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari.

- 12.1. Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari;
- 12.2. Lens qoidasi;
- 12.3. O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik;
- 12.4. Solenoid atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon.

1. **Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari:** Elektr toki o'z atrofida magnit matdon hosil qiladi. Agar shunday ekan, uning teskarisi, ya'ni magnit **maydoni** elektr tokini vujudga keltira olmaydimi? - degan savol tug'iladi. Olimlar uzoq vaqt bu savolga javob izlashgan va nihoyat, Ersted tajribalari e'lon qilingandan keyin 1831-yilga ingliz olimi M. Faradey tajribalar asosida magnit maydoni yordamida elektr toki hosil qilish mumkin ekanligini aniqladi, boshqacha aytganda u elektromagnit induksiya hodisasi deb ataluvchi hodisani kashf qildi. Elektromagnit induksiya hodisasining kashf qilinishi ulkan ahamiyat kasb etib, magnit maydon yordamida elektr toki hosil qilish mumkinligini isbotladi. Bu bilan elektr va magnit hodisalari o'rtasida o'zaro bog'lanish mavjudligi ko'rsatilib, elektromagnit maydon nazariyasi yaratilishiga turtki bo'ldi.

Elektromagnit induksiya hodisasini quyidagi tajribalarda kuzatish mumkin:

	1) G galvanometrغا ulangan g'altakning bir uchiga doimiy magnitni yaqinlashtiramiz (12.1-rasm). Bunda g'altakda elektr tok paydo bo'ladi. Buni G galvanometr strelkasining og'ishi ko'rsatadi. Magnit harakatdan to'xtashi bilan tok yo'qoladi. Agar biz magnitni g'altakdan uzoqlashtira borsak, galvanometr strelkasi teskari tomonga og'adi, ya'ni avvalgi tokka teskari yo'nalgan tok paydo bo'ladi. Magnitni harakatsiz qoldirib, solenoidni harakatlantirganda ham xuddi shunday hodisa yuz beradi.
12.1-rasm. Faradey tajribasi	



12.2-rasm. Faradey tajribasi

2) Xuddi shuningdek, magnit o'rniga o'zgarmas tok oqayotgan ikkinchi g'altakni olish mumkin. Bu g'altakni birinchi g'altakka nisbatan harakatlan tirilganda birinchi g'altakda tok paydo bo'ladi. Ushbu holatda ham yuqoridagi hodisa aynan kuzatiladi (12.2-rasm).

3) Ikkita qo'zg'almas A va C g'altak olamiz. A g'altak G galvanometrغا, C g'altak esa B galvanik elementga va k kalitli zanjirga ulangan bo'lsin. S solenoidni k kalit vositasida B tok manbaiga ulasak, A g'altakda qisqa muddatli tok paydo bo'ladi. Tok paydo bo'lganini G galvanometr strelkasining og'ishi ko'rsatadi. C g'altakdan o'zgaras tokning bundan keyingi o'tib turishida A g'altakda tok bo'lmaydi. C g'altakni uzish paytida yana A g'altakda avvalgi tokka teskari yo'nalgan qisqa muddatli tok hosil bo'ladi.

Agar g'altaklar ichiga temir o'zak o'rnatilsa, induksion tokning hosil bo'lishi kuchayadi. Birinchi g'altakdagi tok ta'siridagi o'zak magnitlanadi va birinchi g'altakdagi tok kuchining har qanday o'zgarishi ikkinchi g'altakdan o'tayotgan magnit oqimini keskin o'zgartiradi. Natijada ikkinchi g'altakda kuchliroq tok induksiyalanadi.

Yuqoridagi tajribalarning natijalarini tahlil qilib ko'raylik. Tajribalarning birinchisida shu narsa xarakterliki, g'altakda tok magnit unga yaqinlashayotgan yoki undan uzoqlashayotgan paytdagina, ya'ni g'altakyaqinida magnit maydon o'zgarayotgan vaqtda yoki g'altakning o'zi magnitning bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida ko'chgan vaqtda paydo bo'ladi.

Magnitning g'altakka nisbatan harakati yoki g'altakning magnitga nisbatan harakati to'xtagan vaqtda magnit maydon o'zgarmaydi. Ikkinchi tajribadagi hodisa ham birinchidagiga o'xshashdir - bunda o'zgaruvchan magnit maydonni S g'altakda paydo bo'layotgan yoki yo'qolayotgan tok hosil qiladi. Ikkala holda ham o'tkazgich konturi yaqinida magnit maydonning kattaligi o'zgaradi, demak, kontur bilan chegaralangan sirt orqali o'tuvchi magnit induksiya oqimiham o'zgaradi. Induksion tok paydo bo'lishining asosiy sababi magnit induksiya oqimining o'zgarishi ekanligi quyidagidan kelib chiqadi:

Bir jinsli magnit maydonda berk o'tkazgich konturini aylantirgan vaqtda ham induksion tok paydo bo'ladi. Bu holda o'tkazgich atrofida magnit maydon induksiyasining miqdori o'zgarasdan faqat uning kontur orqali o'tuvchi oqimigina o'zgaradi. Shunday qilib, berk o'tkazgich konturi bilan chegaralangan yuz orqali o'tadigan induksiya oqimi o'zgarganda, shu konturda induksion tok hosil bo'ladi.

Endi induksion tokning yo'nalishini aniqlaylik. 1833- yildarus olimi E.X.Lens o'tkazilgan tajribalarning natijalarini umumlashtirib, quyidagi qoidani topdi: berk konturda hosil bo'lgan tok shunday yo'nalganki, bu tok kontur bilan chegaralangan yuz orqali o'tuvchi va uning o'zini hosil qiluvchi magnit induksiya oqimi o'zgarishini kompensatsiyalovchi xususiy magnit induksiya oqimini yaratadi. Bayon etilgan tajribalarni Lens qoidasi nuqtai nazaridan ko'rib chiqaylik. Birinchi tajribada haltakka magnitning shimoliy qutbini yaqinlashtirganimizda unda soat strelkasi harakati yo'nalishiga teskari yo'nalgan tok paydo bo'ladi. Bu holda magnit hosil qilayotgan induksiya oqimi haltakning ichiga qarab yo'nalgan bo'lib, magnit yaqinlashtirilgan sari ortib boradi. G'altakdagi induksion tokning magnit maydoni uning ichidan tashqariga

qarab yoʻnalgan va demak, magnit maydonning oʻsishini kompensatsiyalaydi. Magnitning shimoliy qutbi uzoqlashtirilganda gʻaltakda soat strelkasi harakati yoʻnalishidagi tok hosil boʻladi. Magnit hosil qilayotgan induksiya oqimi avvalgidek gʻaltak ichiga qarab yoʻnalgan boʻladi va demak, magnit maydonning kamayishini kompensatsiyalaydi. Shunday qilib, ikkala hol ham Lens qoidasiga muvofiq keladi.

Bu koʻrib oʻtilgan ikkala holning natijalarini analiz qilib, yana quyidagi boshqa bir natijaga kelish mumkin: gʻaltakka magnitning shimoliy qutbi yaqinlashtirilayotganda induksion tok shunday yoʻnalgan boʻladiki, solenoidning magnitga yaqin uchi magnit chiziqlarining manbai boʻlib qoladi va, demak, magnit bilan gʻaltak bir-biridan itarishadi, yaʼni ularning orasida magnit induksion tok yuzaga chiqishiga sababchi boʻladigan harakatiga qarshilik koʻrsatuvchi kuch paydo boʻladi. Magnit uzoqlashtirilayotganda magnit bilan gʻaltak bir-biriga tortiladi, yaʼni ular orasida yana magnitning harakatiga qarshilik koʻrsatuvchi kuch paydo boʻladi.

Qisqacha Lens qoidasiga quyidagichataʼrif berish mumkin: “Berk kontur da induksion tok yoʻnalishi shunday boʻladiki, u oʻzining magnit maydoni bilan uni vujudga keltirayotgan magnit maydonning oʻzgarishiga toʻsquinlik qiladi”.

Xulosa shuki, magnit maydoni vositasida elektr toki hosil qilish hodisasiga elektromagnit induksiya hodisasi deb ataladi. Bu hodisa shundan iboratki, har qanday berk oʻtkazgich konturi bilan chegaralangan yuza orqali oʻtayotgan magnit induksiya oqimi oʻzgargan vaqtda shu konturda elektr toki paydo boʻladi. Bu tok **induksion tok** deyiladi.

Berk konturda induksion tokning vujudga kelishiga shu konturda oʻzgaruvchan magnit induksiya oqimining taʼsiri ostida E.Y.K hosil boʻlishi sabab boʻladi. Bu E.Y.K ning kattaligi bilan magnit induksiya oqimining oʻzgarish tezligi orasidagi bogʻlanishni birinchi boʻlib Faradey topgan. Bu munosabat energiyaning saqlanish qonunidan kelib chiqadi.

Faradey oʻzining tajribalari asosida kontur ergashtiruvchi magnit induksiya oqimining oʻzgarishi albatta induksion tokni vujudga keltiradi, degan xulosaga keldi. Induksion tokning qiymati esa magnit induksiya oqimining oʻzgarish usuliga emas, balki uning oʻzgarish tezligiga bogʻliqdir. Agar zanjirda induksion tok vujudga kelsa, demak, bu elektr yurituvchi kuch mavjudligini koʻrsatadi. Bu EYK ga induksiya elektr yurituvchi kuchi deyiladi. Tajriba natijalarini tahlil qilgan Faradey indykxiya EYK va magnit oqimining oʻzgarishi orasidagi munosabatni aniqladi. Elektromagnit induksiya uchun **Faradey qonuni**: “Berk konturda hosil boʻlgan induksion E.Y.K shu kontur bilan chegaralangan yuza orqali oʻtayotgan magnit induksiya oqimining oʻzgarish tezligiga toʻgʻri proporsionaldir”, yaʼni: $\varepsilon = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ bunda k - proporsionallik

koeffisiyenti, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ - magnit oqimining oʻzgarish tezligi.

Tengsizlik oldidagi manfiy ishora quyidagilarni ko'rsatadi: induksiya oqimining ortishi $\frac{d\Phi}{dt} > 0$, $E < 0$ EYK ni vujudga keltiradi, ya'ni vujudga kelgan induksion tokning magnit maydoni kontur orqali magnit oqimini kamaytiradi. Induksiya oqimining kamayishi $\frac{d\Phi}{dt} < 0$, esa $E > 0$ EYK ni vujudga keltiradi, ya'ni induksion tokning magnit maydoni kontur orqali magnit oqimining kamayishiga to'sqinlik qiladi.

Agar konturning qo'zg'aluvchi qismi harakat qilmasa, elektromagnit induksiya hodisasi ro'y bermaydi. Induksiya E.Y.K esa kontur qo'zg'aluvchi qismining harakati tufayli, aniqroq aytganda, magnit induksiya chiziqlarini kesib o'tishi tufayli vujudga keladi. Shunday qilib, magnit maydondagi konturning harakatlanuvchi qismini tok manbai deb qarash mumkin. Bu tok manbai elektromagnit induksiya hodisasi tufayli vujudga kelganligi uchun, uning elektr yurituvchi kuchini induksiya E.Y.K. deb ataladi,

ya'ni: $\varepsilon_{ind} = -\vec{B}\vec{v}l = -\vec{B}\frac{\vec{v} \cdot l dt}{dt} = -B\frac{dS}{dt} = -\frac{d\Phi}{dt}$ demak: $\varepsilon_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}$ yoki bundan $\varepsilon_{ind} = \left| -\vec{B}\vec{v}l \sin \alpha \right|$.

Shunday qilib, bu ifodaga asosan "Magnit maydonida harakatlanayotgan o'tkazgichning uchlarida hosil bo'lgan induksion E.Y.K. magnit maydon induksiyasi (B) ga, o'tkazgichning uzunligi l ga va uning tezligi $\vec{v}$ ga hamda magnit kuch chiziqlari bilan $\vec{v}$ tezlik orasidagi α burchak sinusiga to'g'ri proporsionaldir".

To'g'ri o'tkazgichda hosil bo'lgan induksion tokning yo'nalishi o'ngqo'l qoidasi asosida aniqlanadi, ya'ni: "Ochiq o'ng qo'lning kaftiga B induksiya vektorining o'tkazgich l uzunligiga perpendikulyar tashkil etuvchisi tusha- yotganda, 90° ga kerilgan bosh barmoq o'tkazgichning yo'nalishi bilan mos tushsa, bunda to'rtta barmoqlar yo'nalishi o'tkazgichdagi induksion tokning yo'nalishini ko'rsatadi".

Formuladagi minus ishora induksiya E.Y.K va $(d\Phi/dt)$ ning yo'nalishlari chap vint qoidasi asosida bog'langanligini bildiradi. Bu formula universal Faradey – Maksvell qonuni deb ataladi. Demak, bu qonunga asosan induksiya E.Y.K kontur orqali o'tayotgan magnit oqimining o'zgarish tezligiga $\frac{d\Phi}{dt}$ ga bog'liqdir. Induksiya E.Y.K

ning XBS dagi o'lchov birligi: $\varepsilon_{ind} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1Vb}{s} = \frac{1Tl \cdot m^2}{s} = 1V$ bo'ladi. Demak, kontur yuzasi orqali o'tuvchi magnit oqim 1 Vb/stezlik bilan o'zgarsa, konturda vujudga kelayotgan induksiya E.Y.K $1V$ ga teng bo'ladi.

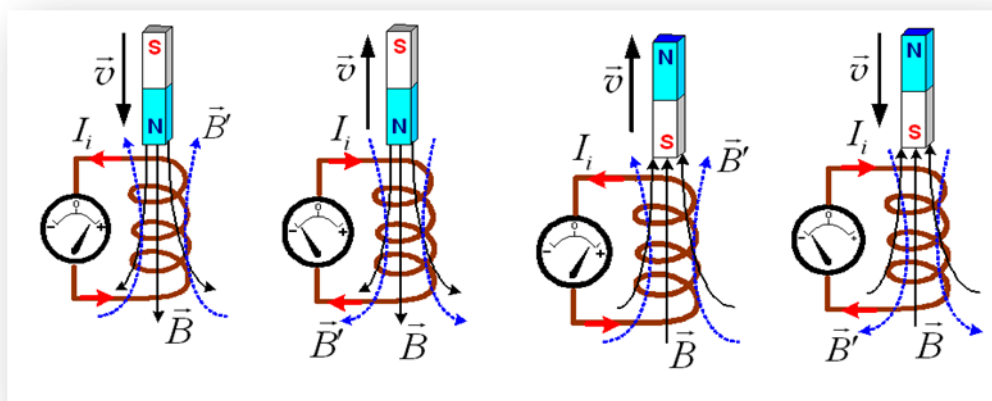
Shuningdek, elektromagnit induksiya hodisasi uchun Faradey va Lens qonunlarini birlashtiruvchi asosiy qonun quyidaicha ta'riflanadi: "Berk konturda hosil bo'lgan induksion E.Y.K kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgarish tezligiga hamda o'ramlar soniga to'g'ri proporsional bo'lib, u o'zining

magnit maydoni bilan uni hosil qiluvchi magnit maydon oqimining o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi".

Agar berkkonturbitta emas, ketma-ket ulangan n ta bir xil cho'lg'amlardan tashkil topgan bo'lsa, unda hosil bo'lgan umumiy induksion E.Y.K ketma-ket ulangan tok manbalari singari, bitta chulg'amning E.Y.K dan shuncha marta katta bo'ladi:

$\varepsilon_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$ bunda N – o'ramlar soni, $\frac{d\Phi}{dt}$ – magnit oqimining o'zgarish tezligi. Lens

qoidasiga asosan induksion tokning yo'nalishi quyidagi 89-rasmda ko'rsatilib o'tgan.



12.3-rasm. Lens qoidasida induksion tokning yo'nalishi

2. Lens qoidasi. $E = -\frac{d\Phi}{dt}$ ifodadagi minus ishora 1833 – yilda rus fizigi E. Lens

(1804 – 1865) tomonidan yaratilgan induksion tokning yo'nalishini aniqlashga imkon beruvchi qoidaning matematik ifodasidir.

Lens qoidasi: konturda vujudga keladigan induksion tok shunday yo'nalishga egaki, uning magnit maydoni, shu induksion tokni vujudga keltirgan magnit oqimining o'zgarishiga to'sqinlik qiladi. Lens qoidasidan foydalanib, Faradey qonuni quyidagicha yozish mumkin: konturda vujudga keladigan induksion elektr yurituvchi – kontur o'rab turgan sirt orqali o'tadigan magnit oqimining o'zgarish tezligiga miqdoran teng, ishorasi esa qarama – qarshidir. Induksiya EYK magnit oqimining o'zgarish usuliga bog'liq emas.

Induksiya EYK ning tabiati. Endi EYK ning vujudga kelish tabiati bilan qiziqaylik. Buning uchun tajriba o'tkazamiz. Bir qismi harakatga kelishi mumkin bo'lgan kontur magnit maydonga kiritilgan. Bir jinsli magnit maydon induksiya vektori bizdan rasm tekisligiga qarab perpendikulyar yo'nalgan bo'lsin. Harakatlanuvchi qism ichidagi elektronlarga Lorens kuchi ta'sir etadi. Harakatlanuvchi qismning o'rni 1 dan 2 ga o'zgarganda, kontur o'rab turgan magnit oqimi ham o'zgaradi. Harakatlantiruvchi qism ichidagi elektronlarga ta'sir qilgan Lorens kuchi ularni harakatga keltirib, induksiya EYK ni vujudga keltiradi. Elektromagnit induksiya uchun Faradey qonuniga muvofiq,

harakatsiz kontur o'zgaruvchan magnit maydonda turganida ham EYK induksiyanishi mumkin. Lekin bu holda uni Lorens kuchi vujudga keltirgan deya olmaymiz. Chunki Lorens kuchi harakatsiz elektronlarga ta'sir etmaydi. Bu muammoni hal qilish uchun Maksvell magnit maydonning har qanday o'zgarishi atrofda elektr maydonni va bu elektr maydon esa induksiya elektr yurituvchi kuchini vujudga keltiradi deb tushintirdi. Chunki elektr maydon harakatsiz elektronlarga ham ta'sir qiladi. Induksiya EYK voltlarda ifodalanadi.

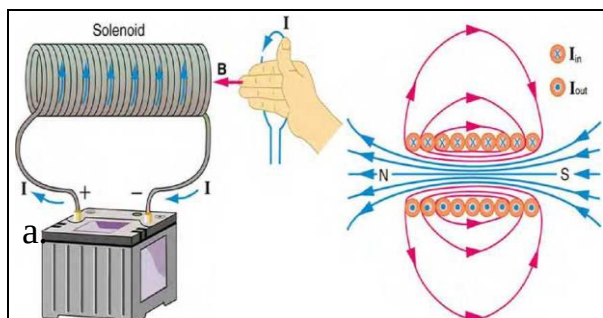
3. O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik - O'zinduksiya hodisasi elektromagnit induksiyaning xususiy bir holidir. Konturdan oqayotgan tok kuchi o'zgarsa, bu tok vujudga keltirayotgan magnit oqimi o'zgaradi. Bu o'zgaruvchan magnit oqim shu kontur yuziga perpendikulyar holda uni kesib o'tadi. Elektromagnit induksiya hodisasining asosiy qonuniga asosan, kontur yuzi orqali o'tayotgan magnit oqim o'zgargan barcha hollarda induksiya E.Y.K vujudga keladi. Shuning uchun konturdan oqayotgan tok kuchining o'zgarishi natijasida xuddi shu konturning o'zida elektromagnit induksiya hodisasi ro'y beradi (12.3-rasm). Bu hodisa **o'zinduksiya hodisasi** deb ataladi. Ya'ni: "Biror konturda o'tayotgan elektr toki hosil qilgan magnit induksiya oqimining o'zgarishi sababli paydo bo'ladigan induksion elektr yurituvchi kuchga o'zinduksiya E.Y.K deyiladi".

O'zinduksiya E.Y.K ($\varepsilon_{o'zind}$)ni Faradeyning elektro magnit induksiya qonuniga asosan quyidagicha yozish mumkin: $\varepsilon_{o'zind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, bunda Φ magnit oqimi o'tkazgichdan oqayotgan I tok kuchiga to'g'ri proporsionaldir $\Phi = LI$; bunda L -proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, unga konturning induktivligi deyiladi, ya'ni: bo'ladi. Magnit oqimining ifodasi e'tiborga olinsa, o'zinduksiya E.Y.K quyidaiga teng bo'ladi: $\varepsilon_{o'zind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

Bu formula o'zinduksiya hodisasining matematik ifodasi bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi: "Konturda hosil bo'lgan o'zinduksiya E.Y.K o'tkaz gichdan o'tayotgan tok kuchi o'zgarishtezliginingteskari ishorali ifodasiga to'g'ri proporsionaldir". Demak, konturdan oqayotgan tok kuchining o'zgarishi natijasida xuddi shu konturning o'zida elektromagnit induksiyasi yoki o'zinduk- siya hodisasi ro'y beradi. O'zinduksiya E.Y.K ni ifodalovchi formumuladagi (-) ishorasi o'zinduksiya E.Y.K (ya'ni, o'zinduksiya toki) hamma vaqt asosiy (tashqi) tokning o'zgarishiga to'sqinlik qilishini ko'rsatadi. Bunda: 1). agar asosiy tok ortsa (ya'ni, $\frac{\Delta I}{\Delta t} > 0$ bo'lsa), u holda ($\varepsilon_{o'zind} < 0$ bo'ladi) o'zinduksiya toki asosiy tokka teskari yo'nalgan bo'ladi; 2) agar asosiy tok kamaysa (ya'ni, bo'lsa), u holda ($\varepsilon_{o'zind} > 0$ bo'ladi) o'zinduksiya toki asosiy tok bilan bir xil yo'nalgan bo'ladi.

Bundan konturning induktivligi(yoki oʻzinduksiya koefitsiyenti)quyidagiga teng boʻladi: $|L| = \frac{\mathcal{E}_{o'zind}}{\Delta I}$ Demak, konturning induktivligi deb, konturdagi tok kuchi vaqt

birligi ichida bir birlikka oʻzgarganda hosil boʻladigan oʻzinduksiya E.Y.K ga miqdor jihatdan teng boʻlgan fizik kattalikka aytiladi.



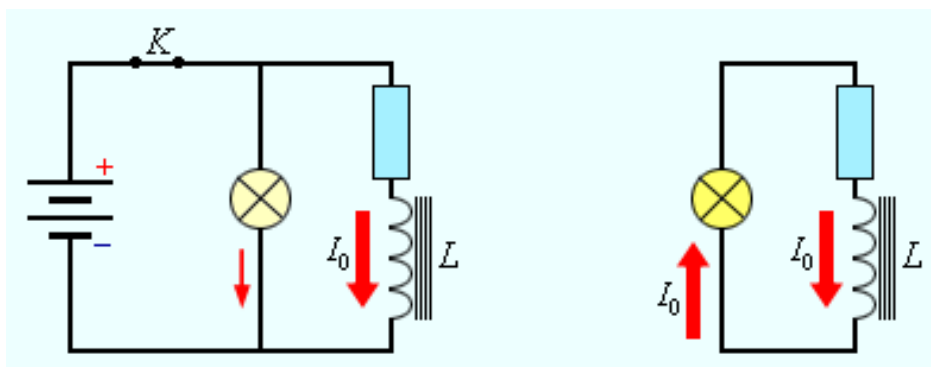
12.4-rasm. Gʻaltakda induksion tokning hosil boʻlishi

(a) - toʻgʻri va bir xil masofada joylasha di maydon chiziq lari bilan koʻrsatilgan boʻlib, uning shakli, uzunligi l_{solenoid} ichida maydonkuch chiziqlariva yoʻna lishi boʻyicha yagona. Solenoiddan tashqarida kuch chiziqlarideyarli nol boʻladi;

b) Ushbu chizmada magnit kuch chiziqlari va magnit qutblari koʻrsatilgan²⁶.

Induktivlikning SI dagi birligi – 1 *Hn* deb, tok kuchi har sekunda 1Aga oʻzgarganda 1V oʻzinduksiya E.Y.K hosil boʻlgan koturning induktivligiga aytiladi. Konturning induktivligi uning shakli, oʻlchamligi va muhitning magnit singdiruvchanligiga bogʻliqdir.

Agar oʻzgaras tok zanjirida elektr lampani katta induktivlikli gʻaltakka - rasmdagidek parallel ulansa lampa yonib turadi. Kalit uzilgan paytda esa lampa birdaniga yorugʻlashadi. Zanjirda hosil boʻgan oʻzinduksiya EYK taʼsirida tok paydo boʻladi. Bu holatda gʻaltakning magnit maydoni elektr zanjirida ajralayotgan energiyaning manbai hisoblanadi.



12.5-rasm. Kalit uzilsa, lampa yorugʻlashadi.

²⁶Paul Peter Urone, Rogar Hinrichs College Physicsp-797

4. Solenoid atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon: Silindr ichki nuqtalaridagi maydon kuchlanganligi ham siklik usulda hisoblanadi, ammo uzun solenoid uchun maydon induksiya vektori o'ramning ichki qismida to'g'ri va tashqi qismida to'g'ridan - to'g'ri spiralsimon bo'ladi. Ichki tuzilishi va o'lchamlari bir-biriga o'xshash bo'lgan yetarlicha uzunlikdagi solenoid uchun magnit maydon induksiya vektori quyidagicha: $B = \mu_0 IN/L$ Bu yerda N solenoidni kesib o'tuvchi o'ramlar soni (ushbu ifoda aksariyat hollarda $\mu_0 In$ kabi ifodalanadi, bunda $n = N/L$ solenoidning cho'lg'amlar zichligi). O'tkazgichning uchida yoki tashqarisidagi magnit maydon induksiya vektori bir xil emas, uni hisoblash ancha qiyin.

Nazorat savollari:

1. Elektromagnit induksiya hodisasi nimadan iborat?
2. Faradey tajribalarini tushuntirib bering.
3. Magnit induksiya oqimi deb nimaga aytiladi? Uning qanday o'lchov birliklari mavjud?
4. Magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligini tushuntirib bering.
5. Induksion tok nima va uning yo'nalishi qanday bo'ladi?
6. Lens qoidasini ta'riflang.
7. Induksion E.Y.K nima? Uning ta'rifini, formulasini va o'lchov birligini yozing.
8. O'zinduksiya hodisasini tushuntiring.
9. Konturning induktivligi deb nimaga aytiladi? Formulasi va o'lchov birligi qanday?
10. O'zinduksiya E.Y.K deb nimaga aytiladi? Formulasi va o'lchov birligini yozing.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. 1000 ta o'ramdan iborat ramka 0,1 Tl induksiyali bir jinsli magnit maydonda 10 s^{-1} chastota bilan bir tekis aylanmoqda. Ramkaning yuzasi 150 sm^2 . Ramkaning 30° burchakka burilishiga mos keluvchi EYK ning oniy qiymatini aniqlang.

2. Solenoiddan ikki amper tok oqmoqda. Solenoidning ko'ndalang kesimiga singguvchi magnit oqimi 4 mVb . Agar solenoid 800 o'ramga ega bo'lsa, uning induktivligini aniqlang.

3. Solenoidning chulg'ami 0,2 mm diametrli mis simlarning bir-biriga qattiq jipslashib turgan bir qatlamidan iborat. Solenoidning diametri 5 sm. Solenoiddan 1A tok o'tmoqda. Agar chulg'am uchlari qisqa tutashtirilsa, u orqali oqadigan zaryad miqdori aniqlansin.

4. 0,01 Tl induksiya bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik joylashgan to'g'ri sim turibdi. Simning uzunligi 8 sm. Undan 2A tok o'tmoqdayu Maydon kuchlari ta'sirida sim 5 sm masofaga siljigan. Maydon kuchlarining bajargan ishi ni toping.

5. 20 A tok oqayotgan xalqa 0,016 Tl induksiya bir jinsli magnit maydonda erkin o'rnashdi. Xalqaning diametri 10 sm. Xalqani uning diametri bilan mos keluvchi o'qqa nisbatan 90° burchakka burish uchun bajarilishi lozim bo'lgan ishni toping. Shuningdek, 180° burchakka burish uchun ham.

6. Uzunligi 10 sm bo'lgan to'g'ri sim induksiya 1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonga joylashtirilgan. Uning uchlari maydondan tashqarida turgan egiluvchan sim yordamida ulangan. Zanjirning to'liq qarshiligi 0,4 Om. Simni induksiya chiziqlariga tik ravishda 20 m/s tezlik bilan harakatlantirish uchun qanday quvvat zarur bo'ladi?

7. 0,35 Tl induksiya bir jinsli magnit maydonda ramka 480 min^{-1} chastota bilan tekis aylanmoqda. Ramkaning o'ramlar soni 500, yuzasi 50 cm^2 . Aylanish o'qi ramka tekisligida yotibdi va induksiya chiziqlariga tik yo'nalgan. Ramkada hosil bo'ladigan EYK ning amplituda qiymatini aniqlang.

8. 1 kA tokli uzun to'g'ri o'tkazgichdan 1 m masofada 1 sm radiusli xalqa turibdi. Xalqa shunday joylashtirilganki, unga singgadigan oqim maksimal. O'tkazgichdagi tok uzilganda xalqadan oqib o'tadigan elektr miqdori aniqlansin. Xalqaning qarshiligi 10 Om.

9. Reostat yordamida g'altakdagi tok kuchi 1 s da 0,1 A dan bir tekis orttirilmoqda. g'altakning induktivligi 0,01 Gn. O'zinduksiya EYK ning o'rtacha qiymatini toping.

10. Uzunligi 50 sm kesimining yuzasi 4 cm^2 bo'lgan karton karkasga diametri 0,2 mm bo'lgan sim o'ramlari bir biriga qattiq jipslashtirib (ajratgichning izolyatsiya qalinligi hisobga olinmasin) bir qatlam qilib o'ralgan. Hosil bo'lgan solenoidning induktivligini toping.

11. 4 mHn induktivlikli solenoidda 600 ta o'ram bor. Agar chulg'amdan o'tayotgan tok kuchi 12 A bo'lsa, magnit oqimini toping.

12. Noma'lum karkasga o'ralgan uzun to'g'ri solenoid 100 ta o'ram va 3 mHn induktivlikka ega. 1 A tok kuchida solenoid qanday magnit oqimi va qanday oqim ilashuvi hosil qiladi?

13. Ikki g'altak bir-biridan uncha katta bo'lmagan masofada joylashgan. Birinchi g'altakdagi tok kuchi 5 A/s tezlik bilan o'zgarganda ikkinchi g'altakda 0,1 V induksiya EYK vujudga keladi. g'altaklarning o'zaro induksiya koeffitsiyentini aniqlang.

14. Nomagnit o'zakli toroid chulg'amida 251 ta o'ram bor. Toroidning o'rtacha diametri 8 sm, o'ramning diametri 2 sm. toroidga 100 ta o'rami bor ikkilamchi chulg'am o'ralgan. Birlamchi chulg'am tutashtirilganda unda 1 ms vaqt davomida 3 A

tok kuchi qaror topadi. Ikkilamchi chulg'amda vujudga keladigan induksiya EYK ning o'rtacha qiymati topilsin.

13- §. Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari

13.1. Issiqlik nurlanishi va Kirxgof qonuni;

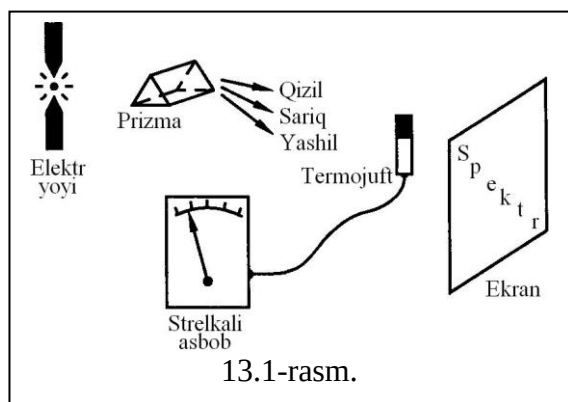
13.2. Muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral zichligi. Muvozanatli issiqlik nurlanishi termodinamikasi;

13.3. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari;

13.4. Plank gipotezasi. Plank formulasi;

13.5. Issiqlik nurlanish qonunlarining ishlatilishi.

1. Issiqlik nurlanishi: Ma'lumki, elektromagnit nurlanishga elektr zaryadlarining, xususan, modda atom va molekulari tarkibiga kiruvchi zaryadlarning tebranishi sabab bo'ladi. Masalan, molekular va atomlarning tebranma va aylanma harakati infraqizil nurlarni, atomda elektronlarning muayyan ko'chishlari ko'rinadigan va infraqizil nurlanishni, erkin elektronlarning tormozlanishi esa rentgen nurlanishini vujudga keltiradi.



Tabiatda elektromagnit nurlanishning eng keng tarqalgan turi *issiqlik nurlanishi* bo'lib, u moddaning atomlari va molekularining issiqlik harakat energiyasi, ya'ni moddaning *ichki energiyasi* hisobiga hosil bo'ladi va nurlanayotgan jismning *sovishiga* olib keladi. Issiqlikning nurlanishida energiya

taqsimoti temperaturaga bog'liq: past temperaturada issiqlik nurlanishi, asosan, infraqizil nurlanishdan, yuqori temperaturalarda ko'rinadigan va ul'trabinafsha nurlanishdan iborat bo'ladi.

Issiqlik nurlanishining xarakterli xususiyati keng uzluksiz spektrdir. Bunga 13.1-rasmda ko'rsatilgan tajribani misol tariqasida keltirish mumkin. Bu sxemada termopara yordamida, uni eksperimentator kamalak polosa bo'yicha ko'chiradi va strelkali pribor yordamida spektr bo'yicha nurlanish energiyasining taqsimlanishini o'lchash mumkin. Ko'zga ko'rinadigan spektrning qismida nurlanish intensivligi yorug'lik to'lqini uzunligi oshganda monoton ravishda o'sadi, yoy nurlanish intensivligining maksimumi spektrning infraqizil qismiga to'g'ri keladi.

O'lchashlar natijasini nurlanish intensivligining to'lqin uzunligiga yoki yorug'lik chastotasiga bog'liqligi ravishda ko'rsatish mumkin. Tajribalar shuni

ko'rsatadiki temperatura ortishi bilan intensivlik maksimumi ham nisbatan oshib boradi.

Har qanday jism o'z nurlanishi bilan birga atrofdagi jismlar chiqarayotgan nur energiyasining bir qismini yutadi. Bu jarayon *nur yutish* deb ataladi. Biror yuza orqali o'tayotgan Φ oqim deb vaqt birligi ichida shu yuzadan o'tayotgan nurlanish energiyasi tushuniladi:

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad (13.1)$$

Nurlanish oqimi Φ biror plastinkaga tushayotgan bo'lsa, bu oqim qisman qaytadi (Φ_q), qisman jismda yutiladi (Φ_{yu}), qolgan qismi jismdan o'tadi (Φ_{ot}),

$$\Phi = \Phi_q + \Phi_{yu} + \Phi_{ot} \quad (13.2)$$

Bu yerda $\frac{\Phi_q}{\Phi} = \rho$ – jismning nur qaytarish qobiliyati; $\frac{\Phi_{yu}}{\Phi} = \alpha$ – jismning nur yutish qobiliyati; $\frac{\Phi_{ot}}{\Phi} = t$ – jismning nur o'tkazish qobiliyati deb beliglab olsak, u holda bu belgilardan foydalanib (13.2) ni quyidagicha yozamiz:

$$\rho + \alpha + t = 1 \quad (13.3)$$

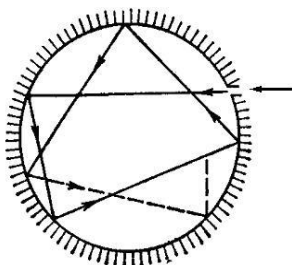
Nisbatan qalinroq bo'lgan jismlar uchun $t=0$, u holda (13.3) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (13.4)$$

Tajribalarning ko'rsatishicha ρ va α ning qiymatlari to'lqin uzunligi λ va absolyut temperatura T larning funksiyasidir: $\rho_{\lambda,T} + \alpha_{\lambda,T} = 1$ (13.5)

Umuman, $\rho_{\lambda,T}$ va $\alpha_{\lambda,T}$ larning qiymatlari 0 dan 1 gacha o'zgaradi,

- 1) $\rho_{\lambda,T}=1$, $\alpha_{\lambda,T}=0$ bo'lsa, jism tomonidan nur to'la qaytariladi (bunda jism *absolyut oq jism* deyiladi);
- 2) $\rho_{\lambda,T}=0$, $\alpha_{\lambda,T}=1$ jism tomonidan nur to'la yutiladi (bunda jism *absolyut qora jism* deyiladi).



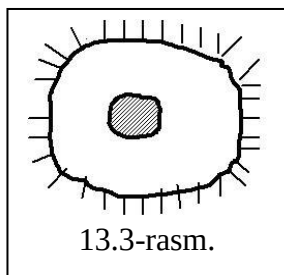
13.2-rasm.

Tabiatda absolyut oq jism ham, absolyut qora jism ham bo'lmaydi. Har qanday jism tushayotgan nurlanishning bir qismini yutsa, qolgan qismini qaytaradi. Farqi shundaki, ba'zi jismlar ko'proq qismini yutib ozrog'ini qaytarsa, boshqa jismlar aksincha ko'prog'ini qaytarib, ozrog'ini yutadi. Masalan, qorakuya uchun to'lqin uzunligi $\lambda=0,40 \div 0,75$ mkm bo'lgan sohada $\alpha_{\lambda,T}=0,99$. Lekin u infraqizil nurlarni kamroq yutadi.

Nur yutish qobiliyati hamma to'lqin uzunliklari uchun bir xil va birdan kichik bo'lgan jism *kulrang jism* deb ataladi.

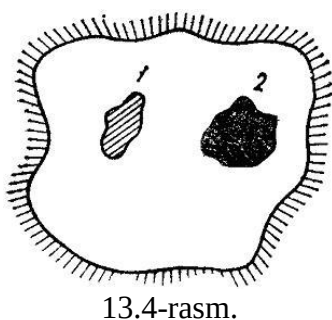
$$\alpha_{\lambda,T} = \alpha_T = \text{const} < 1 \quad (13.6)$$

Odatda, o'zining xususiyatlari bilan absolyut qora jismdan kam farq qiladigan Mixelson taklif etgan modeldan foydalaniladi (13.2-rasm). Bunday model' juda kichik teshigi bo'lgan berk kovak idishdan iborat. Ixtiyoriy to'lqin uzunlikdagi nur teshik orqali kovakka kirib qolgach, uning ichki devoridan ko'p marta qaytib, nur energiyasining bir qismi yutiladi, natijada nur energiyasining juda kichik ulushigina kovakdan qaytib chiqishi mumkin. Shuning uchun bunday modelning nur yutish qobiliyati 1 ga juda yaqin bo'ladi.



Bu modelda nur qaytarish va nur yutish qobiliyatidan tashqari T temperaturadagi jismning birlik sirtidan birlik vaqtda nurlanayotgan elektromagnit to'lqinlarning energiyasini ifodalaydigan kattalik T temperaturadagi jismning *nur chiqarish qobiliyati* yoki *energetik yorqinligi* (e_T orqali belgilanadi va Vt/m^2 ($J/m^2 \cdot s$) bilan o'lchanadi) degan tushuncha kiritiladi. Bundan tashqari, λ to'lqin uzunlikli, T temperaturadagi jism nur chiqarish qobiliyati $e_{\lambda,T}$ dan foydalaniladi. Absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyati $\varepsilon_{\lambda,T}$ bilan belgilanadi. «Absolyut qora jism» terminini birinchi marta 1862 yilda Gustav Kirxgof fanga kiritgan. Hamma chastotalar va temperaturalar uchun nur yutish qobiliyati birga teng bo'lgan jismga **absolyut qora** jism deyiladi.

Nemis fizigi G.R.Kirxgof shunday qonunni kashf etdiki, bu qonunga asosan, *jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlarining nisbati, jismning tabiatiga bog'liq bo'lmay, barcha jismlar uchun to'lqin uzunligi va temperaturaning universal funksiyasidir.*



Kirxgof qonuni. Issiqlik nurlanishi boshqa turdagi nurlanishlardan o'zining bir xususiyati bilan keskin farq qiladi. T temperaturadagi jism issiqlik o'tkazmaydigan qobiq bilan o'ralgan deb faraz qilaylik (13.3-rasm). Jism chiqargan nurlanish qobiqqa tushib undan bir yoki bir necha marta qaytadi va yana jismga tushadi. Jism bu nurlanishni qisman yoki to'la yutadi. Qisman yutsa, qolgan qismini yana qobiqqa qaytaradi.

Shuning uchun jism vaqt birligi ichida qancha energiya chiqarsa, shuncha energiya yutadi va jismning temperaturasi o'zgarmaydi. Bu holatni *muvozanatli holat* deyiladi. SHu sababdan issiqlik nurlanishini *muvozanatli nurlanish* deb yuritiladi. Endi qobiq ichida ikkita (13.4-rasm) bir xil temperaturadagi jism bo'lsin. Agar jismlardan biri ko'proq yutayotgan bo'lsa, bu jismning temperaturasi ortib ketadi.

Buning evaziga ikkinchi jismning temperaturasi kamayib ketishi kerak. Lekin bu termodinamikaning II asosiy qonuniga ziddir. Aytaylik birinchi 1 jism oddiy, ikkinchi 2 jism absolyut qora jism bo'lsin. U holda ularning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari orasidagi munosabatlar quyidagicha bo'ladi:

nur chiqarish qobiliyatlari: 1 jism: e_T ; 2 jism: ε_T ;

nur yutish qobiliyatlari: α_T ; 2 jism: 1.

Birinchi jism, ikkinchi jism nurlantirgan energiyaning α_T qismini, ya'ni $\alpha_T \varepsilon_T$ energiyaning yutadi. Demak, birinchi jism uchun $e_T = \alpha_T \varepsilon_T$, ikkinchi jism birinchi jism chiqargan e_T energiyaning va bu jism qaytargan $(1 - \alpha_T) \varepsilon_T$ energiyaning yutadi, ya'ni ikkinchi jism uchun $\varepsilon_T = e_T + (1 - \alpha_T) \varepsilon_T$.

$$\text{Bulardan } \frac{e_T}{\alpha_T} = \varepsilon_T \quad (13.7)$$

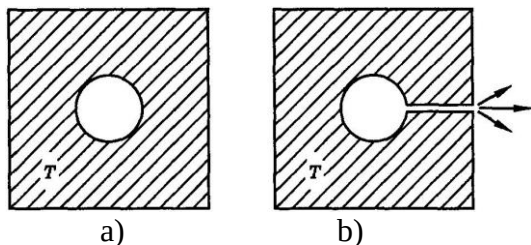
kelib chiqadi. Bu Kirxgofning **integral** qonunidir: har qanday jismning muayyan temperaturadagi to'la nur chiqarish va to'la nur yutish qobiliyatining nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, u ayni temperaturadagi absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyatiga teng.

Agar ikkala jism oralig'iga λ dan $\lambda + d\lambda$ gacha to'lqin uzunlikdagi nurlanishni o'tkazib, qolganlarini qaytarib yuborgan fil'tr joylashtirsak

$$\text{Kirxgofning differensial qonunini olamiz } \frac{e_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}} = \varepsilon_{\lambda,T} \quad (13.8)$$

Ixtiyoriy jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlarining nisbati bu jismning tabiatiga bog'liq bo'lmay, barcha jismlar uchun to'lqin uzunlik va temperaturaning universal funksiyasidir va u absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati $\varepsilon_{\lambda,T}$ ga tengdir.

2. Muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral zichligi: *Muvozanatli issiqlik nurlanishi:* T temperaturaga qizdirilgan qandaydir jismning ichki qismida



13.5-rasm.

bo'shliq kesib olingan bo'lsin deylik (13.5-rasm). Bo'shliq devorlari issiqlik nurlanishi chiqargani tufayli, bo'shliq shu nurlanish bilan to'ldirilgan. Jism temperaturasi o'zgarmas saqlab turuvchi statsionar holatlarda bo'shliqda issiqlik nurlanishi xarakteristikalarini

ham doimiy va aniqlangan qiymatlarga ega bo'ladi. Bu qiymatlarda bo'shliq devorlarining yorug'likni chiqarish va yutish jarayonlari bir-birini o'zaro tenglashtiradilar. Boshqacha aytganda, statsionar holatlarda bo'shliq devorlari va nurlanish orasida bo'shliq ichida issiqlik muvozanati vujudga keladi. Bu holda

bo'shliqdagi issiqlik nurlanishi *muvozanatli* deb ataladi. Uni 13.5.b-rasmdan ko'rish mumkin.

Muvozanat issiqlik nurlanishi spektral zichlik $u(\omega, T)$ bilan xarakterlanadi, u esa fazoning hajm birligiga va ω chastotaning yaqinidagi cheksiz kichik chastota $d\omega$ intervaliga to'g'ri keluvchi T temperaturada muvozanatli nurlanish energiyasi singari aniqlanadi. V hajmdagi va $\omega \div \omega + d\omega$ chastotalar polosasidagi issiqlik nurlanishi energiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$dW = Vu(\omega, T)d\omega, \quad [erg] \quad (13.9)$$

Buni $u(\omega, T)$ funksiya tarifi kabi qarash mumkin. $u(\omega, T)$ funksiyani yana *qora jism nurlanishining spektral zichligi* deb ham ataydilar, chunki absolyut qora jismning nurlanish qobiliyatini belgilovchi Kirxgofning universal $\varepsilon(\nu, T)$ funksiyasi bilan to'g'ri bog'langan.

Muvozanatli issiqlik nurlanishi termodinamikasi: $u(\omega, T)$ funksiyaning nazariy jixatdan hisoblashni termodinamikadan ma'lum bo'lgan energiyaning *erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanishi* qonuni asosida amalga oshirish mumkin. Bu qonunga binoan, issiqlik muvozanati holatida sistemaning erkinlik darajasiga o'rtacha bir xil $kT/2$ energiya to'g'ri keladi. Bu yerda T - absolyut temperatura, k - Bol'sman doimiysi. Bu qonunni issiqlik nurlanishiga qo'llash uchun, yopiq bo'shlikda joylashgan EM maydonning erkinlik darajalari sonini hisoblash zarur.

Bundan bo'shliqdagi muvozanatli issiqlik nurlanishini *turg'un to'liqlar to'plami* ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Bu yerda gap muvozanatli nurlanishning statsionar fazoviy strukturasining elementar oddiy strukturalar - sinusoidal turg'un to'liqlarga spektral yoyilish to'g'risida borayapti.

Ikki holat bo'lishi mumkin: birinchidan - muvozanatli issiqlik nurlanishining fazoviy strukturasini - statsionardir; ikkinchidan - bo'shliq devoriga tushuvchi nurlanish energiyasi devor nurlayotgan energiyaga tengdir. Bu shartlar bajariladigan oddiy sxema - ikkita parallel ko'zgular - *optik rezonator* deb ataladi. Rezonatordagi yorug'lik maydoni to'liqlarning diskret to'plami strukturasiga ega. Bu to'liqlarning chastotasi quyidagilardir:

$$\omega = ck_z = m_z \frac{\pi c}{L}, \quad m_z = 1, 2, 3, \dots \quad (13.10)$$

$$\text{bu yerda } k_z L = m_z \pi. \quad (13.11)$$

Har bitta turg'un to'liqinni «maydon ossillyatori» deb qarash mumkin. Har xil ossillyatorlar mustaqilligi tufayli, ularning to'liq soni maydonning erkinlik darajalari sonini bildiradi. (13.11) ga binoan k_z to'liq sonlari fazosida har bitta

ossillyatorga $\Delta k = \pi/L$ o'lchamli yacheyka (uyacha) mos keladi, bu yerda L - rezonans uzunligi.

Uch o'lchamli koordinatada bu qismning hajmi quyidagicha bo'ladi:

$$V_k = \frac{1}{6} \pi \cdot k^3 \quad (13.12)$$

L^3 va $0 \div \omega$ chastota intervalidagi maydonning ossillyatorlar soni quyidagicha aniqlanadi: $Z' = \frac{\omega^3 L^3}{6\pi^2 c^3}$. (13.13)

Ma'lum yo'nalishda tarqaladigan to'liq qutblanishining ikkita mustaqil holatiga ega bo'lishi mumkin. Shuning uchun yorug'lik maydonining erkinlik darajalarining to'liq soni Z' dan ikki marta katta bo'ladi va quyidagiga teng bo'ladi: $Z = \frac{\omega^3 L^3}{3\pi^2 c^3}$ (13.14) $\omega \div \omega + d\omega$ intervaldagi maydonning erkinlik darajalari sonini (13.14) formulaning har ikkala tomonidan differensial olish bilan aniqlash mumkin:

$$dZ = \frac{\omega^2 L^3}{\pi^2 c^3} d\omega. \quad (13.15)$$

Buni ishlatib, muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral zichligi uchun quyidagi

$$\text{ifodani olamiz: } u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \langle w \rangle, \quad (13.16)$$

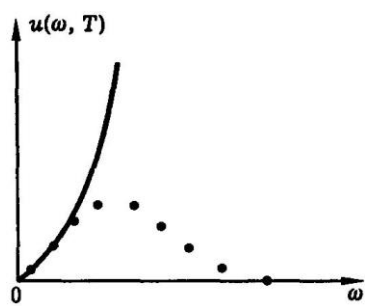
bu yerda $\langle w \rangle$ - ossillyator maydoniga to'g'ri keluvchi o'rtacha energiya.

3. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari: *Reley-Jins formulasi:* Erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning tekis taqsimlanishi qonuniga binoan, issiqlik muvozanati holatida ossillyatorning o'rtacha energiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$\langle w \rangle = k_B T. \quad (13.17)$$

(13.17) ni (13.16) ga qo'ysak, quyidagini olamiz

$$u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} k_B T, \quad (13.18)$$

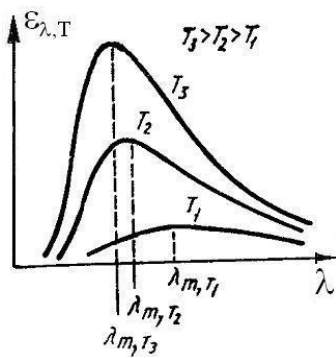


13.6-rasm.

bu yerda k_B - Bol'sman doimiysi. Bu ifoda muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral zichligi uchun *Reley-Jins formulasi* deyiladi.

13.6-rasmda $u(\omega, T)$ eksperimental ravishda va Reley-Jins formulasi bo'yicha tuzilgani ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, bu formula chastotaning hamma qismida to'g'ri kelavermaydi. Lekin uzun to'liq qismida ushbu formula eksperiment bilan mos tushadi.

Stefan-Bol'sman qonuni: Issiqlik nurlanishining to'liq quvvati jism absolyut temperaturasining to'rtinchi darajasiga proporsional ravishda ortadi:



13.7-rasm.

$$\frac{dW}{dV} = \sigma \cdot T^4, \quad (13.19)$$

bu yerda $\sigma = \frac{\pi^2 k_B^4}{15 \hbar^3 c^3} = 7,55 \cdot 10^{-15} \text{ erg} \cdot \text{sm}^{-3} \cdot \text{K}^{-4}$ - Stefan - Bol'sman doimiysi. (13.19) ifoda Stefan-Bol'sman qonuni deb ataladi.

Bu formulani Stefan tajriba natijalarini tahlil qilish natijasida topdi, lekin ixtiyoriy jism uchun o'rinli deb hisobladi va xatoga yo'l qo'ydi. Bol'sman esa bu qonunni termodinamik usul yordamida topdi va absolyut qora jism uchun o'rinli ekanligini ko'rsatdi. Ba'zi ishlarda bu qonun ixtiyoriy jism uchun o'rinli bo'lgan ko'rinishini topishga harakatlar bo'ldi: $\varepsilon_T = VT^n$, lekin V ham n ham turli xil temperaturalar uchun turlicha bo'lib chiqaverdi. 13.7-rasmda absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining to'lqin uzunligiga bog'liqligi (spektral taqsimoti) turli xil temperatura T lar uchun keltirilgan. Bu rasmdan: 1) absolyut qora jism nurlanish spektrining uzluksizligi; 2) har bir temperaturaga oid bo'lgan nurlanishning energetik taqsimotini ifodalovchi egri chiziqda aniq maksimum bo'lib, u temperatura oshgan sari qisqa to'lqin sohasiga siljishi ko'rinib turibdi.

Vinning siljish qonuni: ga binoan, issiqlik nurlanishining spektral zichligi maksimumi mos kelgan $\lambda_{\max}$ to'lqin uzunligi jismning absolyut temperaturasiga teskari proporsional ravishda kamayadi: $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$,

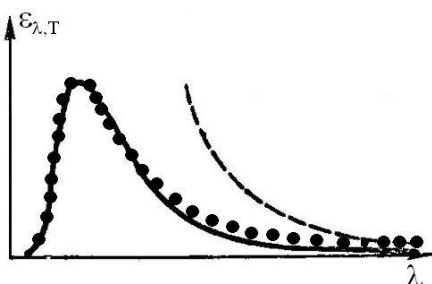
$$(13.20)$$

bu yerda $b = \frac{2\pi\hbar c}{4,965k_B} = 0,28979 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{grad}$ - Vin doimiysi. (13.20) dan

ko'rinadiki, T qancha yuqori bo'lsa, $\lambda_{\max}$ shuncha kichikroq qiymatga ega bo'ladi, ya'ni temperatura oshgan sari absolyut qora jism nur chiqarish, qobilyatining maksimumi qisqa to'lqin uzunliklar sohasiga siljiydi.

13.7-rasmdagi grafikni tushuntirish uchun ko'p urinishlar bo'lgan. Bulardan Vin termodinamik mulohazalar asosida

$$\varepsilon_{\lambda,T} = \frac{\gamma}{\lambda^5} \exp\left[-\frac{\beta}{\lambda T}\right] \quad (13.21)$$



13.8-rasm. Bu yerda quyuq chiziq – Vin qonuni, nuqtalar – tajriba natijalari, punktir chiziq – Reley-Jins qonuni.

ifodani hosil qiladi. Bunda γ va β - tajribalardan foydalanib tanlanadigan doimiylardir. Vin taklif etgan (10.20) ifoda qisqa to'lqin uzunliklar sohasida yaxshi mos

keladi. Lekin katta to'liqin uzunliklar sohasida Vin formulasi $\varepsilon_{\lambda,T}$ uchun tajribadagidan kichikroq qiymatlarni beradi.

«*Ul'trabinafsha halokat*»: absolyut qora jism issiqlik nur chiqarish qobiliyati uchun Reley-Jins formulasini quyidagicha yozsa bo'ladi: $\varepsilon_{\lambda,T} = \frac{2\pi ck_B T}{\lambda^4}$.

(13.22)

Bu ifoda katta to'liqin uzunliklar sohasida tajriba bilan mos keladi. Vinning siljish qonuni, tajribada olingan natijalar va Reley-Jins qonunidan olingan natijalar grafik ravishda 13.8-rasmda tasvirlangan. 13.8-rasmdan ko'rinib turibdiki, qisqa to'liqin sohasida $\varepsilon_{\lambda,T}$ cheksiz katta («*ul'trabinafsha halokat*», P.Erenfest) qiymatlarga ega bo'ladi. Reley-Jins formulasidan Stefan-Bol'sman qonunini keltirib chiqarishga urinishlar ham natija bermadi.

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi ck_B T \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} = \infty. \quad (13.23)$$

Reley-Jins ifodasi klassik fizika qonunlariga qat'iy amal qilgan holda chiqarilgan bo'lib, u muhim tajribalar natijalarini tushuntirishga qodir emasligi ko'rinib turibdi.

Reley-Jins formulasining eng muhim kamchiligi, bu formuladagi nurlanish spektral zichligining cheksiz o'sishi yuqori chastotalar qismiga to'g'ri keladi. Bu esa eksperiment bilan keskin qarama-qarshidir, unga asosan $\omega \rightarrow \infty$ dan spektral zichlik nolga intiladi. Bundan tashqari, Reley-Jins formulasidan issiqlik nurlanishining to'liq (chastota bo'yicha integral) energiyasi cheksizlikka teng, bunga esa aql bovar qilmaydi. Bu ham spektrning qisqa to'liqli (ul'trabinafsha) qism bilan bog'liq bo'lganligi sababli, «*ul'trabinafsha halokat*» yoki *Reley-Jins parodoksi* deyiladi.

4. Plank gipotezasi. Plank formulasi: Klassik fizika qonuniga asosan, jism temperaturasi yuqori bo'lsa (ya'ni katta chastotali nurlanishda) jism nur chiqarish qobiliyatining qiymati cheksizlikka intilish effektini, ya'ni «*ul'trabinafsha halokati*» effektini qarab chiqdik. Lekin jismning nur chiqarish qobiliyati cheksizlikka intilishi noto'g'ri tushunchadir, bu klassik fizika, ya'ni makrojism fizikasi asosida kelib chiqqan tushunchadir. Klassik fizikaga asosan har qanday termodinamik sistema energiyasi uzluksiz o'zgarishi va natijada har qanday energiya olishi mumkin.

Maks Plank (1900) - bu yerda klassik fizikada ma'lum kamchiliklar bor degan xulosaga keldi va o'z gipotezasini ilgari surdi: ya'ni jismlarning nurlanishi uzluksiz emas, balki alohida kvantlar sifatida chiqariladi. Har bir nurlanish kvanti energiyaga ega va uning qiymati

$\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ (13.24) ga teng. Bunda $\nu = \frac{c}{\lambda}$ nurlanishning chastotasi h – Plank doimiysi ($h=6,62\cdot 10^{-34}$ J·s). (13.24) ga asosan $\lambda \rightarrow 0$ da kvant energiyasi shu darajada ortib ketadiki, natijada jism issiqlik harakatining energiyasi, hatto, bittagina kvant chiqarishga ham yetmaydi va $\varepsilon_{\lambda,T}$ ning qiymati keskin kamayib ketadi. Issiqlik nurlanishi uchun Plank:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (13.25)$$

formulani keltirib chiqardi. Shuning uchun uni Plank formulasi deb ataladi. Plank formulasi tajribada olingan natijalarni to'liq tushuntira oladi va undan absolyut qora jism nurlanishi uchun olingan barcha qonunlar kelib chiqadi. Jumladan, Stefan-Bol'sman qonunini hosil qilish uchun (13.25) ni to'lqin uzunlikning 0 dan ∞ gacha intervalida integrallaymiz:

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi hc^2 \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1)} \quad (13.26)$$

Hisoblashlarni bajarish uchun yangi o'zgartiruvchilarni kiritaylik:

$$X = \frac{\lambda k_B T}{hc}; \quad \lambda = \frac{hc}{k_B T} X; \quad d\lambda = \frac{hc}{k_B T} dX;$$

Bularni (13.26) ga qo'ysak: $\varepsilon_T = 2\pi hc^2 \left(\frac{k_B T}{hc} \right)^4 \int_0^{\infty} \frac{dX}{X^5 (e^{\frac{1}{X}} - 1)}$

ifodani hosil qilamiz. Bundagi integral $\pi^4/15$ ga teng. Shuning uchun

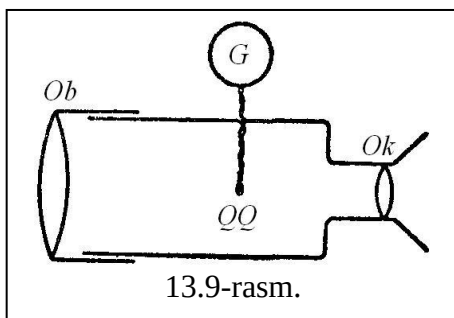
$$\varepsilon_T = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

Bu ifodada $\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 h^3}$ (13.27) - Stefan-Bol'sman doimiysidir. Plank formulasidan Vinning siljish qonunini topish uchun maksimumga mos keluvchi $\lambda_{\max}$ ni topish kerak, buning uchun $\frac{d\varepsilon_{\lambda,T}}{d\lambda} = 0$. Hosila olib, uni nolga tenglashtirib, olingan tenglamani yechilsa, $\lambda_{\max} = \frac{hc}{4,97k_B T}$ ko'rinishda bo'ladi. Bu ifodani

$$\lambda_{\max} T = \frac{hc}{4,97k_B} \quad (13.28) \text{ shaklga yozib, uning o'ng tomondagi hadini } b = \frac{hc}{4,97k_B}$$

tenglab hisoblash mumkin.

5. Issiqlik nurlanish qonunlarining ishlatilishi: Issiqlik nurlanish qonunlariga asoslangan holda yuqori temperaturalarni o'lchash usullari *optik pirometriya* deb ataladi. SHu maqsadda qo'llaniladigan qurilmalarni esa *optik pirometrlar* deyiladi. Bunday pirometrlarga *radiatsion, ravshanlik va rangli pirometrlari* kiradi. Bu ikki usuldan tashqari Vinning siljish qonunidan foydalanib, nurlanuvchi jismning temperaturasi aniqlash ham mumkin. Buning uchun jism nur chiqarish qobiliyatining spektral xarakteristikasini o'lchash va muayyan spektr uchun λ_T ni aniqlash kerak. λ_T esa jism temperaturasi bilan $T = \beta\lambda_T$ munosabat orqali bog'langan. Bu usul bilan aniqlangan Quyosh temperaturasi taxminan 6000 K ga teng. Shuni ta'kidlash kerakki, temperaturani o'lchashda qo'llaniladigan boshqa qurilma (termometr, termopara) larga nisbatan pirometrlarning afzallik jihatlari mavjud: pirometrlar yordamida juda yuqori temperaturalarni, shuningdek,



kuzatuvchidan juda olisda joylashgan jism (masalan, astronomik ob'yekt) larning temperaturalarini ham o'lchash mumkin.

Radiatsion pirometrlar: Radiatsion pirometrning sxematik kshrinishi 13.9-rasmda ko'rsatilgan. Asbob nurlangichga shunday to'g'irlanadiki, nurlanayotgan sirtning Ob ob'yektiv

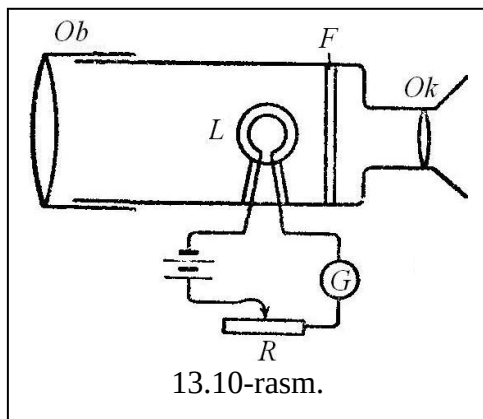
berayotgan ravshan tasviri nurlanishni qabul qilgich QQ ni to'liq qoplaydigan bo'lsin. Buni Ok okulyar yordamida nazorat qilinadi. Qabul qilgich sifatida odatda termoustun qo'llaniladi. G gal'vanometr strelkasining og'ishiga qarab nurlangichning temperaturasi haqida fikr yuritish mumkin.

Agar nurlangichning tasviri qabul qilgichni to'liq qoplasa, qabul qilgichga tushayotgan energiya oqimi nurlangichgacha bo'lgan masofaga bogg'liq bo'lmagan holda (bu masofa pirometr ob'yektivining fokus masofasiga nisbatan ancha katta bo'lishi kerak), nurlangichning B_e energiyaviy ravshanligiga proporsional bo'ladi. B_e ravshanlik absolyut qora jism uchun temperatura bilan quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$B_e = \frac{\sigma}{\pi} T^4.$$

Qora bo'lmagan jismlar uchun radiatsion pirometr haqiqiy temperaturani ko'rsatmaydi.

Ravshanlik pirometrlari: Temperaturani o'lchashning eng ko'p tarqalgan metodi yorug'lik tarqatuvchi jism spektrining belgilangan qisqa $\Delta\lambda$ qismidagi nurlanishini absolyut qora jism spektrining o'sha qismidagi nurlanishi bilan taqqoslashdir. Odatda spektrning $\lambda=0,66 \text{ mkm}$ atrofida yotuvchi qizil qismidan foydalaniladi. Tolasi ko'rinmaydigan pirometr deb ataluvchi ravshanlik pirometrining sxemasi 13.10-rasmda tasvirlangan. L lampaning yarim aylana shaklidagi tolasi asbob o'qiga perpendikulyar tekislikda yotadi. Ob ob'yektiv tekshirilayotgan nurlanuvchi sirtning o'sha tekislikdagi tasvirini hosil qilib beradi. F yorug'lik fil'tri Ok



okulyarga faqat $0,66 \text{ mkm}$ atrofidagi to'lqin uzunligiga ega bo'lgan qizil nurlarni o'tkazib beradi. R reostat yordamida tolaning ravshanligi nurlangich tasvirining ravshanligi bilan bir xil bo'lguncha qizdiriladi va okulyar orqali kuzatib bunga erishiladi (shu paytda tola «ko'rinmaydi», ya'ni tola tasvir fonida ajratib bo'lmaydigan holga keladi). Asbob oldindan absolyut qora jismga nisbatan darajalangan bo'lib, gal'vanometr G shkalasi bo'limlarining to'g'risiga temperaturaning tegishli qiymatlari ko'rsatilib qo'yilgan bo'ladi.

Yorug'lik manbalari: Yorug'lik manbai sifatida ishlatiladigan cho'g'langan jismning temperaturasi qancha yuqori bulsa, uning foydasi shuncha katta bo'ladi. Haqiqatan ham temperatura orta borgan sari nurlantirilayotgan umumiy quvvat tez ortibgina qolmay, balki spektrning ko'rinadigan qismiga to'g'ri keluvchi nur energiyasining nisbiy hissasi ham ortib boradi. Stefan-Bol'sman qonuniga muvofiq qora jismning umumiy intensivligi temperaturaning to'rtinchi darajasiga proporsional ravishda orta boradi. Lekin spektrning qisqa to'lqinli qismlari intensivligi ayniqsa uncha yuqori bo'lmagan temperaturalarda ancha tez o'sadi. Masalan, platinaning ko'rinadigan spektri umumiy energiyasi qizil cho'g'lanish temperaturasi yaqinida temperaturaning o'ttizinchi darajasiga proporsional ravishda ortadi va hatto oq cho'g'lanish yaqinida temperaturaning o'n to'rtinchi darajasiga proporsional bo'ladi. Qora jismning temperaturasi 1800 dan 1875 K gacha, ya'ni atigi 4% o'zgarganida sariq nurlar intensivligi ikki barobar ortadi.

13.1-jadval turli tipdagi cho'g'lanma lampalarning normal yonish rejimida yorug'lik berish qobiliyati to'g'risida hosil qiladi. Yorug'lik berish qobiliyatining o'lchovi sifatida lampa yuborayotgan to'la yorug'lik oqimining (lyumen hisobida) lampani ta'minlashga sarflanadigan to'la quvvatga (Vatt hisobida) nisbati olingan. Lampalarning xizmat muddati – 1000 soat.

Lampaning turi	YOrug'lik berish, lm/Vt	f.i.k., %	Haqiqiy temperatura, K	Rang temperatura, K	Ravshanlik, $10^4 kd/m^2$
50 Vt, ko'mir tolali vakuum lampa	2,5		2095	2130	50 atrofida
50 Vt, vol'fram tolali vakuum lampa	10	1,6	2400	2505	150 – 200
50 Vt, gaz to'ldirilgan vol'fram tolali vakuum lampa	10		2685	2670	500 atrofida
500 Vt, o'sha lampalar	17,5	2	2900	2880	1000 atrofida
2000 Vt, o'sha lampalar	21,2	3,5	3020	3000	1300 – 1500

Jadvaldan ko'rinadiki, tolaning yorug'lik berish qobiliyati tolaning rang temperaturasi va u bilan bog'langan haqiqiy tempepaturasi ko'tarilgan sayin orta boradi. Temperaturani ko'tarish uchun lampaning (gaz to'ldirilganlari) turi, tola moddasi va lampaning o'lchamlari o'zgartiriladi, chunki lampaning quvvati ortishi bilan sovitishga ketadigan sarf qiyosan kamayadi. Temperatura ko'tarilishi bilan mos ravishda lampa tolasining ravshanligi ham ortib boradi.

Nazorat savollari

1. Issiqlik nurlanishi nima?
2. Jismlarning nurlanish qobiliyati.
3. Jismlarning yutish qobiliyati.
4. Kirxgof qonuni.
5. Absolyut qora jism nima?
6. «Ul'trabinafsha halokat» nima?
7. Reley-Jins formulasi.
8. Plank formulasi.
9. Stefan-Bol'sman qonuni.
10. Vinning siljishi qonuni.
11. Radiatsion pirometrlar.
12. Ravshanlik pirometrlari.
13. Yorug'lik lampalari.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Qora jismning boshlang'ich temperaturasi 500K. Qizdirilgandan keyin nurlanish 4 marta ortsa, jismning so'nggi temperaturasini toping.
2. Eritish pechining ko'rish tuynugidan sochilayotgan energiya oqimi 34 Vt. Agar tuynukning yuzasi 6 sm^2 bo'lsa, pechning haroratini aniqlang.
3. Sirius yulduzining yuqori qatlamlaridagi temperatura 10000 K. SHu yulduzning 1 km^2 yuzali sirtidan sochilayotgan energiya oqimini hisoblang.
4. 600 K temperaturada ko'mirning issiqlik nurlanish koeffitsiyentini 0,8 deb qabul qilib: 1) ko'mirning energetik yorituvchanligi; 2) 10 min vaqt davomida ko'mirning 5 sm^2 yuzali sirtida sochiladigan energiyani aniqlang.
5. Shartli ravishda yerni 280K temperaturada nur sochayotgan kulrang jism sifatida qabul qilish mumkin. Agar yer sirtining energetik yorituvchanligi $325 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{soat}$ bo'lsa, yerning issiqlik nurlanish energiyasini hisoblang.
6. Energetik yorqinlik spektral zichligining maksimumi ko'rish spektrining a) qizil chegarasiga (750 nm); b) binafsha chegarasiga (380 nm) to'g'ri kelganda, qora jismning temperaturasi qanday bo'ladi?
7. Qora jismning termodinamik temperaturasi 2 marta ortganda energetik yorituvchanlik spektral zichligining maksimumiga mos keluvchi to'lqin uzunligi 400nm ga kamaydi. Boshlang'ich va oxirgi temperaturalarni aniqlang.
8. Yorug'lik kuchi birligi – Kandelaning etaloni – sirtining yuzasi $0,5305 \text{ mm}^2$ bo'lgan va 1063°C ga teng platinaning qotish temperaturasiga ega, to'la nur sochuvchidan iborat (barcha uzunlikdagi to'lqinlarni sochadi). Nur sochuvchining quvvatini aniqlang.
9. Qora jism energetik yorituvchanligi spektral zichligining maksimumi $4,16 \cdot 10^{11} (\text{Vt/m}^2)/\text{m}$. U qanday to'lqin uzunligiga to'g'ri keladi.
10. Qora jismning temperaturasi 2000K, quyidagilarni aniqlang: 600 nm to'lqin uzunligi uchun energetik yorqilikning spektral zichligini; 590 nm dan 610 nm gacha to'lqin uzunliklar oralig'idagi energetik yorituvchanlikni. Bu oraliqda jism energetik yorituvchanligi o'rtacha spektral zichliginig qiymati 600 nm to'lqin uzunligi uchun topilgan qiymatga teng deb qabul qilinsin.

14- §. Yorug'lik tezligini aniqlash usullari

- 14.1. Galileyning birinchi urinishi;
- 14.2. Ryomerning astronomik usuli;
- 14.3. Fizo usuli;
- 14.4. Fuko usuli;
- 14.5. Maykel'son usuli.

Vakuumda yorug'lik tezligi - fundamental fizik doimiy hisoblanadi. Uni o'lchash olimlarni ko'pdan qiziqtirib kelgan. Yorug'lik tezligini aniqlash masalasi fizikaning eng muhim muammolaridan hisoblanib kelgan. Yorug'likning tarqalish tezligini aniqlashda eksperiment o'tkazayotgan kishi uchraydigan asosiy qiyinchilik bu miqdorning qiymati nihoyatda katta ekanligiga aloqador bo'lib, bu qiymat klassik fizikada bajariladigan o'lchashlarda bo'ladigandan juda boshqa masshtablarni talab qiladi. Bu qiyinchilik yorug'lik tezligini aniqlashning Galiley tomonidan qilingan (1607y.) dastlabki ilmiy urinishlaridayoq ko'rinish qolgan edi.

1. Galileyning birinchi urinishi. Galiley tajribasi bunday bo'lgan: bir-biridan ancha olisda turgan ikki kuzatuvchida yopiladigan fonarlar bor edi. A kuzatuvchi fonarini ochadi; ma'lum vaqtdan so'ng yorug'lik B kuzatuvchiga yetib boradi, u esa o'sha paytda o'z fonarini ochadi: ma'lum vaqt o'tgach, bu yorug'lik signali A kuzatuvchiga yetib boradi va bu kuzatuvchi signal yuborganidan signal qaytib kelguncha o'tgan τ vaqtni qayd qila oladi. Kuzatuvchilar yorug'likni bir zumda sezishadi va yorug'lik AB va BA yo'nalishlarda ayni bir tezlik bilan tarqaladi, deb faraz qilib, biz $AB + BA = 2D$ yo'lni yorug'lik τ vaqt ichida bosib o'tishini, ya'ni yorug'lik tezligi $c = 2D/\tau$ bo'lishini topamiz. Biz qilgan farazning ikkinchisi haqiqatga juda yaqin bo'lishi mumkin. Hozirgi zamon nisbiylik nazariyasi bu farazni hatto prinsip darajasiga ko'taradi. Biroq kuzatuvchilarning yorug'lik signalini bir zumda sezishi to'g'risidagi faraz haqiqatga to'g'ri kelmaydi; yopyg'likning tezligi nihoyatda katta bo'lganidan Galileyning urinishi hech qanday natija bermadi; aslida yorug'lik signalining tarqalishiga ketgan vaqt emas, balki kuzatuvchining signalni sezishga ketgan vaqti o'lchangan. Agar V kuzatuvchi o'rniga yorug'likni qaytaruvchi ko'zgu qo'yilsa, kuzatuvchilardan biri qiladigan xatodan qutulib, ishni birmuncha yaxshilash mumkin. Hozirgi zamonda yorug'lik tezligini o'lchashning laboratoriyada o'tkaziladigan usullarining deyarli hammasida o'sha sxema saqlanib kolgan, desa bo'ladi; ammo keyinchalik signallarni qayd qilish va vaqt oraliqlarini o'lchashning samarali usullari topildi; bu hol esa qiyosan uncha katta bo'lmagan masofalarda ham yorug'lik tezligini yetarlicha aniqlikda topishga imkon berdi.

Yorug'lik nazariyasini yaratuvchilar: Guk, Gyuygens, keyinchalik Frenel va boshqalar davrida boshlaboq yorug'lik butun olam fazosini qoplagan juda yupqa

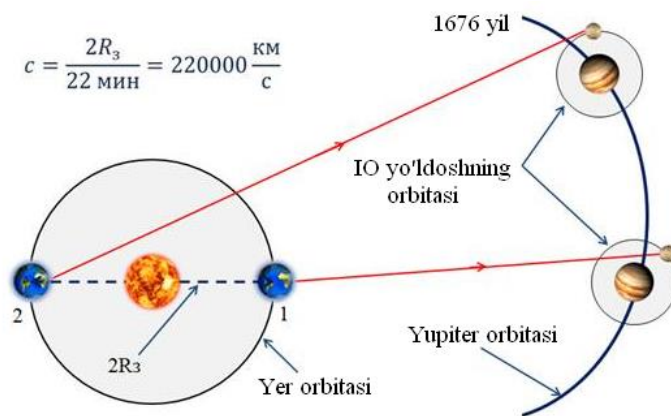
maxsus materiyada tarqaladi, degan tasavvur o'rnashib qolgan edi. Bu muhit *olam efiri* deb ataldi. Maksvell tomonidan yorug'likning elektromagnit nazariyasi yaratilgandan so'ng efir elektromagnit to'lqinlari, xususan, yorug'lik to'lqinlari tarqaladigan muhitdan iboratdir deb qabul qilingan edi.

Efir haqida xilma – xil fikrlar paydo bo'lgan bo'lib, **Frenel** quyidagi fikrni aytdi: efir ko'zga ko'rinmas, u harakatlanuvchi jismlarga ilashmaydi, balki ulardan erkin o'tib ketaveradi, ammo efir juda zich bo'lganligi uchun harakatdagi jismlarga qisman ergashadi. **Gers** – efir harakatlanuvchi jismlarga to'liq ergashadi degan qarama-qarshi fikrni aytdi. **Lorens** esa elektron nazariyani yaratib, efir mutlaqo qo'zg'almas degan xulosaga keldi. Bu fikrlardan qaysi biri to'g'ri ekanini faqat tajriba hal qilishi mumkin edi xolos.

Dastlabki vaqtlarda yorug'lik tezligini cheksiz katta deb hisoblashgan, keyinchalik yorug'lik tezligini chekli ekanligi aniqlandi. Yorug'lik tezligini o'lchash bo'yicha ko'pgina urinishlar bo'lgan. Yorug'lik tezligini birinchi bo'lib 1676 yilda Daniyalik astronom Olaf Ryomer o'lchadi. Yorug'lik tezligini o'lchashning ba'zi usullarini ko'rib chiqaylik.

2.Ryomerning astronomik usuli. Yupiterning bir nechta yo'ldoshi bo'lib, ular Yupiter yaqinida yerdan ko'rinadi yoki Yupiterning soyasiga tushib ko'rinmay qoladi. Yupiter yo'ldoshlari ustida o'tkazilgan astronomik kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, Yupiterning tayinli bir yo'ldoshining ketma-ket kelgan ikki tutilishi orasida o'tgan o'rtacha vaqt oralig'i kuzatish vaqtida yer bilan Yupiter bir-biridan qanday masofada bo'lganiga bog'liq.

Ryomerning bu kuzatishlarga asoslangan metodini (1676 y.) 14.1-rasm yordamida tushuntirish mumkin. Tayinli bir paytda E_1 Yer va Yu_1 Yupiter ro'baru turgan bo'lsin, xuddi shu paytda Yupiterning Yerdan kuzatilayotgan bir yo'ldoshi Yupiterning soyasida ko'rinmay qolsin deb faraz qilaylik. Yupiter orbitasining radiusini R bilan, Yer orbitasining radiusini r bilan, yorug'likning Q Quyosh bilan bog'langan koordinatalar sistemasidagi tezligini s bilan belgilasak, o'sha yo'ldoshning Yupiter soyasiga o'tib ko'rinmay qolishi Yerda bu voqeaning Yupiter bilan boshlangan vaqt canog'i sistemasida yuz berganidan $(R - r)/c$ sekund kechikib qayd qilinadi.



14.1-rasm. Ryomerning astronomik usuli.

0,545 yil o'tganda E_2 Yer va Yu_2 Yupiter bir-biriga to'g'ri turadi. Agar mana shu paytda Yupiterning o'sha yo'ldoshi n -marta tutilsa, bu tutilish yerda $(R+r)/c$ sekund kechikib qayd qilinadi. Shuning uchun yo'ldoshning Yupiter atrofida aylanib chiqish davri t bo'lsa, yo'ldoshning yerdan turib kuzatilgan birinchi va n -tutilishi orasida o'tgan T_1 vaqt oralig'i quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_1 = (n-1)t + \frac{R+r}{c} - \frac{R-r}{c} = (n-1)t + \frac{2r}{c}.$$

Yana 0,545 yil o'tganda E_3 Yer va Yu_3 Yupiter yana ro'baru turadi. Bu vaqt ichida yo'ldosh Yupiter atrofida $(n-1)$ marta aylanib chiqdi va $(n-1)$ marta tutildi; bu tutilishlardan birinchisi yer bilan Yupiter E_2 va Yu_2 vaziyatda bo'lganda yuz berdi, oxirgisi esa planetalar E_3 va Yu_3 vaziyatda bo'lganda yuz berdi. Birinchi tutilish Yerdan yo'ldoshning Yupiter soyasiga o'tib ketish paytiga nisbatan $(R+r)/c$ sekund kechikib, oxirgi tutilishi esa $(R-r)/c$ sekund kechikib qayd qilindi. Demak, bu holda T_2 vaqt quyidagiga teng buladi:

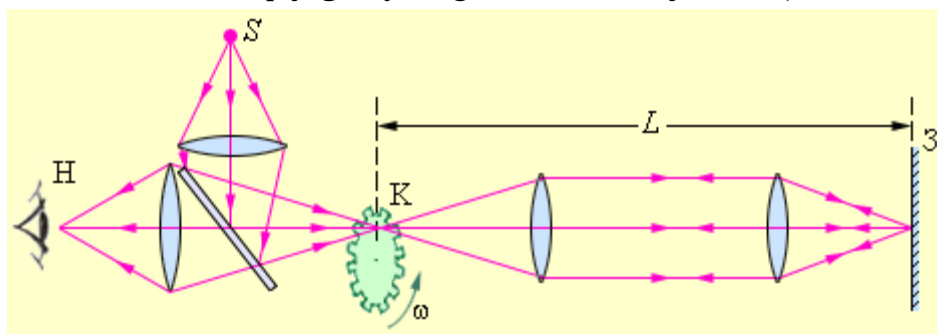
$$T_2 = (n-1)t + \frac{R+r}{c} - \frac{R-r}{c} = (n-1)t + \frac{2r}{c}$$

Ryomer T_1 va T_2 vaqt oraliqlarini o'lchab, $T_1 - T_2 = 1980$ s ekanini topdi. Biroq yuqorida yozilgan formulalardan $T_1 - T_2 = 4r/s$ ekani kelib chiqadi, shuning uchun $c = 4r/1980$ m/s. yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofani o'rta hisobda $150 \cdot 10^6$ km deb olib, yorug'lik tezligining quyidagi. qiymatini topamiz: $c = 301 \cdot 10^6$ m/s. Bu natija yorug'lik tezligini o'lchashning tarixda birinchi topilgan natijasidir²⁷.

3.Fizo usuli. Fransuz olimi Fizo (Armand Ippolit Lui Fizo 1819-1896) birinchi bo'lib Yer sharoitida tajriba yo'li bilan yorug'lik tezligini o'lchadi. 1849 yilda u quyidagicha tajriba qildi. K – aylanuvchi tishli disk, k yassi ko'zgudan K diskga bo'lgan masofa $L=8$ km, S manbadan chiqayotgan yorug'lik ikkita tish

²⁷library.ziyounet.uz/ru/book/download/63454

orasidan o'tib ko'zguga tushadi va undan qaytib yana o'sha tishlar orasidan kuzatuvchi ko'ziga tushadi. Diskning aylanish tezligi shunday tanlanganki, yorug'lik L - masofaga borib kelguncha ya'ni $2L$ masofani bosib otguncha tish burilib saytgan yorug'likni to'sib qolishi kerak, shunda biz qaytgan yorug'likni ko'rmaymiz²⁸ (14.2-rasm).

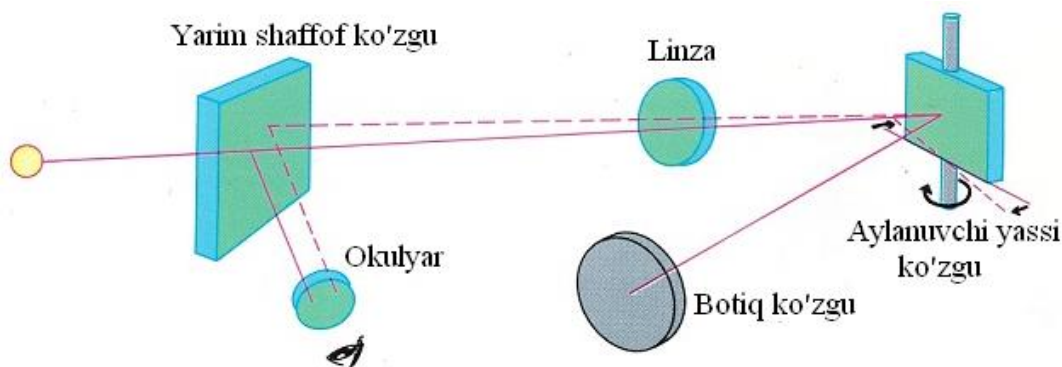


14.2-rasm. Fizo tajribasining ko'rinishi.

Agar diskda m ta tish bo'lib, u 1 sekunda n – marta aylansa bitta tishning burilishi uchun ketgan vaqt $\Delta t = \frac{1}{2mn}$ sek. bo'ladi. Agar nur Ko'zgudan qaytib kelguncha tishning ochiq joyi to'g'ri kelib qolsa S ni doim ko'rib turamiz, tezlikni $v = \frac{2L}{\Delta t}$ bo'yicha hisoblab, Fizo yorug'lik tezligi uchun $s = 315000$ km/sek qiymatga ega bo'ldi. Bu tajribada $L = 8$ km edi. Bir yil o'tgach, Leon Foucault bu uslubni aylanuvchi oynadan foydalanib ishlab chiqdi va 298,000 km/s dan ancha aniq qiymat oldi. Yaxshilangan usul juda aniq va uning yordamida suvdagi yorug'lik tezligi havodan kamroq ekanligi aniqlandi.

4.Fuko usuli. 1867 yili fransuz fizigi Jan Bernar Leon Fuko yorug'lik tezligini aniqlashda aylanma ko'zgudan (sekundiga 512 marta aylanadi) foydalandi (14.3 - rasm). Aylanuvchi yassi ko'zgu, botiq ko'zgu. S – manbadan chiqayotgan nur yassi ko'zguga tushadi, undan botiq ko'zguga tushadi qaytadi va K dan qaytib S – da tasvir hosil bo'ladi.

²⁸<http://light-fizika.ru/images/images/11klass/Optika.gif>

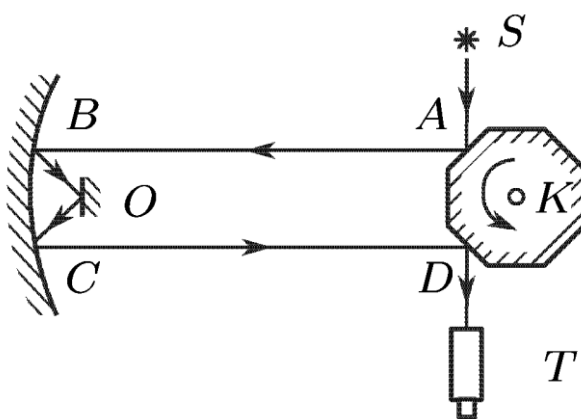


14.3 – rasm. Fuko tajribasining ko‘rinishi.

Ko‘zguni sekin aylantirib optik moslama yordamida S manbaning tasvirini hisoblash mumkin. Ko‘zguni tez aylantirilsa yorug‘lik 2 a masofani bosib o‘tgunga qadar ko‘zgu biror α burchakka burilib qoladi. Natijada tasvir S^1 da hosil bo‘ladi. SS^1 masofani mikrometr bilan o‘lchanadi. Buning miqdoriga qarab burilish burchagi topiladi. Ko‘zguning aylanish tezligini bilgan vaqtni hisoblash yo‘li bilan Fuko $c = 298000 \pm 500$ km/s ekanligini topdi.

5. Maykel’son usuli. 1932 yilda amerikalik olim Al’bert Abraxam Maykel’son – Fuko usulini ancha takomillashtirdi. U ishlatgan usulning prinsipial chizmasi quyidagicha (14.4-rasm). S – dan chiqayotgan nur 8 yoqli K - prizmatik ko‘zguning biror yog‘iga tushadi masalan: 1 yog‘iga tushadi undan V ga va qaytib yassi O ga O dan qaytib S ga va yana prizmatik ko‘zguning 3 yog‘iga tushadi undan qaytib kuzatuvchi ko‘ziga tushadi S ko‘rinadi.

Agar hech qanday o‘zgarish yuz bermasa bizga S doim ko‘rinib turadi. 8 yoqli prizmatik ko‘zguni shunday tezlik bilan aylantiriladiki, biz manbani doim ko‘rib turadigan bo‘laylik. Bu holda ko‘zgudan chiqqan nur 2a masofani bosib o‘tguncha ko‘zgu $1/8$ marta aylanadi, ya’ni 1 yog‘i o‘rniga 8 chi, 3 o‘rniga 2 kelib qoladi. Maykel’son usulida $a = 35,4$ km ikki (Antonio va Vil’son tog‘lari) tog‘ oralig‘i olingan va havoda $c = 299796 = 4$ km/sek. ekanini topdi.



14.4-rasm. Maykel’son tajribasi

1931 yilda Maykel'son tajribani takrorladi. Unda yorug'lik dastasi uzunligi 1,6 km va diametri 1 m bo'lgan po'lat truba ichida tarqaldi. Trubadagi havo 0,5 - 5,5 mm.sim.ust. bosimigacha so'rib olindi. Ko'plab qaytishlar hisobiga 16 km uzunlikdagi optik yo'lni bosib o'tishga erishildi. Natija $c = 299744 \pm 11$ km/s ga teng bo'ldi. Fan va texnika uchun sonlar natijalari bo'yicha xalqaro ko'mitasining bosh assambleyasining qarori bilan ma'lum bo'lgan eksperimental natijalarni umumiyalashtirib, vakuumdagi yorug'lik tezligini $c = 299792458 \pm 1,2$ m/s deb qabul qilishga kelishilgan. 1983 yilda xalqaro kelishuvga asosan bir metr bu yorug'likning vakuumda 1/299792458 sekund ichida bosib o'tgan yo'lidir.

Mustaqil yechish uchun masalalar:

1. Galileo Galiley tomonidan qo'yilgan va hal etilmagan yorug'lik tezligini aniqlash masalasi XVIII asr o'rtalarida yetarli darajadagi aniqlik bilan (hozirgi qiymatning 99,4%) hal qilindi. Qanday usullar qo'llanildi?

1) Yorug'lik signallari bir-biridan maksimal masofada joylashgan kuzatuvchilar tomonidan yuboriladi; 2) Yupiter yo'ldoshining botish vaqti aniq hisob bilan taqqoslanganda kechikishini o'lchash; 3) Yerning Quyosh atrofida harakatlanishi natijasida yuzaga keladigan yulduzlarning ko'rinishidagi o'zgarishlarni o'rganish; 4) 8 km masofadagi aylanadigan oynadan qaytgan yorug'lik nurining g'ildirak tishlari orasidan ikki marta ketma-ket o'tishiga qarab yorug'lik tezligini aniqlash.

2. Yorug'lik nuri skipidardan havoga chiqmoida. Bu nur uchun to'la qaytishning limit burchagi $42^{\circ}23'$. Skipidardagi yorug'lik tezligini toping.²⁹

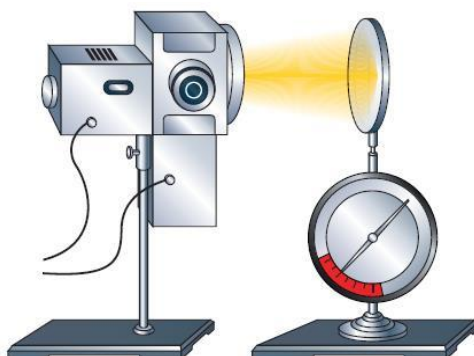
3. Quyosh spektri fotosuratga olinganda uning chap va o'ng chetlaridan olingan spektrlardagi (to'lqin uzunligi 5890 angstrom) sariq spektral chiziq 0,08 angstromga siljiganligi aniqlangan. Quyosh diskining chiziqli aylanish tezligi topilsin.

²⁹ В.С.Волькенштейн. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Тошкент, “Ўқитувчи”, 1996. 15-17, 16-1 масалалар.

15- §. Stoletov tajribalari. Fotoeffekt.

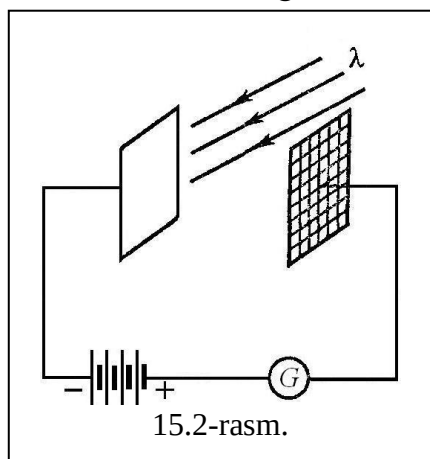
- 15.1. Fotoeffekt hodisasi. Stoletov tajribasi;
- 15.2. Fotoeffekt qonunlari;
- 15.3. Eynshteyn formulasi. YOrug'likning kvant nazariyasi va fotoeffekt;
- 15.4. Milliken tajribasi;
- 15.5. Lukirskiy-Prilijayev tajribasi;
- 15.7. Fotoelementlar, fotokuchaytirgichlar;
- 15.8. Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlar;
- 15.9. Fotoelektron kuchaytirgichlar.

Zaryadlangan elektrometrda mahkamlangan rux plastinkani ultrabinafsha nurlar bilan yoritganimizda elektrometr tezda razryadlanadi (zaryadsizlanadi). Agar elektrometr plastinkasini musbat zaryadlasak, so'ngra ultrabinafsha nurlar bilan yoritsak elektrometr razryadlanmaydi.



15.1-rasm. fotoeffekt hodisasini namoyish qiluvchi tajriba.

Bu hodisani quyidagicha tushuntirishimiz mumkin. Ultrabinafsha nurlar ta'sirida rux plastinka sirtidan manfiy zaryadlangan zarrachalar – elektronlar uchib chiqadi. Fotoeffektni o'rganishda katod nurlari degan tushuncha kiritiladi. Katod nurlari elektronlar oqimidan iborat bo'ladi. Katod nurlari yorug'lik ta'sirida paydo bo'lishi yoki kuchayishi mumkin. Yorug'lik ta'sirida o'zidan elektronlarni nurlaydigan sirtni *fotokatod* deb ataladi.



15.2-rasm.

1. Fotoeffekt hodisasi. Stoletov tajribasi: Yorug'likning moddaga ko'rsatadigan ta'siri natijasida yuzaga keladigan turli hodisalar orasida *fotoeffekt*, ya'ni yorug'lik ta'sirida moddadan elektronlar urib chiqarilishi

muhim o'rin egallaydi. Fotoeffekt hodisasini 1887 yilda nemis fizigi G.Gers kashf etgan. U kuchlanish berilgan uchqun oralig'ining elektrodlarini ul'trabinafsha nurlar bilan yoritganda uchqun chiqishining osonlashishini kuzatgan. Keyinroq Gal'vaks Gersning tajribasida elektrodlar yorug'lik ta'sir etishi natijasida zaryadlarning ozod bo'lishini va bu zaryadlar elektrodlar o'rtasidagi elektr maydoniga tushganda tezlashib, atrofdagi gazni ionlashtirishini va natijala uchqun chiqishiga sababchi bo'lishini ko'rsatib o'tdi.

Tajribalarning Stoletov ishlatgan sxemasi 15.2-rasmda ko'rsatilgan. Vakuumda joylashgan ikkita (bittasi to'r ko'rinishida, ikkinchisi – yassi) elektrodlar batareyaga ulangan. Bu yerda ampermetr paydo bo'ladigan tok kuchini o'lchash uchun xizmat qiladi. Katodni turli xil to'liq uzunlikdagi yorug'lik bilan nurlantirib, Stoletov ul'trabinafsha nurlar eng effektiv ta'sir ko'rsatishini aniqladi. Bundan tashqari, zanjirda tok ta'sirida hosil bo'ladigan tok kuchi uning oqimiga to'g'ri proporsional ekanligini aniqladi.

Stoletov tekshirishlarining hozirgacha o'z ahamiyatini yo'qotmagan asosiy natijalari quyidagi xulosalardan iborat:

- 1) Jism yutayotgan ul'trabinafsha nurlar eng kuchli ta'sir ko'rsatadi.
- 2) Fototokning kuchi jismning yoritilganligiga proporsionaldir.
- 3) Yorug'lik ta'sirida *manfiy* zaryadlar ajralib chiqadi.

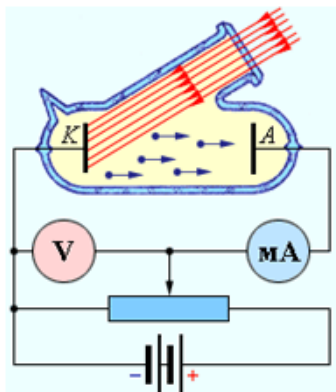
Lenard va Tomsonlar 1898 yilda elektr va magnit maydonlarida zaryadlarning og'ish metodiga asoslanib, yorug'lik katoddan chiqaradigan zaryadlangan zarrachalarning solishtirma zaryadini aniqladi va quyidagicha natija oldilar: $e/m = -5,27 \cdot 10^{17} \text{ SGSE birl./g}$, bu esa elektronning solishtirma zaryadi bilan mos tushadi. Bu yerdan esa yorug'lik ta'sirida katod moddasidan elektronning chiqarilishi ro'y berishini ko'rish mumkin. Bu hodisa fotoelektrik effekt yoki oddiygina qilib **fotoeffekt** deb ataladi.

Fotoeffekt ikki xil bo'ladi: 1) agar elektronlar yoritilayotgan modda tashqarisiga chiqsa, bunga tashqi fotoeffekt deyiladi. Fotoelektron moddadan chiqishi uchun, u moddaning chiqish ishidan katta bo'lgan kinetik energiyaga ega bo'lishi kerak; 2) agar elektronlar moddaning «o'z» atomlari va molekulalari bilan bog'lanishidan to'la ozod bo'lsa-yu, ammo moddadan tashqariga chiqmasa, bunday hodisani ichki fotoeffekt deyiladi va uni amerikalik olim U.Smit birinchi bo'lib 1873 yilda aniqlagan. Ichki fotoeffekt moddaning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi.

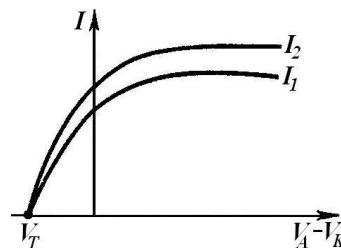
2. Fotoeffekt qonunlari: Fotoeffekt qonunlarini o'rganish eksperimenti 15.3-rasmda keltirilgan qurilmada amalga oshirildi.

Kvars oynacha orqali berilayotgan yorug'lik ta'sirida K katoddan chiqayotgan elektronlar A anod tomonga harakatlanadilar va zanjirda tok hosil bo'ladi va bu tokni gal'vanometr G orqali qayd qilinadi. Dastlabki tadqiqotlarda bu hodisaning

yoritilayotgan sirtning **tozaligiga** juda ko'p bog'liq ekanligi aniqlandi. Haqiqatan ham, tajribalar fototok kuchining elektrodlariga berilgan V potentsiallar farqiga bog'lanishi (ya'ni fototokning *xarakteristikasi*) 15.4-rasmdagi ko'rinishga ega ekanligi haqida dalolat beradi. Uncha katta bo'lmagan tezlashtiruvchi potentsiallar farqi berilganda tok o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi (*to'yinish toki*); ma'lum tormozlovchi (sekinlashtiruvchi) potentsiallar farqi V_T berilganda tokning qiymati nolga teng bo'lib qoladi.



15.3-rasm.



15.4-rasm.

Fototokning to'yinishga intilishini A.G.Stoletov ham ko'rsatib o'tgan edi. Puxta o'tkazilgan o'lchashlar natijasida fotoeffektning quyidagi to'rtta qonuni aniqlangan:

1. Muayyan fotokatodga tushayotgan yorug'likning spektral tarkibi o'zgarmas bo'lsa, fototokning to'yinishi qiymati yorug'lik oqimiga to'g'ri proporsional.
2. Elektron qabul qiladigan E energiya na tushayotgan yorug'likning intensivligiga, na yoritilayotgan moddaning tabiatiga, na uning temperaturasiga bog'liq emas; bu energiya tushayotgan monoxromatik yorug'likning chastotasigagina bog'liq bo'lib, chastota ortishi bilan ortib boradi.
3. Har bir fotokatod uchun biror «qizil chegara» mavjud bo'lib, undan kattaroq to'lqin uzunlikli yorug'lik ta'sirida fotoeffekt vujudga kelmaydi. λ_q ning qiymati yorug'lik intensivligiga mutlaqo bog'liq emas, u faqat fotokatod materialining kimyoviy tabiatiga va sirtining holatiga bog'liq.
4. Yorug'likning fotokatodga tushishi bilan fotoelektronlarning hosil bo'lishi orasida sezilarli vaqt o'tmaydi.

Fotoeffektga oid 1-qonunni hamda fotoeffekt hodisasining yuzaga kelishini to'lqin nazariyasi asosida tushuntirish mumkin. Lekin to'lqin nazariya 2-, 3- va 4-qonunlarni tushuntirishda qiyinchilikka duch keladi. Stoletov tajribasida metalni monoxromatik yorug'lik bilan nurlantirilganda fototokning elektrodlar orasidagi potentsiallar farqiga bog'liqligini (bunday bog'liqlikni fototokning vol't-amper xarakteristikasi deb ataladi, 15.3-rasm) o'rganib, quyidagilar aniqlandi: 1) fototok nafaqat $V_A - V_K = 0$ da, balki

$V_A - V_K < 0$ da ham vujudga keladi; 2) fototok ayni metall uchun juda aniq bo'lgan potentsiallar farqining tormozlovchi (sekinlashtiruvchi) potentsial deyiluvchi $V_A - V_K = V_T$ qiymatigacha noldan farqli bo'ladi; 3) tormozlovchi potentsialning kattaligi tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liqmas; 4) tormozlovchi potentsialning absolyut qiymati kamayishi bilan fototok o'sadi; 5) $V_A - V_K$ o'sishi bilan fototok o'sadi va $V_A - V_K$ ning qandaydir (to'yinish toki deyiluvchi) ma'lum bir qiymatidan fototok doimiy bo'lib qoladi; 6) to'yinish tokining kattaligi tushayotgan yorug'lik intensivligining oshishi bilan o'sadi; 7) tormozlovchi potentsial kattaligi tushayotgan yorug'lik chastotasiga bog'liq; 8) yorug'lik ta'sirida ajratib olingan elektronlarning tezligi yorug'lik intensivligiga emas, balki faqat uning chastotasiga bog'liqdir.

3.Eynshteyn formulasi. Yorug'likning kvant nazariyasi va fotoeffekt: Yorug'likning to'lqin nazariyasi bilan fotoeffekt hodisasi orasida nomuvofiqliklar mavjud. Buning sabablarini tushuntirish maqsadida 1905 yilda A.Eynshteyn yorug'likning kvant nazariyasini taklif qildi. U Plank nazariyasini yorug'likka nisbatan qo'llab, yorug'lik kvantlar tariqasida nurlanibgina qolmasdan, balki yorug'lik energiyasini tarqalganda ham, yutilganda ham kvantlangan bo'lishini ta'kidladi. Bu kvantlarning energiya va impul'slari quyidagicha aniqlanadi:

$$E_0 = h\nu, \quad \vec{p} = \frac{h\nu}{c} \vec{k}_0 \quad (15.1)$$

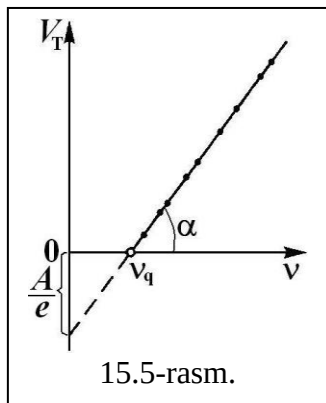
bu yerda $\vec{k}_0$ – to'lqin vektor bo'yicha yo'nalgan birlik vektor. Metallardagi fotoeffekt hodisasiga Eynshteyn energiyaning saqlanishini qo'llab, quyidagi formulani taklif etdi: $h\nu = A_{ch} + \frac{mv^2}{2}$, (15.2) bu yerda A_{ch} – metaldan elektronning chiqish ishi, ν – fotoelektron tezligi. (15.2) ifoda Eynshteyn formulasi deyiladi. Eynshteynga binoan, har bitta kvant bitta elektron tomonidan yutiladi, bunda tushuvchi foton energiyasining bir qismi elektronning metaldan chiqish ishini bajarishga sarflansa, energiyaning qolgan qismi elektronga $mv^2/2$ kinetik energiyaga berishga sarflanadi.

(15.2) dan ko'rinib turibdiki metallarda fotoeffekt faqat $h\nu \geq A_{ch}$ holdagina vujudga kelishi mumkin, aks holda foton energiyasi metaldan elektronni ajratib olishga yetmaydi. Bundan ko'rinib turibdiki, fotoeffekt vujudga kelishi mumkin bo'lgan eng kichik chastota

$$h\nu_{\min} = A_{ch} \quad (15.3)$$

shartdan aniqlanishi kerak, bu yerdan esa $\nu_{\min} = \frac{A_{ch}}{h}$ (15.3a) kelib chiqadi. (15.3a)

shart bilan aniqlanadigan yorug'lik chastotasi fotoeffektning «qizil chegarasi» deb ataladi.



Eynshteyn formulasi asosida fotoeffekga oid boshqa qonuniyatlarni ham tushuntirish mumkin. Olaylik, $V_A - V_K < 0$, ya'ni anod va katod orasida tormozlovchi potensial mavjud bo'lsin. Agar elektronlar yetarlicha katta kinetik energiyaga ega bo'lsa, ular tormozlovchi maydondan o'tib, fototok hosil qiladilar. Fototokda $mv^2/2 > eV_T$ shartni qanoatlantiradigan elektronlar ishtirok

etadi. Tormozlovchi potensial kattaligi $\frac{mv_{\max}^2}{2} = eV_T$

(15.4) shartdan aniqlanadi. Bu yerda $v_{\max}$ – ajralgan elektronlarning maksimal

tezligi. (15.4) ifodani (15.2) qo'ysak $h\nu = A_{ch} + eV_T$ ni olsak, bu yerdan $V_T = \frac{h}{e}\nu - \frac{A_{ch}}{e}$

(15.5) ga ega bo'lamiz. SHunday qilib, tormozlovchi potensial kattaligi intensivlikka bog'liq bo'lmasdan, faqat tushayotgan yorug'lik chastotasiga bog'liq bo'lar ekan.

Metaldan elektronlarning chiqish ishini va Plank doimiysini tormozlovchi potensial V_T ning tushayotgan yorug'lik chastotasi ν ga bog'liqlik grafigini tuzib, topish mumkin (15.5-rasm). Ko'rinib turibdiki, $\tan \alpha = h/e$ va potensial o'qini kesuvchi kesma esa A_{ch}/e ni beradi. Yorug'lik intensivligi fotonlar miqdoriga to'g'ri proporsional bo'lganligi sababli, tushuvchi yorug'lik intensivligini oshirish ajratilgan elektronlar sonining, ya'ni fototokning oshishiga olib keladi.

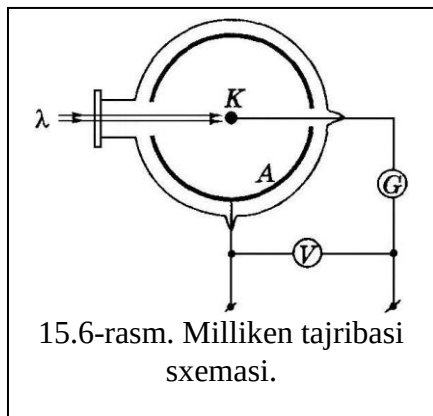
Nometall moddalarda Eynshteyn formulasi quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$h\nu = A_{ch} + A_1 + \frac{mv^2}{2}$ (15.6). Bu yerda A_1 – nometall moddalardagi bog'langan

elektronning atomdan ajratish ishi. Uning mavjudligi quyidagicha tushuntiriladi: metallarda erkin elektronlar mavjud bo'lsa, nometallarda elektronlar atomlar bilan bog'langan holatda bo'ladilar. Demak, nometallarga yorug'lik tushganida yorug'lik energiyasining bir qismi atomda fotoeffektga – atomdan elektronni ajratishga, energiya qolgan qismi esa elektronning chiqish ishiga va elektronga kinetik energiya berishga sarflanadi. Metallardan farqli ravishda yarimo'tkazgichlarda va dielektriklarda ichki fotoeffekt paydo bo'ladi. Bunda valent zonadagi elektronlar

uygʻonib oʻtkazuvchanlik zonasiga oʻtadilar. Ichki fotoeffektda yutiluvchi yorugʻlik kvantining energiyasi taqiqlangan zona kengligidan kichik boʻlishi kerak.

4.Milliken tajribasi: 1916 yilda oʻtkazilgan Milliken tajribalari Eynshteynning nazariy formulasini ajoyib ravishda eksperimental tasdiqladi. Bu yerda ishlatiluvchi



katod K sferik qoplama – anod A ning markaziga oʻrnatilgan uncha katta boʻlmagan shar shaklida edi (15.6-rasm). Bunday konfiguratsiyada katoddan ajralgan deyarli barcha elektronlar, tezlashtiruvchi potentsiallar farqi mavjud boʻlmaganida ham, anodga yetib boradi. Bundan tashqari bunday fotoelementning V bilan ν oʻrtasida qatʼiy chiziqli bogʻlanish bor ekanligini koʻrsatdi (15.4-rasm). Oʻrganilgan bir necha metallar (Na , Mg , Al , Cu) uchun chizilgan toʻgʻri chiziqlarning ogʻish burchagini hisoblab,

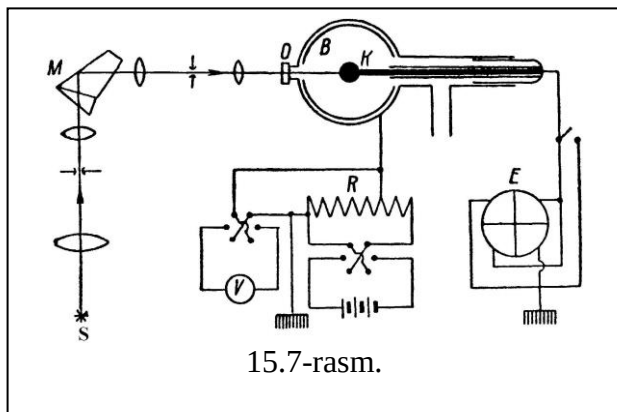
h doimiyning qiymati aniqlangan edi. Oʻlchash natijasida topilgan oʻrtacha qiymat $h=6,67 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ boʻlib, boshqa tur tajribalarda aniqlangan qiymatlar bilan bir xil boʻldi.

5.Lukirskiy-Prilijayev tajribasi: Keyinchalik bu usul P.I.Lukirskiy va S.S.Prilijayev tomonidan 1930 yilda yaxshilandi (15.7-rasm). Ular fotoeffektni tadqiq qilishda vakuumli sferik kondensator metodidan foydalanishdi. 11 sm radiusli B shisha shar (ichkarisidan kumushlangan) sferik kondensatorning tashqi qoplamasi hisoblanib, u anod vazifasini bajardi.

K katod esa radiusi 1,5 sm boʻlgan shar tadqiq qilinayotgan metall (nikel) dan tayyorlandi va simob lampasi bilan yoritildi. Fotoeffektni vujudga keltiruvchi simob lampasining liniyalari kvars prizmalı monoxromator bilan ajratildi. Ushbu tajribalarda fototok kuchining V oʻrtasida nisbatan qatʼiy tushish bor ekanligi kuzatildi.

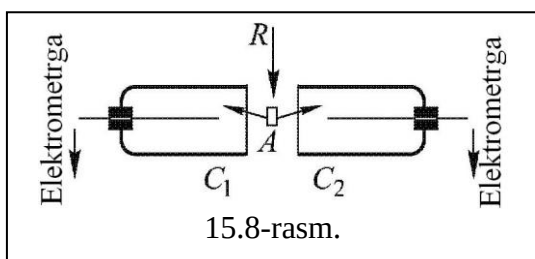
C trubka kondensator ichidagi havoni vakuumli nasos yordamida soʻrib olish uchun xizmat qildi. Katod bilan anod orasidagi kuchlanish V potentsiometr yordamida boshqarib turildi. K katod ye kvadrant elektrometrga ulandi. Fototokning kuchi elektrometrda 1,5—2 minut vaqt ichida toʻplangan zaryadning qiymati boʻyicha oʻlchandi. Bu tokning oʻrtacha qiymati anchagina katta aniqlikda 10-13 A ni tashkil qildi. k_1 kalit elektrometrni yerga ulab, undan zaryadni yoʻqotish uchun xizmat qildi. P.I.Lukirskiy va S.S.Prilejyev tajribasida fotoelektronlar maksimal kinetik energiyasining tushuvchi yorugʻlik chastotasiga chiziqli bogʻliq ekanligi eksperimental

tasdiqlandi va bu bog'lanish grafigining egilish burchagidan Plank doimiysi uchun $h = 6,658 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ qiymat olindi.



Millikenning o'lchash natijalaridan foydalanib Eynshteyn formulasi yordamida chiqish ishini hisoblab topish mumkin. Chastotaning $V=0$ ga mos keladigan $\nu = \nu_q$ qiymatini, ya'ni Milliken to'g'ri chizig'ining absissalar o'qi bilan kesishish nuqtasini topamiz: $A = h \nu_q$.

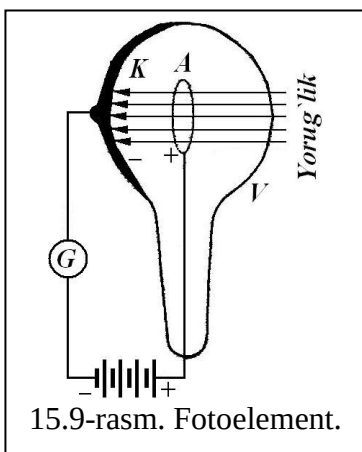
6. Bote tajribasi: Yorug'lik kvantlarining mavjudligini tasdiqlovchi qator tajribalar o'tkazilgan. Shulardan biri nemis olimi Bote tomonidan amalga oshirilgan (15.8-rasm). Yon tomondan R Rentgen nurlari bilan yoritilgan yupqa A plyonkaning



o'zi Rentgen nurlarining manbai bo'lib qoladi (*Rentgen fluoressensiyasi*). Ikkita C_1 va C_2 sanagichlar simmetrik joylashgan. Rentgen nurlari bu sanagichlardan biriga tushishi natijasida elektrometrning tolasi darrov (10^{-3}s dan kam vaqtdan keyin) qo'zg'aladi. Tolaning bu

qo'zg'alishlari avtomatik ravishda umumiy lentaga qayd qilinadi. Agar A plyonkadan har tomonga to'lqinlar tarqaladigan bo'lsa, ikkala sanagichning ishi bir vaqtda, uyg'un ravishda (arzimaydigan tasodifiy o'zgarishlar bilan) bo'lishi kerak. Aksincha, agar Adan kvantlar dam u tomonga, dam bu tomonga uchadigan bo'lsa, u holda elektrometrlarning ko'rsatishlari tartibsiz bo'ladi va faqat tasodifangina bu ko'rsatishlar

bir-biriga yaqin yoki bir vaqtda bo'lishi mumkin. Tajriba elektrometrlar ko'rsatishlari tartibsiz bo'lishini, ya'ni kvantlar A dan goh u tomonga, goh bu tomonga uchishini yaqqol ko'rsatdi. Bu yerdan esa nurlanish fol'gadan to'lqinlar ko'rinishida emas, balki yorug'lik kvantlari ko'rinishida tarqaladi deb xulosa qilish mumkin.



Shunday qilib, fotoeffekt to'g'risida yuqorida bayon qilingan ma'lumotlarning barchasi yorug'lik kvantlari haqidagi tasavvurlardan dalolat beradi. Chastotasi ν ga teng bo'lgan yorug'lik atomdan $h\nu$ ga teng energiya porsiyasi

sifatida chiqibgina qolmay, balki kelajakda fazoda tarqalganda va modda bilan o'zaro ta'sirlashganda ham ana shunday ko'rinishda saqlanib qoladi, deyish mumkin. Yorug'likning bunday elementar zarralariga *foton* degan maxsus nom berilgan. Fotonning energiyasi uning chastotasiga bog'liq va $h\nu$ ga teng. Oldin nisbiylik nazariyasining asosiy xulosalaridan biri: zarrachaning energiyasi E bilan uning massasi m uzviy bog'langandir va $E = mc^2$ kabi aniqlanadi. Shunga asosan fotonning massasi $m = \frac{h\nu}{c^2}$ (15.7) ifoda bilan aniqlanishi kelib chiqadi. Foton yorug'lik tezligi bilan

harakat qilgani uchun u, absolyut qiymati $p = mc = \frac{h\nu}{c}$ (15.8) ga teng bo'lgan impul'sga egaligi kelib chiqadi va bu impul'sning yo'nalishi to'liq yo'nalishi bilan bir xildir. Shunday qilib, foton energiyasi $h\nu$ ga, massasi $h\nu/c^2$ ga va impul'si $h\nu/c$ ga teng bo'lgan zarracha ekan.

7.Fotoelementlar, fotokuchaytirgichlar: Tashqi va ichki fotoeffekt hodisalariga asoslanib yorug'lik signallarini elektr signallariga aylantiruvchi qabul qilgichlar zamonaviy sanoatda juda ko'p ishlab chiqarilmoqda; bularning umumiy nomi *fotoelementlar* deb ataladi. Ular texnikada va ilmiy tadqiqot ishlarida juda keng ishlatiladi. Hozirgi kunda turli-tuman optik o'lchashlarni biror turdagi fotoelementlardan foydalanmasdan o'tkazib bo'lmaydi. Hozirgi zamon fotometriyasi, spektrometriyasi va spektrning keng sohasidagi spektrofotometriyasi, moddaning spektral analizini, yorug'likning kombinatsion sochilishida kuzatiladigan zaif yorug'lik oqimlarini ob'yektiv o'lchashlarni, astrofizika, biologiya va boshqalarni fotoelementlarni qo'llamasdan tasavvur qilish qiyin; infraqizil spektrlar ko'pincha spektrning uzun to'liqlik sohasida ishlaydigan maxsus fotoelementlar yordamida qayd qilinadi. Fotoelementlar texnikada juda keng qo'llaniladi: ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish va nazorat qilish, tasvir uzatish va televideniya dan tortib lazerlarga asoslangan optik aloqagacha bo'lgan turli aloqa sistemalari hamda kosmik texnika fotoelementlar qo'llaniladigan sohalarning bir bo'lagi bo'ladi xolos, bu sohalarda fotoelementlar hozirgi zamon sanoati va aloqasining turli-tuman texnik masalalarini hal qilib beradi.

8.Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlar: Tashqi fotoeffekt asosida ishlaydigan birinchi vakuum fotoelementi 1889 yilda yasalgan. Tashqi fotoeffekt hodisasi vakuumli fotoelementlarda ishlatiladi (15.9-rasm). Vakuum hosil qilingan shisha ballon ichki devoriga surkalgan metall qatlami vakuum fotoelementning K katodi bo'lib xizmat qiladi. Anod A metall xalqa tarzida yasalgan bo'lib, ballonning markaziy qismiga joylashtirilgan. Katodni yoritganda fotoelement zanjirda elektr toki paydo bo'ladi. Bu tokning kuchi yorug'lik oqimi kattaligiga proporsionaldir.

Fotoelementlar yordamida hal qilinadigan masalalar juda turli-tuman bo'lgani uchun har xil texnik xarakteristikalariga ega bo'lgan fotoelementlarning juda ko'p turlari yaratildi. Har bir masalani hal qilishda fotoelementning optimal turini tanlash uchun bunday xarakteristikalardan xabardor bo'lish kerak. Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlarning (vakuum fotoelementlarining) quyidagi xarakteristikalarini bilish zarur: 1) spektrning qaysi sohasida ishlashi; 2) spektral sezgirligining nisbiy xarakteristikasi (bu xarakteristika monoxromatik yorug'lik bilan yoritilgan holdagi spektral sezgirlikning xarakteristikaning maksimumdagi sezgirlikka bo'lgan o'lchamsiz nisbatining tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liqligidan iborat); 3) umumiy sezgirlik (bu sezgirlik fotoelementni standart yorug'lik manbai bilan yoritganda aniqlanadi); 4) beradigan kvantlari miqdori (chiqayotgan fotoelektronlar sonining fotokatodga tushayotgan fotonlar soniga bo'lgan nisbatning protsent hisobidagi qiymati); 5) inersionlik (vakuum fotoelementlarida bu xarakteristika elektronlarning fotokatoddan anodga uchib borishiga ketadigan vaqt bilan aniqlanadi). Fotoelementning qorong'ilik toki ham muhim parametr bo'lib, u odatda fotokatodning xona temperaturasidagi termoemissiyasi bilan sirqish toki orqali aniqlanadi.

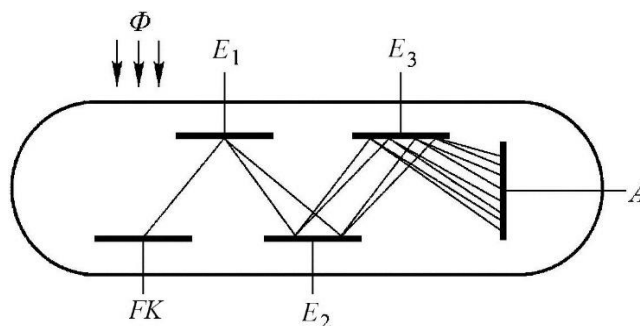
Fotokatodning materiali va kolbaning materialiga qarab fotoelementlarni 0,2 – 1,1 *mkm* diapazonida ishlatish mumkin. Ularning 1 *lyumen* yorug'lik oqimiga to'g'ri kelgan umumiy (integral) sezgirligi 20 – 100 *mkA* bo'ladi, termoemissiyasi esa 10^{-11} – 10^{-16} *A/sm²* ichida o'zgaradi. Vakuum fotoelementlarining eng muhim afzalligi ularning juda doimiy bo'lishi va yorug'likoqimi bilan fototok orasidagi bog'lanishining chiziqli ekanligidadir.

Shuning uchun ular spektrning ko'rinuvchan va ul'trabinafsha sohasida ob'yektiv fotometriya, spektrometriya, spektrofotometriya va spektral analizda uzoq vaqt ko'p qo'llanib kelindi. Vakuum fotoelementlarining yorug'lik o'lchashlarida qo'llanishdagi eng asosiy kamchiligi ular ishlab chiqaradigan elektr signallarning zaifligidadir. Bu kamchilik fotoelektron kuchaytirgichlarda (FEK larda) butunlay bartaraf qilingan bo'lib, bu asboblarni rivojlangan fotoelementlar deb hisoblash mumkin.

9.Fotoelektron kuchaytirgich (FEK) lar: 1934 yilda dastlabki FEK larga asos solingan. Ularning ishlash prinsipi bilan 15.10-rasmdan tanishish mumkin. Fotokatod (*FK*) dan chiqqan (emissiyalangan) fotoelektronlar elektr maydoni ta'sirida tezlashadi va birinchi oraliq E_1 elektrodga tushadi. Tushayotgan fotoelektronlar ikkilamchi elektronlarning chiqishiga sababchi bo'ladi; ma'lum sharoitlarda ikkilamchi emissiya fotoelektronlarning dastlabki oqimidan bir necha marta katta bo'lishi mumkin. Elektrodning konfiguratsiyasi shundayki, fotoelektronlarning ko'pchiligi E_1 elektrodga, ikkilamchi elektronlarning ko'pchiligi esa navbatdagi E_2 elektrodga tushadi, bu elektrodda ko'payish jarayoni qaytariladi va hokazo. Elektrodlar (dinodlar) 10 – 15

ta bo'ldi; bularning eng oxirgisidan chiqayotgan ikkilamchi elektronlar anodga yig'iladi.

Bunday sistemalarning umumiy kuchaytirish ko'effitsiyenti $10^7 - 10^8$ ga, umumiy (integral) sezgirligi lyumenga to'g'ri kelgan minglab amperga yetadi. Bundan FEKlar yordamida juda katta toklar olish mumkin degan xulosa chiqarmay, balki juda zaif yorug'lik oqimlarini o'lchash mumkin degan xulosa chiqarish kerak.



15.10-rasm. Fotoelektron kuchaytirgichlar.

Ravshanki, vakuum fotoelementlaridagidek texnik xarakteristikalar, shuningdek, kuchaytirish ko'effitsiyenti va uning ta'minlovchi kuchlanishga bog'liqligi FEK ni to'liq ta'riflab beradi. Hozirgi vaqtda hamma yerda vakuum fotoelementlarining o'rniga fotoelektron kuchaytirgichlar qo'llanilmokda. FEK larning kamchiliklari sifatida yuqori vol'tli va stabillashtirilgan manbadan foydalanish zarurligi, sezgirlik stabilligining bir oz yomon ekanligi va shovqinlar ko'p ekanligini ko'rsatish mumkin. Lekin fotokatodlar sovitilsa va chiqish toki emas, balki impul'slar soni (har bir impul's bitta fotoelektronga mos keladi) qayd qilinsa, yuqorida aytib o'tilgan kamchiliklarning salbiy ta'siri ancha kamaytirilgan bo'ladi.

Tashqi fotoeffektga asoslangan yorug'lik qabul qilgichlarning eng afzal tomoni fototokning yuklama qarshilik (nagruzka) o'zgarganda o'zgarmasligidir. Demak, fototokning qiymati qancha kichik bo'lmasin qarshiligi katta bo'lgan nagruzka qo'llash va natijada qarshilikda qayd qilish va kuchaytirish uchun yetarli kattalikdagi kuchlanish tushishiga ega bo'lish mumkin. Ikkinchi tomondan, qarshilik o'rniga sig'im ulash va bu sig'imdagi kuchlanishni o'lchab, ma'lum vaqt davomida tushayotgan o'rtacha yorug'lik oqimiga proporsional kattalikni aniqlash mumkin. Bu esa o'z navbatida yorug'likning stabillashmagan manbaidan tushayotgan yorug'lik oqimini o'lchash, ya'ni spektroanalitik o'lchashlarga xos bo'lgan hol uchun juda muhimdir.

Nazorat savollari

1. Fotoeffekt nima? Bu hodisani kim ochdi? Qaysi fizik olim bu hodisani sinchiklab o'rgandi?
2. Fotoeffekt qonunlarini ifodalang.

3. Fotoeffektning qizil chegarasi deganda nimani tushunasiz?
4. Fotoeffektning qaysi qonunlari klassik elektrodinamikani inkor qiladi? Bu qanday qarama-qarshilik?
5. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozing. Ushbu tenglama qanday saqlanish qonunini ifodalaydi?
6. Eynshteyn taklif qilgan fotoeffekt nazariyasi fotoeffekt qonunlarini qanday tushuntiradi?
7. Fotonning ta'sirida metall sirtidan uchib chiqqan elektronning kinetik energiyasi bu fotonning energiyasiga teng bo'lishi mumkinmi? Javobingizni asoslang.
8. Tushayotgan yorug'likning chastotasi 2 barobar kamaydi. Bu yorug'lik ta'sirida chiqarilgan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi ham 2 barobar kamaydi, deb aytilish mumkinmi? Javobingizni asoslang.
9. Turli metallar yuzasiga bir xil chastotali yorug'lik tushadi. Shu vaqtda birinchi metalda fotoeffekt kuzatiladi, ikkinchisiga esa kuzatilmaydi. Nima uchun?
10. Fotoeffektning qo'llanilishiga doir qanday misollar keltira olasiz?

Mustaqil yechish uchun masalalar:

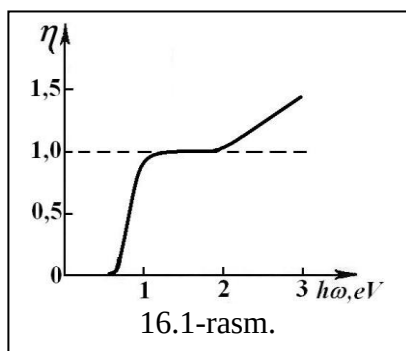
1. Agar natriy uchun fotoeffektning qizil chegarasi 500 nm bo'lsa, elektronlarning natriydan chiqish ishini toping³⁰.
2. Agar kumushning sirtiga to'lqin uzunligi 300 nm bo'lgan ultrabinafsha nurlanish yo'naltirilsa, fotoeffekt kuzatiladimi?
3. Agar fotoeffektning qizil chegarasi 307 nm va fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi 1eV bo'lsa, foton energiyasining qanday hisssasi fotoelektronni urib chiqarishga sarflangan?
4. Litiy sirtiga monoxromatik yorug'lik tushadi (310 nm) Elektronlar emissiyasini to'xtatish uchun 1,7 V dan kam bo'lmagan tutuvchi potensiallar farqini qo'yish kerak. Chiqish ishi aniqlansin.
5. Platina plastinkasini ultrabinafsha yorug'lik bilan nurlantirish natijasida vujudga kelgan fotoeffektni to'xtatish uchun 3,7 V tutuvchi potensiallar farqini qo'yish kerak. Agar platina plastinka boshqa plastinka bilan almashtirilsa, unda tutuvchi potensiallar farqini 6 V gacha ko'paytirish kerak bo'ladi. Elektronlarning shu plastinka sirtidan chiqish ishi aniqlansin.
6. Rux plastinkaga to'lqin uzunligi 220 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik tushadi. Fotoelektronlarning maksimal tezligini toping.
7. Fotoelektronlarning maksimal tezligini 10 Mm/s ga teng bo'lganda muayyan metalning sirtiga tushayotgan ultrabinafsha nurlanishning to'lqin uzunligi aniqlansin. Elektronlarning metaldan chiqish ishi hisobga olinmasin.

³⁰ Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 420 бет.

8. To'lqin uzunligi $0,3 \text{ nm}$ bo'lgan gamma nurlanish ta'sirida metaldan urib chiqarilgan fotoelektronlarning maksimal tezligini toping.
9. $1,53 \text{ MeV}$ energiyali gamma-fotonlar bilan nurlantirilganda metaldan uchib chiqqan fotoelektronlarning maksimal tezligini toping.
10. Gamma-fotonlar bilan nurlantirilgan metaldan uchib chiqayotgan fotoelektronlarning maksimal tezligi 291 Mm/s bo'lsa, Gamma-fotonlarning energiyasini toping.

16- §. Ichki fotoeffekt

- 16.1. Ichki fotoeffekt;
- 16.2. Ichki fotoeffektning kvant chiqishi;
- 16.3. Fotoo'tkazuvchanlik uchun asosiy xarakteristik munosabat;
- 16.4. Yarimo'tkazgichlarning fotoo'tkazuvchanligi;
- 16.5. Fotorezistorlar, fotoelementlar;
- 16.6. $p - n$ o'tishdagi fotoeffekt;
- 16.7. Dember effekti;
- 16.8. Fotomagnitoelektr effekt (Kikoin-Noskov effekti);
- 16.9. Fotoelementlar, fotoqarshiliklar;
- 16.10. Ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar.



1.Ichki fotoeffekt: Ma'lumki, yorug'lik ta'sirida modda sirtidan elektronlarning ajralib chiqishi va ularning boshqa muhitga, xususan vakuumga o'tish hodisasi *fotoelektron emissiyasi deyiladi*, hodisaning o'zi esa *tashqi fotoeffekt* deb ataladi. Bundan tashqari, *ichki fotoeffekt* deb ataladigan hodisa ham borki, u yarimo'tkazgichlarda va dielektrlarda kuzatiladi. Yarimo'tkazgichlar va

dielektrlar tomonidan yorug'likning yutilishi turli xil kvazizarrachalarning – elektronlar, teshiklar, fononlar va boshqalarning tug'ilishiga olib keladi. Bu hodisalarning barchasini ichki fotoeffekt singari qarash mumkin. Biroq, fotoeffekt deyilganda faqat zaryad tashuvchilar – o'tkazuvchanlik elektronlarining va teshiklarining yorug'lik tufayli tug'ilishi nazarda tutiladi. Bunda ikki xil hodisalar: *fotoo'tkazuvchanlik* va *foto - EYK* ning paydo bo'lishi ro'y berishi mumkin. Ichki fotoeffektni 1873 yilda birinchi bo'lib, amerikalik fizik U.Smit selenni yorug'lik bilan yoritganda, uning qarshiligi o'zgarishini kuzatgan. Ichki fotoeffektda optik jihatdan uyg'otilgan elektronlar yoritilgan jism ichida qolaverib jismning elektr neytralligini buzmaydi. Bunda moddadagi zaryadlarning konsentratsiyasi yoki ularning harakatchanligi o'zgaradi, natijada tushayotgan yorug'lik nuri ta'sirida moddaning elektr xususiyatlari o'zgaradi.

Ichki fotoeffekt faqatgina yarimo'tkazgichlar va dielektrlarda bo'ladi. Bunday fotoeffektni bir jinsli yarimo'tkazgichlarni yoritganda ularning o'tkazuvchanliklari o'zgarishidan aniqlash ham mumkin. *Fotoo'tkazuvchanlik* deb ataladigan bu hodisa asosida yorug'lik qabul qilgichlar, ya'ni *fotorezistorlarning* katta guruhi kashf qilingan

va muttasil mukammallashtirilmoqda. Fotorezistorlarda asosan kadmiy selenidi $CdSe$ va sul'fidi CdS qo'llaniladi.

2.Ichki fotoeffektning kvant chiqishi: Faraz qilaylik, yarimo'tkazgich chastotasi ichki effektning bo'sag'aviy chastotasidan katta bo'lgan yorug'lik bilan yoritalayotgan bo'lsin. Bo'sag'aviy chastota xususiy yarimo'tkazgichlarda taqiqlangan zona kengligi bilan va kirishmali yarimo'tkazgichlarda donor va akseptorli kirishmalarning ionizatsiya energiyasi bilan aniqlanadi. Valent zonaning yoki kirishmali sathlarning elektronlari tomonidan fotonning yutilishida shunga mos keluvchi kvant o'tishlar ro'y beradi. Natijada fotoo'tkazuvchanlikni vujudga keltiruvchi qo'shimcha (noturg'un) zaryad tashuvchilar paydo bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli moddaning eng muhim xarakteristikalaridan biri ichki fotoeffektning kvant chiqishi η – bitta yutilgan fotonga to'g'ri keluvchi optik generatsiyalangan zaryal tashuvchilar soni – hisoblanadi. O'tkazuvchanlik elektronlarining (η_n) va teshiklarining (η_p) kvant chiqishlari mavjud. Sof yarimo'tkazgichda (η_n)= η_p .

Kirishmasiz germaniy uchun $\eta(\hbar\omega)$ bog'liqlik 16.1-rasmda ko'rsatilgan. Foton energiyasi taqiqlangan zona kengligi darajasiga yetganda zaryad tashuvchilarning generatsiyasi boshlanadi. yetarlicha tez η ning kattaligi birga yaqin qiymatga erishadi. Foton energiyasi taqiqlangan zona kengligidan 2 – 3 marta oshganida zarbali ionizatsiya yo'li bilan olingan qo'shimcha zaryad tashuvchilarning generatsiyasi tufayli kvant chiqishning keyingi o'sishi ro'y beradi: bunda η birdan katta qiymatga erishadi. Kvant chiqishning o'sishiga qarshilik qiluvchi raqobatlashuvchi jarayonlar bo'lib, o'tkazuvchanlik elektronlarining uyg'otilishiga, eksitonlarning va fononlarning tug'ilishiga olib keluvchi fotonlarning yutilish jarayonlari hisoblanadilar. Yarimo'tkazgichda mos keluvchi markazlar mavjudligida yarimo'tkazgichga tushuvchi fotonlarning bir qismi fotolyuminessensiya jarayonlarida qatnashadilar.

Faraz qilaylik, yarimo'tkazgichning hajm birligida vaqt birligi ichida $\hbar\omega$ energiyali N ta foton yutilayotgan bo'lsin. U holda

$$G = \eta(\hbar\omega)N \quad (16.1)$$

kattalik zaryad tashuvchilarining yorug'lik generatsiyasining tezligi (yarimo'tkazgichning hajm birligida vaqt birligi ichida generatsiyalanuvchi berilgan belgili zaryad tashuvchilar soni) hisoblanadi.

3.Fotoo'tkazuvchanlik uchun asosiy xarakteristik munosabat: Yarimo'tkazgichda yorug'lik yutilishi bilan belgilanuvchi noturg'un o'tkazuvchanlik elektronlarining va teshiklarning konsentratsiyalari mos holda Δn va Δp bo'lsin. Yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi uchun ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz: $\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma$, (16.2) bu yerda $\Delta\sigma = e(\mu_n\Delta n + \mu_p\Delta p)$. To'liq o'tkazuvchanlik

σ turg'un o'tkazuvchanlik σ_0 va fotoo'tkazuvchanlik $\Delta\sigma$ larning summasi kabi topiladi. (16.2) ifodani, ayyonki, quyidagi ko'rinishda yozish mumkin: $\sigma = e(\mu_n n + \mu_p p)$, (16.3) bu yerda $n = n_0 + \Delta n$ va $p = p_0 + \Delta p$.

Maksimal ravishda soddalashtirish maqsadida yorug'lik nurlanishi yarimo'tkazgichning butun hajmida tekis yutiladi va demak, noturg'un zaryad tashuvchilarning yarimo'tkazgichning bir joyidan boshqa joyiga diffuziyasi mavjudmas deb faraz etamiz. Bundan tashqari, yorug'lik oqimi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi deb hisoblaymiz, ya'ni statsionar holatni qaraymiz. Ushbu sharoitlarda quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi: $g + \eta N = n / \tau$. (16.4)

Bu tenglik tashuvchilarning issiqlik (g) va yorug'lik (ηN) generatsiyalarining tezliklarining yig'indisi ushbu tashuvchilarning rekombinatsiyasiga tengligini bildiradi. $n = n_0 + \Delta n$ va $g = n_0 / \tau$ bo'lganligi uchun (16.4) ni $\eta N = \Delta n / \tau$ ga o'zgartiramiz va bundan quyidagini olamiz: $\Delta n = \eta N \tau$. (16.5) Bu munosabat *fotoo'tkazuvchanlik uchun asosiy xarakteristik munosabat* deyiladi. Umuman aytganda bunday munosabatlar ikkitadir: bittasi o'tkazuvchanlik elektronlari uchun, ikkinchisi esa – teshiklar uchun: $\Delta n = \eta_n N \tau_n$; $\Delta p = \eta_p N \tau_p$. (16.5a)

Olingan munosabatlarning fizik ma'nolari oddiydir. Yarimo'tkazgichda yorug'lik yutilishi bilan belgilanuvchi qo'shimcha zaryadlar tashuvchilarning soni qanchalik ko'p foton yutilsa, ushbu yarimo'tkazgichning kvant chiqishi qanchalik katta bo'lsa va qaralayotgan yarimo'tkazgichda tashuvchi qanchalik ko'p «yashasa» shunchalik ko'p bo'ladi.

4. Yarimo'tkazgichlarning fotoo'tkazuvchanligi: Bu kattalik fotoo'tkazuvchanlikning yarimo'tkazgichga tushayotgan yorug'lik oqimining zichligiga nisbati kabi aniqlanadi: $\xi = \Delta\sigma / S$ (16.6)

Yorug'lik oqimining zichligi S ni yarimo'tkazgichning hajmida vaqt birligi ichida yutilayotgan fotonlar soni N orqali ifodalaymiz. Vaqt birligi ichida birlik yuzaga tushayotgan fotonlar soni $S / \hbar\omega$ ga teng. Bulardan yarimo'tkazgichning sirtidan $S(1 - R) / \hbar\omega$ fotonlar qaytadi, bu yerda R – yorug'likning qaytish koeffitsiyenti. $S(1 - R) / \hbar\omega$ ni α ga ko'paytirib, bu yerda α – optik yutilishning chiziqli koeffitsiyenti (u uzunlikka teskari o'lchov birligiga ega), N ning kattaligini topamiz. SHunday qilib, $N = S(1 - R)\alpha / \hbar\omega$ va bu yerdan quyidagiga ega bo'lamiz: $S = \frac{N\hbar\omega}{(1 - R)\alpha}$ (16.7)

$$(16.7) \text{ ni } (16.6) \text{ qo'yib, } \xi = \frac{\Delta\sigma}{N\hbar\omega} (1 - R)\alpha \quad (16.8)$$

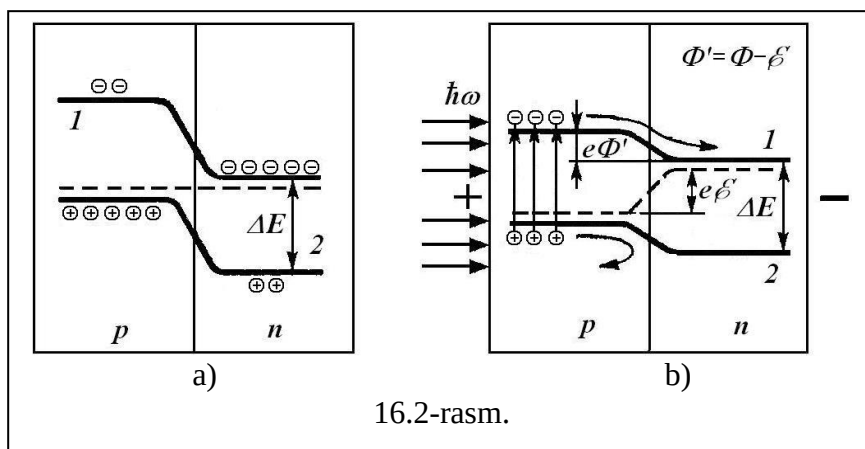
ni olamiz. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchining yashash vaqti τ va rekombinatsiyalovchi markazlar konsentratsiyasi N_r orasidagi $\frac{1}{\tau} = \gamma N_r$

bog'lanishni hamda (16.5a) ni e'tiborga olib, quyidagini olamiz:

$$\xi = \frac{e(1-R)\alpha}{\hbar\omega} (\mu_n \eta_n \tau_n + \mu_p \eta_p \tau_p) \quad (16.9)$$

Yarimo'tkazgichning fotoo'tkazuvchanligini aniqlovchi asosiy parametr – tashuvchilarning yashash vaqti hisoblanadi. Bu parametrni boshqarish uchun turli xil tipdagi kirishmalar ishlatiladi. Ularning konsentratsiyasi 10^{17} dan tortib to $10^{26} m^{-3}$ gacha bo'lgan keng chegaralarda o'zgaradi. Turli xil yarimo'tkazgichlar uchun tashuvchilarning yashash vaqti $10^{-13}s$ dan to o'nlab va yuzlab sekundlargacha bo'lgan qiymatga ega. Agar $\tau \geq 10^{-4}s$ dan katta yarimo'tkazgich fotosezgirliги yetarlicha katta hisoblanadi.

5.Fotorezistorlar, fotoelementlar: Birjinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichlarda o'tkazuvchanlikning o'zgarishidan tashqari potentsiallar farqi ham (*foto-EYK*) paydo bo'ladi. *Fotogal'vanik effekt* deb atalgan bu hodisaning sababi shundaki, yarimo'tkazgichlar bir tomonli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgani uchun o'tkazgich hajmidagi optik jihatdan uyg'otilgan va manfiy zaryadga ega bo'lgan elektronlar o'z elektronlarini yo'qotgan atomlar yaqinida paydo bo'ladigan va musbat zaryadga ega



16.2-rasm.

bo'lgan teshiklardan fazoviy ajratiladi. Elektron va teshiklar yarimo'tkazgichning qarama-qarshi uchlarida yig'iladi, natijada elektr yurituvchi kuch vujudga kelib, tashqi EYK berilmasa ham yoritilgan yarimo'tkazgichga

parallel ulangan yuklama qarshilik (nagruzka) orqali elektr toki o'ta boshlaydi. Shu tarzda yorug'lik energiyasi elektr energiyasiga bevosita aylantiriladi. Xuddi shu sababli yorug'likning fotogal'vanik qabul qilgichlari yorug'lik signallarini qayd qilish uchungina emas, balki elektr zanjirlarida elektr energiyasi manbai sifatida ishlatiladi. Ushbu effektning turli xil ko'rinishlari mavjud: 1) $p - n$ o'tishda ventil (bar'yer) li foto-EYK ning paydo bo'lishi; 2) diffuziyali foto-EYK ning paydo bo'lishi (*Dember effekti*); 3) magnit maydoniga joylashtirilgan yarimo'tkazgich yoritilganida foto-EYK ning paydo bo'lishi (*fotomagnitoelektr effekt* yoki *Kikoin-Noskov effekti*).

6. $p-n$ o'tishdagi fotoeffekt: p -tipdagi yarimo'tkazgich bilan n -tipdagi yarimo'tkazgichlarning kontaktini qaraymiz. Kontakt sohasida energetik zonalarning o'zaro siljishiga olib keluvchi zonalarning egrilanishi ro'y beradi (16.2, a-rasm). Rasmda shtrix chiziqlar bilan Fermi sathi (termodinamik muvozanat holatida p -sohaning Fermi sathi p -sohaning Fermi sathi bilan ustma-ust tushadilar), 1 bilan o'tkazuvchanlik zonasining osti va 2 bilan valent zonasining tepasi belgilangan. p -sohada asosiy tashuvchilar teshiklar hisoblanadilar; ularning konsentratsiyasi o'tkazuvchanlik elektronlarining konsentratsiyasidan ko'p marta kattadir. n -sohada teskari manzara kuzatiladi; u yerda elektronlar asosiy tashuvchilar hisoblanadilar. Elektronlarning konsentratsiyasi yuqori bo'lgan soha (n -soha) dan ularning konsentratsiyasi kichik bo'lgan soha (p -soha) ga diffuziyalanishiga balandligi $e\Phi$ ga teng bo'lgan potensial bar'yer to'sqinlik qiladi. Φ – kontakt potentsiallar farqi. Xuddi shuni teshiklarning diffuziyalanishiga ham qayd qilib o'tish mumkin. Boshqacha qilib aytganda, $p-n$ o'tishdagi kontakt potentsiallar farqi asosiy tashuvchilarning «o'z» sohalaridan ketishiga to'sqinlik qiladi. Shu bilan u noasosiy tashuvchilarning boshqa sohaga o'tishiga yordamlashadi (biroq bunga mos keluvchi tashuvchilarning, ularning ketishi mumkin bo'lgan sohada yuqori konsentratsiyada ekanligi to'sqinlik qiladi).

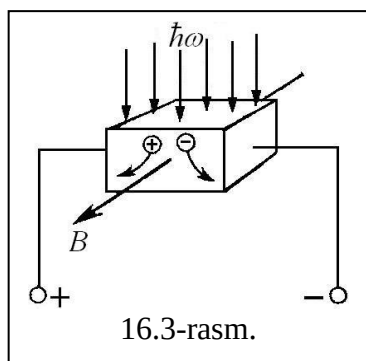
Faraz qilaylik, p -yarimo'tkazgichga tashqari tomondan energiyasi taqiqlangan zona kengligidan katta bo'lgan fotonlar oqimi tushayotgan bo'lsin (16.2, b-rasm). Fotonlar o'tkazuvchanlik elektronlarini va teshiklarni generatsiyalaydilar va bu hosil bo'lgan tashuvchilar p -soha orqali $p-n$ o'tish yo'nalishida diffuziyalana boshlaydilar. O'tkazuvchanlik elektronlari p -soha uchun noasosiy tashuvchilar bo'lganli uchun $p-n$ o'tishdagi ichki maydon ularni n -sohaga «tortadi». Teshiklar esa p -sohada asosiy tashuvchilar hisoblanadilar, shuning uchun $p-n$ o'tishdagi ichki maydon ularni tormozlaydi va orqasiga p -sohaga qaytaradi. Natijada optik generatsiyalangan elektronlarning va teshiklarning fazoviy bo'linishi ro'y beradi; p -yarimo'tkazgich musbat zaryad, n -yarimo'tkazgich manfiy zaryad oladi, bu esa foto - EYK ning paydo bo'lishiga ekvivalentdir. Bunda p -sohadagi va n -sohadagi Fermi sathlari bir-biriga nisbatan eE ga siljiydi, bu yerda E – foto - EYK; kontakt potentsiallar farqi E ga kamayadi (16.2 b-rasm).

7. Dember effekti: Qaralayotgan effekt nemis fizigi X.Dember tomonidan ochilgan. Faraz qilaylik yarimo'tkazgich notekis yoritilayotgan bo'lsin. Bunga turli xil yo'llar bilan erishish mumkin. Agar yarimo'tkazgich yetarlicha kuchli ravishda yorug'likni yutsa, u holda yoritilganlikning notekisligi hatto yarimo'tkazgichning barcha sirti bir xil zichlikdagi yorug'lik oqimi bilan yoritilganida ham vujudga keladi,

bu holda sirt yaqinida qatlam uning chuqurroq qatlamlariga qaraganda kuchliroq yoritiladi.

Barcha hollarda yarimo'tkazgichning ko'proq yoritilgan qismlarida, kamroq yoritilgan yoki umuman yoritilmagan qismlariga qaraganda, ko'proq elektron-teshik juftlar hosil bo'ladi. Elektronlar va teshiklar yanada yuqoriroq konsentratsiyali qismlaridan kichik konsentratsiyali qismlariga diffuziyalana boshlaydilar (kuchli yutuvchi yarimo'tkazgichda ular yoritilgan sirdan yarimo'tkazgichning ichiga diffuziyalanadi). Tashuvchining diffuziya koeffitsiyenti uning harakatchanligi μ orqali quyidagi tarzda ifodalanadi: $D = \mu k_B T / e$, bu yerda T – yarimo'tkazgich temperaturasi, k_B – Bol'sman doimiysi. $\mu_n > \mu_p$ bo'lganligi uchun $D_n > D_p$ bo'ladi. Elektronlar va teshiklarning diffuziya koeffitsiyentlari turlicha bo'lganligi elektronlarning ko'proq yoritilgan qismlardan kamroq yoritilgan qismlarga diffuziyalanishiga olib keladi. Natijada optik generatsiyalangan elektronlarning va teshiklarning fazoviy bo'linishi ro'y beradi – foto - EYK paydo bo'ladi. Ta'kidlash zarurki, foto - EYK uncha katta bo'lmaganligi sababli, Dember effekti amaliyotda qo'llanish topmadi.

8.Fotomagnitoelektr effekt (Kikoin-Noskov effekti): Bu effekt 1934 yilda rus fiziklari I.K.Kikoin va M.M.Noskovlar tomonidan ochilgan. Bu effekt 16.3-rasm



yordamida tushuntiriladi. Yorug'likni yetarlicha kuchli yutadigan, yorug'lik bilan yoritilgan, yarimo'tkazgich, yo'nalishi yorug'lik oqimiga perpendikulyar yo'nalgan magnit maydoniga joylashtiriladi. Agar magnit maydoni bo'lmaganida edi, optik generatsiyalangan elektronlar va teshiklar yarimo'tkazgich ichiga difuziyalanar va biz Dember effektini kuzatgan bo'lar edik. Magnit maydoni elektronlarni va teshiklarni turli tomonlarga og'diradi, bu bilan ularni

yorug'lik va maydon yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishda fazoviy ajratadi. Natijada bir necha o'nlab vol'tgacha yetadigan EYK paydo bo'ladi. Ushbu effekt asosida ishlovchi qabul qilgichlar infraqizil nurlanishni qayd qilish uchun ishlatiladi.

9.Fotoelementlar, fotoqarshiliklar: Ichki fotoeffektga asoslangan va fotoo'tkazuvchanlik hodisasidan foydalanadigan birinchi fotoelement 1875 yilda yasalgan edi. Garchi ichki fotoeffekt hodisasi tashqi fotoeffekt hodisasidan 50 yil ilgari kashf etilgan bo'lsa-da, tashqi fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlarga qaraganda oldinroq rivojlandi. XX asrning qirqinchi yillarida yarimo'tkazgichlar fizikasi tez rivojlangani va ichki fotoeffekt hodisasi chuqur o'rganilgani sababli yarimo'tkazgichli yangi fotoelementlar yaratila boshlandi.

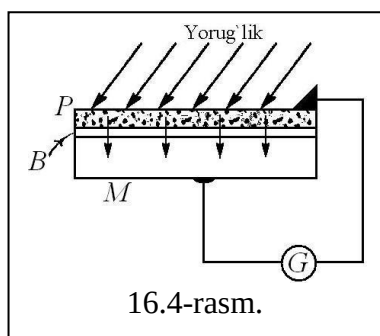
Ichki fotoeffektga asoslangan fotoelementlarni yarim o'tkazgichli fotoelementlar yoki fotoqarshiliklar deb ataladi. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarning fotosezgirliigi

vakuumli fotoelementlarning sezgirligidan yuzlarcha marta oshiq. Ba'zi fotoelementlar yaqqol ifodalangan spektral sezgirlikka ega.

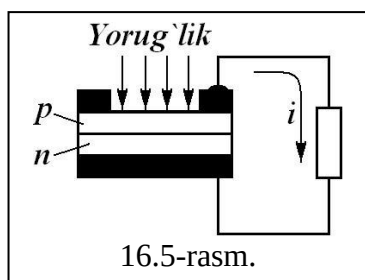
Fotodiodlar – ikkita chiqishga ega bo'lgan fotoelektr asbob bo'lib, uning ishlash prinsipi teskari ulangan elektr o'tishda fotogalvanik effektni ishlatishga asoslangan. Uning elektr o'tishi fotodiod rejimida ishlaydi. Ular radioelektronikada optik qabul qilgichlarning va tolali optik aloqa liniyalarida qabul qiluvchi modullarning va shunga o'xshashlarning tez harakatlanuvchi sezgir elementlar sifatida ishlatiladi.

Fotoqarshilik – yorug'lik ta'sirida o'zning qarshiligini o'zgartiruvchi ikkita chiqishga ega bo'lgan fotoelektr asbob hisoblanadi. Ularni optoparlarda, infraqizil diapazondagi optik qabul qilgichlarda, o'lchovchi sistemalarning dastlabki o'zgartiruvchilarida va shunga o'xshashlarda ishlatiladi.

Fotoelementlarning yana bir turi – berkituvchi qatlami yarim o'tkazgichli fotoelement yoki ventilli fotoelementlar ichki fotoeffektga asoslangan (16.4-rasm). Gal'vanometr G ulangan tashqi elektr zanjirga plastinka M va uning ustiga surkalgan yarim o'tkazgichning qatlami P ulangan. Yarimo'tkazgichning metall bilan qoplangan zonasida ventilli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan berkituvchi qatlam B hosil bo'ladi: bu qatlam elektronlarni faqat yarim o'tkazgichli tomonga o'tkazadi.



Yarimo'tkazgichli qatlamni yoritganda, ichki fotoeffekt tufayli, unda erkin elektronlar paydo bo'ladi. Bu elektronlar berkituvchi qatlam orqali metallga o'tib teskari yo'nalishda siljish imkoniyati bo'lmaganidan metallda ortiqcha manfiy zaryadni vujudga keltiradi. "O'z" elektronlarini qisman yo'qotgan yarim o'tkazgich musbat zaryadli bo'lib qoladi.



Ichki fotoeffekt yana Quyosh elementlarida yorug'lik energiyasi elektr yurituvchi kuchga aylantirib berish uchun ham ishlatiladi. Quyosh elementlaridan Quyosh batareyalarini yig'adilar, ular turli xil joylarda ta'minlash manbalari sifatida ishlatiladi.

16.5-rasmda elektr zanjiriga ulangan Quyosh elementi tasvirlangan. Amaliyotda ko'proq kremniy (aniqroq aytsak $p - Si$ va $n - Si$ kontakti) asosidagi Quyosh elementlari ishlatilmoqda. Ularning foydali ish ko'effitsiyentlari 15 – 20% larga yetadi. Galliy arsenidi ($GaAs$) asosidagi elementlar ham ishlatilmoqda. Ularning foydali ish ko'effitsiyentlari kichik bo'lsada, ular radiatsion buzilishlarga chidamli hisoblanadilar.

10. Ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar: Vakuum fotoelementlari va FEK lar spektrning infraqizil sohasida spektrometrik o'lchashlar o'tkazishga yaramaydi, chunki hozirgi vaqtda ishlatiladigan fotokatodlarning qizil chegarasi 1100 nm dan ortmaydi. Lekin hozirning o'zidayoq 3 – 4 mkm gacha bo'lgan sohada o'lchash o'tkazish imkoniyatini beradigan materiallar ma'lum. SHu sababli infraqizil sohada o'lchash o'tkazishda ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar qo'llaniladi. Ular qatoriga *InSb*, *PbSe* va *PbS* asosida yasalgan va 6 mkm gacha bo'lgan sohada o'lchashga imkon beradigan sovitilmaydigan fotorezistorlarni hamda oltin, rux, mis va boshqa metallar bilan legirlangan (maxsus usul bilan qo'shilgan) germaniy asosida ishlangan va 40 mkm gacha bo'lgan sohada o'lchashga imkon beradigan qattiq sovitiladigan fotorezistorlarni kiritish mumkin.

Spektrning uzunroq to'lqinlar qismida o'lchash o'tkazganda issiqlik qabul qilgichlardan foydalaniladi; ular tushayotgan nurlar ta'sirida isiganda yo o'z o'tkazuvchanliklarini o'zgartiradi yoki ularda EYK vujudga keladi. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarda elektr signalining kattaligi yoritilganlikka qat'iy chiziqli bog'langan emas. Bu kamchilik va fotoelement sezgirligining doimiy emasligi ta'minlovchi manbaning stabilmasligi, o'lchash sxemasining kuchaytirish qobiliyatining o'zgarib turishi kabi kamchiliklar ikki nurli sistemadan foydalanish bilan bartaraf qilinadi. Ikki nurli sistemada yutadigan moddadan o'tgan yorug'likning absolyut intensivligi emas, balki bu intensivlikning yoritayotgan manbaning yopyg'lik intensivligiga bo'lgan nisbati o'lchanadi.

Fotoelementlar qo'llaniladigan juda ko'p hollarda ularning o'lchash xususiyatlariga qat'iy talablar qo'yilmaydi. Shuning uchun ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar o'lchamlari kichik ta'minlovchi kuchlanishlar past bo'lgani va bir qator boshqa konstruktiv xususiyatlarga ega bo'lgani uchun avtomatik sistemalarda, boshqarish sistemalarida, Quyosh energiyasini o'zgartirishda, ishlab chiqarishni nazorat qilish va boshqa sohalarida keng qo'llaniladi. Bu fotoelementlarning inersion xususiyatlari yomonligi ularning qo'llanilishiga to'sqinlik qiladigan hollar bundan mustasnodir³¹.

³¹У.А.Аминов. Оптика (маърузалар матни). Урганч – 2007.

17- §. Yorug'lik bosimi. Lebedev tajribasi

17.1. Yorug'lik bosimi tushunchasi;

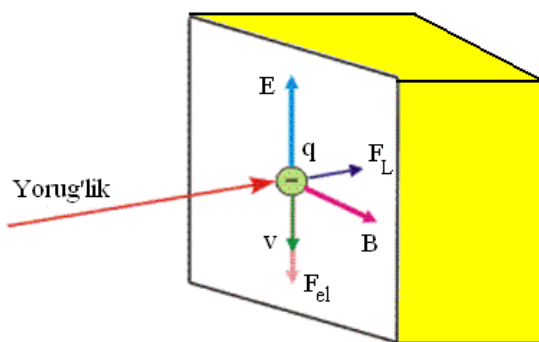
17.2. Lebedev tajribasi.

1. Yorug'lik bosimi tushunchasi: Astronom olimlar o'z kuzatishlarida Quyosh yaqinida harakatlanayotgan kometalarning gaz va chang zarralaridan tashkil topgan dumi Quyoshga nisbatan teskari tomonga cho'zilib ketishini aniqlaganlar. I.Kepler bu hodisani Quyosh nurlari bosimining natijasi sifatida tushuntirishga harakat qilgan. Ammo bu fikrning to'g'riligini isbotlash maqsadida o'tkazilgan ko'plab tajribalar kutilgan natijani bermagan³².

Maksvell nazariyasiga asosan, jism sirtiga tushayotgan har qanday elektromagnit to'lqin shu jismga bosim beradi. Elektromagnit to'lqinlar o'zi bilan birga energiyadan tashqari impuls ham olib o'tadi. To'lqinlar yutiladi va qaytadi, yutuvchi va qaytaruvchi sirtga impuls uzatadi, ya'ni bosim ko'rsatadi³³.

Bosimning vujudga kelishini quyidagicha mulohaza qilamiz. Yassi yorug'lik to'lqini metall sirtiga normal ravishda tushayotgan bo'lsin. U holda yorug'lik to'lqinining E va B vektorlari metall sirti bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Yorug'likning elektr maydoni ta'sirida metall sirtiga yaqin joylashgan elektronlar maydonga teskari yo'nalishda harakatga kela boshlaydi. Lekin shu vaqtning o'zida yorug'lik to'lqinining magnit maydoni B tomonidan xarakatlanayotgan elektronga Lorens kuchi (F_L) ta'sir qiladi. Bu kuch metall sirtiga perpendikulyar ravishda uning ichiga qarab yo'nalgan. Yoritilayotgan metall sirtining birlik yuziga ta'sir etadigan Lorens kuchlarining yig'indisi yorug'lik bosimini xarakterlaydi.



27.1-rasm. Yorug'lik bosimining hosil bo'lishi.

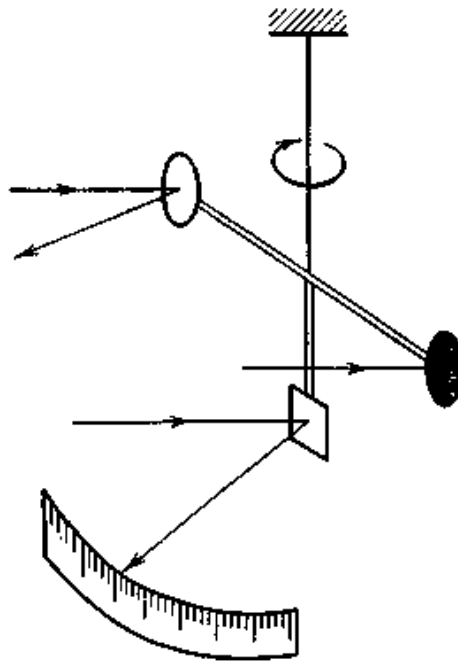
Maksvell nazariyasi asosida o'tkazilgan hisoblar natijasida yorug'lik bosimi uchun quyidagi formula shakllantirildi: $P = (1 + \rho) \cdot \omega$ (17-1) ga tengligini ko'rsatadi.

³² G'aniyev A.G va boshq. Fizika, II qism. Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun darslik. T.: O'qituvchi. 2005.-192 b

³³ Климовский А.Б. Курс лекций по физике. Часть 2. Электромагнетизм. Волны. Оптика. Квантовая физика.— 2-е изд., испр.— Ульяновск: УлГТУ, 2005. — 144 с.

Bunda $\omega = \frac{W}{V}$ (17-2) - sirtga tushayotgan yorug'lik dastasi energiyasining hajmiy zichligi, ρ -sirtning yorug'lik qaytarish koeffitsiyenti.

2. Lebedev tajribasi: Yorug'lik bosimini birinchi bo'lib 1900 yilda P.N. Lebedev tajribada aniqladi. Bu tajriba quyidagicha. Osongina buriladigan parrakning qanotlaridan biri qoraytirilgan, ikkinchisi esa yaltiroq qilib yasalgan. Bu qanotlarni navbatma-navbat yoritish orqali parrakning buralishlari taqqoslanadi. Parrak o'qiga yopishtirilgan ko'zgudan qayiuuvchi nurning og'ishiga asoslanib, buralish burchagi aniqlandi. Tajribalarda yorug'likning yaltiroq qanotga beradigan bosimi (P_{yal}) qoraytirilgan qanotga beradigan bosimi (P_q) dan ikki marta katta bo'lib chiqdi.



17.3-rasm. Lebedevning tajriba qurilmasi.

Bu natija Maksvellning nazariy xulosasiga mos keladi, ma'lumki ideal yaltiroq sirt uchun $\rho=1$, shuning uchun (1) asosan $P_{yal} = (1+1) \cdot \omega = 2\omega$ (17-3). Yorug'likni to'la yutuvchi qoraytirilgan sirt uchun $\rho=0$.

U holda $P_{yal} = (1+0) \cdot \omega = \omega$ (17-4)

Yorug'lik bosimining P.N.Lebedev tajribasida aniqlangan qiymati (17-1) formula asosida hisoblangan qiymatiga yaqin bo'lib chiqdi.

Yorug'likni kvant tasavvurlar asosida quyidagicha tushuntiramiz. Yuzasi S bo'lgan sirtga tik holda yorug'lik dastasi tushayotgan bo'lsin. Bu sirtga Δt vaqt ichida $V = Sl = Sc\Delta t$ hajmdagi N ta foton tushishga ulguradi deb hisoblaylik. Tabiiy sharoitda yorug'lik tushayotgan sirt absolyut oq ham, absolyut qora ham emas. Shuning uchun bu sirtning nur qaytarish koeffitsiyenti ρ ($0 < \rho < 1$) ga teng bo'ladi, sirt o'ziga kelib

tushgan N ta fotondan $\rho \cdot N$ tasini qaytaradi, $(1-\rho) \cdot N$ tasini esa yutadi. Qaytgan fotonlar sirtga $2\rho \cdot Nm_f c$ ga teng impul's beradi, yutilgan fotonlar esa $(1-\rho) \cdot Nm_f c$ ga teng impul's beradi. Natijada Δt vaqt ichida sirt quyidagicha impul's oladi: $\Delta P = 2\rho \cdot Nm_f c + (1-\rho) \cdot Nm_f c = Nm_f c(1+\rho)$ (17-5).

Impul'sning vaqt bo'yicha o'zgarishi kuchni beradi. Kuchning yuzaga nisbati esa

bosimni beradi: $P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta P}{S\Delta t} = \frac{Nm_f c^2(1+\rho)}{V}$ (17-6)

Bitta fotonning energiyasi - $W_0 = m_f c^2$; Sirtga Δt vaqt ichida tushgan energiya - $W = NW_0$. Ularni hisobga olib, yorug'lik bosimi uchun quyidagini yozamiz:

$$P = \Delta P = (1+\rho) \frac{Nm_f c^2}{V} = (1+\rho) \frac{NW_0}{V} = (1+\rho) \frac{W}{V} = (1+\rho)\omega \quad (17-7)$$

Bu formula Maksvell nazariyasida chiqarilgan formulaning o'zginasidir. Yoruhlikning bosimga ega bo'lishini 1864 yilda J.Maksvell aniqlagan. Eksperimental ravishda P.N.Lebedev (1866–1912) yorug'lik bosimini $P = 4,8 \cdot 10^{-8} Pa$ ga teng ekanligini aniqlagan. Yorug'likning bosimga ega bo'lishi, fotonning impul'si borligini bildiradi, ya'ni son-sanoqsiz fotonlar beradigan impul'slar yig'indisi sirtga beradigan bosimni hosil qiladi. Bitta fotonning absolyut oq sirtga va absolyut qora sirtga tushganda oladigan impul'slari ikki marta farq qiladi. Xuddi shuningdek barcha fotonlar absolyut oq va qora sirtlarga tushganda hosil bo'ladigan bosimlar ham ikki marta farq qiladi. Agar yuzasi S bo'lgan sirtga Δt vaqt davomida tushgan W yorug'lik energiyasining hammasi yuzadan qaytsa (absolyut oq jism) yorug'likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha:

$$P = \frac{2W}{Sc\Delta t} \quad (17-8)$$

Agar yuzasi S bo'lgan sirtga Δt vaqt davomida tushgan W yorug'lik energiyasining hammasi sirtga yutilsa (absolyut qora jism) yorug'likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha: $P = \frac{W}{Sc\Delta t}$ (17-9).

Sirtga burchak ostida tushgan yassi to'liinning sirtga ko'rsatadigan bosimi quyidagi formula bilan aniqlanadi: $P = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 (1+R) \cos^2 \alpha$ (17-10)

Yorug'lik bosimini to'lqin nazariyaga asosan quyidagicha aniqlash mumkin:
 $P = \langle \omega \rangle (1 + R) \cos^2 \alpha$ (17-11) R – qaytarish koeffitsiyenti

Korpuskulyar nazariyaga asosan o'rtacha yorug'lik bosimi
 $P = h n_f (1 + R) \cos^2 \alpha$ (17-12). Bu yerda n_f – sirtga tushadigan yorug'lik dastasidagi fotonlar konsentratsiyasi va $h n_f = \langle \omega \rangle$ – sirtga tushayotgan yorug'lik dastasi energiyasining hajmiy o'rtacha zichligi.

Maksvell o'z nazariyasiga asoslanib yorug'likni elektromagnit to'lqin deb atadi. Bu 1887 yilda Genrix Gers (H. Hertz, 1857–1894) birinchi marta elektromagnit to'liqlarni generatsiyalash va kuzatish tajribalarini amalga oshirgandan keyin o'z tasdig'ini topdi³⁴.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. To'lqin uzunligi 663 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik dastasi yaltiroq yassi sirtga normal tushadi. Energiya oqimi 0,6 Vt. Bu sirtga ta'sir etayotgan bosim kuchi hamda 5s vaqt davomida unga tushayotgan fotonlar soni aniqlansin.
2. To'lqin uzunligi 500 nm bo'lgan yorug'likning parallel dastasi 10 mkPa bosim hosil qilib qoraytirilgan sirtga normal tushadi. 1) dastadagi fotonlar konsentratsiyasi; 2) 1s vaqtda 1m² yuzali sirtga tushayotgan fotonlar soni aniqlansin³⁵.
3. Nurlarning tik tushishida yorug'lik bosimi 10 mkPa bo'lsa, yaltiroq sirtga tushayotgan nurlanish energiya oqimining sirtiyl zichligini toping.
4. Elektr lampasi tarqatayotgan energiya oqimi 600 Vt ga teng. Lampadan 1m masofada tushayotgan nurlarga tik ravishda diametri 2 sm bo'lgan yassi doiraviy oynacha joylashgan. Lampaning nurlanishi hamma yo'nalishlarda bir xil va oynacha o'ziga tushayotgan yorug'likni to'la qaytaradi deb hisoblab, oynachaga tushayotgan yorug'likning bosim kuchini aniqlang.
5. Yorug'lik elektr yoyidan yuzasi 1,5sm² bo'lgan ideal qaytaruvchi sirtli oynachaga normal tushadi. Agar oynachaga tushayotgan nurlanish oqimining sirt zichligi 0,1 MVt/ m² bo'lsa, oynacha olayotgan impul's aniqlansin. Nurlantirish 1 s davom etadi.
6. 380 nm to'lqin uzunligiga to'g'ri keluvchi (ko'rish spektrining binafsha sohasi) fotonning energiyasi, massasi va impul'sini toping.

³⁴ Климовский А.Б. Курс лекций по физике. Часть 2. Электромагнетизм. Волны. Оптика. Квантовая физика. – 2-е изд., испр. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. 55, 100 - стр.

³⁵ Чертов А.Г., Воробьев А.А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент.: Ўзбекистон. 1997. 421-424 бетлар.

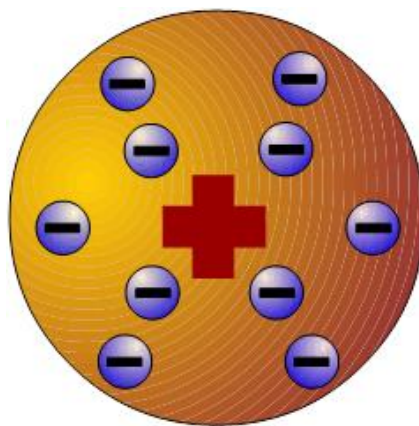
7. 600 nm to'lqin uzunlikli monoxramatik yorug'likning tushayotgan nurlarga tik joylashgan qora sirtga bosimi 0,1 mkPa. 1sm² yuzali sirtga 1s vaqtda tushuvchi fotonlar sonini toping.
8. To'lqin uzunligi 500 nm bo'lgan monoxramatik nurlanish yassi yaltroq sirtga tushadi va uni 10 nN kuch bilan bosadi. SHu sirtga har sekundda tushayotgan fotonlar sonini toping.
9. Monoxramatik yorug'likning (662 nm) parallel dastasi qoraytirilgan sirtga tushmoqda va unga 0,3 mkPa bosim bilan ta'sir ko'rsatmoqda. Yorug'lik dastasidagi fotonlar konsentratsiyasini toping.
10. Quvvati 100 Vt bo'lgan nuqtaviy izotrop yorug'lik manbai o'zidan to'lqin uzunligi 589 nm bo'lgan nur chiqaradi. Manbadan 2m uzoqlikda turgan nuqtadagi fotonlarning konsentratsiyasini toping³⁶.

³⁶ Турсунметов К.А., Узоқов А.А., Бўрибоев И, Худойберганов А.М. Физикадан масалалар тўплами. Академик лицей ва касб ҳунар коллежлари учун ўқув қўлланма. Т.: Ўқитувчи. 2005. 159-бет.

18- §. Rezerford tajribasi. Atomning yadro modeli.

Atomning murakkab tuzilishi haqidagi tasavvur XIX asrning oxirida paydo bo'lgan. Ungacha atomni bo'linmas zarra deb qaralgan. Ushbu g'oyani grek faylasufi Demokrit ilgari surgan. XIX asr oxiridagi 3 ta buyuk kashfiyot (elektron, rentgen nurlari va radioaktivlikning kashf etilishi) atom murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatib berdi. Shundan so'ng olimlar atom tuzilishini o'rgana boshladilar.

Atomning birinchi nazariy modelini 1903 yili Tomson taklif etdi (18.1-rasm). Uning fikriga ko'ra atom musbat zaryad bilan bir tekis to'ldirilgan sferadan iborat bo'lib, uning ichida elektron joylashgan bo'ladi (musbat zaryadlangan shar ichida manfiy zarralar suzib yuradi). Sferaning yig'indi musbat zaryadi elektron zaryadiga teng bo'lib, atom bir butun holatda neytraldir. Atomning massasi uning butun hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlangan. Atom ichida kuchli elektr maydon hosil bo'lmaydi.



18.1-rasm. Atomning Tomson modeli

Bu atom radiusini baholaylik. Atom chiqarayotgan spektr xarakterini tushuntirish uchun bu atomdagi elektron tebranma harakat qiladi va muvozanat holatida kvazielastik kuch bilan tutib turiladi deb qaraladi.

R radiusli atomda biror yo'l bilan muvozanat holatdan chiqarilgan elektron

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2}{mR^3}}$$

siklik chastota bilan tebranadi. Bu ifodadan

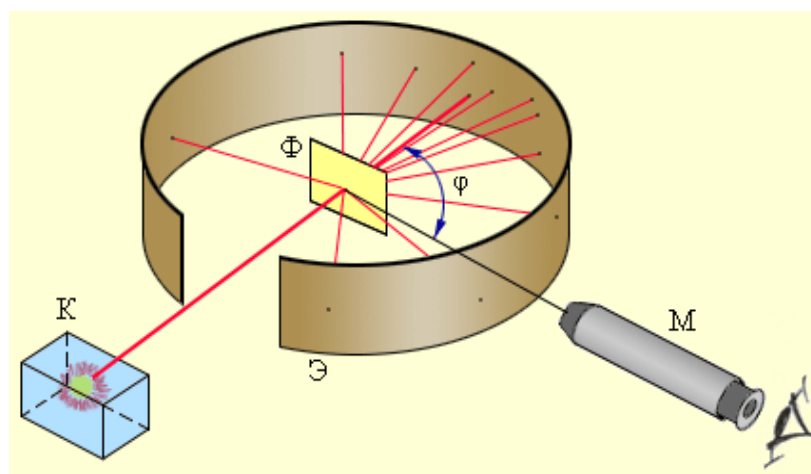
$$R = \sqrt[3]{\frac{e^2}{m\omega^2}}$$

ekanligini topish mumkin. Elektronning siklik chastotasi $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$ ni yuqoridagi ifodaga olib kelib qo'yilsa,

$$R = \sqrt[3]{\frac{e^2 \lambda^2}{4\pi^2 m c^2}}$$

hosil bo'ladi. Nurlanayotgan atom $\lambda = 0,6 \text{ mkm}$ uzunlikdagi nur chiqarayotgan bo'lsa, bundan tashqari $e = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE}$ z. b., $m = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$, $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ sm/s}$ ekanligi hisobga olinsa, u holda $R = 3 \text{ \AA}$ ekanligini topish mumkin. Demak, atom radiusining tartibi 10^{-10} m ni tashkil qiladi. U atomning gazokinetik o'lchamlari bilan mos tushadi.

Rezerford va uning rahbarligidagi guruh atomning Tomson modelini tekshirish uchun tajriba o'tkazishdi. Bu tajriba 1905-yilda boshlandi. Tajribada Rezerford radioaktiv yemirilish natijasida hosil bo'lgan ba'zi radioaktiv elementlardan uchib chiqadigan α – zarralardan foydalandi.



18.2 -rasm. Rezerford tajribasi qurilmasi

Alfa - zarra deyilganida ikki marta ionlashgan geliy atomi yoki geliy atomining yadrosi tushuniladi. α –zarra og'ir zaryadlangan zarra bo'lib uning zaryadi ikki elementar zaryadga teng. Massasi esa elektron massasidan taxminan 8000 marta katta. α – zarra tezligining tartibi 10^8 sm/s ni tashkil qiladi. Rezerford α – zarralar bilan yupqa qatlamli moddalarini bombardimon qildi.

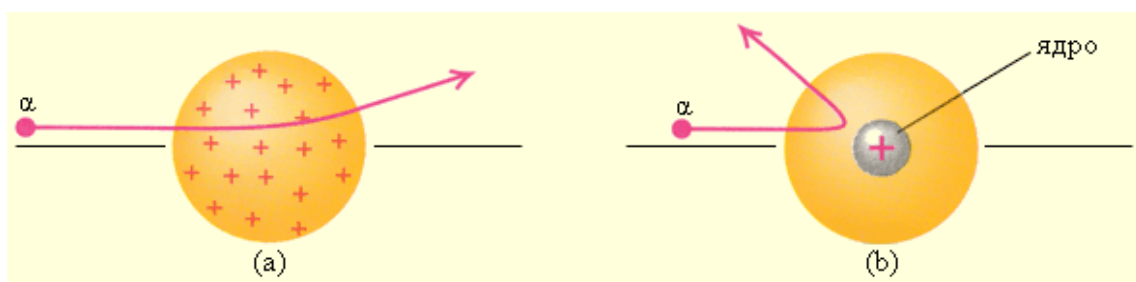
Rezerford o'tkazgan tajribaning qurilmasi 18.2-rasmda keltirilgan. Qurilma uncha murakkab bo'lmasdan u o'zidan α – zarralarni chiqaruvchi K radiy ampulasi, diafragma, rux sulfid bilan qoplangan E ekran va M mikroskopdan iborat bo'lgan.

Diafragma radiydan chiqayotgan α - zarralarning ingichka oqimini hosil qiladi va uni ekranga yo'naltiradi. Ekranga kelib tushgan α – zarra unda chaqnash ya'ni ssintillyasiyani hosil qiladi va bu chaqnash mikroskop orqali kuzatiladi. Oldindan ekranning qaysi nuqtasida chaqnash sodir bo'lishini bashorat qilib bo'lmaydi. Chaqnashlar ekranda tartibsiz ravishda paydo bo'ladilar, lekin ekranda diafragma tirqishining aniq tasviri hosil bo'ladi.

Agar α – zarralarning yo'liga F metal folga (oltin folga) qo'yilsa, tirqishning ekrandagi aniq tasviri o'rniga unchalik aniq bo'lmagan tasvir hosil bo'ladi. Bu yerda shuni ta'kidlash lozimki, mikroskop va ekran oltin folganing markazi orqali o'tgan o'q

atrofida aylana olishi mumkin. Shu sababli, ularni ko'rilayotgan o'qqa nisbatan biror θ burchak ostida o'rnatiladi. Alfa zarralarning havo molekulalarida sochilishining oldini olish maqsadida butun qurilma havosi so'rib olingan idish ichiga joylashtiriladi.

Tirqishning ekrandagi uncha aniq bo'lmagan tasviri tirqishning aniq tasviridan biroz kengroq bo'lib, u α – zarralarning to'g'ri chiziqli harakatidan chetlashishi tufayli yuzaga keladi. Bunday chetlashishlar unchalik katta emasligiga qaramasdan uning paydo bo'lishini tushuntirish uchun folga atomlarida kuchlanganligi 20 MV/m dan katta bo'lgan kuchli elektr maydonlari mavjud bo'lishi va atomning asosiy massasi uning butun hajmi bo'ylab emas, balki uning kichik hajmida mujassamlashgan bo'lishi kerak. Tomson taklif qilgan atomda esa bunday kuchlanganlikka ega elektr maydoni hosil bo'lmaydi hamda atom massasining asosiy qismi uning kichik bir hajmida mujassamlashgan emas. Agar α –zarraning chetlashishi uni atomdagi elektronlar bilan o'zaro ta'sirlashuvi hisobiga yuzaga keladi deb qaralsa, 20 km/s tezlik bilan harakatlanayotgan α – zarrani elektronlarga nisbatan snaryad zarra deyish mumkin. Massasi kelib urilgan zarra massasidan taxminan 8000 marta kichik bo'lgan elektron ham bu zarrani to'g'ri chiziqli harakatidan og'dira olmaydi. Bundan tashqari har 8000 sochilishlardan birida α – zarrani orqaga, ya'ni 180° burchakka sochilishi ham kuzatiladi.

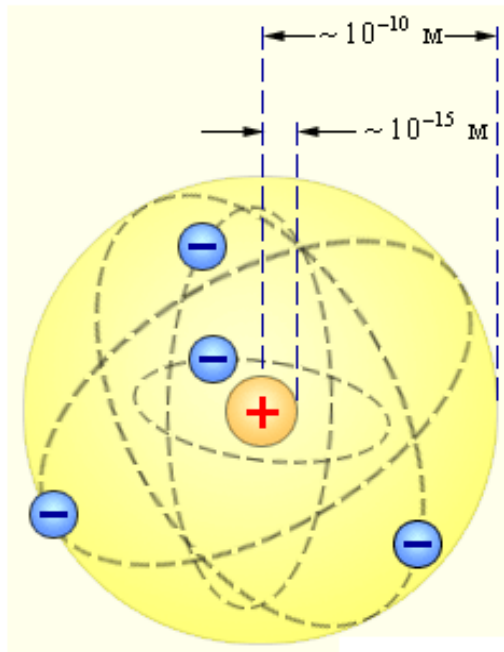


18.3-rasm. Rezerford tajribasida alfa zarralarning yo'li

Shundan keyin 1911-yilning 7-martida Manchester faylasuf olimlari jamiyati yig'ilishida Rezerfordning “ α - va β zarralarning sochilishi, atom tuzilishi” nomli ma'ruzasi tinglandi. U atom tuzilishi to'g'risidagi Tomson modelining noto'g'ri ekanligini isbot qilib berdi va bu model o'rniga atomning yadroviy planetar modelini taklif etdi.

Atomning yadroviy planetar modeliga asosan, atom markazida uning deyarli butun massasi yig'ilgan musbat zaryadli yadro joylashgan bo'lib, elektronlar atom ichida tinch tura olmaganliklari uchun, ular yadro atrofida $\sim 10^8$ sm masofalarda xuddi Quyosh atrofida planetalar aylangani singari harakatlanadilar (18.5-rasm) Rezerford o'z tajriba natijalariga asoslangan holda α – zarralarning oltin folgaga sochilish nazariyasini ishlab chiqdi va u asosida o'zining formulasini keltirib chiqardi.

α – zarraning boshlang'ich yo'nalishi bilan yadroga yaqin kelishi mumkin bo'lgan eng qisqa masofaga nishonga olish masofasi yoki nishonga olish parametri deyiladi va u b harfi bilan belgilanadi (18.3-rasm). α - zarra yadroga qanchalik yaqin kelsa, u shunchalik katta burchakka sochiladi yoki aksincha.



18.4-rasm. Atom va yadroning o'lchamlari

Nishonga olish parametri α – zarraning sochilish burchagiga bog'liq bo'ladi. Ana shu bog'lanish quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: $b = \frac{2Ze^2}{m_\alpha v^2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = \frac{Ze^2}{T} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}$ bu yerda θ - α – zarraning sochilish burchagi, T - α – zarraning kinetik energiyasi, m_α - α – zarraning massasi, v - uning tezligi Ze - sochuvchi yadroning zaryadi. Agar nishonga uchib kelayotgan snaryad zarraning zaryadi ze bo'lsa yuqoridagi formula Gauss sistemasida quyidagi ko'rinishda yoziladi: $b = \frac{2Zze^2}{m_\alpha v^2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = \frac{Zze^2}{2T} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}$

Boshlang'ich trayektoriyali α – zarra nishon yadro bilan ta'sirlashishi uchun yuzi $\sigma = \pi \cdot b^2$ bo'lgan doira orqali o'tishi lozim. Bu yerda σ – ushbu ta'sirlashuvning effektiv kesimi hisoblanadi va u bu ta'sirlashuvning ro'y bergan ehtimolini xarakterlaydi hamda *barn* ($1\text{barn} = 10^{-24} \text{sm}^2$) birligida o'lchanadi. Nishonga olish parametri $(b, b+db)$ oralig'ida o'zgaradigan α – zarra esa nishon yadro bilan ta'sirlashishi uchun yuza $d\sigma = 2\pi \cdot bdb$ bo'lgan xalqa orqali o'tishi kerak bo'ladi. Bunda $d\sigma$ sochilishning differensial effektiv kesimi hisoblanadi. U holda sochilishning differensial effektiv kesimi orqali ifodalangan Rezerford formulasi Gaus sistemasida quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$d\sigma = \left(\frac{Zze^2}{2m_\alpha v^2}\right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} = \left(\frac{Zze^2}{4T}\right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Bu yerda $d\Omega = 2\pi \cdot \sin \theta \cdot d\theta$ – sochilishning elementar fazaviy burchagi. Ushbu formuladan sochilishning differensial effektiv kesimi yoki effektiv kesimi sochilish burchagiga bog'liq ekanligi kelib chiqadi. Demak, zarra sochilishining ro'y berish ehtimoli uning sochilish burchagi bilan bevosita bog'liq bo'lar ekan. Shuningdek ushbu formuladan sochilish burchagi ortib borishi bilan $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ kattalikning keskin kamayib

borishi kuzatiladi. Ushbu kattalikning juda tez o'zgarishi bu formulani aniq tekshirish imkoniyatini beradi.

Rezerford formulasini Gauss sistemasida α – zarraning boshlang'ich $\vec{p}$ va sochilgandan keyingi $\vec{p}_\alpha$ vektorlari ayirmasining moduli orqali quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{(2m_\alpha Zze^2)^2}{|\vec{p} - \vec{p}_\alpha|^4}$$

$(\theta, \theta + d\theta)$ burchak ostida sochilgan α – zarralarning nisbiy soni orqali ifodalangan Rezerford formulasi Gauss sistemasida quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{dN}{N} = nd \left(\frac{Zze^2}{2m_\alpha v^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} = nd \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Bu yerda d - folga, sochuvchi moddaning qalinligi, n – undagi atomlar konsentratsiyasi. Bu formuladan $(\theta, \theta + d\theta)$ burchak ostida sochilgan α – zarralar soni shu zarralarning sochilish burchagiga va u kamayishi bilan ushbu zarralar soni juda tez ortib borishi kelib chiqadi³⁷.

Rezerford tajribasidan xulosa. “Atom”ning markaziga yo'naltirilgan zarraning orqaga qaytishi kuzatilganda, Rezerford ham o'z tajribasidan atomning markazida o'lchami $10^{-14}m$ bo'lgan o'zak (yadro) mavjud bo'lishi kerak degan xulosa chiqargan.

Yadroda atomning musbat zaryadi va massasining asosiy qismi (qariyb 95 foizi) joylashgan. Agar α – zarra oltin qog'ozdagi atom yadrosidan uzoqdan o'tsa, o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi, faqat yadroga duch kelib qolganda, uning orqaga qaytishi kuzatiladi. YAdro atomdan 10000 marta kichik bo'lgani uchun α – zarralarning 10000 tadan bittasi u bilan to'qnashishi va qaytishi kuzatilgan.

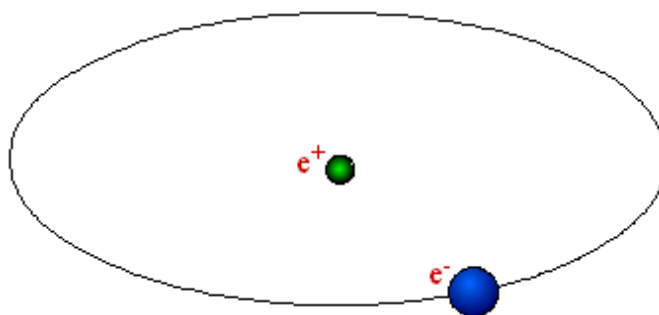
Rezerford tajribasida modda bilan ta'sirlashayotgan α – zarralarning qaysi biri (uning energiyasi va harakat yo'nalishiga bog'langan holda) qanday burchaklarga sochilishi tasoddiy hodisa, qanday energiyali va qanday yo'nalishga ega bo'lgan

³⁷Xudayberganov A.M., Mahmudov A.A. Atom fizikasi. Asosiy tushuncha, qonun, tajriba va formulalar. Toshkent.: “Navro'z”. 2018. 17-bet.

α -zarracha moddadan o'tayotganda aniq 180° burchakka sochilishini oldindan aniq aytish mumkin emas, bularning barchasi α -zarralarning modda bilan o'zaro ta'sir jarayoni statistik xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi. Demak bu hodisani o'rganishda statistik metod asosiy hisoblanadi.

Rezerford 1911-yilda tajriba natijalari asosida atomning yadroviy (planetar) modelini taklif qildi. Ushbu modelga ko'ra atom juda kichik "Quyosh sistemasi" dek tuzilgan deb tasavvur qilinadi. Elektronlar yadro atrofida (yopiq) orbitalar - ya'ni atomning elektron qobig'i bo'ylab harakatlanadi va ularning zaryadi yadrodagi musbat zaryadga teng (18.5-rasm).

Taklif qilingan model atomning tuzilishi haqida to'la xulosa chiqarishga imkon beradimi? Afsuski, yo'q. Mendeleyevning kimyoviy elementlar davriy sistemasida elementlar yadro zaryadlari kattaligining ortishi tartibida joylashganligidan, normal holatdagi neytral atomlar zaryadi Ze ga teng bo'lgan yadro va z ta elektronlardan tuzilgan. Musbat zaryadlangan yadro va uni o'rab turuvchi elektronlar atom ichidagi elektr maydonini hosil qiladi, atomning tashqarisida elektr maydoni ta'siri juda tez so'nadi. Tajribalar atomlarning turg'unligini ko'rsatadi, elektronlarning turg'un konfiguratsiyasi esa statik bo'lishi mumkin emas.



18.5-rasm. Vodorod atomining planetar modeli: e^+ -proton aylananing markazida joylashgan, e^- - elektron ma'lum masofada proton atrofida aylana bo'ylab harakat qiladi.

z ta musbat zaryadli og'ir yadro va z ta manfiy zaryadli elektrondan iborat atom sistemasi turg'un holatda joylashishi uchun, elektronlarning yadro atrofida uzluksiz harakatda bo'lishi talab qilinadi. Atomni z ta musbat zaryadli og'ir yadro va uning atrofida yopiq trayektoriya bo'ylab harakatlanuvchi z ta manfiy zaryadli elektronlardan tashkil topgan sistema ko'rinishida tasavvur qiluvchi modeli "atomlarning planetar modeli" deb ataladi.

Atomlarning planetar modeli atomlarning turg'unligini tushuntira olmaydi, chunki elektron zaryadlangan zarracha sifatida egri chiziqli orbita bo'ylab aylanma harakat qilishi davomida, elektrodinamika qonunlariga asosan, elektromagnit to'lqinlar tarqatishi natijasida elektronning energiyasi kamayib borishi, spiralsimon harakat qilishi natijasida, hisoblashlarga asosan, taxminan 10^{-8} s ichida yadro ustiga qulab tushishi kerak.

Maksvellning elektrodinamik nazariyasiga asosan aylana yoki ellips bo'ylab harakatlanuvchi elektron uzluksiz elektromagnit to'lqinlar chiqarishi kerak, lekin normal holatda joylashgan vodorod atomining nurlanishi kuzatilmaydi. Atomning planetar modelida yuqoridagi kamchiliklarining mavjudligidan, atom ichidagi elektronlarning harakati davomida ularning klassik mexanikadagi N'yuton va klassik elektrodinamikadagi Maksvell tenglamalarida aks etmagan yangi xossalari namoyon bo'ladi degan xulosalarga qelish mumkin.

Birinchidan, elektronning yadro atrofidagi orbita bo'ylab harakati egri chiziqli, ya'ni tezlanish bilan ro'y beradigan harakat bo'lib klassik elektrodinamika qonunlariga muvofiq elektron o'zidan nur chiqaradi, ya'ni harakat davomida elektronning energiyasi kamayadi, uning aylanish orbitasi kichrayadi va u yadroga yaqinlasha boradi. Boshqacha aytganda, ma'lum vaqtdan keyin elektron yadroga "qulab" tushishi, ya'ni atom yo'qolishi kerak. Bu xulosa Rezerford modeliga muvofiq atomning nostabil sistema bo'lishi kerakligini ko'rsatadi. Haqiqatda esa atomlar juda mustahkam stabil sistema hisoblanadi.

Ikkinchidan, elektron yadroga yaqinlashgan sari orbitasining radiusi kichraya boradi ($R \rightarrow 0$), tezligi esa o'zgarmaydi ($v = const$). SHu sababli uning tezlanishi $\left(\frac{mv^2}{R}\right)$ ortishi bilan nurlanish chastotasi ham uzluksiz ravishda ortadi natijada, uzluksiz nurlanish spektri kuzatilishi kerak. Tajribalar esa atomning nurlanish spektri uzlukli (chiziqli) ekanligini ko'rsatadi.

Bu kamchiliklar asosida shunday xulosa chiqarish mumkin: atomlar makroskopik jismlarning harakatini boshqaruvchi qonunlarga mutlaqo o'xshamaydigan qonunlarga bo'ysunadi.

Bor postulatlari. Atomning planetar modeli duch kelgan qiyinchilikni 1913 yili N.Bor atomning yangi modeli bilan bartaraf qildi. Atomning planetar modelidagi mavjud kamchiliklar, atom sistemalarining odatdagi makroskopik jismlardan sifat jihatdan farq qilishi va atomlarda joylashgan elektronlarda, klassik mexanika va elektrodinamika qonunlarida aks etmagan, o'ziga xos xususiyatlarning mavjudligi natijasidir.

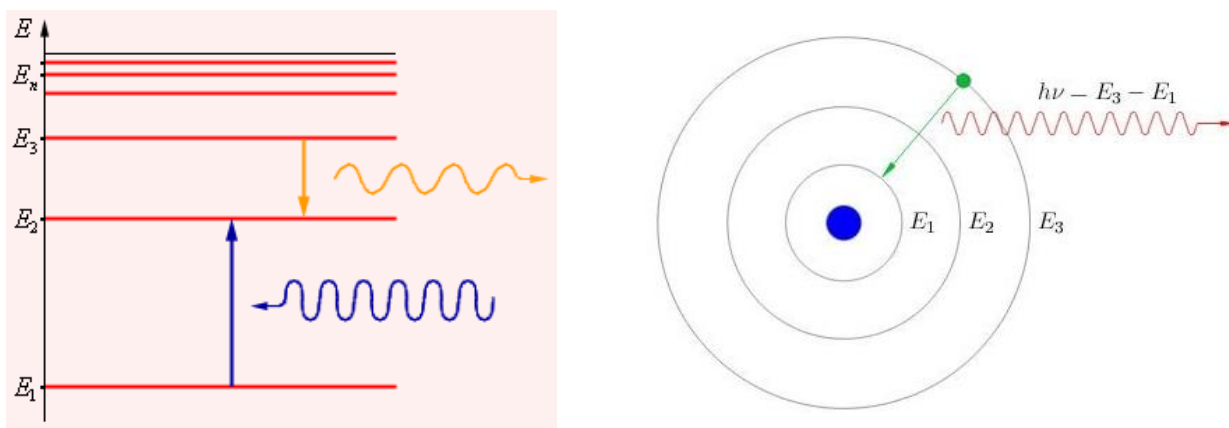
N.Bor vodorod atomining spektrlaridagi fundamental o'ziga hoslikka, ya'ni to'lqin sonlarining spektral termlar farqi sifatida ifodalanishi va shuning uchun atomlar energiyasining faqat diskret miqdorlarga o'zgarishini e'tiborga olib, o'z nazariyasida quyidagi ikkita postulatga asoslanadi.

1-postulat. (statsionar holatlar haqidagi postulat) Atomlar va atom sistemalari uzoq vaqt faqat muayyan holatlarda – statsionar holatlardagina bo'la oladi, bunday holatlarda ularning tarkibidagi elektronlarning harakatlanishlariga qaramasdan, atomlar energiya nurlamaydi va yutmaydi. Bu holatlarda atom va atom sistemalari diskret

qatorni tashkil etuvchi $E_1, E_2, \dots, E_n$ energiyalarga ega bo'ladi va bu holatlar o'z turg'unligi bilan xarakterlanadi.

2-postulat. (Borning chastotalar sharti) Atomlar bir statsionar holatdan ikkinchi statsionar holatga o'tishda faqat aniq chastotali nurlanish chiqaradi va yutadi. E_m holatdan E_n holatga o'tishda chiqariladigan va yutiladigan nurlanish monoxromatik nurlanish bo'lib, uning chastotasi quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\hbar\omega = E_m - E_n \quad (18.1)$$



18.6 - rasm. Borning 2- postulatini ifodalovchi rasm.

Bu ikki postulat ham klassik elektrodinamika talablariga keskin qarama-qarshidir, chunki birinchi postulatga asosan atomlarda elektronlarning yopiq orbitalarda tezlanish bilan harakatlanishiga qaramasdan ular nurlanmaydilar, ikkinchi postulatga asosan esa nurlanish chastotalari elektronlarning davriy harakat chastotalari bilan umuman bog'lanmagan. Borning bu postulatlarini tajribalarda kuzatiladigan natijalarga to'la mos keladi, masalan statsionar holatlarning realligi, atomlarning stabil mavjudligi, ya'ni turg'unligi kabi fundamental fakt bilan tasdiqlanadi. Atom energiyasi miqdorining o'zgarishining diskretligi gazsimon moddalarning yutilish spektrining chiziqlilik xarakteriga egaligi bilan tasdiqlanadi.

Atomlarning statsionar holatlari mavjud bo'lsa, bu statsionar holatlar energiyasini, yoki $E_1, E_2, \dots, E_n$ diskret qator ko'rinishidagi energiya qiymatlarini qanday hisoblash mumkin degan savol paydo bo'ladi?.

Bor tomonidan, Plank g'oyalarini maqsadga yo'naltirilgan holdagi umumlashmasi hisoblangan kvantlash metodi (qoidasi) taklif etiladi. Plank g'oyasiga asosan jismlar va nurlanish maydoni orasidagi energiya almashinishi kvant xarakterga ega bo'lib, Plank doimiysi $\hbar$ orqali ifodalanadi, agar Plank doimiysi atomlarning ichki jarayonlarining kvant xarakteriga egaligini ifodalaydi deb hisoblasak, atom mexanikasidagi doimiy (saqlanuvchi) (energiya x vaqt) o'lchamliligiga ega bo'lgan kattaliklar ham $\hbar$ ga karrali miqdordagi qiymatlarni qabul qilishi kerak. Shu asosda

Bor tomonidan vodorod atomining statsionar holatlariga mos orbitalarni tanlash maqsadida, ya'ni vodorod atomining statsionar holatlariga elektronlarning quyidagi shartni qanoatlantiruvchi doiraviy trayektoriyalari mos keladi degan kvantlash sharti taklif etiladi $mvr = n\hbar$ (1.1.3)

Vodorod atomi uchun Bor nazariyasida atomning planetar modelining asosiy g'oyalari saqlanib qolgan, ya'ni atomlarda elektronlar yadro atrofida kulon kuchlari ta'sirida orbital harakat qiladi. Elektronlar o'lchamlari kvantlash shartlari (2) bo'yicha aniqlanadigan statsionar orbitalar bo'ylab harakatlanadi. Bor nazariyasida doiraviy orbitalarni qarash bilan cheklaniladi va vodorod atomi uchun quyidagi model' qabul qilinadi:

Vodorod atomidagi elektron Ze zaryadli yadro atrofida aylana bo'ylab tekis harakat qiladi. Bu holda markazga intilma kuch, Kulon kuchiga teng deb xisoblanadi va quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2}$ (1.1.4)

Bu yerda r – elektron harakatlanuvchi aylana radiusi, v – elektronning harakat tezligi. Aylana bo'ylab mumkin bo'lgan harakatlardan kvantlash sharti (1.1.3) ni qanoatlantiruvchilari tanlab olinadi. (1.1.3) va (1.1.4) munosabatlarda ikkita noma'lum kattalik, v va r qatnashganligidan, bu ikki tenglamani birgalikda yechib, v va r ning ifodalari aniqlanadi. Elektronning statsionar orbita bo'ylab harakat tezligi va statsionar orbitasi radiusi quyidagicha ifodalanadi. $n = 1, 2, \dots, n, \dots$ qiymatlarni, qabul qiladi

$$v = \frac{Ze^2}{n\hbar} \quad (1.1.5)$$

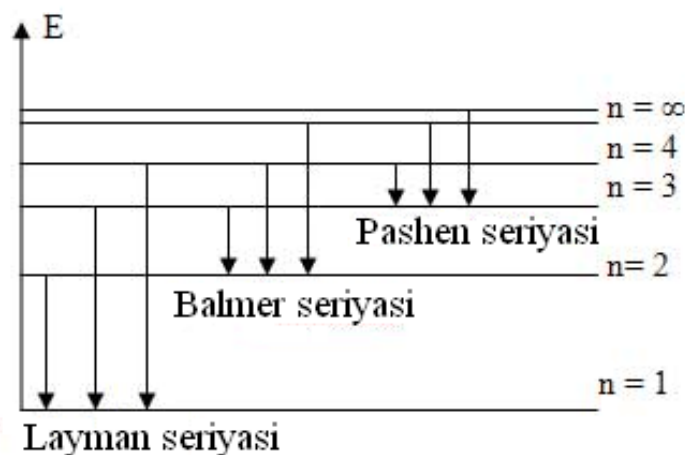
$$r = \frac{\hbar^2}{mZe^2} n^2 \quad (1.1.6)$$

Masalan, $n=1$ va $Z=1$ deb olsak, elektronning vodorod atomidagi birinchi statsionar orbitasi radiusining qiymatini (1.1.5) dan aniqlaymiz va $n=1$ ga mos radius - birinchi Bor orbitasi radiusi deyiladi va atom fizikasida uzunlik birligi sifatida foydalaniladi: $r_B = 0,528 \cdot 10^{-10} m$, shuningdek, $r_2 = 4r_B$, $r_3 = 9r_B$ va h.k.

Vodorod atomining n –nchi statsionar holat energiyasi E_n –ning manfiy ishoraga egaligi elektron va yadro orasidagi o'zaro ta'sirning tortishish harakteriga egaligini ko'rsatadi $E_n = -\frac{mZ^2e^4}{2n^2\hbar^2}$ (1.17)

Vodorod atomi uchun $Z = 1$ ekanligini hisobga olib, (1.17) ifodadan vodorod atomining statsionar holatlar energiyasini $n = 1, 2, 3$ qiymatlar uchun hisoblaymiz. $E_1 = -\frac{me^4}{2\hbar^2}$, $E_2 = -\frac{me^4}{8\hbar^2}$, $E_3 = -\frac{me^4}{18\hbar^2}$ (1.18)

Vodorod atomi energiyasining mumkin bo'lgan qiymatlar qatori energiya sathlari, ya'ni statsionar holatda joylashgan atomning energiyalarini ifodalaydi.



18.7-rasm. Vodorod atomi uchun energetik sathlar diagrammasi.

Atomda $n=1$ holat eng turg'un holat hisoblanib, bu holatda atom eng kam energiyaga ega bo'ladi va atom asosiy **energetik holatda** deyiladi. Bu holatdagi vodorod atomini ionlashtirish uchun eng ko'p energiya sarflash taqozo qilinadi. $n > 1$ holatlar esa g'alayonlangan (uyg'ongan) holatlar deyiladi va ulardagi atomning energiyasi kamroq bo'lib, bunday holatdagi atomni ionlashtirish uchun kamroq energiya sarflanadi. Borning statsionar holatlar to'g'risidagi g'oyasini eksperimental o'rganish bo'yicha Frank va Gers tomonidan tajribalar o'tkazilgan.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Vodorod atomidagi elektronning uchinchi statsionar orbitadan ikkinchisiga o'tishida chiqariladigan fotonning energiyasini toping.
2. Harakatdagi massasi tinchlikdagi massasidan ikki marta katta bo'lgan elektronning De-Broil to'lqin uzunligi aniqlansin.
3. Vodorod atomi nurlanish spektrining Balmer seriyasidagi fotonning maksimal energiyasini aniqlang.
4. Bor nazariyasiga muvofiq, ikkinchi statsionar orbitada bo'lgan elektronning aylanish davrini toping.
5. Protonning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasidan ikki marta kichik. Uning De-Broil to'lqin uzunligi aniqlansin.
6. ${}_5\text{B}^{11}$ bor yadrosini protonlar bilan bombardimon qilinganda berilliy ${}_4\text{Be}^8$ yadrosi hosil bo'ladi. Bu reaksiyada yana qanday yado hosil bo'ladi?
7. Protonlar va neytronlar 5g geliy hosil qilishida qanday energiya ajraladi?
8. Massa soni yadroning nisbiy massasidan nimasi bilan farq qiladi?
9. Plutoniya neytral atomi massasining qanday qismini uning elektron qatlami tashkil qiladi?
10. Agar neytral litiy atomining massasi 7,01601 a.m.b. ga teng bo'lsa, litiy yadrosining massasini aniqlang.

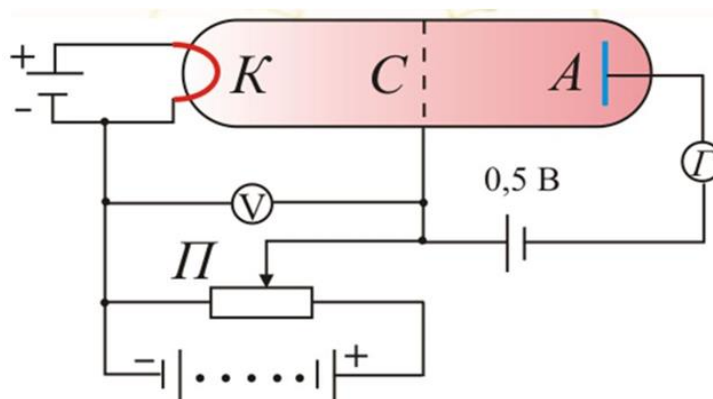
11. Bor nisbiy atom massalari $A_1=10,013$ va $A_2=11,009$ bo'lgan ikkita izotopning aralashmasidan iborat. Tabiiy bor tarkibidagi birinchi va ikkinchi izotoplarning ulushlari aniqlansin. Borning nisbiy atom massasi $A=10,811$.
12. Biror atomni ionlashtirish uchun $0,825$ eV energiya zarur bo'lsa, bu ionlashtirishni yuzaga keltiruvchi elektromagnit nurlanishning minimal chastotasini hisoblang.

19- §. Bor postulatlarini eksperimental o'rganish. Frank va Gers tajribalari.

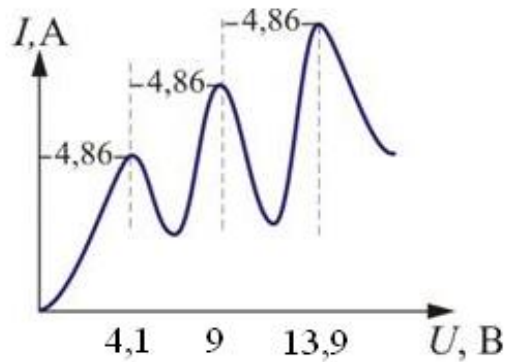
Nemis olimlari J.Frank va G.Gerslar tomonidan 1913 yilda o'tkazgan tajribalarining asosiy maqsadi Borning statsionar orbitalar mavjudligi haqidagi nazariy xulosalarining eksperiment bilan mos kelishini o'rganib ko'rishdan iborat bo'lib, ular bu tajribalarda elektronlarning atomlar bilan o'zaro to'qnashish jarayonida uzatiladigan energiyaning miqdori diskret qiymatli ekanligini aniqlaganlar.

Frank va Gers tajribalarining eksperimental qurilmasi 19.1-rasmda keltirilgan. Tajriba qurilmasining asosiy qismini lampali triod timsoli bo'lgan uch elektrodli shisha trubka tashkil qiladi. Bu trubka gaz, ya'ni simob bug'lari bilan to'ldirilgan. Bunday trubkaga tiratron deyiladi. Uning ichida uchta elektrod mavjud: katod, to'r va anod. Trubka ichidagi simob gazining bosimi 1mm.sim.ust. ni tashkil qilgan. K katod bilan S to'r oralig'iga tok manbaidan P potensiometr yordamida o'zgartirish mumkin bo'lgan bo'lgan U_1 kuchlanish (potensiallar farqi) beriladi. Bu potensiallar farqi yordamida katod va to'r orasida elektronlar tezlashtiriladi. To'r bilan A anod orasiga esa $U_2 = 0,5$ V tormozlovchi potensial beriladi.

Frank va Gers tajribasining g'oyasi quyidagidan iborat: Katoddan uchib chiqqan elektronlar katod-to'r orasidagi elektr maydonga kelib tushadilar va bu maydondan tezlashib to'r tomon harakat qiladilar. Shuning uchun U_1 kuchlanish tezlatuvchi kuchlanish vazifasini bajaradi. To'rdan o'tgan elektronlar to'r-anod orasidagi elektr maydonga kelib tushadilar. Bu maydon tezlatuvchi maydonga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lganligi uchun elektronlar bu maydonda tormozlanadilar. SHu sababli U_2 tormozlovchi kuchlanish vazifasini bajaradi. Demak U_1 va U_2 kuchlanishlarining qiymatlariga karab, elektronlar anodga yetib boradilar ($U_1 > U_2$) va G gal'vonometrda anod toki hosil bo'ladi yoki to'r-anod maydonida tormozlanib ($U_1 < U_2$) to'rda tutilib qoladilar.



19.1-rasm. Frank va Gers tajriba qurilmasi



19.2-rasm. Vol't-ampere xarakteristika

Katod va to'ra orasidagi elektronlar shisha trubkadagi gaz atomlari bilan elastik yoki noelastik to'qnashadilar. Elastik to'qnashishlar vaqtida elektronlarning kinetik energiyalari o'zgarmaydi, ularning tezlik vektorlarining yo'nalishi o'zgaradi. Tezlik vektorlarining modullari esa atom massasi elektron massasidan ancha katta bo'lganligi sababli o'zgarmaydi. Ana shu elektronlar katod-to'ra elektr maydonida tezlashib to'ra tomon harakatlanadilar. Trubkadagi gazning bosimi 1 mm sim.ust. bo'lganligi uchun katoddan uchib chiqqan elektronlar katod-to'ra oralig'ida simob bug'lari atomlari bilan to'qnashadilar. Frank va Gers tormozlovchi kuchlanish son qiymatini o'zgaras 0,5-2 V qilib tanlashdi. Shu tufayli anod toki $U_1 > U_2$ bo'lgan zahotiyoq paydo bo'la boshladi.

O'tkazilgan tajriba natijalari 19.1-rasmda keltirilgan. Unda tiratronndagi anod tokining tezlatuvchi kuchlanishga bog'liqlik grafigi tasvirlangan. Bu grafikda tezlatuvchi kuchlanishning 4,1V; 9V; 13,9V qiymatlarida anod toki o'zining maksimal qiymatlariga erishganini ko'rish mumkin. Birinchi maksimum bilan ikkinchi maksimum va ikkinchi maksimum bilan uchinchi maksimum orasidagi kuchlanishlar farki 4,9V ni tashkil etadi. Birinchi maksimumda esa bu farq 4,1V ga teng. Ushbu farq ham 4,9V tashkil qilishi kerak edi. Lekin tiratornning katodi va anodi turli metallardan yasalganligi sababli, shu metallar orasida qo'shimcha "Kontakt potentsiallar farqi" deb ataluvchi kuchlanish mavjud bo'ladi. Uni yengish uchun esa tazlatuvchi kuchlanishning bir qismi sarflanadi.

Bu grafikni Frank va Gers quyidagicha tushuntirishdi. $U_1 > U_2$ bo'lgan zahotiyoq tezlatuvchi kuchlanish, ya'ni anod kuchlanishi ortib borishi bilan katoddan chiqqan elektronlarini simob atomlari bilan elastik to'qnashib anodga yetib borishi natijasida anod toki ortadi. Bundan kelib chiqadiki, gal'vanometrning ko'rsatishi elektronlarning urilish vaqtida energiya yo'qotishiga bog'liq. U_1 anod kuchlanishi 4,9V (birinchi holda 4,1V) ga teng yoki undan ozroq katta bo'lganida elektron tezlatuvchi maydonda 4,9 eV energiya oladi va to'ra atrofidagi simob atomlari bilan noelastik to'qnashadi. Buning hisobiga simob atomlari ionlashadi va ular musbat ionlarga aylanadi. Bunda energiyasini to'liq yo'qotgan elektronlar yesa to'ra +0,5V kuchlanishgacha zaryadlanganligi tufayli to'ra tutilib qoladilar. Shuning uchun anod

tokining qiymati keskin kamayadi. Anod kuchlanishini yanada orttirish, elektronlarning to'rga yetib bormasidan avval 4,9 eV energiyaga ega bo'lishiga olib keladi. Bu esa elektron bilan atomning noelastik to'qnashish sohasini katod yaqiniga ko'chishiga sabab bo'ladi. Ushbu noelastik to'qnashish natijasida energiyasining asosiy qismini yo'qotgan elektron tezlatuvchi elektr maydon to'r tomon biror tezlanish bilan harakat qila boshlaydi va ma'lum energiyaga ega bo'ladi. Agar bu energiya U_2 energiyadan katta bo'lsa, elektron U_2 kuchlanishli tormozlovchi maydonni yengib o'tib anodga kelib tusha oladi.

Bu esa anod tokining kamayishidan keyingi ortishi sohasi to'g'ri keladi. U_1 tezlatuvchi kuchlanish shunday qiymatga yetganida, birinchi noelastik to'qnashishda o'z energiyasini to'liq yo'qotgan elektron tezlatuvchi elektr maydon hisobiga 4,9 eV energiyaga ega bo'lsa, bu elektron simob atomlari bilan yana noelastik to'qnashadi. Bu elektron endi anodga borib tushmaydi va to'rda tutilib qoladi. Ushbu hodisa grafikdagi anod tokining ikkinchi marta keskin kamayishiga olib keladi. Grafikdagi ikkinchi maksimum katod-to'r oralig'idagi simob atomlari bilan elektronlarni uch marta noelastik to'qnashishlarini ko'rsatadi.

Olingan natijalarga asosan Frank va Gers simob atomlarining ionlashtirish energiyasi, ya'ni elektronlarni simob atomlari bilan ikkita ketma-ket noelastik to'qnashishlari orasidagi olinadigan energiyasi 4,9 eV ekanligini aniqladilar. Ular geliy gazi bilan to'ldirilgan lampa uchun yuqoridagi tajribani takrorlab, xuddi shunga o'xshash grafikni oldilar va undan geliy atomlarining ionlashtirish energiyasi 19,8 eV ekanligini topdilar.

Simob bug'lari to'lqin uzunligi 2536 Å bo'lgan ul'trabinafsha nurlarni kuchli yutishi ma'lum edi. Plank nazariyasiga muvofiq, bu nur yutishga 4,84 eV energiya mos keladi. Energiyaning bu qiymati Frank va Gers tajribasidagi simob atomlarining ionlashtirish energiyasi 4,9 eV bilan mos keladi. Bunday moslik to'g'ri ekanligini tekshirish maqsadida Frank va Gers tezlatuvchi kuchlanish $U_1=4,9$ V bo'lganida ul'trabinafsha nurlanish paydo bo'lishi yoki bo'lmasligini tekshirdilar. Buning uchun ular tajribada ishlatilgan trubkani ul'tarinafsha nurlarni yaxshi o'tkazadigan kvardsdan yasashdi. Avvalgi tajribada ishlatilgan shisha ballonli trubka ul'trabinafsha nurlarni o'tkazmaganligi tufayli u bu tajribada ishlatilmagan. Kvars trubkaning tuzilishi shisha trubkaning tuzilishiga qaraganda oddiy edi. U faqat katod va to'rdan iborat bo'lib, xuddi avvalgi trubka kabi simob bug'lari bilan to'ldiriladi. Ul'trabinafsha nurlarni qayd qiluvchi ul'trabinafsha spektrograf trubkaga qaratiladi. Katod bilan to'r orasidagi kuchlanish 4,9 V dan kichik bo'lganda, to'rdagi tok bu kuchlanish ortishi bilan asta sekin ortadi. Bunda hech qanday nurlanish kuzatilmaydi. U kuchlanish taxminan 4,9 V ga tenglashganda zanjirdagi tok keskin kamayadi va bu vaqtda spektrograf to'lqin uzunligi 2536 Å bo'lgan ul'trabinafsha nurlanishni qayd qiladi. Bu natijalarga asoslangan holda Frank va Gers "Simob atomlari bilan noelastik to'qnashgan

elektronlarning energiyasi simob atomlarini ionlashtirishga qisman simob atomlarining nurlanishiga sarf bo'ladi" degan xulosaga keldilar.

Frank va Gers tajribalarining natijalari 4 yildan so'ng, ya'ni Bor nazariyasi olimlar tomonidan tan olinganidan so'ng to'g'ri talqin qilindi va Frank va Gers tajribalari Bor postulatlarining to'g'riligini isbotlovchi birinchi tajribalar ekanligi ham tan olindi.

4,9V kuchlanishiga karrali bo'lgan U_1 kuchlanishning qiymatlarida anod tokining kamayib ketishi atomda energetik holatlari mavjudligini va bu holatlar energiyasi diskret qiymatlarni qabul qilishini ko'rsatadi. Chunki U_1 kuchlanishning bu qiymatlarida elektron simob atomi bilan noelastik to'qnashadi. Bunda simob atomi elektron bergan energiyani bir porsiya ko'rinishda yutadi. 4,9 eV dan kichik energiyani esa simob atomi yutmaydi. Bundan simob atomining energiyasi uzluksiz emas, balki uzlukli (diskret) ekanligi kelib chiqadi. Bunday xulosa Borning birinchi postulatining to'g'riligini isbotlovchi dalil hisoblanadi.

Kvars lampada o'tkazilgan tajribalar natijalaridan Borning ikkinchi postulatini to'g'ri ekanligi kelib chiqadi. Simob atomining elektron bilan noelastik to'qnashishida simob atomi 4,9 eV energiyani yutib, asosiy holatdan birinchi uyg'ongan holatga o'tadi. Undan atomni asosiy holatga qaytishi esa energiyasi 4,9 eV bo'lgan kvantni chiqarish yo'li bilan amalga oshiriladi va bunda ul'trabinafsha nur hosil bo'ladi.

Biron yo'l bilan atomdan bir yoki bir necha elektronlarni chiqarish jarayoniga ionizatsiya (ionlashtirish) deyiladi. Frank va Gers tajribalarida atomni ionlashtirish jarayonini emas, balki uni uyg'otish jarayonini kuzatish mumkin ekan. Unda simob atomini ionlashtirish energiyasi deb hisoblangan energiya atomni birinchi uyg'ongan holat energiyasini ko'rsatadi. U_1 tezlatuvchi kuchlanishning tajribada olingan 4,1 V qiymatiga simob atomining birinchi uyg'onish, 9 V qiymatiga ikkinchi uyg'onish, 13,9 V qiymatiga uchinchi uyg'onish potentsiali deb ataladi.

Atom yoki undagi elektronni yuqori energetik holatdan pastki energetik holatga o'tkazish, yani atomni uyg'otish uchun kerak bo'ladigan minimal energiyaga mos keluvchi kuchlanishga uyg'onish potentsiali deyiladi. Ikki qo'shni uyg'onish potentsiallari orasidagi farqni esa rezonans yoki kritik potentsial deb yuritiladi.

Atomdagi elektronlarni chiqarish uchun zarur bo'ladigan minimal energiyaga mos keluvchi kuchlanishga ionizatsiya yoki ionlash potentsiali deyiladi.

Har qanday fizik sistemadan tashqariga chiqish shu sistema uchun fizik cheksizlik hisoblanadi. U holda ionizatsiya jarayoniga quyidagicha ham ta'rif berish mumkin. Atomdan bir yoki bir necha elektronlarni fizik cheksizlikka chiqarish jarayoniga ionizatsiya deyiladi.

Atomdan bir yoki bir necha elektronlarni fizik cheksizlikka chiqarish uchun zarur bo'ladigan minimal energiyaga mos keluvchi kuchlanishga shu atomning ionlash yoki ionizatsiya potentsiali deb ataladi.

Frank va Gers tajribalarining ko'rsatishicha, simob atomlari bilan to'qnashgan elektron o'z energiyasining faqat ma'lum qismini ularga berishi mumkin. Bu energiya 4,9 eV ga teng bo'lib, asosiy holatdagi simob atomi yutishi mumkin bo'lgan eng kichik energiya porsiyasidir. Shunday qilib, atomdagi tashqi elektronlarga shu miqdordagi energiya uzatilgan holdagina elektronning bir statsionar holatdan boshqa statsionar holatga o'tishi yuz beradi va statsionar orbitalar yoki holatlar mavjudligi haqidagi Bor nazariyasi tajribada to'la isbotlangan.

Borning ikkinchi postulatiga muvofiq, $\Delta E = 4,9 \text{ eV}$ energiyani olib g'alayonlangan simob atomi yana qaytib asosiy holatiga o'tganida shu holatlar energiyalari farqiga teng miqdordagi energiyaga mos chastotali (to'lqin uzunlikdagi) nurlanish chiqarishi kerak.

Agar $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ ekanligini nazarda tutsak, $\lambda \approx 0,255 \text{ } \mu\text{m}$ va bu ul'trabinafsha nurlanishga to'g'ri kelishini topamiz. Tajriba haqiqatdan ham simob atomining $\lambda \approx 0,254 \text{ } \mu\text{m}$ to'lqin uzunlikni ul'trabinafsha nur chiqishini aniqladi. Bu esa Borning ikkinchi postulati ham to'g'ri ekanligining isbotidir. Frank va Gers tajribalari atom tuzilishi nazariyasini rivojlantirish uchun eksperimental asos bo'lib xizmat qildi. Shunday qilib, Frank va Gers Borning birinchi va ikkinchi postulatlarini eksperimental tasdiqlash bilan birgalikda atom fizikasining rivojlanishiga o'zlarining ulkan hissalarini qo'shdilar. Amalga oshirilgan ilmiy tadqiqot natijalari yuqori baholanib, 1925 yilda Frank va Gers Nobel' mukofotiga sazovor bo'ldilar³⁸.

Bor nazariyasining kamchiliklari: Bor nazariyasi atom fizikasi rivojlanishiga ulkan hissa qo'shib, kvant mehanikasining yaratilishida ham muhim qadamlardan biri bo'lib xizmat qildi. U vodorod va vodorodsimon atomlarining spektrlari va spektral chiziqlarning chastotalarini hisoblashga imkon bergan bo'lsa-da, bu chiziqlarning intensivligini aniqlashga va u yoki bu o'tishlarning ro'y berishiga sabab nimaligini tushuntirishga ojizlik qildi. Bor nazariyasining jiddiy inqirozi, ayniqsa, eng sodda elementlardan biri, vodoroddan bevosita keyingi element–geliy atomining spektrini tushuntirishda muvaffaqiyatsizlikka uchraganida namoyon bo'ldi.

³⁸Xudayberganov A.M., Mahmudov A.A. Atom fizikasi. Asosiy tushuncha, qonun, tajriba va formulalar. Toshkent.: "Navro'z". 2018. 22-bet.

20- §. Shtern va Gerlax tajribasi

Nemis olimlari Otto Shtern va Valter Gerlaxlar tashqi magnit maydoni ta'sirida atom magnit momentlari fazoda ixtiyoriy yo'nalishlarda emas, balki ruxsat etilgan, tayinli yo'nalishlardagina joylashishini tajribada isbotladilar. Ular atomlar dastasi nihoyat darajada bir jinsli bo'lmagan magnit maydonidan o'tganda magnit momentining fazodagi yo'nalishiga qarab ekranning turli joylariga tushishlarini kuzatdilar. Ularning tajriba sxemasi 20.1-rasmda ko'rsatilgan. Kuchli bir jinsli bo'lmagan magnit maydoni elektromagnit o'zagining qutblariga maxsus shakl berish bilan hosil qilinadi.

Qizdirilgan kameradan bug'lanib chiqqan atomlar T to'siqdagi tirqishdan chiqqach, ingichka dasta shakliga keladi. So'ngra bu atomlar dastasi elektromagnit o'zagi qutblari orasidagi bir jinsli bo'lmagan magnit maydonidan o'tib, E ekranga boradi. Qurilma havosi so'rib olingan maxsus kameraga joylashtirilgan bo'ladi. Klassik fizika nuqtai nazaridan qaraganda atomlar dastasi ekranni bir joyiga tushishi kerak, chunki atomlarning magnit momentlari har qanday qiymatni olishi mumkin.

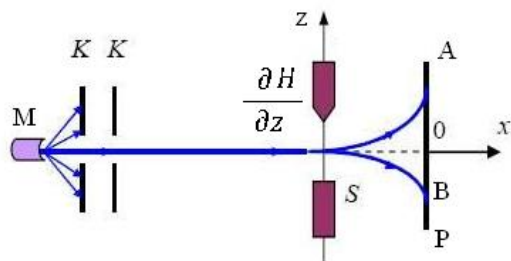
Kvant nazariyasiga ko'ra atomlar dastasi umuman bo'laklarga ajramasligi yoki kamida uchta bo'lakka ajralishi kerak. Vodorod atomi dastasi esa magnit momenti nol bo'lgani uchun umuman bo'laklarga ajramasligi kerak edi. Lekin vodorod atomlari dastasi bir jinsli bo'lmagan magnit maydonidan o'tishda ikkiga ajralib, ekranning a va b nuqtalarida qayd qilindi. Bir valentli Na, K, Ag va boshqa atomlar dastasini ham vodorodga o'xshab ikki bo'lakka ajralishi kuzatildi. Umuman Shtern va Gerlax tajribasi atom magnit momentlarini fazoviy kvantlanishini isbotladi. Agar bir jinsli bo'lmagan magnit maydondan R - holatdagi ($\ell = 1$) atomlar dastasi o'tkazilsa, ular uch bo'lakka ($2\ell + 1 = 3$) bo'linishi qayd qilindi. Buning sababi keyinchalik ma'lum bo'ldi.

Zarraning orbital momenti va orbital magnit momentini tajribada aniqlash mumkin. Elektromagnitizm kursidan ma'lumki, kuchlanganligi H bo'lgan tashqi magnit maydoniga kiritilgan atom xuddi giroskopga o'xshab $\vec{H}$ vektori atrofida pretsession harakat qiladi. Lekin bir jinsli magnit maydon atomning magnit momenti bilan $\vec{H}$ vektori orasidagi burchakni o'zgartira olmaydi. Shuningdek, bir jinsli magnit maydonida zarraga ta'sir qiluvchi va unga tezlanish beruvchi hech qanday kuch hosil bo'lmaydi.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida esa atomga tezlanish beruvchi kuch ta'sir qiladi va u quyidagicha topiladi:

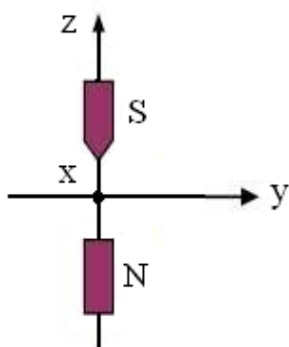
$$F = \mu_x \frac{\partial H_x}{\partial x} + \mu_y \frac{\partial H_y}{\partial y} + \mu_z \frac{\partial H_z}{\partial z}$$

Bu yerda μ_x, μ_y, μ_z - atom magnit momenti vektorining x, y, z tashkil etuvchilari H_x, H_y, H_z - magnit maydon kuchlanganligi vektorining x, y, z tashkil etuvchilari. Bunda $F_x = \mu_x \frac{\partial H_x}{\partial x}, F_y = \mu_y \frac{\partial H_y}{\partial y}, F_z = \mu_z \frac{\partial H_z}{\partial z}$ bo'ladi.



20.1-rasm. Shtern va Gerlax tajribasi

Agar atom kuchlanganligi vektori Z o'qi bo'ylab yo'nalgan bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida X o'qi bo'ylab haraktalansa u holda $H_x = H_y = 0, H = H_z, F_x = F_y = 0, F = F_x = \mu_x \frac{\partial H_x}{\partial x} = \mu \frac{\partial H}{\partial x}$ bo'ladi. Bir jinsli bo'lmagan magnit maydoni yuzaga kelishi uchun esa yetarlicha uzun doimiy magnit turlarining shakli 20.1- rasmda ko'rsatilgandek bo'lishi kerak.



20.2-rasm.

Atomning magnit maydonidagi pretsessiyasi μ_z ning $\vec{H}$ vektori yo'nalishiga proyeksiyasini o'zgartirmaydi. Harakatlanayotgan atom x o'qidan ozroq chetlashgan vaqtida ham z o'qi yo'nalishida $\frac{\partial H_z}{\partial z}$ o'zgarmaydi. U holda atomning doimiy magnitlari orasidagi harakati uchun quyidagi tenglama o'rinli bo'ladi: $m \frac{dv_x}{dt} = \mu_z \frac{\partial H_z}{\partial z}$. Bunda m atom massasi.

Doimiy magnitlar orasidagi fazoda v tezlik bilan x o'qi bo'ylab harakatlanib a yo'l o'tgan atomning x o'qidan og'ish masofasi quyidagiga tengdir:

$$z = \frac{\mu_z}{2m} \left(\frac{a}{v} \right)^2 \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right).$$

Doimiy magnitlar orasidagi fazodan chiqqan atom to'g'ri chiziq bo'ylab o'z xarakatini davom yettiradi. Bunda uning x o'qidan og'ish burchagi o'zgarmaydi va doimiy magnitlardan ixtiyoriy masofada uning x o'qidan to'liq og'ishini hisoblash hech qanday qiyinchilik tug'dirmaydi. Yuqoridagi formulaga kirgan $\frac{\partial H}{\partial z}, a, v, m$ kattaliklarning qiymatlari ma'lum bo'lganligi tufayli z og'ishni bilgan holda ana shu formuladan foydalanib μ_z aniqlash mumkin bo'ladi.

1921 yilda O.Shtern atomning magnit momentini o'lchash bo'yicha tajriba g'oyasini ilgari surdi. 1922 yilda V.Gerlax bilan birgalikda ana shu tajribani bevosita amalga oshirdi. Klassik tasavurlarga muvofiq, atomlar oqimidagi magnit momenti vektorlari Z o'qiga nisbatan ixtiyoriy burchaklar ostida yo'nalganligi uchun $Z = \frac{\mu_z}{2m} \left(\frac{a}{v}\right)^2 \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)$ ga teng bo'ladi. Formuladagi $\mu_z = |\vec{\mu}| \cos \theta$ dan $|\vec{\mu}|$ gacha bo'lgan barcha qiymatlarni qabul qiladi.

X o'qi bo'yicha harakatlanayotgan atomlar oqimi R ekranda A va B nuqtalar orasida taqsimlanadi. z o'qiga kollinear bo'lgan magnit momenti vektorlariga ega atomlar x o'qidan eng katta chetlashishiga ega bo'ladi (20.1- rasm) Ana shu chetlashishlar bo'yicha $Z = \frac{\mu_z}{2m} \left(\frac{a}{v}\right)^2 \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)$. Formuladan foydalangan holda atomning magnit momenti modulini aniqlash mumkin.

Shtern va Gerlax o'z tajribalarida dastlab kumush atomlaridan foydalandilar. Keyinchalik esa boshqa metallarning atomlari uchun, shuningdek protonlar va elektronlar oqimi uchun tajribalar o'tkazib o'xshash natijalar oldilar. O'rganilgan zarrachalarda magnit momentlarning mavjudligini tajribada isbotladilar va ularning kvant xossalarini ochib berdilar.

Berk idish ichidagi kumush jismni yuqori temperaturagacha qizdirish hisobiga kumush atomlari oqimi hosil bo'ladi va idishdagi kichik tirqishdan uchib chiqadi. Ushbu oqim yo'lga qo'yilgan diaframmalar yordamida bu oqim magnit qutblari orasiga yo'naltiriladi. Atomlarning harakat yo'nalishida yuqori vakuum hosil qilinadi. Sovuq R ekranga kelib tushgan kumush atomlari unga o'tirib qoladi. Atomlarning plastinkaga joylashish zichligi oqim intensivligiga va atomlarning ekranga kelib tushish vaqtiga proporsional bo'ladi.

Shtern-Gerlax tajribasi qiziq natijalarni berdi. $y = 0$ tekislikdagi barcha atomlar A va B nuqtalar atrofida yig'ila boshladi. Bu nuqtalar orasida esa hech qanday atomlar joylashmadi. (20.2 - rasmga qarang) $y = 0$ tekislik atrofida ham atomlar to'planadilar.

Shtern-Gerlax tajribasi esa atomlarning magnit momenti vektorlarni z o'qiga parallel yo'nalganliklarini, bu o'qqa nisbatan ixtiyoriy burchak ostida yo'nalmaganliklarini ko'rsatadi. Bundan esa atom magnit momenti vektorlari yo'nalishining magnit maydoniga nisbatan diskret o'zgarishi kelib chiqadi. Bu hodisani mikroolamda fazoviy kvantlash deyiladi.

Demak faqat atomlarning holati diskret bo'lmasdan balki atom tashqi magnit maydoniga kiritilganda atom magnit momenti vektorlarining yo'nalishi ham diskret bo'ladi. Yuqorida keltirib o'tilgan tajriba natijalarini 1925 yilda elektron spini kashf etilgandan so'ng tushuntirish mumkin bo'ldi.³⁹

³⁹Xudayberganov A.M., Mahmudov A.A. Atom fizikasi. Asosiy tushuncha, qonun, tajriba va formulalar. Toshkent.: "Navro'z". 2018. 122-bet.

Nazorat savollari:

1. Nima uchun zarraning orbital va magnit momentlarni aniqlashda bir jinsli magnit maydonidan foydalanib bo'lmaydi?
2. Shtern-Gerlax tajribasining maqsadi nima?
3. Shtern-Gerlax tajribasi qanday amalga oshiriladi?
4. Shtern-Gerlax tajribasidan qanday xulosalar kelib chiqadi?

MUNDARIJA

Kirish	3
1-§. Fizikaning rivojlanish tarixi	5
1.1 Inson sivilizatsiyasining eng erta erishilgan muvaffaqiyatlari va olingan natijalar	5
1.2 Qadimiy Gretsiyada ilm fanning dastlabki rivojlanishi va shakllanishi	6
1.3 Sharq mamlakatlarida fizikaning rivojlanishi	11
2-§. Fizikaning rivojlanish tarixi	20
2.1 XVI-XIX asrlarda fizika sohasidagi ilmiy izlanishlar	20
2.2 XX-asrda fizika fanining rivojlanishi.....	25
3-§. Gravitatsion doimiylikni aniqlash	30
3.1 Butun olam tortishish qonuni	30
3.2 Kavendish tajribasi	31
3.3 Rixars tajribasi	32
3.4 Tortishish maydoni kuchlanganligi va potentsiali	33
3.5 Kosmik tezliklar. Ekvivalentlik prinsipi	35
4-§. Erkin tushish tezlanishini aniqlash metodlari	38
4.1 Erkin tushish tezlanishining Yerning o'rtacha zichligiga bog'liqligi	38
4.2 Yer sirtidan balandlik va chuqurlikka bog'liqligi	38
4.3 Erkin tushish tezlanishining joyning geografik kengligiga bog'liqligi	39
5-§. Molekulalarning tezliklarini aniqlash	42
5.1 Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti	42
5.2 Shtern tajribasi	42
6-§. Avogadro doimiysini aniqlash metodlari	46
6.1 Barometrik formula	46
6.2 Perren tajribasi	49

7-§. Gazlarda ko`chish hodisalari	54
7.1. Gazlarda diffuziya. Fik qonuni	54
7.2. Statsionar diffuziya	55
7.3. Diffuziya koeffitsiyentini o`lchash	56
7.4. Gazlarning issiqlik o`tkazuvchanligi	56
7.5. Fure qonuni	57
7.6. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyentini o`lchash	58
7.7. Gazlarning qovushoqligi	60
8- §. Zaryadlarning o`zaro ta'sirini o`rganish. Kulon tajribalari	64
8.1. Elektr zaryadlari, Elektr zaryadlarining saqlanish qonuni	64
8.2. Zaryadlarning o`zaro ta'siri, Kulon tajribalari, Kulon qonuni	67
9- §. Metallar elektr o`tkazuvchanligining elektron nazariyasi.	
Metallarda elektr toki	71
9.1. Elementar zaryadni aniqlash. Ioffe va Milliken tajribasi;.....	71
9.2. Mandelshtam va Papaleksi, Tolmen va Styuart tajribalari;.....	73
9.3. Rikke tajribasi	74
9.4. Metallarda tok tashuvchilarning tabiati;.....	76
9.5. O`tkazgichlar qarshiligini tushuntirish;	77
9.6. Metallar elektr o`tkazuvchanligining elektron nazariyasi;	79
9.7. Om qonunining tushuntirilishi;.....	81
9.8. Joul-Lens qonunining tushuntirilishi;	82
9.9. Videman-Frans qonuni;.....	82
9.10. Metallar elektron nazariyasining kamchiliklari.....	83
10- §. Elektrolitlarda elektr toki	85

10.1.	Elektrolitik o'tkazuvchanlik;	85
10.2.	Faradey qonunlari;	87
10.3.	Elektrolitik dissotsiatsiya;	89
10.4.	Elektrolitik o'tkazuvchanlik nazariyasi;	91
10.5.	Elektrodlarning qutblanishi;.....	95
10.6.	Elektrolizning texnikada qo'llanilishi	97
11- §.	Vakuumda elektr toki. Termoelektrik hodisalar	101
11.1	Chiqish ishi. Kontakt potentsiali.....	101
11.2	Termoelektron emissiya va elektron lampalar;.....	102
11.3	Kontakt potentsiallar ayirmasi.....	107
11.4	Termoelektrik hodisalar.....	108
12- §.	Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari	115
12.1	Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari	115
12.2	Lens qoidasi	119
12.3	O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik;	120
12.4	Solenoid atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon.....	122
13- §.	Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari	124
13.1.	Issiqlik nurlanishi va Kirxgof qonuni;	124
13.2.	Muvozanatli issiqlik nurlanishining spektral zichligi. Muvozanatli issiqlik nurlanishi termodinamikasi;	127
13.3.	Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari;.....	129
13.4.	Plank gipotezasi. Plank formulasi;	131
13.5.	Issiqlik nurlanish qonunlarining ishlatilishi.	132
14- §.	Yorug'lik tezligini aniqlash usullari	137

14.1.	Galileyning birinchi urinishi	137
14.2.	Ryomerning astronomik usuli;	138
14.3.	Fizo usuli	139
14.4.	Fuko usuli	140
14.5.	Maykel'son usuli.....	141
15- §.	Stoletov tajribalari. Fotoeffekt	143
15.1.	Fotoeffekt hodisasi. Stoletov tajribasi;	143
15.2.	Fotoeffekt qonunlari;	144
15.3.	Eynshteyn formulasi. Yorug'likning kvant nazariyasi va fotoeffekt .	146
15.4.	Milliken tajribasi;	148
15.5.	Lukirskiy-Prilijayev tajribasi;	148
15.7.	Fotoelementlar, fotokuchaytirgichlar;	150
15.8.	Tashqi fotoeffektga asoslangan fotoelementlar;	150
15.9.	Fotoelektron kuchaytirgichlar	151
16- §.	Ichki fotoeffekt	154
16.1.	Ichki fotoeffekt	154
16.2.	Ichki fotoeffektning kvant chiqishi	155
16.3.	Fotoo'tkazuvchanlik uchun asosiy xarakteristik munosabat	155
16.4.	Yarimo'tkazgichlarning fotoo'tkazuvchanligi	156
16.5.	Fotorezistorlar, fotoelementlar	157
16.6.	$p - n$ o'tishdagi fotoeffekt	157
16.7.	Dember effekti	158
16.8.	Fotomagnitoelektr effekt (Kikoin-Noskov effekti)	159

16.9.	Fotoelementlar, fotoqarshiliklar	159
16.10.	Ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan fotoelementlar	160
17- §.	Yorug'lik bosimi. Lebedev tajribasi	162
17.1.	Yorug'lik bosimi tushunchasi	162
17.2.	Lebedev tajribasi	163
18- §.	Rezerford tajribasi. Atomning yadro modeli	167
19- §.	Bor postulatlarini eksperimental o'rganish. Frank-Gers tajribalari	178
20-§.	Shtern va Gerlax tajribasi	183

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1-§. История развития физики	5
1.1 Ранние достижения человеческой цивилизации и полученные результаты	5
1.2 Первичные формирование и развитие науки в Древней Греции	6
1.3 Развития физики в восточных странах	11
2-§. История развития физики	20
2.1 Научные исследование по физике в XVI-XIX веках	20
2.2 Развития физическая наука в XX века	25
3-§. Определение гравитационная постоянная	30
3.1 Закон Всемирного тяготения	30
3.2 Опыт Кавендиша	31
3.3 Опыт Рихарса	32
3.4 Напряженность и потенциал поля тяготения	33
3.5 Космические скорости. Принцип эквивалентности	35
4-§. Методы по определение ускорение свободного падение	38
4.1 Зависимость ускорение свободного падение от среднего плотности Земли	38
4.2 Зависимость ускорение свободного падение от высота и	

глубина от поверхности Земли	38
4.3. Зависимость ускорение свободного падение от географический широта местности	39
5-§. Определение скорости молекул	42
5.1 Распределение по скоростям молекулы газа	42
5.2 Опыт Штерна	42
6-§. Методы определения постоянная Авогадро	46
6.1 Барометрическая формула	46
6.2 Опыт Перрена	49
7-§. Явлении перехода в газах	54
7.1. Диффузия в газах. Закон Фика	54
7.2. Стационарная диффузия	55
7.3. Измерения коэффициента диффузии	56
7.4. Теплопроводности газов	56
7.5. Закон Фуре	57
7.6. Измерение коэффициента теплопроводности	58
7.7. Вязкости газов	60
8- §. Изучение взаимодействие зарядов. Опыты Кулона	64
8.1. Электрические заряды, Закон сохранения электрических зарядов	64
8.2. Взаимодействие зарядов. Опыты Кулона. Закон Кулона	67
9- §. Электронная теория проводимости металлов.	
Электрический ток в металлах	71
9.1. Определения элементарная частица. Опыты Иоффе и Милликена	71
9.2. Опыты Мандельштам и Папалекси, Толмен и Стюарта	73
9.3. Опыт Рикке	74
9.4. Природа носителей тока в металлах	76

9.5.	Объяснение сопротивление металлов	77
9.6.	Электронная теория электрический проводимости металлов	79
9.7.	Объяснение закона Ома	81
9.8.	Объяснение закона Джоула – Ленца	82
9.9.	Закон Видемана-Франца	82
9.10.	Недостатки электронной теории проводимости металлов	83
10- §.	Электрический ток в электролитах	85
10.1.	Электролитический проводимость	85
10.2.	Законы Фарадея	87
10.3.	Электролитическая диссоциация	89
10.4.	Теория электролитического проводимости	91
10.5.	Поляризация электродов	95
10.6.	Применения электролиза в технике	97
11- §.	Электрический ток в вакууме. Термоэлектрические явления	101
11.1	Работа выхода. Контактный потенциал	101
11.2	Термоэлектронная эмиссия и электронные лампы	102
11.3	Контактный разность потенциалов	107
11.4	Термоэлектрические явления	108
12- §.	Явления электромагнитной индукции. Опыты Фарадея	115
12.1	Явления электромагнитной индукции. Опыты Фарадея	115
12.2	Правила Ленца	119
12.3	Явления самоиндукции. Индуктивность	120
12.4	Магнитная поля вокруг соленоида	122
13- §.	Тепловое излучение. Законы излучение абсолютного черного тела	124

13.1. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа	124
13.2. Спектральная плотность равновесного теплового излучения. Термодинамика равновесного теплового излучения	127
13.3. Законы излучения абсолютного черного тела	129
13.4. Гипотеза Планка. Формула Планка	131
13.5. Применение законов теплового излучения	132
14- §. Методы определения скорости света	137
14.1. Первая поступка Галилея	137
14.2. Астрономический метод Рёмера	138
14.3. Метод Физо	139
14.4. Метод Фуко	140
14.5. Метод Майкельсона	141
15- §. Опыты Столетова. Фотоэффект	143
15.1. Явления фотоэффекта. Опыты Столетова	143
15.2. Законы фотоэффекта	144
15.3. Формула Эйнштейна. Квантовая теория света и фотоэффект	146
15.4. Опыт Милликена	148
15.5. Опыт Лукирский-Прилижаева	148
15.7. Фотоэлементы, фотоусилители	150
15.8. Фотоэлементы основанные на внешнем фотоэффекте	150
15.9. Фотоэлектронные усилители	151
16- §. Внутренний фотоэффект	154
16.1. Внутренний фотоэффект	154
16.2. Квантовый выход внутреннего фотоэффекта	155
16.3. Основная характеристическая соотношения для фотопроводимости	155
16.4. Фотопроводимость полупроводников	156

16.5.	Фоторезисторы, фотоэлементы	157
16.6.	Фотоэффект в $p - n$ переходе	157
16.7.	Эффект Дембера	158
16.8.	Фотомагнитоэлектрический эффект (эффект Кикоина-Носкова)	159
16.9.	Фотоэлементы, фотосопротивлений	159
16.10.	Фотоэлементы работающий на основе внутреннего фотоэффекта	160
17- §.	Давления света. Опыт Лебедева	162
17.1.	Понятия Давления света	162
17.2.	Опыт Лебедева	163
18- §.	Опыт Резерфорда. Планетарный модел атома	167
19- §.	Экспериментальное изучение постулаты Бора. Опыты Франка-Герца	178
20-§.	Опыт Штерна-Герлаха	183

CONTENTS

Introduction	3
1-§. The history of the development of physics	5
1.1 Early achievements of human civilization and the results obtained ..	5
1.2 The primary formation and development of science in ancient Greece	6
1.3 The development of physics in eastern countries	11
2-§. The history of the development of physics	20
2.1 Scientific research in physics in the XVI-XIX centuries	20
2.2 The development of physical science in the XX century	25
3-§. Definition of gravitational constant	30
3.1. Law of the World	30
3.2. Cavendish Experience	31
3.3. The experience of Richars	32

3.4.	Tension and potential of the field of aggression	33
3.5.	Cosmic speeds. Equivalence principle	35
4-§.	Methods for determining free fall acceleration	38
4.1.	Dependence acceleration of free fall on the average density of the Earth	38
4.2.	Dependence acceleration of free fall on height and depth from the surface of the Earth	38
4.3.	Dependence acceleration free fall on the geographical latitude	39
5-§.	Determination of the speed of molecules	42
5.1	The velocity distribution of the gas molecules	42
5.2	Stern experience	42
6-§.	Methods for determining the Avogadro constant	46
6.1	Barometric formula	46
6.2	Perrin's Experience	49
7-§.	Gas transition phenomena	54
7.1.	Diffusion in gases. Law Fika	54
7.2.	Stationary diffusion	55
7.3.	Diffusion coefficient measurements	56
7.4.	Thermal conductivity of gases	56
7.5.	Law Fure	57
7.6.	Thermal Conductivity Measurement	58
7.7.	Viscosity gases	60
8- §.	The study of the interaction of charges. Coulomb experiments	64
8.1.	Electric charges. The law of conservation of electric charges	64
8.2.	Charge interaction Coulomb experiments. Coulomb's law	67
9- §.	Electronic theory of the conductivity of metals. Electric current in metals	71
9.1.	Definitions of elementary particle. Experiments Ioffe and Milliken	71

9.2.	Experiments Mandelshtamp and Papaleksi, Tolman and Stuart	73
9.3.	Rikke experience	74
9.4.	The nature of current carriers in metals	76
9.5.	Explanation of metal resistance	77
9.6.	Electronic theory of electrical conductivity of metals	79
9.7.	Explanation of Ohm's Law	81
9.8.	Explanation of Law Joel's – Lenz	82
9.9.	Wiedemann-Franz law	82
9.10.	The disadvantages of the electronic theory of the conductivity of metals	83
10- §.	Electric current in electrolytes	85
10.1.	Electrolytic conductivity	85
10.2.	Faraday's laws	87
10.3.	Electrolytic dissociation	89
10.4.	Theory of Electrolytic Conductivity	91
10.5.	Electrode Polarization	95
10.6.	Electrolysis applications in technology	97
11- §.	Electric current in vacuum. Thermoelectric phenomena	101
11.1	Work output. Contact potential	101
11.2	Thermoelectronic emission and electron lamps	102
11.3	Contact potential difference	107
11.4	Thermoelectric phenomena	108
12- §.	The phenomena of electromagnetic induction. Faraday experiments	115
12.1	The phenomena of electromagnetic induction. Faraday experiments .	115
12.2	Lenz rules	119

12.3	Self-induction phenomena. Inductance	120
12.4	Magnetic field around solenoid	122
13- §.	Heat radiation. Laws radiation of absolute black body	124
13.1.	Heat radiation. Kirchhoff's Law	124
13.2.	Spectral density equilibrium thermal radiation. Thermodynamics Equilibrium Thermal Radiation	127
13.3.	Absolute Black Body Radiation Laws	129
13.4.	Planck's hypothesis. Formula Planck	131
13.5.	Application of the laws of thermal radiation	132
14- §.	Methods for determining the speed of light	137
14.1.	First act of Galileo	137
14.2.	Roemer's astronomical method	138
14.3.	Fizeau Method	139
14.4.	Foucault Method.....	140
14.5.	Michelson's method	141
15- §.	Experiments Stoletov. Photo effect	143
15.1.	Experiments Stoletov. Photo effect	143
15.2.	The laws of the photoelectric effect	144
15.3.	Einstein's formula. Quantum Theory of Light and Photo Effect	146
15.4.	Milliken's Experience	148
15.5.	Experience Lukirsky-Prilizhaeva	148
15.7.	Photo cells, photo amplifiers	150
15.8.	Photocells based on external photoelectric effect	150
15.9.	Photoelectric Amplifiers	151
16- §.	Inner photo effect	154
16.1.	Internal photoelectric effect	154

16.2.	Quantum output of the internal photoelectric effect	155
16.3.	Basic characteristic relationship for photoconductivity	155
16.4.	Photoconductivity of semiconductors	156
16.5.	Photoresistors, photocells	157
16.6.	Photo effect in $p - n$ transition	157
16.7.	Dember effect	158
16.8.	Photo-magnetoelectric effect (Kikoin-Noskov effect)	159
16.9.	Photocells, photoresistances	159
16.10.	Photocells based on internal photoelectric effect	160
17- §.	Light pressure. Lebedev's experience	162
17.1.	Light Pressure Concepts	162
17.2.	Lebedev's experience	163
18- §.	Experience Rutherford. Planetary model of the atom	167
19- §.	Experimental study of the postulates of Bohr. Frank-Hertz Experiments	178
20-§.	The Stern-Gerlach Experience	183