



KVANT FIZIKASI ASOSLARI

Biz oldingi bo‘limda yorug‘likning ham zarralar oqimidan iborat (korpuskular nazariya) ekanligini tasdiqlovchi (geometrik optika), ham elektromagnit to‘lqinlardan iborat (to‘lqin nazariya) ekanligini tasdiqlovchi jarayonlar (interferensiya, difraksiya, qutblanish) bilan tanishdik. Bulardan tashqari, yorug‘likning korpuskular tabiatini tasdiqlovchi fotoeffekt, Kompton effekti hodisalari kuzatilgan. Xo‘sh, yorug‘lik o‘zi nima, degan savolga aniqroq javob berish payti kelmadimi?

Biz hozirgacha o‘rgangan klassik mexanika atomning tuzilishi va uning spektrining tabiatini tushuntirishga ojizlik qiladi. Umuman olganda, atomlarning va elementar zarralarning harakat qonunlari qanday bo‘ladi?

Yuqoridagi savollarga javob izlash va ularni bir-biriga bog‘lash kvant mexanikasining yaratilishiga olib keldi.

Quyida bu fanning vujudga kelishi va u asosida tushuntirib beriladigan fizik jarayonlar bilan, aniqrog‘i, kvant mexanikasi asoslari bilan tanishamiz.



III BOB

KVANT OPTIKASI ELEMENTLARI

Yuqorida qayd etilganidek, yorug‘likning tabiati haqidagi masala fiziklar oldida turgan eng katta muammolardan biri edi. Bu muammo, ayniqsa, issiqlikdan nurlanishni o‘rganish jarayonida yaqqol namoyon bo‘ldi. Uni yechish yo‘lida dadil g‘oyani ilgari surgan nemis fizigi M.Plank 1900- yilda «energiya faqat kichkina porsiyalar, ya’ni kvantlar ko‘rinishida chiqariladi va yutiladi», degan fikrni bildirdi. 1905- yilda A.Eynshteyn fotoeffekt hodisasi uchun o‘z formulasini yozib, Plank gipotezasini yanada rivojlantirdi.

Yorug‘likning har ikkala tabiatini ham tasdiqlovchi hodisalarning mavjudligi, u har ikkala xususiyatga ham ega emasmikan, degan fikrning tug‘ilishiga sabab bo‘ldi. Bu — yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmining paydo bo‘lishiga olib keldi.

20-§. Kvant fizikasining paydo bo'lishi. Issiqlikdan nurlanish qonunlari

M a z m u n i: issiqlikdan nurlanish; issiqlikdan nurlanish xarakteristikalari; Kirxgof qonuni; Stefan—Bolsman qonuni; Vinning siljish qonuni.

Issiqlikdan nurlanish. Issiqlikdan nurlanish tabiatda eng ko'p tarqalgan elektromagnit nurlanishdir. U temperaturasi 0 K dan farq qiladigan har qanday jismga xos bo'lib, moddaning ichki energiyasi hisobiga amalga oshiriladi. Natijada moddaning ichki energiyasi kamayadi, temperaturasi pasayadi, ya'ni soviydi. Jism uzoq vaqt nurlanib turishi uchun esa uning kamayayotgan energiyasini to'ldirib turish kerak. Shuni ta'kidlash lozimki, jism nurlanish bilan bir paytda boshqa jismlar tomonidan chiqarilayotgan nurlanish energiyasini ham yutadi. Buning natijasida jismning ichki energiyasi ortadi, temperaturasi ko'tariladi, ya'ni qiziydi. Demak, jism, bir tomondan, nurlanish energiyasini chiqarsa, ikkinchi tomondan yutadi. Natijada ma'lum vaqt davomida jism chiqaradigan va yutadigan energiyaning tenglashuvi ro'y beradi, ya'ni uning temperaturasi o'zgarmaydi. Bunday holatdagi nurlanish *muvozanatdagi nurlanish* deyiladi.

Sistemaning vaqt o'tishi bilan termodinamik parametrlari o'zgarmaydigan holati termodinamik muvozanat deyiladi.

Agar tashqi sharoit o'zgarmasa, termodinamik sistema o'z-o'zidan muvozanat holatidan chiqmaydi.

Issiqlikdan nurlanish xarakteristikalari. Nurlanishning eng asosiy xarakteristikasi W nurlanish energiyasi hisoblanadi.

Nurlanish oqimi Φ_e deb, W nurlanish energiyasining t nurlanish vaqtiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$\Phi_e = \frac{W}{t}. \quad (20.1)$$

Boshqacha aytganda, nurlanish oqimi vaqt birligidagi nurlanish energiyasi bilan xarakterlanadi va $W = \frac{J}{s}$ larda o'lchanadi.

Jismning nurlanishi (R_e) deb, jism chiqarayotgan Φ_e nurlanish oqimining jism sirtining S yuzasiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}. \quad (20.2)$$

Binobarin, nurlanish — jismning birlik sirtidan chiqayotgan nurlar oqimidir. Nurlanish $\frac{W}{m^2}$ larda o'lchanadi.

Yuqorida keltirilgan xarakteristikalar butun nurlanish spektriga xos bo'lgan kattaliklardir. Amalda esa to'liq uzunligining biror kichkina intervaliga taalluqli nurlanishni bilish muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Aytaylik, spektrning to'liq uzunligi $\Delta\lambda$ bo'lgan oralig'ini qarayotgan bo'laylik. Energiyaning shu oraliqqa taalluqli qismi nurlanishning spektral zichligi bilan xarakterlanadi.

Nurlanishning spektral zichligi (r_λ) deb, spektrning biror qismiga to'g'ri keluvchi ΔR_e nurlanishning shu qismning to'liq uzunligi $\Delta\lambda$ ga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$r_\lambda = \frac{\Delta R_e}{\Delta\lambda}, \quad (20.3)$$

ya'ni nurlanishning spektral zichligi birlik to'liq uzunligiga to'g'ri keluvchi nurlanishdir.

Nurlanishning spektral zichligi $\frac{W}{m^3}$ larda o'lchanib, jismning temperaturasi bog'liq bo'ladi. Jism tomonidan nurlanish energiyasining yutilishini xarakterlash maqsadida yutish koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi.

Yutish koeffitsiyenti (α) deb, shu jism tomonidan yutilgan Φ_e nurlanish oqimining, unga tushayotgan Φ'_e nurlanish oqimiga nisbatiga aytiladi:

$$\alpha = \frac{\Phi_e}{\Phi'_e}. \quad (20.4)$$

α yutish koeffitsiyentini biror $\Delta\lambda$ oraliq uchun ham qarash mumkin:

$$\alpha_\lambda = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\Phi'_{e\lambda}}. \quad (20.5)$$

Kirxgof qonuni. Biz qarayotgan sistema bir nechta jismlardan tashkil topgan va jismlar orasida energiya almashuvi faqat issiqlik nurlanishi va yutilishi orqali amalga oshsin. Boshqacha aytganda, jismlar orasida issiqlik uzatilishi (tegib turgan joylardagi molekulalari orqali) va konveksiya (molekulalarning ko'chishi) mavjud bo'lmasin. Shunday holda ham, ma'lum vaqtdan keyin,

sistemadagi jismlar temperaturalarining tenglashuvi ro'y beradi. Bunga sabab, issiqroq jismlar yutganiga nisbatan ko'proq nurlanib, energiyasining bir qismini sovuqroq jismlarga beradi. Bu jarayon sistemada muvozanat qaror topguncha davom etadi va temperatura tenglashgandan so'ng to'xtaydi.

Faqat nurlanish va yutish orqali energiya almashadigan, termodinamik muvozanat holatidagi jismlar nurlanish spektral zichligining yutish koeffitsiyentiga nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, jismning tabiatiga bog'liq bo'lmaydi. Barcha jismlar uchun u bir xil – to'lqin uzunligi λ va temperatura T ning funksiyasi (Kirxgof qonuni):

$$\frac{r_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_1}} = \frac{r_{\lambda_2}}{\alpha_{\lambda_2}} = f(T, \lambda). \quad (20.6)$$

Unga muvofiq: *jism qanday to'lqin uzunlikli elektromagnit to'lqinlarni chiqarsa, shunday to'lqin uzunlikli elektromagnit to'lqinlarni yutadi.*

O'ziga tushayotgan elektromagnit to'lqinlarning barchasini yutadigan jism *absolut qora jism* deyiladi. Absolut qora jism uchun $\alpha_{\lambda} = 1$. O'z xossalariga ko'ra qorakuya, qora baxmal va hokazolar absolut qora jismga misol bo'ladi. Ichki qismi yutuvchi moddadan yasalgan, kichkina tirqishli jism absolut qora jismning yaxshi moduli bo'la oladi (35- rasm). Tirqishdan kirgan nur ko'p marta qaytadi va har bir qaytishda qisman yutila boradi.

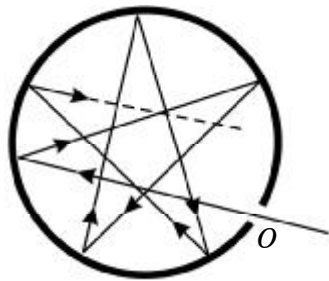
Yutish koeffitsiyenti $\alpha_{\lambda} < 1$ bo'lgan jismlar *kulrang jismlar* deyiladi.

Endi nurlanishning temperaturaga bog'liqligini o'rganaylik.

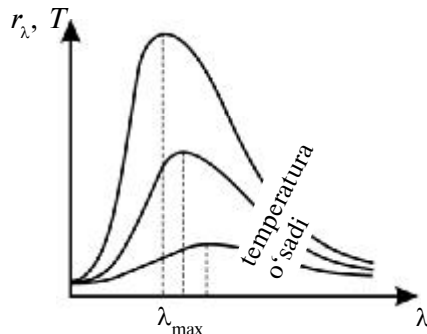
Stefan–Bolsman qonuni. Garchi, Kirxgof qonuni nurlanishning spektral zichligi temperatura va to'lqin uzunligiga proporsionalligini ko'rsatsa-da, bu bog'lanishning oshkor ko'rinishini yozish muhim ahamiyatga egadir. Ushbu masalani qisman yechishga erishgan avstriyalik fiziklar Y.Stefan va L.Bolsman quyidagi o'z nomlari bilan ataluvchi qonunni yaratdilar. *Qora jismning nurlanishi uning termodinamik temperaturasining to'rtinchi darajasiga proporsional:*

$$R_e = \sigma T^4. \quad (20.7)$$

Bu yerda $\sigma = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – Stefan–Bolsman doimiysi. 36- rasmda nurlanish spektral zichligi va to'lqin uzunligi orasidagi



35- rasm.



36- rasm.

bog'lanishlarning turli temperaturalar uchun o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Ulardan ko'rinib turibdiki, har bir uzluksiz egri chiziq, temperatura ortishi bilan kichik to'lqin uzunliklar tomon siljiydigan, yaqqol ko'rinib turadigan maksimumlarga ega.

Vinning siljish qonuni. Yuqorida ko'rdikki, temperatura ortishi bilan chiziqlar to'lqin uzunligining kichik qiymatlari tomonga siljiydi, ya'ni $\lambda_{\max}$ kamayadi. Ushbu siljishni nemis fizigi V.Vin quyidagi siljish qonuni orqali ifodalagan.

Eng katta to'lqin uzunligi $\lambda_{\max}$ qora jismning temperaturasiga teskari proporsional:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{T}. \quad (20.8)$$

Bu qonun *Vinning siljish qonuni* deb ataladi. Vin doimiysi $c = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Qizdirilgan jism soviy boshlaganda ko'proq to'lqin uzunligi katta bo'lgan nurlanish chiqarishi Vinning siljish qonuni yordamida tushuntiriladi. Masalan, oq rangli qizdirilgan metall soviy boshlaganda qizil tusga kiradi.

Shuni ta'kidlash lozimki, garchi empirik ravishda topilgan Stefan–Bolsman va Vin qonunlari issiqlik nurlanishida muhim rol o'ynagan bo'lsa-da, ular xususiy hollarnigina ifodalashlari mumkin. Boshqacha aytganda, Stefan–Bolsman qonuni 36- rasmda keltirilgan va tajriba natijalari asosida chizilgan bog'lanishning kichik to'lqin uzunlikli qismini tushuntira olsa, Vin qonuni katta to'lqin uzunlikli qismi bilan mos keladi. To'lqin uzunliklarining o'rta qiymatlariga mos keluvchi tajriba natijalarini esa har ikkala qonun ham tushuntirib bera olmaydi.



Sinov savollari

1. Qanday hodisalar yorug'likning korpuskular nazariyasini tasdiqlaydi? To'liq nazariyasini-chi? 2. Kvant fizikasi qanday muammolarni o'rganadi? 3. Yorug'lik qanday xususiyatga ega? 4. M.Plank qanday fikrni bildirdi? 5. Issiqlikdan nurlanish qanday nurlanish? 6. Issiqlikdan nurlanish natijasida jismning ichki energiyasi qanday o'zgaradi? 7. Nurlanish energiyasini yutganda jismda qanday o'zgarish ro'y beradi? 8. Nurlanayotgan jism temperaturasi pasayishini, nurlanish yutayotgan jism temperaturasi ortishini qanday tushuntirasiz? 9. Muvozonatli nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi? 10. Termodinamik muvozonat deb qanday holatga aytiladi? 11. Nurlanish oqimi va uning birligini ayting. 12. Jismning nurlanishi va uning birligi qanday? 13. Nurlanishning spektral zichligi nima va bunday tushunchaning kiritilishiga qanday zarurat bor? 14. Yutish koeffitsiyenti nima? 15. Kirxgof qonunini ta'riflang. 16. Absolut qora jism deb qanday jismga aytiladi? 17. Absolut qora jismning modelini tushuntiring. 18. Kulrang jism qanday jism? 19. Stefan–Bolsman qonuni va uning ahamiyati qanday? 20. 36- rasmdagi bog'lanishlarni tushuntiring. 21. Temperatura ortishi bilan chiziqlar qanday o'zgaradi? 22. Vinning siljish qonunini ta'riflang. 23. Vin qonunining o'rinishiga misol keltiring. 24. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarining qanday kamchiliklari mavjud?

21-§. Plank gipotezasi. Yorug'lik kvanti

Mazmuni: Reley–Jins qonuni; Plank gipotezasi; foton va uning xarakteristiklari.

Reley–Jins qonuni. Stefan–Bolsman va Vin qonunlari yordamida nurlanish spektral taqsimotining ko'rinishini topish yo'lidagi urinishlar muvaffaqiyatsizlikka uchragandan so'ng, ingliz fiziklari D. Reley va J. Jins yangi formulani taklif qildilar. Ular energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimoti haqidagi klassik qonun asosida nurlanishning spektral zichligi uchun quyidagi ifodani yozdilar:

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT . \quad (21.1)$$

Ammo ushbu ifoda ham 36- rasmdagi bog'lanishlarning katta to'liq uzunlikli (kichik chastotali) qisminigina tushuntirib bera oldi. U kichik to'liq uzunliklar (katta chastotalar) uchun mutlaqo yaroqsiz bo'lib chiqdi. Masalan, to'liq uzunligi nolga yaqinlash-

ganda nurlanishning spektral zichligi cheksiz katta qiymatni qabul qiladi. ((21.1) ifodaning maxraji nolga intilganda, r_λ ning qiymati cheksizlikka intiladi). Bu hol fanda «ultra-binafsha halokati» deb nomlanadi.

Shunday qilib, jismlar chiqaradigan energiya uzluksiz ravishda o'zgaradi, deb hisoblovchi klassik tasavvurlar asosida, jism nurlanish spektrini tushuntirish yo'lidagi barcha urinishlar o'tib bo'lmas to'siqqa duch kelaverdi. Muammoni yechish yangicha g'oya, yangicha fikr yuritishni taqozo qildi.



M. PLANK
(1858–1947)

Plank gipotezasi. Bu g'oya klassik tasavvurga teskari, ya'ni nurlanish energiyasi uzlukli, qiymati sakrab o'zgaradi, degan tasavvurga asoslangan bo'lishi mumkin edi.

Buni birinchi bo'lib tushunib yetgan nemis fizigi M. Plank quyidagi gipotezani olg'a surdi.

Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz bo'lmay, tebranish chastotasi ν ga proporsional E energiyali kvantlardan, ya'ni alohida energiyali porsiyalardan iboratdir:

$$E = h \cdot \nu, \quad (21.2)$$

bu yerda $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ — Plank doimiysi. U nurlanish energiyasi qancha miqdorda sakrab o'zgarishini ko'rsatadi.

Bizga ma'lumki, jism ko'plab sondagi atomlardan iborat va bu atomlarning har biri Plank gipotezasiga ko'ra elektromagnit to'lqinlar chiqaradi. Boshqacha aytganda, atomning nurlanish energiyasi kvant energiyasiga karrali ravishda o'zgarib, E , $2E$, $3E$, ..., nE qiymatlarnigina qabul qilishi mumkin. Aytaylik, $\nu = 10^{10} \text{ Hz}$ chastotali nurlar ($\lambda = 3 \cdot 10^2 \text{ m}$ radioto'lqinlar) kvant energiyasini topish so'ralgan bo'lsin:

$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ J}.$$

Bu yetarli darajada kichik son bo'lib, bunday qiymatni klassik fizikada uzluksiz ravishda o'zgaradi, deb hisoblash mumkin.

Agar $\nu = 10^{15} \text{ Hz}$ chastotali nurlar ($\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ li ultrabinafsha to'lqinlar) uchun kvant energiyasi topilsa:

$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

mikrozarralar fizikasi uchun hisobga olish zarur bo'lgan kattalikni hosil qilamiz. Shuning uchun taklif qilgan gipotezasi asosida Plank tomonidan topilgan formula nafaqat jismning nurlanish spektrini to'la tushuntirib bermay, balki uning yordamida klassik fizika qonunlari, jumladan, Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini ham hosil qilish mumkin.

Foton va uning xarakteristiklari. Plank gipotezasi yorug'lik kvanti haqidagi tushunchaning paydo bo'lishiga olib keldi va u *foton* deb nom oldi. Foton quyidagi xarakteristikalariga ega.

Fotonning energiyasi:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (21.3)$$

massasi

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}, \quad (21.4)$$

impulsi

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (21.5)$$

Yuqoridagi ifodalarda $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligi e'tiborga olingan. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi.

Foton yorug'lik tezligiga teng bo'lgan tezlik bilan harakatlanadi. Uni sekinlashtirib ham, tezlatib ham bo'lmaydi. Shuning uchun fotonning tinchlikdagi massasi to'g'risida gapirish ma'noga ega emas.



Sinov savollari

1. Reley–Jins formulasini yozing. 2. Reley–Jins formulasi nurlanish spektrining qaysi qismini tushuntira oladi? 3. «Ultrabinafsha halokat» deb nimaga aytiladi? 4. Nima uchun Stefan–Bolsman, Vin va Reley–Jins qonunlari jismning nurlanish spektrini to'la tushuntirib bera olmaydi? 5. Plank gipotezasini ta'riflang. 6. Plank doimiysi va uning fizik ma'nosini aytib bering. 7. Plank gipotezasiga muvofiq atomlarning nurlanish energiyasi qanday bo'ladi? 8. Turli chastotali elektromagnit to'lqinlar uchun kvant energiyasini hisoblang. 9. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini Plank formulasidan hosil qilish mumkinmi? 10. Agar mumkin bo'lsa, uni qanday izohlaysiz? 11. Foton nima? 12. Fotonning energiyasi qanday?

13. Fotonning massasi qanday? 14. Fotonning impulsi qanday?
 15. Fotonning tezligi qanday? 16. Fotonni qanday qilib sekinlashtirish
 mumkin? 17. Fotonning tinchlikdagi massasi qanday?

22-§. Fotoeffekt hodisasi

Mazmuni: fotoeffekt hodisasi; Stoletov tajribasi; to'yinish toki; tutuvchi potensial; Stoletov qonunlari; fotoeffekt hodisasining talqini; Eynshteyn tenglamasi; fotoeffektning qizil chegarasi; Stoletov qonunlarining talqini; ko'p fotonli fotoeffekt; ichki fotoeffekt.

Fotoeffekt hodisasi. *Yorug'lik ta'sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasi tashqi fotoeffekt deyiladi.* Bu hodisani 1887- yilda G.Gers kashf qilgan va u 1890- yilda rus fizigi A.Stoletov tomonidan o'rganilgan.

Agar tashqi fotoeffekt asosan o'tkazgichlarda ro'y berishi va ulardagi elektronlarning atom va molekulalarga bog'lanish energiyasi juda kichikligini e'tiborga olsak, elektronlar atomlar va molekulalardan ajralib chiqishiga ishonch hosil qilamiz.

Agar atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolsa, bunday hodisaga ichki fotoeffekt deyiladi. Ichki fotoeffekt asosan yarimo'tkazgichlarda kuzatilib, 1908- yilda rus fizigi A.Ioffe (1880–1960) tomonidan o'rganilgan.

Stoletov tajribasi. Stoletov tomonidan tashqi fotoeffektni o'rganish tajribasining sxemasi 37- rasmda keltirilgan.

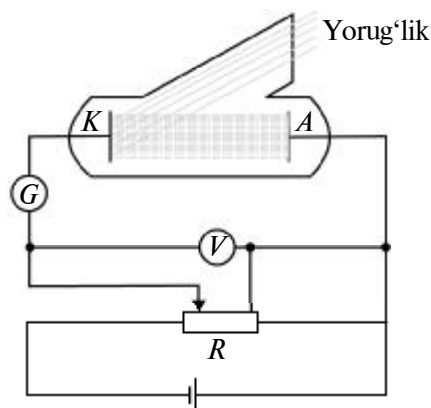
Vakuumli nayda katod vazifasini bajaruvchi tekshirilayotgan K plastinka va anod vazifasini bajaruvchi A elektrod joylashtirilgan. Katod va anod R qarshilik orqali tok manbayiga ulangan. Elektrodlar orasida kuchlanish (anod kuchlanishi) voltmeter V , zanjirdagi tok esa galvanometr (kichik toklarni o'lchaydigan asbob) G yordamida o'lchanadi. Katod yoritilmagan dastlabki paytda zanjirda tok bo'lmaydi. Chunki katod va anod o'rtasidagi bo'shliqda



A. G. STOLETOV



A. F. IOFFE
(1880–1960)

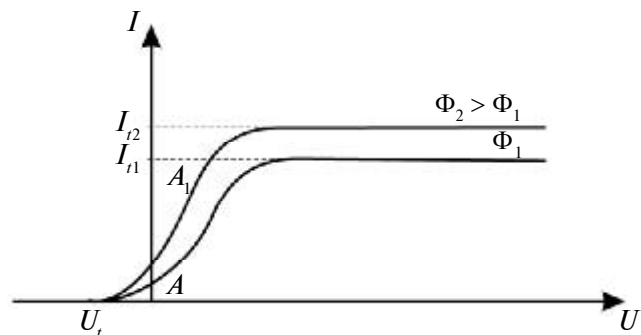


37- rasm.

zaryad tashuvchi zarralar bo'lmaydi. Agar katod shisha ko'zgu orqali yoritilsa, galvonometr zanjirda tok paydo bo'lganini ko'rsatadi (unga *fototok* deyiladi). Bunga sabab, katod plastinkasiga tushgan yorug'likning undan elektronlarni (ular *fotoelektronlar* deyiladi) urib chiqarishi va bu elektronlarning elektr maydon ta'sirida anod tomon batartib harakatining vujudga kelishidir. Potensiometr yordamida anod kuchlanishining qiymati va ishorasini o'zgartirish mumkin. Bu paytda galvanometr tok kuchining mos o'zgarishlarini ko'rsatadi.

To'yinish toki. 38- rasmda anod kuchlanishi va fototok orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. Bu bog'lanish *fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi* deyiladi. Undan ko'rinib turibdiki, katod va anod orasidagi kuchlanish ortishi bilan fototokning qiymati ham ortib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab tok kuchi o'zgarmay qoladi. Bunga sabab, yorug'lik ta'sirida katoddan urib chiqarilayotgan elektronlarning barchasi anodga yetib borayotganligidir. Bu tokka *to'yinish toki* (I_t) deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, to'yinish tokining qiymati katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liq bo'lib, yorug'lik oqimi ko'payishi bilan to'yinish tokining qiymati ham ortadi (38- rasmga q.).

Tutuvchi potensial. Fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasidan ko'rinib turibdiki, anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda ham zanjirda tok bo'laverar ekan. (Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda fotoelektronlarni anodga tomon harakatlantiruvchi elektr maydon bo'lmaydi.) Bunga sabab, katoddan urib chiqarilayotgan elektronlarning tashqi ta'sir bo'lmaganda ham



38- rasm.

anodga yetib olishlari uchun yetarli bo'lgan kinetik energiyaga ega bo'lishlaridir. Bu elektronlarni to'xtatish uchun tormozlovchi kuch bo'lishi kerak. Bunday kuchni vujudga keltirish uchun oldingisiga teskari yo'nalishda kuchlanish qo'yiladi va hosil bo'lgan elektr maydon elektronlarning anodga tomon harakatiga to'sqinlik qiladi. Natijada tormozlovchi kuchlanishning ma'lum qiymatidan boshlab barcha elektronlar to'xtatib qolinadi va zanjirdagi tok nolga teng bo'ladi. Kuchlanishning bu qiymati *tutuvchi kuchlanish* (U_t) deyiladi. Tutuvchi kuchlanishning qiymatiga qarab chiqayotgan elektronlarning tezligini aniqlash mumkin.

Aytaylik, m massali elektron v tezlik bilan chiqayotgan bo'lsin. Unda elektronning kinetik energiyasi $\frac{mv^2}{2}$ ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan, e zaryadli elektron U_t potensialli tutuvchi maydondan o'tishi uchun eU_t energiya sarflashi kerak. Agar elektronning kinetik energiyasi tutuvchi maydon energiyasidan katta bo'lsa, ya'ni $\frac{mv^2}{2} > eU$, elektron anodga yetib boradi.

Aks holda, ya'ni $\frac{mv^2}{2} < eU_t$ bo'lganda, elektron anodga yetolmaydi.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (22.1)$$

hol chegaraviy hol hisoblanadi va tutuvchi potensialning shu qiymatidan boshlab elektron tormozlovchi maydonda tutib qolinadi. Demak, yuqoridagi tenglikdan, elektronning anodga yetib

bora olishini ta'minlay olmaydigan chegaraviy tezligini topish mumkin:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_t}{m}}. \quad (22.2)$$

Stoletov qonunlari. O'tkazgan juda ko'p nozik tajribalari asosida Stoletov fotoeffektning quyidagi qonunlarini aniqladi.

1. *To'yinish fototokining kuchi katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga proporsional:*

$$I_t = k \cdot \Phi_e, \quad (22.3)$$

ya'ni yorug'lik oqimi qancha katta bo'lsa (intensiv bo'lsa), fototok ham shuncha katta bo'ladi. Bu yerda k — katod materialining yorug'likni sezishini xarakterlovchi koeffitsiyent.

2. *Fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'likning chastotasiga to'g'ri proporsional va yorug'lik oqimiga bog'liq emas.*

3. *Tushayotgan yorug'lik intensivligi qanday bo'lishidan qat'i nazar, fotoeffekt ma'lum chastotadan (to'lqin uzunligidan) boshlab ro'y bera boshlaydi va bu chastota katodning qanday materialdan yasalganiga bog'liq.*

Fotoeffekt hodisasining talqini. Fotoeffekt hodisasini yorug'likning to'lqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? Birinchi qonunni tushuntirish mumkin. Chunki katodga tushayotgan yorug'lik metall sirtidagi elektronlarni tebranma harakatga keltiradi. Tebranish amplitudasi esa tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq. U qancha katta bo'lsa, elektronning kinetik energiyasi ham shuncha katta bo'ladi va musbat ionlarning tortish kuchlarini yengib, katodni tark etadi. Intensivlik ortishi bilan katodni tark etuvchi elektronlar soni ham ortadi va demak, to'yinish tokining qiymati ham ortadi.

Shu tariqa mulohaza yuritilganda yorug'lik oqimining ortishi elektron kinetik energiyasining ortishiga ham olib kelishi kerak. Lekin Stoletov tajribasi bu fikrni tasdiqlamaydi. Demak, ikkinchi qonunni yorug'likning to'lqin nazariyasi asosida tushuntirib bo'lmaydi. Uchinchi qonunni tushuntirishga urinishlar ham shunday xulosaga kelishni taqozo etadi.

U holda fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati nuqtayi nazaridan tushuntirish mumkin, degan savol tug'iladi.

Eynshteyn tenglamasi. Stoletov qonunlari haqidagi chuqur mulohaza yuritgan A.Eynshteyn fotoeffekt hodisasini Plank gipotezasi asosida tushuntirishga qaror qildi. U Plank gipotezasini rivojlantirib, *yorug'lik nafaqat chiqarilganda, balki fazoda tarqalganida ham, boshqa moddalar tomonidan yutilganida ham o'zini fotonlar oqimidek tutadi*, degan fikrni bildirdi.

Eynshteyn fotoeffekt hodisasini shunday tushuntirdi. Katodga tushayotgan foton o'zining $h\nu$ energiyasini elektronga beradi. Agar bu energiya elektronning chiqish ishi A dan katta bo'lsa, elektron katoddan ajralib chiqadi. Lekin u anodga yetib borishi

uchun $\frac{mv^2}{2}$ kinetik energiyaga ham ega bo'lmog'i kerak. Aks holda u yana qaytadan katod moddasida yutilishi mumkin (I qism, 69- § ga qarang). Shunday qilib, *fotoeffekt hodisasi ro'y berishi uchun fotonning energiyasi elektronning moddadan ajralib chiqishiga va unga kinetik energiya berishga yetarli bo'lmog'i kerak, ya'ni*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (22.4)$$

Ushbu ifoda tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi deyiladi va u fotoeffekt hodisasi uchun energiyaning saqlanish va aylanish qonunini ifodalaydi. Eynshteyn o'z mulohozalarida elektron faqat bittagina fotondan energiya oladi, deb hisoblagan.

Fotoeffektning qizil chegarasi. Elektronning metallardan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liq. U turli metallar uchun turli qiymatlar qabul qiladi. Fotonning energiyasi faqat elektronni moddadan ajratib chiqara olishga, ya'ni chiqish ishini bajarishga yetarli bo'lgan holni qaraylik:

$$h\nu_q = A, \quad (22.5)$$

agar $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\frac{hc}{\lambda_q} = A \quad (22.6)$$

bo'ladi.

Odatda, bu shart fotonning energiyasi kichik bo'lganda ro'y bergani uchun unga *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi. Bunga

sabab, koʻzga koʻrinadigan nurlar orasida toʻlqin uzunligi eng katta — chastotasi eng kichik va demak, eng kam energiyali foton qizil nurga taalluqli ekanligidir. Aynan shu qizil chegaradan boshlab fotoeffekt hodisasi roʻy bera boshlaydi. (22.5) va (22.6) ifodalardan

$$\nu_q = \frac{A}{h} \quad \text{yoki} \quad \lambda_q = \frac{hc}{A} \quad (22.7)$$

ni olamiz. Tushayotgan yorugʻlik toʻlqinining fotoeffekt hodisasi boshlanishini taʼminlay oladigan chegaraviy chastotasi ν_q yoki toʻlqin uzunligi λ_q *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi.

Stoletov qonunlarining talqini. Endi Eynshteyn tenglamasi yordamida Stoletov qonunlari haqida mulohaza yuritaylik.

I. Agar tushayotgan yorugʻlik oqimi qancha katta boʻlsa, undagi fotonlar soni ham shuncha koʻp boʻladi. Koʻp sondagi fotonlar koʻproq elektronlarni urib chiqaradi va demak, toʻyinish tokining qiymati ham katta boʻladi.

II. Agar elektron bittagina fotondan energiya olar ekan, demak, uning kinetik energiyasi katodga nechta foton tushayotganiga (yorugʻlik oqimiga) emas, balki har bir fotonning energiyasiga bogʻliq boʻladi. Shuning uchun fotonning energiyasi, yaʼni chastotasi ortishi bilan elektronning kinetik energiyasi ham ortadi. Boshqacha aytganda, fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorugʻlik chastotasiga toʻgʻri proporsional boʻladi.

III. Fotoeffektning qizil chegarasi uchun topilgan (22.7) ifoda uchinchi qonunni tushuntirib beradi. Fotonning energiyasi chiqish ishiga teng boʻlganidan boshlab fotoeffekt hodisasi roʻy bera boshlaydi. Energiyasi chiqish ishidan kichik boʻlgan foton, yorugʻlik intensivligi qanday boʻlishidan qatʼi nazar, elektronni metallardan urib chiqara olmaydi va shuning uchun fotoeffekt roʻy bermaydi. Turli metallar uchun chiqish ishining qiymati turlicha boʻlganligidan, ular uchun fotoeffektning qizil chegarasi ham turlichadir.

Yuqoridagi mulohazalar — yorugʻlik fotonlar (zarralar) oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etadi va shuning uchun fotoeffekt hodisasi yorugʻlikning korpuskular nazariyasini tasdiqlovchi jarayon hisoblanadi.

Ichki fotoeffekt. Yorugʻlik taʼsirida atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektron sifatida

qolsa, bunday hodisa ichki fotoeffekt deyilishini qayd etgan edik. Masalan, bu hodisa yarimo'tkazgichda ro'y bersa, fotoelektronlar erkin zaryad tashuvchi zarralar — erkin elektronlar va teshiklar sonining ortishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, foton valent zonadagi elektronni o'tkazish zonasiga o'tkazadi. Natijada o'tkazish zonasidagi erkin elektronlar va teshiklar soni ortadi, ya'ni yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi. Shuning uchun ichki fotoeffekt *fotoo'tkazuvchanlik* deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, fotoo'tkazuvchanlik ro'y berishi uchun fotonning energiyasi man qilingan zonaning energiyasidan katta bo'lmog'i kerak. Aks holda, fotonning energiyasini olgan elektron, man qilingan zonadan sakrab o'tolmaydi va demak, ichki fotoeffekt hodisasi ro'y bermaydi.



Sinov savollari

1. Fotoeffekt deb nimaga aytiladi? 2. Tashqi fotoeffekt deb qanday hodisaga aytiladi? 3. Ichki fotoeffekt deb-chi? 4. Stoletov tajribasini tushuntirib bering. 5. Katod yoritilmaganda zanjirda tok bo'ladimi? 6. Yoritilganda-chi? 7. Tokning vujudga kelish mexanizmini tushuntirib bering. 8. Fotoelektronlar deb qanday elektronlarga aytiladi? 9. Fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasini tushuntirib bering. 10. To'yinish tokini tushuntirib bering. 11. To'yinish toki katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqmi? 12. Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda zanjirda tok bo'ladimi? Buni qanday tushuntirasiz? 13. Tutuvchi potensial nima? 14. Elektron anodga yetib borishi uchun kinetik energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 15. Elektron energiyasining qaysi qiymatidan boshlab u tormozlovchi maydonda tutib qolinadi? 16. Elektron katodga yetib bora olmasligi uchun uning chegaraviy tezligi qanday bo'lmog'i kerak? 17. Stoletovning birinchi qonuni nima haqida? 18. Stoletovning ikkinchi qonuni-chi? 19. Stoletovning uchinchi qonuni-chi? 20. Fotoeffektning yorug'likning to'lqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? 21. Stoletovning ikkinchi va uchinchi qonunlarini-chi? 22. Eynshteyn Plank gipotezasiga qanday qo'shimcha qildi? 23. Fotoeffekt ro'y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 24. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. 25. Eynshteyn fikriga ko'ra elektron nechta fotondan energiya oladi? 26. Elektronning metall dan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liqmi? 27. Fotoeffektning qizil chegarasi qanday aniqlanadi? 28. Fotoeffektning qizil chegarasi deb nimaga aytiladi? 29. Stoletovning birinchi qonunini tahlil qiling. 30. Stoletovning ikkinchi qonunini tahlil qiling. 31. Stoletovning uchinchi qonunini tahlil qiling. 32. Fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati asosida tushuntirish mumkin? 33. Yarimo'tkazgichda ichki fotoeffekt qanday ro'y beradi?

34. Fotoo‘tkazuvchanlik deb nimaga aytiladi? 35. Fotoo‘tkazuvchanlik ro‘y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo‘lmog‘i kerak? 36. Fotonning energiyasi man qilingan zonadan kichik bo‘lsa, qanday hodisa ro‘y beradi?

23-§. Fotoeffektning qo‘llanilishi

Mazmuni: fotoelement; vakuumli fotoelement; gazli fotoelement; fotoelementning qo‘llanilishi; fotoqarshilik; fotoelektr yurituvchi kuch; to‘siqli fotoelementlar.

Fotoelement. Fotoeffekt hodisasiga asoslanib ishlovchi qurilmalar — fotoelementlar texnikada juda keng qo‘llaniladi. Ulardan eng ko‘p tarqalgani — vakuumli va gaz to‘ldirilgan fotoelementlar.

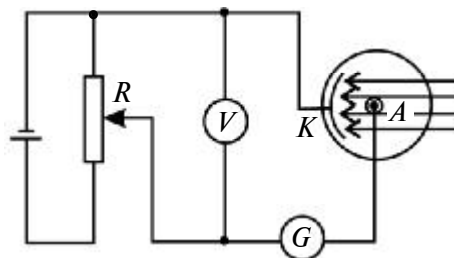
Vakuumli fotoelementlar. 39- rasmda ichki qismi katod vazifasini o‘tovchi yorug‘lik sezuvchi metall qatlami bilan qoplangan shisha kolbadan iborat fotoelement ko‘rsatilgan. Kolbaning havosi so‘rib olingan. Odatda, yorug‘likni sezuvchi metall sifatida chiqish ishi kichik bo‘lgan ishqorli metallardan foydalaniladi.

Kolbaning ichida esa anod vazifasini bajaruvchi metall halqa yoki to‘r o‘rnatilgan bo‘ladi. Fotoelementning qo‘llanish sxemasi 40- rasmda ko‘rsatilgan. Katod (K) batareyaning manfiy qutbiga, anod (A) esa musbat qutbiga ulanadi. Voltmetr (V) elektrodlar orasidagi potensiallar farqini ko‘rsatsa, qarshilik (R) yordamida bu kuchlanish o‘zgartirib turiladi. Shuningdek, zanjirda fototokni o‘lchovchi galvanometr (G) ham ulangan bo‘ladi.

Yorug‘lik katoddan urib chiqargan elektronlar anodga tomon harakat qiladi va galvanometr zanjirda tok borligini ko‘rsatadi. Zamonaviy fotoelementlar nafaqat ko‘zga ko‘rinuvchi yorug‘lik, hatto infraqizil nurlarni ham sezish qobiliyatiga ega.



39- rasm.



40- rasm.

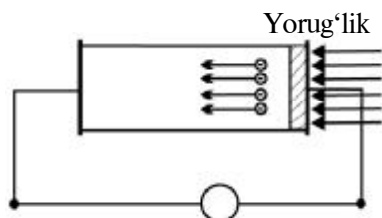
Gazli fotoelement. Shunday bo'lsa-da, fotoelementlarning sezgirligi uncha yaxshi hisoblanmaydi (bir lumen yorug'lik oqimi o'n mikroamper atrofida tok vujudga keltirishi mumkin). Natijada vakuumli fotoelement zanjiridagi tok juda kichik bo'ladi. Tokni kuchaytirish, ya'ni fotoelementning sezgirligini oshirish uchun esa kolbaga ozroq gaz kiritiladi va uni *gazli fotoelement* deyiladi. Bunda katoddan urib chiqarilgan elektron fotoelement to'ldirilgan gaz molekulalariga urilib, ularni ionlashtiradi, ya'ni urilish ionlashuvi vujudga keladi. Buning uchun, albatta, katod va anod orasidagi kuchlanish yetarli darajada katta va katta tezlikli elektronning kinetik energiyasi gaz molekulasini ionlashtirishga yetarli bo'lmog'i kerak. O'z navbatida, vujudga kelgan ionlar elektrodlar tomon harakatga keladi va yo'lida uchragan molekulalarga urilib, ularni ham ionlashtiradi. Shunday qilib, anod tomon harakatlanayotgan elektronlarning soni va demak, anod toki, ya'ni fotoelementning sezgirligi ortadi.

Fotoelementning qo'llanilishi. Tasvirni simsiz uzatish (fototelegrafiya) — fotoelement eng ko'p qo'llaniladigan sohalardan biridir. Bunga televideniya yaxshi misol bo'la oladi. I qism, 107- § da qayd etilganidek, tasvirni elektr signallariga aylantirish ikonoskop deb ataluvchi qurilmada amalga oshiriladi. Ikonoskop — sirti juda ko'p mitti fotoelementlardan iborat asbob. Ular o'zlariga tushayotgan yorug'likka mos bo'lgan elektromagnit to'lqinlar hosil qiladi va bu to'lqinlar uzoq masofalarga uzatiladi. Antenna yordamida qabul qilingan signallar esa kineskopda qaytadan yorug'lik signaliga, ya'ni tasvirga aylantiriladi.

Fotoelement yordamida ishlovchi fotorelelar sanovchi, avtomatik ravishda turli mexanizmlarni ishga tushiruvchi va nazorat qiluvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Fotorele — yorug'lik tushganda yoki yorug'lik tushishi to'xtaganda ishlashi mumkin.

Fotorele — zamonaviy robotlarning sezish qurilmalaridan (ko'zidan) tortib, metrolarga kirishni nazorat qiluvchi qurilmalargacha, shahar ko'chalarining yoritish sistemasi, suv yo'llari mayoqlarini ishga tushirishdan tortib, detallarning shakli va rangiga qarab ajratishgacha bo'lgan vazifani bajaruvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi.

Fotoqarshilik. Fotoqarshilik ichki fotoeffektga asosan ishlaydigan asbob hisoblanadi. Fotoqarshilik deb, qarshiligi ~~u~~ppga tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgan yarimo'tkazgichli qurilmaga aytiladi. Uning ish prinsipini tushunish uchun yarim-



41- rasm.

o'tkazgichning ish prinsipini tahlil qilaylik. Shuni ta'kidlash lozimki, yoritilmagan (yorug'likdan to'silgan) yarimo'tkazgichda ham ma'lum miqdordagi erkin elektronlar mavjud bo'ladi va ular yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligini hosil qiladi. Agar yarimo'tkazgichga kuchlanish qo'yilsa, unda elektr toki vujudga keladi va bu tokka xususiy tok (I_x) deyiladi. Agar yarimo'tkazgich yoritilsa, qo'shimcha elektronlar va teshiklar vujudga kelib, uning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi va zanjirdagi tok I_{y0} yorug'lik tokigacha ortadi. Yorug'lik toki va xususiy toklarning farqi: $I = I_{y0} - I_x$ — fototok deyiladi. Fotoqarshilik tovushli kinoda, televideniyada, telemexanikada, avtomexanikada signal beruvchi (xabar beruvchi) vosita sifatida ishlatiladi.

Fotoelektr yurituvchi kuch (foto-EYK). Ichki fotoeffekt prinsipiga asosan ishlaydigan qurilmalarning eng keng tarqalgani fotoelektr yurituvchi kuch vujudga keladigan qurilmalardir. Ba'zan ularga *fotogalvanik elementlar* ham deyiladi. Foto-EYK ning vujudga kelishi ancha sodda. Aytaylik, yarimo'tkazgichning bir bo'lagi yoritilayotgan bo'lsin (41- rasm). Tushayotgan yorug'lik qo'shimcha zaryad tashuvchilarni (elektronlarni va teshiklarni) vujudga keltiradi. Natijada yarimo'tkazgichning yoritilgan qismida zaryad tashuvchilarning soni ko'p, yoritilmagan qismida kam bo'lib qoladi. Bu esa yarimo'tkazgichning har ikkala qismi orasida elektr yurituvchi kuch vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Bunday EYK *diffuzion foto-EYK* deyiladi.



Sinov savollari

1. Fotoelement deb qanday qurilmaga aytiladi?
2. Vakuumli fotoelement deb-chi?
3. Vakuumli fotoelementning tuzilishini tushuntiring.
4. Nima uchun katod sifatida ishqorli metallardan foydalaniladi?
5. 41-rasmdagi sxemani tushuntiring.
6. Voltmetr, qarshilik va galvanometrlarning vazifasi nimadan iborat?
7. Vakuumli fotoelementning sezgirligi qanday?
8. Uning sezgirligini oshirish uchun qanday yo'l tutiladi?
9. Gazli fotoelement nima?
10. Gazli fotoelement sezgirligining ortishiga sabab nima?
11. Ikonoskop qayerda ishlatiladi?
12. Ikonoskopning ish

prinsipi qanday? 13. Kineskopning vazifasi nima? 14. Fotorelening ish prinsipi qanday? 15. Fotorelening ishlatilishiga beshta misol keltiring va tushuntirib bering. 16. Fotoqarshilik deb qanday qurilmaga aytiladi? 17. Fotoqarshilikning ish prinsipini tushuntiring. 18. I_x qanday vujudga keladi? 19. I_{y0} yorug'lik toki-chi? 20. Fototok qanday aniqlanadi? 21. Fotoqarshilik qanday ishlatiladi? 22. Fotogalvanik elementlar qanday qurilmalar? 23. 41- rasmdagi manzarani tushuntirib bering. 24. Diffuzion foto-EYK qanday vujudga keladi?

24-§. Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi

M a z m u n i : yorug'likning to'lqin tabiati; yorug'likning korpuskular tabiati; yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi.

Yorug'likning to'lqin tabiati. Biz yorug'likning elektromagnit to'lqinlardan iborat ekanligini tasdiqlovchi interferensiya, difraksiya va qutblanish hodisalari bilan tanishdik. Yorug'lik to'lqinlarga xos bo'lgan barcha xarakteristikalariga egaligiga va elektromagnit to'lqinlar shkalasidagi ma'lum oraliqda joylashgan to'lqinlardan iborat ekanligiga ishonch hosil qildik.

Lekin shu bilan birga, yorug'likni elektromagnit to'lqinlar sifatida qarash issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirib berishga ojizlik qilishini qayd etdik.

Yorug'likning korpuskular tabiati. Issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirish yorug'likni fotonlar oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etdi. Boshqacha aytganda, bu hodisalarni faqat yorug'likning korpuskular nazariyasi asosida tushuntirish mumkin.

Bundan tashqari, yorug'likning sinish qonunlari va yorug'lik bosimini har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin. Unda yorug'lik ham to'lqin, ham korpuskular tabiatga ega emasmikan, degan savol tug'iladi. Bu esa, o'z navbatida, yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmining tug'ilishiga sabab bo'ldi.

Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi. Shunday qilib, yorug'likda go'yoki bir-birini inkor etuvchi ikkita: to'lqin va korpuskular tabiatning uyg'unligi namoyon bo'ldi. Ayni paytda, ular bir-birini to'ldirib, yorug'lik bilan bog'liq bo'lgan barcha jarayonlarni tushuntirib bera oldi.

Shuni ta'kidlash lozimki, fotonning energiyasi $E = h\nu$ va impulsi $P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ uchun yozilgan ifodalar yorug'likning

korpuskular xarakteristikalar — energiya va impulsni, yorug‘likning to‘lqin xarakteristikalar — chastota va to‘lqin uzunligi bilan bog‘laydi. Shu sababli, yorug‘likning tabiati haqidagi har ikkala nazariyani bir-biriga qarama-qarshi qo‘yish emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi nazariyalar sifatida qarash joizdir. Ularning har biri ma’lum sharoitda o‘zlarini namoyon qilishadi. Masalan, to‘lqin uzunligi katta va demak, energiyasi kichik bo‘lsa, yorug‘likning to‘lqin tabiati namoyon bo‘ladi. Aksincha, to‘lqin uzunligi kichik va demak, fotonning energiyasi va impulsi katta bo‘lsa, yorug‘likning korpuskular tabiati yaqqol namoyon bo‘ladi. *Shunday qilib, yorug‘lik materiyaning murakkab shakli bo‘lib, u ikki xil: ham korpuskular, ham to‘lqin tabiatiga egadir. Bunga yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi deyiladi.*

Yorug‘likning bu xossasiga 29- § da yana qaytamiz.



Sinov savollari

1. Qanday hodisalar yorug‘likning to‘lqin tabiatini tasdiqlaydi?
2. Korpuskular tabiatini-chi?
3. Qanday hodisalarni har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin?
4. Fotonning energiyasi va impulsi uchun yozilgan ifodalarda yorug‘likning korpuskular va to‘lqin nazariyalarini xarakterlovchi kattaliklar orasidagi bog‘lanish mavjudmi?
5. Yorug‘likning to‘lqin tabiati qachon namoyon bo‘ladi? Korpuskular tabiati-chi?
6. Yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi nima?

25-§. Gelioenergetika. O‘zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish va uning istiqbollari

M a z m u n i : fotoelementlar; gelioenergetika; geliotexnika; O‘zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari.

Fotoelementlar. Yuqorida qayd etilganidek ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan, yorug‘lik ta’sirida elektr yurituvchi kuch vujudga keltiradigan qurilmalarga fotoelementlar deyiladi. Fotoelementlarda EYK vujudga kelishi mexanizmi bilan tanishish uchun 42-rasmdagi sxemani tahlil qilaylik. Elektrod vazifasini o‘tovchi *M* metall plastinkaga *p* tipidagi yarimo‘tkazgichning yupqa qatlami qoplangan. O‘z navbatida, bu qatlam ham ikkinchi elektrod vazifasini bajaruvchi ikkinchi metall qatlam (oltin) bilan qoplangan. Elektrodlar esa bir-biriga galvanometr

(G) orqali ulangan. Agar yarimo'tkazgich ikkinchi elektrod orqali yoritilsa, unda ichki fotoeffekt natijasida erkin elektronlar vujudga keladi. Bu elektronlar betartib harakat qilib M qatlamga o'tadi. Metall — yarimo'tkazgich chegarasida hosil bo'lgan to'suvchi qatlam esa teshiklarning o'tishiga to'sqinlik qiladi. Natijada metall qatlam M da ortiqcha elektronlar hosil bo'ladi.

Boshqacha aytganda to'siqning mavjudligi ikki qatlam orasida foto-EYK ning vujudga kelishiga olib keladi va galvanometr orqali tok oqadi. Shunday qilib, fotoelement yorug'lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib beradi. Bunday fotoelementlardan quyosh nurlari energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beradigan quyosh batareyalarini yasash mumkin.

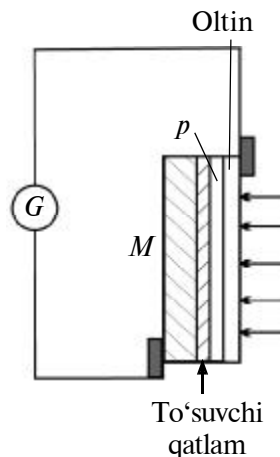
Agar metall-yarimo'tkazgich o'rniga $p-n$ tipidagi yarimo'tkazgichlardan iborat qoplamalardan foydalanilsa, fotoelementning f.i.k ancha yuqori bo'ladi. Hozirgi paytda eng ko'p tarqalgan fotoelementlar kremniyli fotoelementlardir.

Gelioenergetika. Quyosh nurlarining Yer sirtiga yetib keladigan qismi juda katta energiyaga ega bo'lib undan samarali foydalanish boshqa organik yoqilg'ilardan foydalanishni sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi. Buning tabiatni muhofaza qilishdagi ahamiyati ham beqiyosdir.

Quyosh energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib beradigan qurilmalar quyosh batareyalari deyilib, ular biz yuqorida tanishgan fotoelementlardan tashkil topgan. Kremniyli fotoelement asosida ishlaydigan birinchi quyosh batareyasi amerikalik olimlar tomonidan 1954- yilda yaratilgan bo'lib, uning F.I.K o'n foiz atrofida bo'lgan. Bugungi kunda bu ko'rsatkich yigirma to'rt foizni tashkil qiladi.

Zamonaviy yarimo'tkazgichli birikmalar asosida ishlaydigan quyosh batareyalarining f.i.k. qirq foizni tashkil qilmoqda. Ikki tomonlama egiluvchan quyosh panellarining f.i.k. bundan ham yuqori bo'lib, quvvati ham ancha kattadir.

Hozirgi paytda kosmik kemalarning energiya ta'minoti quyosh batareyalari yordamida amalga oshiriladi. Ular yordamida binolar



42- rasm.

issiqlik bilan ta'minlanmoqda. Mikrokalculatorlar, pleyerlar, mayda maishiy xizmat jihozlari faoliyat ko'rsatmoqda.

„Kelajak avtomobillari“ bo'lmish elektromobillar ham quyosh batareyalari yordamida harakatlanadi.

Xizmat ko'rsatish muddati chorak asrdan ko'p bo'lgan bunday qurilmalarning insoniyatni energiya bilan ta'minlashdagi hissassi tobora ortib bormoqda.

Geliotexnika. Geliotexnika — quyosh energiyasidan texnik maqsadlarda foydalanish usullari haqidagi fan. Boshqacha aytganda, quyosh nurlari energiyasini foydalanish uchun qulay bo'lgan boshqa turdagi energiyaga aylantirish bilan shug'ullanuvchi soha.

O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish va uning istiqbollari. Quyosh nurlari energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylantirish sohasida O'zbekiston FA ning fizika-texnika institutida, 60- yillarda G.Umarov tomonidan boshlangan ilmiy tadqiqot ishlari hozirgacha davom etmoqda. Keyingi yillarda materialshunoslik fani tez suratlar bilan rivojlanishi natijasida quyosh energiyasini to'plovchi qurilmalar — geliokonsentratorga e'tibor kuchaydi. Bunday qurilmalar yordamida yangi materiallarni yaratish, ularni qayta ishlash va xossalarini o'rganish mumkin. Shu maqsadda 1987- yilda Toshkent viloyatining Parkent tumanida akademik S. Azimov rahbarligida quvvati 1MW bo'lgan Katta Quyosh Sandoni (KQS) qurildi. KQS maxsus texnologik tizim bilan jihozlangan va gorizonttal o'qqa o'rnatilgan, fokus masofasi 18 m, o'lchami 54×42 m bo'lgan ikki ko'zguli optik energetik qurilmadir. KQS yordamida sof metallarni olish, issiqqa chidamli, elektr izolatsiya xossalariga ega materiallarni yaratish sohasida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Quyosh energiyasini elektr energiyasi yoki boshqa turdagi energiyalarga aylantirish xalq xo'jaligining ravnaqiga ulkan hissa qo'shishi mumkin.

O'zbekiston quyoshli yurt bo'lganligi sababli ham quyosh energiyasidan foydalanish yuqori natija beradi. O'zbekiston zaminiga quyosh nuri tushib turadigan vaqt o'rtacha 3000 soatni tashkil qilib, tushayotgan energiya zichligi bir metr kvadratga 10^{10} kal ni tashkil qiladi.

Shuning uchun ham quyosh energiyasidan foydalanish O'zbekistonda istiqbolli sohalardan biri hisoblanadi.



Sinov savollari

1. To'siqli fotoelementlarda EYK qanday vujudga keladi? 2. Metall qatlamda ortiqcha elektronlar qanday vujudga keladi? 3. p qatlamda ortiqcha teshiklar-chi? 4. Quyosh batareyalari qanday qurilmalar? 5. Quyosh batareyalari nimalardan tashkil topgan? 6. Kremniyli quyosh batariyasi qachon yaratilgan va f.i.k qancha bo'lgan? 7. Zamonaviy quyosh batareyalarining f.i.k qancha? 8. Quyosh energiyasidan foydalanishning afzalliklari. 9. Quyosh batareyalaridan foydalanishga misollar keltiring. 10. Geliotexnika qanday fan? 11. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha dastlabgi tadqiqotlar qachon boshlangan? 12. Katta Quyosh Sandoni qachon qurilgan va uning parametrlari. 13. KQS dan nima maqsadlarda foydalaniladi? 14. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanishning istiqbollari.

Masala yechish namunalari

1- masala. Qora jismning boshlang'ich temperaturasi 500 K. Qizdirilgandan keyin nurlanish 4 marta oshsa, jismning oxirgi temperaturasi nimaga teng bo'ladi?

Berilgan:

$$T_1 = 500 \text{ K};$$

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = 4.$$

$$T_2 = ?$$

Yechish. Qora jismning nurlanishi Stefan—Bolsman qonuniga muvofiq aniqlanadi. Qonunni har ikkala holat uchun yozamiz:

$$R_{e1} = \sigma T_1^4 \quad \text{va} \quad R_{e2} = \sigma T_2^4.$$

Bu ifodalardan ko'rilayotgan jarayon uchun quyidagi munosabatni yozamiz:

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4.$$

Bundan

$$T_2 = \sqrt[4]{n} T_1.$$

Berilganlarni ushbu ifodaga qo'yib hisoblaymiz:

$$T_2 = \sqrt[4]{4} \cdot 500 \text{ K} \approx 1,41 \cdot 500 \text{ K} = 705 \text{ K}.$$

J a v o b: $T_2 = 705 \text{ K}.$

2- masala. Quyosh nurlanish spektral zichligi maksimal qiymatining to‘lqin uzunligi $0,48 \text{ } \mu\text{m}$. Quyoshni qora jism deb qarab, uning sirtidagi temperaturani toping.

Berilgan:

$$\lambda_{\max} = 0,48 \text{ } \mu\text{m} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

Yechish. Vinning siljish qonuniga

muvofig, Quyosh sirtidagi temperatura quyidagicha aniqlanadi:

$$T = ? \qquad T = \frac{c}{\lambda_{\max}}.$$

Bu yerda $c = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ – Vin doimiysi. Hisoblashlar bajarib,

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-7}} \text{ K} = 6040 \text{ K} = 6,04 \text{ kK}$$

ga ega bo‘lamiz.

J a v o b: $T = 6,04 \text{ kK}$.

3 - masala. Elektronning chiqish ishi $2,3 \text{ eV}$ bo‘lgan natriy uchun fotoeffektning qizil chegarasi aniqlansin.

Berilgan:

$$A_{\text{ch}} = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\lambda_{\text{q}} = ?$$

Yechish. Fotoeffektning qizil chegarasi uchun yozilgan

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{q}}} = A_{\text{ch}}$$

ifodadan λ_{q} ni topamiz:

$$\lambda_{\text{q}} = \frac{hc}{A_{\text{ch}}}.$$

Bu yerda $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ – Plank doimiysi; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ – yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi.

Hisoblashlarni bajaramiz:

$$\lambda_{\text{q}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8}{3,68 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 5,40^{-7} = 0,54 \mu\text{m}..$$

J a v o b: $\lambda_{\text{q}} = 0,54 \text{ } \mu\text{m}$.



Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Agar jismning temperaturasi bir protsentga ortsa, uning nurlanishi necha protsentga ortadi? ($\Delta n = 4,06\%$.)
2. Qora jismning nurlanishi o'n olti marta kamayishi uchun temperaturani necha marta kamaytirish kerak? ($n = 2$ marta.)
3. Quyoshning temperaturasi 5,3 kK ga teng. Quyoshni qora jism sifatida qabul qilib, uning nurlanish spektral zichligining maksimumiga mos keluvchi to'liq uzunligi aniqlansin. ($\lambda_{\max} = 0,547 \text{ } \mu\text{m}$.)
4. Agar fotoelektronlarning tezligi 3000 km/s bo'lsa, platina plastinkaga tushayotgan fotonlarning to'liq uzunligi aniqlansin. ($\lambda = 0,039 \text{ } \mu\text{m}$.)
5. Rux uchun fotoeffektning qizil chegarasi 0,31 μm . Agar rux plastinkaga 0,002 μm to'liq uzunlikli yorug'lik tushayotgan bo'lsa, fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi elektron-voltlarda aniqlansin. ($T_{\max} = 2,2 \text{ eV}$.)
6. To'liq uzunligi 0,6 μm bo'lgan yorug'lik yassi yaltiroq sirtga tik tushib 4 μPa bosim hosil qiladi. Shu sirtning 1 mm^2 yuzasiga 10 s davomida tushayotgan fotonlar soni aniqlansin. ($n = 1,8 \cdot 10^{16}$.)
7. Massasi elektronning massasiga teng bo'lgan fotonning to'liq uzunligi aniqlansin. ($\lambda = 0,024 \text{ } \mu\text{m}$.)
8. 600 nm to'liq uzunlikli fotonlar qaytarish koeffitsiyenti 0,2 bo'lgan plastinkaga tushadi. Agar nurlar plastinkani 10^{-13} H/m^2 kuch bilan bossa, vaqt birligida plastinkaga tushayotgan fotonlarning soni aniqlansin. ($N = 755 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.)

Test savollari

1. Fotoelektronlarning kinetik energiyasi nimaga to'g'ri proporsional bo'ladi?
 - A. Tushayotgan yorug'likning chastotasiga.
 - B. Tushayotgan yorug'lik oqimiga.

- C. Nurlanish intensivligiga.
D. Tormozlovchi maydonga.
E. Tutuvchi kuchlanishga.
2. Berilgan tenglamalar ichidan fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini toping.
- A. $h\nu_k = A$. B. $E = h\nu$.
C. $E = mc^2$. D. $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$.
E. To'g'ri javob C va D.
3. To'liq uzunligi $6 \cdot 10^{-7}$ m bo'lgan qizil yorug'lik fotonining energiyasi nimaga teng?
- A. $3,3 \cdot 10^{-19}$ J. B. $3,2 \cdot 10^{-19}$ J.
C. $4,3 \cdot 10^{-19}$ J. D. $2,3 \cdot 10^{-19}$ J.
E. $3 \cdot 10^{-18}$ J.
4. Berilgan modda uchun fotoeffekt kuzatiladigan «qizil chegara»ni aniqlash formulasini ko'rsating.
- A. $m = \frac{h\nu}{c^2}$. B. $\nu = \frac{A}{h}$.
C. $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$. D. $E = h\nu$.
E. $M = \frac{h\nu}{c}$.

Bobning asosiy xulosalari

Termodinamik muvozanat deb, sistemaning vaqt o'tishi bilan termodinamik parametrlari o'zgarmaydigan holatiga aytiladi.

Plank gipotezasi. *Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz bo'lmay, tebranish chastotasi ν ga proporsional E energiyali kvantlardan, ya'ni alohida porsiyalardan iborat:*

$$E = h\nu.$$

Foton — yorug'lik kvanti bo'lib, quyidagi xarakteristikalariga

ega: energiyasi $E = h\nu$; massasi $m = \frac{E}{c^2}$; impulsi $P = mc$.

Tashqi fotoeffekt deb, yorug‘lik ta‘sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasiga aytiladi.

Ichki fotoeffekt deb, yorug‘lik ta‘sirida ajralib chiqqan elektronlar moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolgan holga aytiladi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasi:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Yorug‘lik ta‘sirida ro‘y beradigan kimyoviy o‘zgarishlar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi.

Yorug‘lik materiyaning murakkab shakli bo‘lib, u ikki xil: ham *korpuskular*, ham *to‘lqin* tabiatiga egadir.

