

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAHSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI

“Himoyaga ruxsat etildi”
Magistratura bo'limi boshlig'i,
dotsent _____ G'.A.Doliev
“ ____ ” _____ 2019 yil

5A140202-Fizika yo'nalishlar bo'ycha (Lazerlar fizikasi)
mutaxassislik magistranti

IBRAGIMOV RAXIMJON XASANBOY O'G'LI

“CHIZIQLI TEZLATKICHLAR ISHLASH PRINSIPINING
FIZIKA ASOSLARI”
mavzusida

MAGISTRLIK
DISSERTATSIYA ISHI

Fizika kafedrası mudiri: _____ f.m. (PhD), B.Qo'chqorov
MDI raxbari: _____ f-m.f.n. M.Ergasheva

Namangan-2019

M U N D A R I J A

KIRISH.....	3
--------------------	----------

ASOSIY QISM

I BOB TEZLATKICHLAR VA ULARNING HARAКТERISTIKALARI

1.1.Tezlatkichlar rivojlanishining qisqacha tarixi	12
1.2.Tezlatkichlarning turlari va klassifikatsiyasi.....	18
1.3.Tezlatkichlar fizikasidagi birliklar va o'lchamlar.....	26

II BOB TEZLATKICH TURLARI VA ISHLASH PRINSPLARI

2.1.Bevosita ta'sir tezlatkichlari va ularning ishlash prinsplari.....	32
2.2.Siklik tezlatkichlar va ularning ishlash prinsplari.....	39
2.3.Duchma-duch kelgan zarrachalar dastasi bilan ishlaydigan tezlatkichlar va ularning ishlash prinsplari.....	57

III BOB TEZLATKICHLARNING ISHLASH PRINSPLARI VA ULARNING QO'LLANILISHI.....

3.1.Tezlatkichlarning radioizotoplar ishlab chiqishda qo'llanilishi....	76
3.2.Chiziqli tezlatgichda nur terapiyaning amalga oshirilishi.....	80
3.3.Terapiya va diagnostika uchun tezlatkichlar.....	86

XULOSA.....	93
--------------------	-----------

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	94
---------------------------------------	-----------

KIRISH

Hozirgi kunda tezlatkichlar, fan va texnika, sanoat, tibbiyot va qishloq xo'jaligining turli sohalarida keng qo'llanilmoqda. Tezlatkichlarsiz, fanlarning butun bir bo'limlari, sanoatning butun bir sohaları rivojlanmagan bo'lar edi. Deyarli, hamma sohada tezlatkichlar bilan uchrashamiz, bu rezina yoki polietilenning xususiyatlarini yaxshilash uchun qo'llaniladigan tezlatkichlar bo'lsin, zararsizlantirish uchun tezlatkichlar, don zararkunandalariga qarshi kurashadigan tezlatkichlar, xavfli o'smalarni davolash uchun qo'llaniladigan tezlatkichlar va hokazo. Ammo, eng yirik, eng e'tiborni tortadigan, inson tasavvurini qoyil qoldiradigan tezlatkichlar ilmiy tadqiqotlar uchun quriladi. Yirik tezlatkichlar, butun bir shahar iste'mol qiladigan elektroenergiyadan ko'p elektr energiyani iste'mol qiladi. Hozirgi kunda yaratilgan gigant tezlatkichlari (zamonaviy kollayderlarni), qadimgi Misr uchun xarakterli bo'lgan piramidalar kabi bizning davrimiz uchun ham xarakterlidir. Gigant tezlatkichlarni qurish uchun katta mablag'lar sarflanishiga qaramasdan, tezlatkichlarning yangi avlodlari parametrlari oldingilarga nisbatan yuqori bo'lganlari qurilmoqda. Bu tezlatkichlar elementar zarralar olamini o'rganishga va yangi kashfiyotlar ochishga yordam beradi.

Mavzuning dolzarbligi: Yadrolarning strukturasini va reaksiyalarning mexanizmlarini o'rganishda yuqori quvvatli tezlatgichlarning o'rni tobora ortib bormoqda. Yadroga tegishli spektroskopik ma'lumotlarning barchasi tezlatkichlar yordamida amalga oshirilgan yadro reaksiyalari orqali olingan. Keyingi vaqtlarda yadroning strukturalarini radioaktiv ionlar orqali o'rganish ishlari rivojlanib bormoqda. Bugungi kunda onkologik kasalliklar xavfliligi jihatidan dunyo bo'yicha ikkinchi o'rinni egallab turibdi. Bu ko'rsatkich bizning ham respublikamizni chetlab o'tmagan ya'ni ayni vaqtda mamlakatimizning har 100000(yuz ming) aholisiga 75 tadan onkologik kasalliklarga chalingan bemorlar to'g'ri keladi. Afsuski bu kasallikni davolovchi zamonaviy apparatlar juda kam. Bu ishlarni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan tezlatkichlar komplekslari

qurilmoqda va parametrlari yuqori bo'lgan tezlatkichlar loyihalashtirilmoqda. Shu bilan birgalikda bugungi kunda xavfliligi jihatidan dunyoda ikkinchi o'rinda turuvchi onkologik kasalliklarni davolovchi vosita sifati, eng so'nggi zamon talabiga javob beruvchi vositalar ishlab chiqilmoqda. Bu esa o'z navbatida fizikaning tibbiyot bilan hamkorlik asosida yangi chiziqli tezlatkichlar yaratilishiga olib kelmoqda. Onkologik kasalliklarni davolashda chiziqli tezlatkichlar nur terapiyasi katta ahamiyat kasb etib kelmoqda. Shuning uchun zamonaviy tezlatkichlarning tuzilishi va ishlash prinsipini o'rganish biz fiziklar uchun o'ta muhim va dolzarb hisoblanadi.

Maqsad va vazifasi: Bugungi shiddat bilan rivojlanib borayotgan zamonamizda mikroolam qonunyatlarini tushunish tahlil qilish va amaliyotda qo'llay olishimizni davr talab etmoqda. Shu bois tezlatkichlar fizikasida ishlatiladigan o'lchov birliklar va ularning o'lchamlari, tezlatkichlar vakuum sistemasi, tezlashtiriladigan zarrachalarni hosil qilish manbalari, zarrachalarning elektr va magnit maydonlardagi harakati, tezlatkichlarning turlari, ishlash printsiplari va parametrlari hamda shu bilan birga siklik, chiziqli va katta adron kollayderlari va ularning xarakteristikalarini o'rganish mavzuning maqsadi va vazifasi hisoblanadi. Chiziqli tezlatkichlar o'rnatilishi loyihalashtirilib amaliyotga joriy etilsa bemorlar va ularni davolovchi shifokorlarning nurlanish xavf-salomatligi ancha kamaygan ish samaradorligi oshadi.

Ishning o'rganilish darajasining qiyosiy taxlili: Magistrlik dissertatsiya ishini yoritishda Komar E.G., Goldin L.L. "Elektron tezlatkichlarda radioaktiv izotoplarni olish imkoniyatlari" Elektron qo'llanmasi, Bekjonov R.B, Azimov S.A., Yarmuhammedov R., Polvonov S.J. va boshqa juda ko'plab olimlar tadqiqotlari alohida ilmiy – amaliy ahamiyat kasb etdi.

Tadqiqot predmeti; Tezlatkichlar va ularning xarakteristikalarini, ishlash printsiplarini o'rganish.

Tadqiqot ob’ekti: Bevosita ta’sirtezlatkichlari, chiziqli tezlatkichlar, siklik tezlatkichlar, bir-biriga qarama-qarshi yo’naltirilgan zarrachalar oqimiga asoslangan tezlatkichlar-kollayderlar

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati: Respublikada sog’liqni saqlash tizimini rivojlantirish strategiyasini, ilg’or xalqaro standartlar va jahondagi eng yaxshi amaliyotni hisobga olgan holda sog’liqni saqlashni rivojlantirishning yangi zamonaviy diagnostika va davolash sifatlariga oid standartlarni yaratish;

Ishning strukturasi; Magistrlik dissertotsiya ishi kirish, asosiy qism, xulosa va adabiyotlar ro’yxatidan iborat.

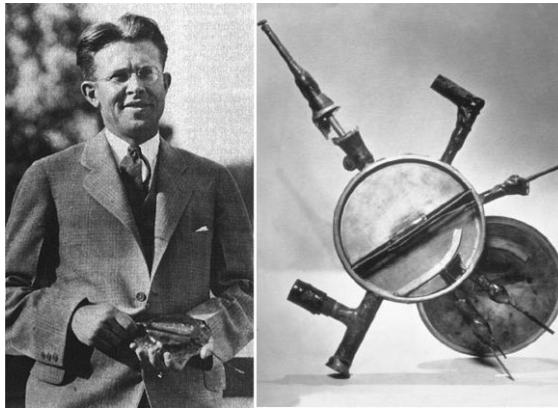
ASOSIY QISM

I BOB TEZLATKICHLAR VA ULARNING HARAKTERISTIKALARI

1.1. Tezlatkichlar rivojlanishining qisqacha tarixi

Barcha tezlatkichlarning ishlash prinsiplari oddiy bo'lib, u zaryadlangan zarralarni elektr maydon ta'sirida tezlatilishiga asoslangan. Ushbu qurilmalarning rivojlanish tarixi ham juda uzoqlarga borib taqalmaydi. Tezlatkichlarning rivojlanish tarixiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Atom yadrosini o'rganish bo'yicha o'tkazilgan birinchi tajribalarda tezlatkichlardan foydalanilmagan. Sababi, bu davrda ushbu qurilmalar hali yaratilmagan edi. Bu davrda atom yadrosini tadqiq qilish uchun faqat alfa-zarralardan (geliya-4 yadrosi) foydalanish mumkin edi. Bu zarralar, radiy radioaktiv izotopining parchalanishi natijasida hosil bo'lib, uning energiyasi bir necha MeVni tashkil qiladi. Radioaktiv elementlar chiqarayotgan α -zarralar, intensivligi va energiya bo'yicha cheklangan edi. Atom yadrosini chuqurroq o'rganish uchun esa, katta energiya va intensivlik zarur edi. Birinchi marta radioaktiv manbadan chiqarayotgan α -zarralar oqimi yordamida sun'iy ravishda yadro aylanishini, ya'ni birinchi yadro reaksiyasi amalga oshirilgan (1919, E. Rezerford). Shu davrdan boshlab yuqori energiyali va intensivligi yuqori bo'lgan zarralar oqimini olish usullari ustida tadqiqot ishlari boshlab yuborildi.

Boshlang'ich davrda, ya'ni 1919—1932-yillarda yuqori kuchlanish manbalarini olish va ushbu kuchlanish yordamida zarralarni bevosita tezlatish yo'lida izlanishlar olib borildi. 1931 yilda amerikalik fizik olim R. Van-de-Graaf tomonidan elektrostatik generator qurildi, 1932 yilda esa ingliz olimlari J. Kokroft va E. Uoltonlar Kembrijda (E. Rezerford laboratoriyasida) doimiy kuchlanishda ishlaydigan 300 kilovoltli kaskad generatorni yaratdilar. Ushbu tezlatkichlar zaryadlangan zarralarni bir MeV atrofidagi energiyagacha tezlatib olar edi. Birinchi tezlatkich bo'lib, eksperimental yadro fizikasida yangi erani ochdi. J. Kokroft va E. Uoltonlar o'zining birinchi tajribasidayoq yangi yadro reaksiyasini kuzatadilar. Kaskad generatori yordamida protonlar 700 KeV energiyasigacha tezlatildi va litiy-7 nishonga yo'naltirildi. Bu jarayonda quyidagi yadro reaksiyasi yuz berdi:



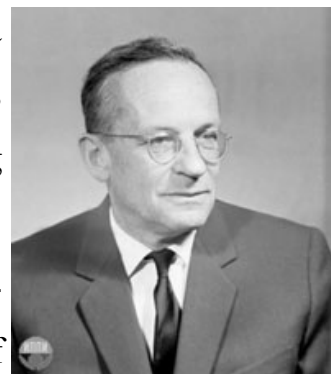
Ernest Lourens(chapda) va u qurgan birinchi siklotron (o'ngda)

1.1-rasm. Birinchi siklotronning ko'rinishi

1931-44 yillar oralig'ida tezlatishning rezonans metodlari ishlab chiqildi va amalda qo'llanila boshladi. Ushbu metod bo'yicha zarralarni tezlatish ular tezlatuvchi oraliqni ko'p karra o'tadilar va har o'tganda qo'shimcha energiya oladilar. Bu metodda zarralarni tezlatish uchun katta kuchlanish olish talab qilinmaydi. Mazkur metodga asoslangan siklik tezlatkich – siklotron (E. O. Lourens) o'zining ustunliklari bo'yicha elektrostatik tezlatkichlardan o'tib ketdi. Klassik siklotronda tezlatilayotgan zarralar oxirgi aylanish davrida 10-20 MeV energiyaga erishgan. Rezonans tezlatishni chiziqli chezlatchiklarda ham amalga oshirish mumkin, ammo bu davrda hali radiotexnika yetarlicha rivojlanmagan edi. 1940-yilda amerikalik fizik olim D. U. Kerst, 1922-yilda amerikalik fizik olim J. Slepyan va 1923-yilda Shvetsariyalik fizik olim R. Videroelar tomonidan ilgari surilgan g'oya asosida elektronlar tsiklik induksion tezlatkichi – betatronni yaratadi.

Zamonaviy tezlatkichlarni yaratish va ishlab chiqish, 1944-yildan boshlandi desak mubolag'a bo'lmaydi. SHu yilda, rus fizik olimi V. I. Veksler va unga bog'liq bo'lmagan holda va sal vaqt o'tgandan keyin,

amerikalik fizik olim E. M. Makmillanlar avtofazirovka mexanizimini kashf etdilar. Bu mexanizm, rezonans tezlatkichlarda ta'sir qilib, tezlatilayotgan zarralarning energiyasini sezirali ravishda oshirishga imkon beradi. Mazkur prinsip asosida yangi turdagi tezlatkichlar - sinxrotron, fazotron, sinxrofazotron, mikrotronlar taklif etildi. Shu bilan bir vaqtda radiotexnikaning rivojlanishi



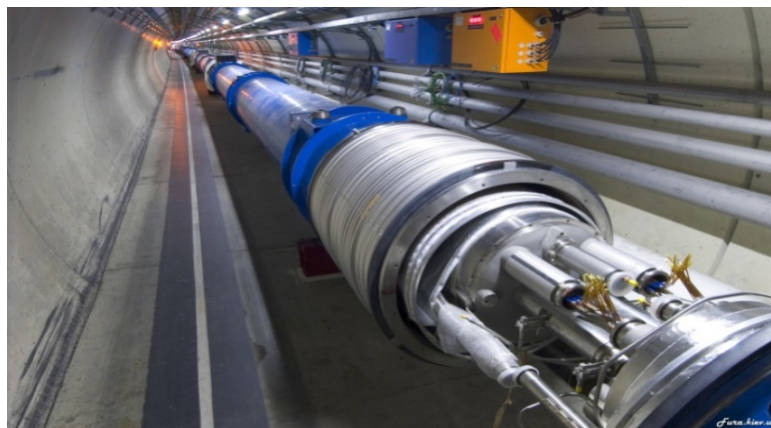
V. I. Veksler

effektiv chiziqli elektron va og'ir zaryadlangan zarralar tezlatkichlarni yaratishga imkon tug'ildi. 1950-yillarning boshlarida zarralarni fokusirovkalashning ishora o'zgaruvchi prinsipi taklif etildi. Bu prinsip amerikalik olimlar N. Kristofilos (1950 yilda), E. Kurant, M. Livingston, X. Snayderlar (1952- yilda) tomonidan taklif etilgan bo'lib, u siklik va chiziqli tezlatkichlarda erishiladigan energiyaning texnik chegarasini sezirali darajada oshirishga imkon berdi. 1956-yilda V. I. Veksler zarralarni kollektiv yoki kogerent tezlatish metodi g'oyasini ilgari surilgan ishini e'lon qiladi. Keyingi ikki o'n yillikni, V. I. Veksler g'oyasini amalga oshirish va tezlatkichlarni texnik takomillashtirish yillari desak mubolag'a bo'lmaydi. Elektronlarni tezlashtirish uchun chiziqli rezonans tezlatkichlar istiqbolli ekani ma'lum bo'ldi. Bu tezlatkichlarda 22 GeV energiyali va undan katta energiyaliklari 1966-yilda amerikalik fizik olim V. Panofskim (AQSH, Stanford) tomonidan ishga tushirildi. Protonlar uchun eng yuqori energiya sinxrofazotronida erishildi. 1957-yilda Dubna shahrida o'z davri uchun yirik bo'lgan 10 GeV energiyali sinxrofazotron ishga tushirildi. Bir necha yildan keyin Shveytsariya va AQSHda 25—30 GeV energiyaga mo'ljallangan kuchli fokuslangan sinxrofazotron ishga tushdi. 1967-yilda esa Serpuxovda 76 GeV energiyali sinxrofazotron ishga tushirildi. Bu tezlatkich ko'p yillar davomida dunyodagi eng yirik sinxrofazotron bo'lib qoldi. 1972-yilda Amerika Qo'shma Shtatlarida 200-400 GeV energiyaga mo'ljallangan sinxrofazotron yaratildi.

Tezlatkichlar fizikasi tarixida keyingi bosqich, bu kollayderlarning yaratilishi hisoblanadi. Kollayderlar, uchrashuvchi dastalar asosida ishlaydigan tezlatkich bo'lib, bunda zarralarning ikkita dastasi qarama qarshi yo'nalishlarga

buraladi va keyin bir-biri bilan to'qnashtiriladi. Birinchi bo'lib bu tezlatish g'oyasini 1943-yilda Norvegiyalik fizik olim Rolf. Videroe tomonidan taklif etilgan va xatto patentlangan ham edi. Ammo bu g'oyani amalga oshiri faqat 1960-yillarning boshlarida uchta bir biriga bog'liq bo'lmagan jamoa, ya'ni Avstriyalik Bruno Tusheka boshchiligidagi Italliyalik tadqiqotchilar guruhi, Jerarda O'neylla va Volgang Panovski rahbarligidagi Amerikalik tadqiqochilar guruhi hamda G. I. Budker boshchiligidagi Novosibirskilik olimlar tomonidan amalga oshirildi. Kollayderlar g'oyasi amalga oshirilguncha bo'lgan davrda tezlatkichlar bo'yicha hamma tajribalar qo'zg'almas nishonlarda o'tkazilgan, ya'ni yuqori energiyali zarralar qo'zg'almas zarralarga kelib tushadi. Ushbu to'qnashishi natijasida hosil bo'lgan mahsulotlar oldinga katta tezlik bilan harakatlanadi. Birlamchi zarralar energiyasining asosiy ulishi ularning kinetik energiyasiga sarflanadi. Agar bir biriga peshvoz chiqib uchib kelayotgan bir xil zarralar to'qnashsa, unda ular energiyasining ko'pchilik qismi bevosita maqsad uchun, ya'ni zarralar hosil bo'lishiga sarflanadi. Bu masalalarga kollayderlar mavzusida to'xtalib o'tamiz.

1934-yilda katta adron kollayder g'oyasining loyihasi taklif etildi va u o'n yildan keyin rasmiy ravishda qo'llab quvvatlandi. Uning qurilishi 2001-yilda, ya'ni katta elektron-pozitron kollayder bo'yicha ishlar tamomlangandan keyin boshlandi va 2010-yilda ishga tushdi.



1.2-rasm. Katta adron kollayderi

Bu tezlatkichda protonlar energiyasi 3,5 TeV gacha yetkazilgan. Katta adron kollayderi - zarralar dastasi to'qnashishi asosida ishlaydigan zaryadlangan zarralar tezlatkichi bo'lib, bunda proton va qo'rg'oshin ionlari tezlatiladi. Katta adron kollayderi Shvetsariya va Fransiya chegaralarida joylashgan bo'lib, uni qurishda va tadqiqotlar olib borishda 100 dan ortiq davlatdan 10 mingdan ortiq olimlar qatnashgan va qatnashmoqda. Bu tezlatkichga oxirgi ma'ruzalarimizda batafsil to'xtalib o'tamiz.

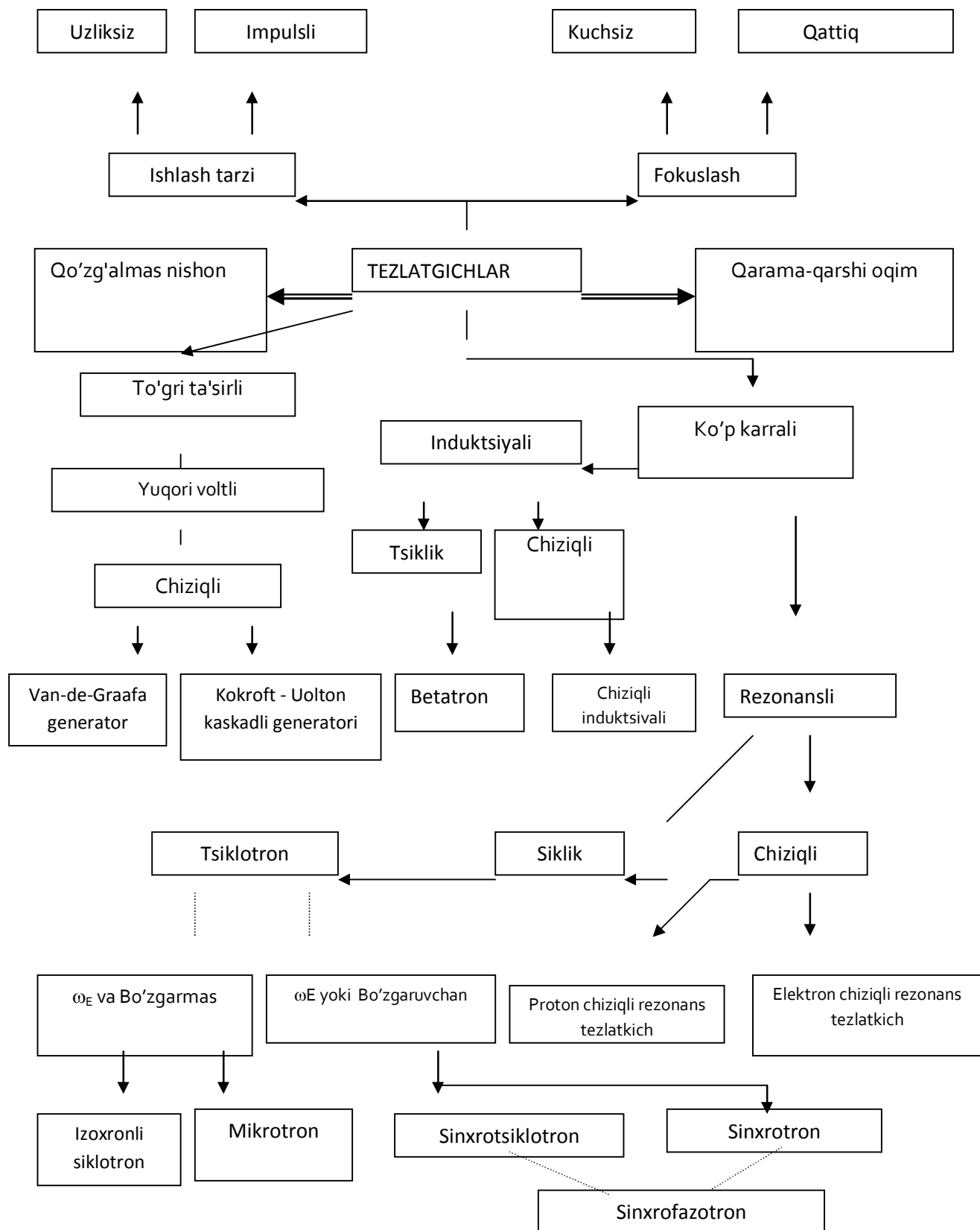
Tezlatkichlarning zamonaviy rivojlanishi, tezlatilayotgan zarralarning energiyasini oshirish yo'lida ham, zarralar dastasining intensivligini (tok kuchini) va tezlatilgan zarralar dastasi impulsining davomiyligini oshirish, dasta sifatini yaxshilash (energiya, kundalang koordinatalar va tezliklar bo'yicha tarqalishlarni kamaytirish) yo'lida ham ishlar olib borilmoqda. Yangi tezlatish usullarini ishlab chiqish bilan bir vaqtda ananaviy metodlarni takomillashtirish bo'yicha, ya'ni magnit va tezlatuvchi sistemada o'ta o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materiallarni qo'llash imkoniyatlarni o'rganish bo'yicha ham ishlar olib borilmoqda. Mazkur materiallarni va ularga mos holda past haroratlar texnikalarini qo'llash magnit sistemalarining o'lchamini keskin kamaytirishga va elektr energiya istemolini kamaytirishga, tezlatkichlarda avtomatik boshqarish metodlarini qo'llash sohalarini kengaytirishga imkon beradi. Hozirda yaratilayotgan tezlatkichlarda kam harajat ketishiga katta e'tibor berilmoqda. Hozirgi kunda tezlatkichlar o'zining konstruksion chegarasiga yetib bordi. Zarralar energiyasini yanada sezilarli oshirish imkoni bo'ladi, qachonki kollayderlar chiziqli bo'lsa va zarralar tezlatishning yanada samarali metodlari yaratilsa. Olimlar bu yo'nalishdagi katta o'zgarishni lazerli yoki lazer-plazmali tezlatish metodikalari bilan bog'lamoqdalar.

1.2 Tezlatkichlarning turlari va klassifikatsiyasi

Tezlatkichlarni ishlash printsiplariga ko'ra turlarga ajratish mumkin. Hozirgi vaqtda ularning turi yetarli darajada ko'pdir. Tezlatkichlar ishlash usuliga qarab uzluksiz yoki impulsli to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ostida yoki takrorlanuvchi ta'sir ostida ishlovchi; induksion yoki rezonansli; kuchsiz yoki kuchli fokuslash

asosidagi; o'zgarmas elektr maydoni(E) va magnit maydoniga(V) ko'ra ishlaydigan; o'zgaruvchan Y_e va V asosida ishlaydigan va boshqa ko'rinishdagi tezlatkichlarning turlari mavjud.

1.3-rasmda tezlatkichlarning ishlash printsipiga ko'ra turlarga bo'linishi va klassifikatsiyasi ko'rsatilgan. Tezlatkichlarning asosini to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ostida yoki takrorlanuvchi ta'sir ostida ishlovchilar tashkil qiladi. Bajarilayotgan ishning mohiyatiga qarab tezlatkichlarning ishlash printsiplariga bir qator o'zgartirishlar kiritish mumkin. Yadro reaksiyalari natijasida hosil bo'lgan neytron zarrachalarining spektri uchish vaqtiga asosan o'lchanayotgan bo'lsa, bunda tezlatkich impul'sli rejimda ishlagani ma'qul. Bunda fon sanoqlarining keskin kamayishi kuzatiladi. Natijada, tajribada olinayotgan natijalarning aniqlik darajasi ortadi.



1.3-rasm. Tezlatkichlarning ishlash prinsipiga ko'ra turlarga bo'linishi

1.3. Tezlatkichlar fizikasidagi birliklar va o'lchamlar

Tezlatkichlar fizikasida qo'llaniladigan birliklar va o'lchamlar bilan tanishib chiqamiz. Atom va yadro fizikasida zarra energiyasini elektronvoltlarda o'lchash qabul qilingan. Elektronvolt - bu zaryadi absolyut qiymati elektron zaryadiga teng bo'lgan musbat zarracha 1 volt kuchlanishlar farqini o'tganda ega bo'ladigan energiyadir, ya'ni

$$E=q \cdot U = e \cdot U = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl} \cdot 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J.} \quad (1.2)$$

Bu yerda e - elektronning zaryadi bo'lib, u $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ ga teng. Energiyaning katta o'lchov birliklari ham mavjud bo'lib, ular quyidagiga teng:

$$1 \text{ keV} = 1000 \text{ eV},$$

$$1 \text{ MeV} = 1000 \ 000 \text{ eV},$$

$$1 \text{ GeV} = 1000 \ 000 \ 000 \text{ eV},$$

Elektronvolt bu makraskopik o'lchamlarda juda kichik qiymatdir. Hattoki massasi 0,01 milligramm bo'lgan chang zarrachasi atiga 10 sm/s tezlikda $5 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ kinetik energiyaga yoki 300 MeV energiyaga ega bo'ladi.

Atom o'lchamidagi hodisalarni tavsiflashda elektronvoltlar juda qulaydir. Tashqi elektronlarning bog'lanish energiyasi ko'pchilik atomlarda bir necha elektronvoltni tashkil qiladi. Ko'rinadigan nur fotonlari taxminan 2 elektronvolt energiyaga ega bo'ladilar. Bir elektronvolt energiya bizga juda kichik bo'lib ko'rinadi, sababi, biz juda katta miqdordagi atomlardan tashkil topgan jismlar bilan ish ko'rishga o'rganib qolganmiz. Bizga ma'lumki, bir mol moddada tassavur qilib bo'lmaydigan miqdorda, ya'ni $6 \cdot 10^{23}$ ta molekula bor. Makroskopik jism energiyasining elektronvoltlarga nisbatan shunchalik kattaligiga sabab ular atom nuqtayi nazaridan juda katta jismlarga xosligidadir.

Mikrodunyo fizikasida masofa o'lchov birliklar ham makrodunyo o'lchov birliklaridan farq qiladi. Atom fizikasida uzunlikning tabiiy o'lchov birligi atom o'lchami, ya'ni angstrom ($\text{\AA}$) hisoblanadi: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$. Yadro fizikasida esa uzunlik o'lchov birligi sifatida fermidan foydalaniladi:

$1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m}$ yoki femtometr (Fm) deyiladi. Yengil yadrolarning o'lchami 1 fm atrofida bo'ladi.

Zaryadli zarrachalarga elektr va magnit maydonlari ta'sir ko'rsatadi. Elektr maydon ta'sirida zarracha energiya oladi. Magnit maydon ta'sirida esa zarracha harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Bu ta'sirlar natijasida ishlovchi qurilmalarning

soni juda ko'p. Bularga misol qilib quyidagilarni ko'rsatish mumkin: fotoelektron kuchaytirgichlar; elektron ostsilloqraflar; elektron mikroskoplar; mass-spektroskoplar; izotoplarni ajratish qurilmalari va albatta turli turdagi tezlatkichlar. Hozirgi davrga kelib, elektr va magnit maydonlarini zarrachalarga ko'rsatgan ta'siri juda yaxshi o'rganilgan.

Kelgusida, energiya masalasini hal qilishda muhim ro'l o'ynaydigan boshqariladigan termoyadro reaksiyalarini amalga oshirishda ham bu aytib o'tilgan ta'sirlar katta ahamiyatga ega. Shu sababli, bu ta'sirlarni ko'rib o'tishni lozim topdik.

Zaryadli zarrachalarning elektr va magnit maydonlaridagi harakati.

Zaryadli zarrachaga tashqi tomondan elektr va magnit maydonlari bir vaqtning o'zida ta'sir ko'rsatayotgan bo'lsin. Elektr maydon kuchlanganligi E ga, magnit maydon kuchlanganligi esa H ga teng bo'lsa, zarrachaga ta'sir etuvchi F kuchi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$F = q \cdot E + \frac{q}{c} [\mathbf{v} \cdot H], \quad (1.3)$$

Bu yerda q -zarrachaning zaryadi, v - tezligi, c -yorug'lik tezligi.

1.4-ifodani quyidagi shartlar bajarilgan holatlardagina ishlatish mumkin: birinchidan, zarrachaning zaryadini nuqtaviy deb olish, ikkinchidan, zarrachaning magnit momenti yo'q deb faraz qilinadi. Bu holda zarrachaning harakat tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{d}{dt} (m \cdot \mathbf{v}) = F \quad (1.4)$$

Zarrachaning massasini o'zgarimas deb olamiz. Bu zarrachaning tezligi yorug'lik tezligidan kichik bo'lgan holatlarda bajariladi. Bu e'tiborga olinsa, 1.5-ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = qE + \frac{q}{c} [\mathbf{v}H] \quad (1.5)$$

Harakatlanayotgan zaryadli zarrachaga magnit maydoni tomonidan Lorens kuchi ta'sir ko'rsatadi. Lorens kuchining yo'nalishi, zarracha tezligining yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi. Bu kuch ish bajarmaydi. Demak, zarrachaning kinetik energiyasi o'zgarmaydi.

Agar zaryadli zarrachaga elektr maydoni ta'sir qilayotgan bo'lsa, bu maydon ish bajaradi. Natijada zarrachaning kinetik energiyasi ortadi. Elektr maydonining bajargan ishi zarracha kinetik energiyasining o'zgarishiga tengdir:

ya'ni

$$\left(\frac{m\theta_2^2}{2}\right) - \left(\frac{m\theta_1^2}{2}\right) = \int_1^2 qE ds \quad (1.6)$$

Agar elektr maydonini kuchlanishlar orqali ifodalasak, u holda quyidagi tenglik bajariladi:

$$\int_1^2 qE ds = q(U_1 - U_2) \quad (1.7)$$

1.6-ifodani hisobga olgan holda, 1.5-ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\left(\frac{m\theta_2^2}{2}\right) - \left(\frac{m\theta_1^2}{2}\right) = q(U_1 - U_2) \quad (1.8)$$

Bunday kuchlanishga ega bo'lgan elektr maydoni, nq zaryadli zarrachaga E-energiya beradi:

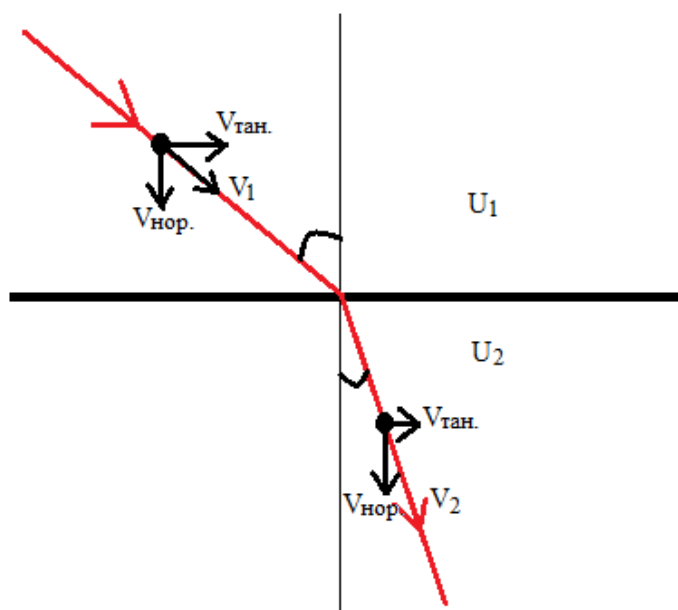
$$E = n(U_1 - U_2) \vartheta B \quad (1.9)$$

1.9- ifodadan ko'rinib turibdiki, zarrachaning zaryadi qancha katta bo'lsa, uning olgan energiyasi ham shuncha katta bo'ladi. Bundan tashqari elektr maydon kuchlanishlarining farqiga ham to'g'ri bog'langan. Lekin kuchlanishlar farqi chegaralangan kattalikdir. Siklotronda bu kattalikning qiymati 110-150 kV oraligida bo'ladi.

Zaryadli zarrachalarning elektr maydonidagi harakatining, yorug'lik nurining shaffof muhitdagi harakatiga o'xshashligi

Nuqtaviy zaryadli zarrachalarning elektr maydonidagi harakatini qiyinchliksiz matematik ifodalar orqali tasvirlash mumkin. Lekin, amalda esa bir qator qiyinchiliklarga duch kelinadi. Elektr maydoni shunchalik murakkabki, hattoki kuchlanish kattaligining tub mohiyatini oddiy funksiyalar yordamida ifodalash imkoni bo'lmadi.

Bu masala, yorug'lik nurining shaffof muhitlardagi harakat trayektoriyalarini tadbiq qilish orqali hal qilindi. Bizga ma'lumki, geometrik optika qonunlariga ko'ra, yorug'lik nuri ikki muhit chegarasida sinadi. Birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi, sindirish koeffitsienti orqali berildi. Vakuum uchun sindirish koeffitsienti 1 ga teng deb qabul qilingan. Yuqorida aytilgan fikrlarni bevosita zaryadli zarrachalarni elektr maydonidagi harakatiga tadbiq etaylik. Faraz qilaylik, zaryadli zarracha kuchlanish keskin o'zgargan soha chegarasida harakatlanayotgan bo'lsin, chegaradan o'tishida zarrachaga ta'sir ko'rsatuvchi kuch paydo bo'ladi. Zarrachaning tezligi o'zgaradi. Elektr maydonida muhit chegaralarini ekvipotentsial sirtlar orqali ifodalash mumkin. 1.4–rasmda zaryadli zarrachani U_1 potentsial sathidan U_2 sathiga o'tishi tasvirlangan.



1.4-rasm. Zaryadli zarrachani ekvipotentsial sirtlardan o'tishi

Tezlikning normal tashkil etuvchisi o'zgaradi, tangensial tashkil etuvchisi esa o'zgarmaydi. Sinish qonuniga ko'ra quyidagi ifodani yozamiz:

$$\vartheta_1 \sin \alpha = \vartheta_2 \sin \beta, \quad (1.10)$$

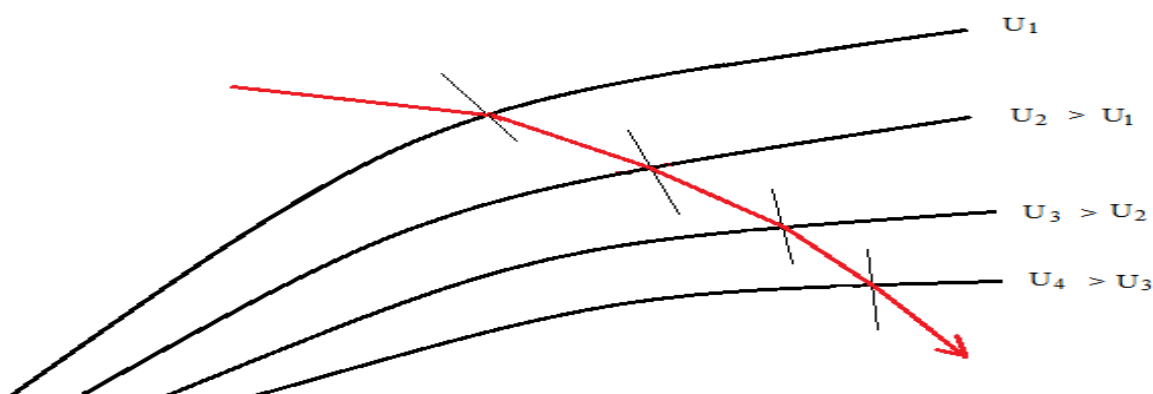
Bu yerda α -tushish , β -sinish burchaklaridir. 1.10-ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \quad (1.11)$$

Elektr maydon potentsiallarini hisobga olgan holda, 1.11-ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \sqrt{U_2/U_1} \quad (1.12)$$

1.12-ifodadan ko'rinib turibdiki, sindirgich koeffitsienti vazifasini ildiz ostidagi kuchlanishlarning nisbati bajaradi. Agar elektr maydonini ekvipotensial sirtlar orqali ifodalasak, bunda zaryadli zarrachalarning harakat trayektoriyasi 1.5-rasmda ko'rsatilganidek yuz beradi.



1.5-rasm. Zaryadli zarrachaning ekvipotensial sirtlardan o'tishidagi traektoriyasi

1.5-rasmdan ko'rinib turibdiki, harakat trayektoriyasi siniq to'g'ri chiziqlardan iborat. Buni yorug'lik nurini bir jinsli bo'lmagan muhitdan o'tishiga

o'xshatish mumkin. Yuqorida ko'rilgan jarayonlar elektron asboblari yaratishda e'tiborga olinadi.

Zaryadli zarrachalarning magnit maydonidagi harakati

Zaryadli zarrachalarni bir jinsli magnit maydonidagi harakatini ko'rib o'taylik. Elektr maydonini yo'q deb faraz qilaylik. Zarrachaning boshlang'ich tezligi v_0 ga teng bo'lsin. Magnit maydonini ikkita tashkil etuvchilarga ajratamiz. Bu tashkil etuvchilarning har biri zarracha tezligini $v_{nap.}$ va $v_{nep.}$ larga ajratadi. $v_{nap.}$ tashkil etuvchisi harakat davomida o'zgarmasdan qoladi. Zaryadli zarrachaga Lorens kuchi ta'sir ko'rsatadi. Bu kuch markazga intilma kuchdan iboratdir. Lorens kuchi ta'sirida zarracha quyidagi tenglama bo'yicha harakatlanadi.

$$\frac{mv_{nep.}^2}{R} = \frac{q}{c} v_{nep.} H, \quad (1.13)$$

bu yerda R-egrilik radiusi yoki aylana radiusi.

Bu kuch ta'sirida zarracha aylana bo'ylab tekis harakatlanadi. Aylana radiusi R quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$R = \frac{mv_{nep.}c}{qH} \quad (1.14)$$

Aylanish davri va burchak chastotasi ushbu ifodalar yordamida topiladi:

$$T = \frac{2\pi mc}{qH} \quad (1.15)$$

$$W = \frac{qH}{mc} \quad (1.16)$$

Agar magnit maydonida elektron harakatlanayotgan bo'lsa, burchak chastota $W = 1,7 \cdot 10^7 H$ rad/sek. ga teng bo'ladi. Zarrachaning harakati vintsimon ko'rinishda bo'lib, vint chiziqlari orasidagi masofa bir marta to'liq aylanishda quyidagiga teng bo'ladi:

$$l = v_{nap} T = 2\pi \frac{mc}{qH} v_0 \cos \alpha, \quad (1.17)$$

Bu yerda α —boshlang'ich tezlik yo'nalishi bilan magnit maydon kuch chiziqlari orasidagi burchakdir.

Bir jinsli magnit maydoni zaryadli zarrachani fokuslaydi. Bu fokuslashni magnit maydonining parallel tashkil etuvchisi amalga oshiradi.

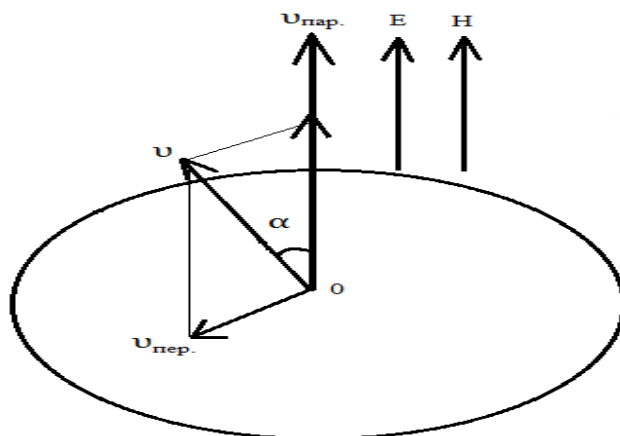
Zaryadli zarrachalarning umumlashgan maydon ichidagi harakati

Elektr va magnit maydonlari bir jinsli bo'lsin, ularning yo'nalishlari bir-biriga mos kelsin. Yuqorida ko'rib o'tilgan edi, agar zarrachaga faqatgina magnit maydoni ta'sir qilsa, bu zarracha aylana bo'ylab harakatlanadi. Aylana radiusi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$R = \frac{mc}{qH} v \sin \alpha \quad (1.18)$$

1.6 -rasmدا umumlashgan maydonda harakatlanayotgan zarracha tasvirlangan.

Z-o'qi yo'nalishida zarracha tekis tezlanuvchan yoki tekis sekinlanuvchan harakatda bo'lib, uning tezlanishi ushbu ifoda orqali topiladi:



1.6-rasm. Zarrachaning parallel yo'nalishda bo'lgan elektr va magnit maydonlaridagi harakati.

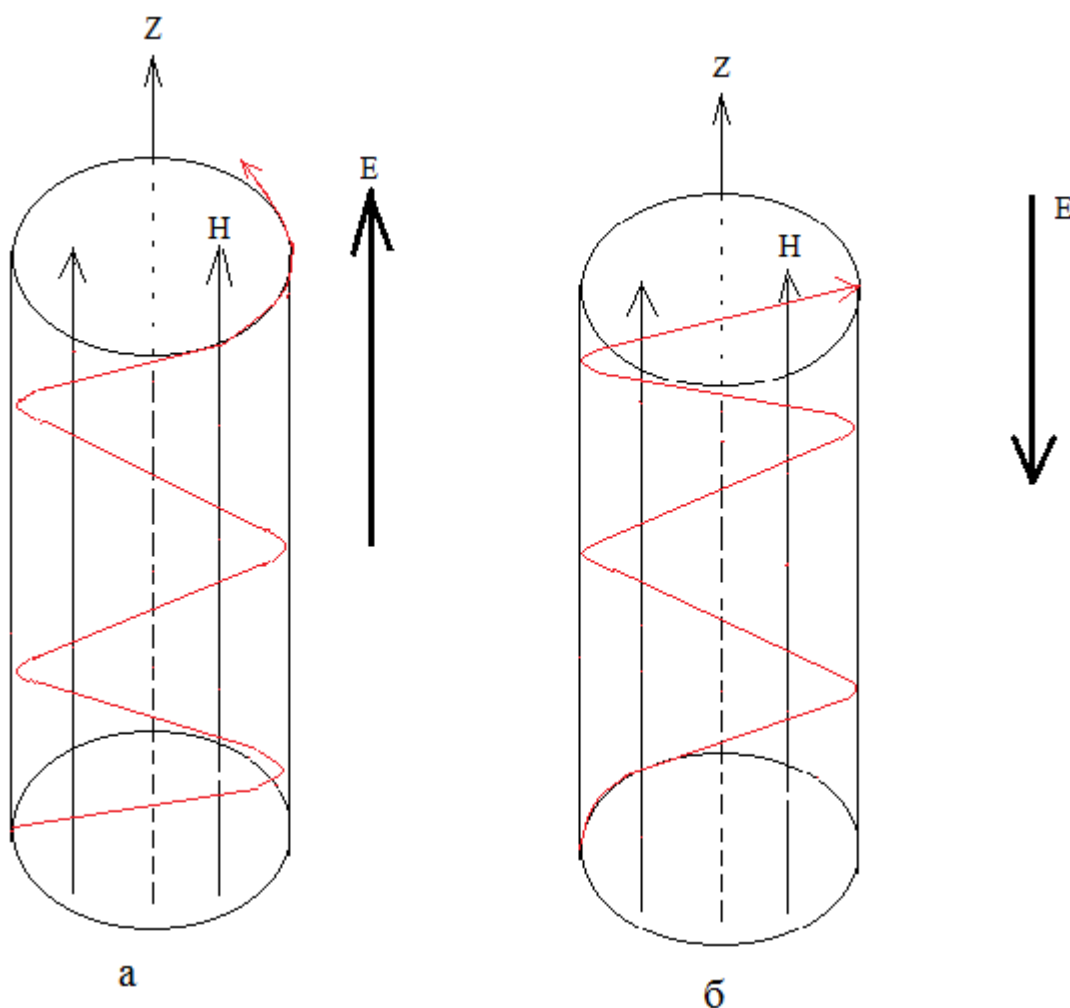
$$a = \frac{qE}{m} \quad (1.19)$$

Zarrachaning harakati vintsimon bo'lib, vint chiziqlari orasidagi masofa(qadami) o'zgarib turadi. Bir jinsli maydonning E va H vektorlari bir-biriga parallel yoki qarama-qarshi yo'nalgan bo'lishi mumkin (1.7 -a,b rasm). Rasmdan ko'rinib turibdiki, zarrachaning harakat traektoriyasi o'zgaruvchan qadamlar bilan yuz bermoqda (qizil chiziq).

Harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$m\ddot{x} = \frac{q}{c} [\vartheta H]_x = \frac{q}{c} H \dot{y}, \quad (1.20)$$

$$m\ddot{y} = \frac{q}{c} [\vartheta H]_y + qE_y = qE - \frac{q}{c} H \dot{x}$$



1.7-rasm. a-zarrachaning bir jinsli umumlashgan maydondagi harakati, E va H vektorlar bir-biriga parallel; b-, E va H vektorlar bir-biriga qarama-qarshi.

1.20-tenglamalar sistemasini yechishning eng sodda yo'li, bu tenglamadagi x-o'zgaruvchini x_1 -o'zgaruvchiga almashtirishdir.

$$x_1 = x - ut, \quad (1.21)$$

bu yerda u-o'zgarmas kattalikdir. Bu almashtirishning ma'nosi shundan iboratki, x-koordinata yo'nalishida u-tezlik bilan harakatlanuvchi yangi koordinataga o'tiladi. Bularni hisobga olsak 1.22-tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\ddot{x}_1 = \frac{q}{mc}Hy, \quad (1.22)$$

$$\ddot{y} = \frac{q}{m}E - \frac{q}{mc}H\dot{x}_1 - \frac{q}{mc}Hu,$$

Agar u-o'zgarmas kattaligi o'rniga $u = \frac{cE}{H}$ kattaligi qo'yilsa, 1.22-ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\ddot{x}_1 = \frac{q}{mc}H\dot{y} = w\dot{y} \quad (1.23)$$

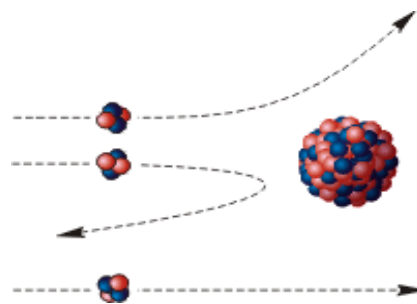
$$\ddot{y} = -\frac{q}{mc}H\dot{x}_1 = -w\dot{x}_1$$

1.23-tenglamada elektr maydoni qatnashmayapti, demak zarracha yangi koordinata sistemasida aylana bo'ylab harakatlanishi lozim.

II BOB TEZLATKICHLAR VA ULARNING ISHLASH PRINSPLARI

2.1. BEVOSITA TA'SIR TEZLATKICHLARI

Zaryadlangan zarralarning tezlatkichlari qanday qurilmalar, ularning ishlash tamoyillari va nihoyat bu qurilmalarning qanday turlari mavjud? degan savollarga javob berishdan oldin bu qurilmalar nimaga kerak? degan savolga javob berishdan boshlaymiz.



2.1-rasm Alfa zarralarning yadroda sochilishi

Ingliz fizigi Ernest Rezerford va uning shogirdlari atom tuzilishini o'rganish maqsadida turli element atomlarini o'sha vaqtda eng kuchli va eng tez uchar atom snaryadlari bo'lgan alfa-zarralar bilan bombardimon qildilar.

Alfa zarralarning oltin folgada sochilishiga qarab, E. Rezerford atom markazida massasi katta bo'lgan yadro borligini aniqlaydi, ya'ni, u ayrim zarralarning katta burchaklarga sochilishini kuzatdi. Demak, zarralar o'z yo'lida o'z massasidan ham katta bo'lgan zarra bilan to'qnashadi va o'z harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Ushbu zarraga E. Rezerford atom yadrosi deb nom berdi va tajriba natijalarini 1911- yilda e'lon qildi.

1919- yili E. Rezerford insoniyat tarixida birinchi yadro reaksiyasini amalga oshirdi. Bu reaksiyada bir element boshqa bir elementga aylantirildi. E. Rezerford va uning xodimlari alfa-zarralar bilan bombardimon qilnadigan obyekt sifatida yengil elementlarni tanladi. Yengil yadrolarning ob'ekt sifatida olinishga sabab, bu yadrolarda itarish kuchlarining kichikligidir. Ushbu alfa-zarralarning tezligi 19000 km/s ga teng bo'lgan. E. Rezerford alfa-zarralar, ya'ni, geliy yadrolari bilan azot atomlarini bombardimon qilib, ikkita boshqa element – kislorod va vodorod elementlarini hosil qildi. Bu tajribalarda erishilgan katta yutuqlar bilan birgalikda ushbu yo'lda fiziklar oldida turgan jiddiy to'siqni ham yuzaga chiqardi. Alfa-zarralar bilan bombardimon qilganda faqat eng yengil yadrolarnigina boshqa yadrolarga aylantirishga imkon berishi kuzatiladi. Radioaktiv elementlar chiqarayotgan eng tez alfa-zarralarning tezligi 19000 km/s atrofida bo'lib, u ham ko'pchilik yadrolarning elektrostatik itarish kuchlarini yenga olish uchun yetarli emas ekan. Yadro mustaxkam himoya baryeri (to'siq) bilan o'ralgan bo'ladi. Bu baryerni muvaffaqiyatli yengib o'tish uchun tabiiy radioaktiv manbalar chiqarayotgan alfa-zarralarga nisbatan kuchli snaryadlar zarur.

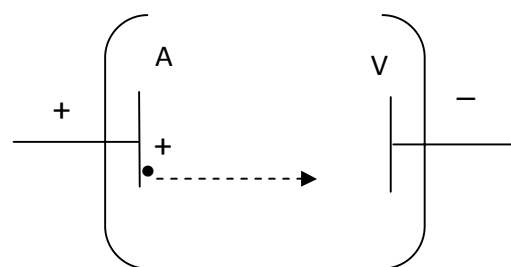
Birinchi yadro artilleriyalarining yana bir kamchiliklaridan biri, “snaryad” otish tezligining (vaqt birligida chiqayotgan “snaryadlar”ning sonini) kichikligidir, ya'ni, manbalar tomonidan chiqarilayotgan alfa-zarralar oqimining intensivligi yetarli emas. Bunga sabab yadro parchalanishi sust hodisadir. Mazkur hodisa yuz

berish uchun alfa-zarra yadro bilan to'qnashishi zarur, bu hodisa juda kam yuz beradi. Chunki, atom deyarli bo'sh bo'lib, bunda yadro uning juda oz hajmini tashkil etadi. Nishonni yadro snaryadi bilan bombardimon qilganda, ularning ko'pchilik qismi atom orqali yadroga tegmasdan ham o'tib ketadi. Hisoblashlar shuni ko'satadiki, qalinligi mikrondan (1 mikron) oshmagan qattiq nishonga kelib tushayotgan million alfa-zarradan bittasigina yadroga tushishi mumkin ekan.

Shunday qilib, tabiiy radioaktiv manbalar chiqarayotgan alfa-zarralarning yetarli energiyaga va intensivlikka ega emasligi, yadro fizikasini rivojlantirishini tormozladi. Katta quvvatli “snaryadlar” zarur bo'lib qoldi. Xo'sh, ularni qanday olish mumkin? Olimlar mazkur “snaryadlar”ni olish uchun zaryadlangan zarralarni elektr maydoni ta'sirida katta tezliklargacha tezlatish orqali hosil qilishni o'rgandilar.

Tezlatkichlar trubkasi

Zaryadlangan zarralarni tezlatish tamoyillari bilan tanishib chiqamiz. A va V plastinkalar orasida katta potentsiallar hosil qilingan bo'lsin (2.2-rasm). A plastinka yaqinida joylashgan musbat zaryadlangan zarra elektr maydon ta'siri ostida V plastinka tomon harakatlanadi va manfiy zaryadlangan V plastinkaga yetib boradi agarda, A va V plastinkalar orasida vakuum hosil qilinsa. Elektr maydon ta'sirida elektronlarni tezlatish hodisasi bilan tanishmiz, masalan televizor ekranida tezlatilgan elektronlar ta'sirida tasvir hosil bo'ladi. Xuddi shunday doimiy elektr maydonida elektronlarni tezlatish rentgen trubkasida ham yuz beradi. Zarra A dan V ga harakatlanish davomida ma'lum bir kinetik energiyaga ega bo'ladi, ya'ni



2.2-rasm. Zaryadlangan zarralarni tezlashtirish prinsipi

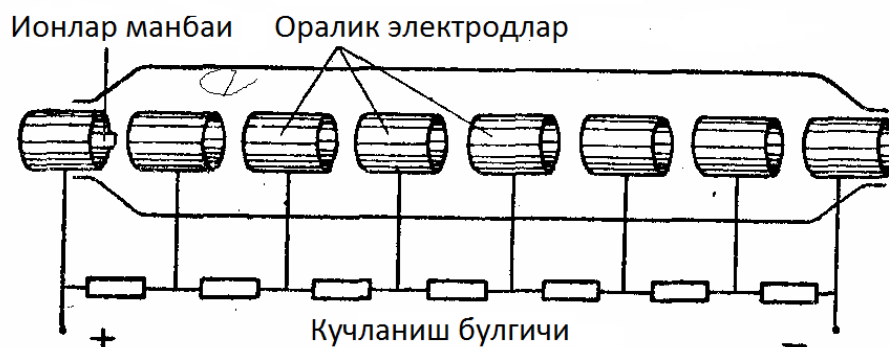
$$E_k = q \cdot \Delta U. \quad (2.1)$$

Yadro reaksiyalarida biz juda katta energiyalar bilan ish ko'ramiz. Yadrodagi proton va neytronlarning bog'lanish energiyasi bir necha megaelektronvolt (MeV) tashkil qiladi. Radioaktiv yadrolardan chiqayotgan eng tez α -zarralar energiyasi 10 MeVdan katta bo'lmagan energiyaga ega bo'ladi.

SHunday qilib, katta energiyaga ega bo'lgan zarrachalarni olish uchun ularning manbayini juda kuchli elektr maydoniga joylashtirish zarur. Tezlatkichlarni, ya'ni, katta tezlikka ega bo'ladigan zaryadlangan zarralar olish uchun qo'llaniladigan qurilmalarni yaratuvchilar xuddi shu yo'lni tanlashdi.

Birinchi tezlatkichlar ikki asosiy qismdan, ya'ni, yuqori kuchlanish qurilmasidan va ichida zarralarni tezlatadigan yuqori kuchlanishli vakuum trubkasidan iborat bo'lgan. Vakuum trubkasi yaxshi izolyatsion xususiyatga ega bo'lgan materiallardan, ya'ni, shisha, farfor yoki keramikadan yasalgan. Ular uchlarida elektrodarga qo'yiladigan bir necha million volt kuchlanishlarga bardosh berishi zarur. Vakuum trubkasida yuqori vakuum olish har bir tezlatkich yaratishda muhim masala hisoblanadi. Havoni so'rib chiqarish ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda mexanik markazdan qochma nasoslar yordamida bosimi 10^{-2} - 10^{-3} mm. sim. ust. darajasidagi vakuum olinadi. So'ngra yuqori vakuum nasoslari ishga tushiriladi va zarur bo'lgan vakuum (10^{-5} - 10^{-6} mm. sim. ust) hosil qilinadi. Bunday yuqori darajadagi vakuumga erishish uchun tabiiy ravishda yaxshi zichlashtirish (oraliq va tirqishlarni zichlab berkitish) va vakuum holatini nazorat qiluvchi tizimni yaratish talab qiladi.

Musbat zaryadlangan zarralarni tezlatganda ionlar manbai manfiy elektrod yaqiniga joylashtiriladi (2.3- rasm). Ionlar gazsimon element atomlarini (masalan, protonlarni tezlatganda vodorodni yoki α -zarralarni tezlatganda geliy atomlarini) cho'g'langan metall toladan chiqayotgan elektronlar bilan bombardimon qilib olinadi. Hosil bo'lgan ionlar manbadan elektr maydon yordamida tortib olinadi.



2.3-Rasm. Vakuum trubkasining tuzilish sxemasi

Vakuum trubkada yuqori kuchlanish qo'yilgan asosiy ikkita elektrodan tashqari qator oraliq elektrodlar mavjud bo'ladi. Kuchlanish taqsimlagichlar yordamida har bir oraliq elektrodga to'liq kuchlanishning ma'lum bir bo'lagi qo'yiladi. Oraliq elektrodlar qurilmasi trubka o'qi bo'ylab ancha tekis potentsial tushishiga imkon beradi va ular uchlarida razryadlar hosil bo'lishini bartaraf etadi. Shu bilan oraliq elektrodarning roli tugamaydi. Ular yana bir o'ta muhim masalani hal qilishga yordam beradilar.

Ionlarni tezlatuvchi vakuum trubkasi bir necha metr uzunlikka ega bo'ladi. Ionlar yo'lida to'siq bo'lishi mumkin bo'lgan trubkada qolgan gaz molekulalari bo'lib, ular ionlarning harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Bundan tashqari ionlar bir xil zaryadga ega bo'lganligi uchun ular o'zaro itarishishadi.. Bu sabablarning barchasi tezlatkichlarda zarralarni siqish yoki boshqacha aytganda fokussirovka qilish bo'yicha maxsus choralarni ko'rishni talab qiladi.

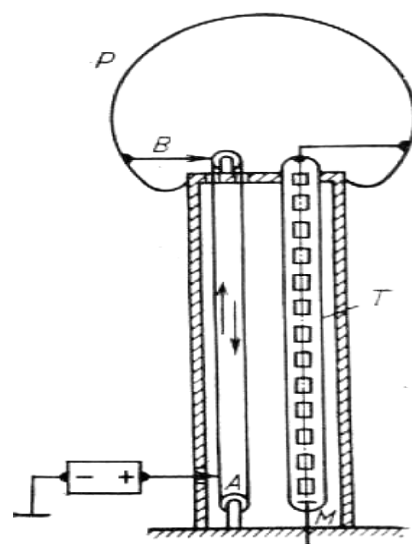
Yuqorida ko'rilgan vakuum ion trubkalarida zarralarni fokussirovka qilish oraliq elektrodlar orasidagi tirqishlarda yuz beradi. Zarralar elektrodning ichida harakatlanganda elektr maydon ta'siriga uchramaydi binobarin tezlatilmaydi. Zarralar faqat tirqishlar orasidan o'tgandagina tezlanish oladi.

Biz yuqori voltli tezlatkichning elementlaridan bittasi bo'lgan vakuum trubkasini ko'rib chiqdik. Zarralarni tezlatish uchun trubkaga yuqori voltli kuchlanish berilishi kerak. Bunday kuchlanish yoki potentsiallar farqi manbai sifatida kaskad generatori, Van-de-Graaf generatori, impulsli generator, impulsli

transformator va boshqalar ishlatiladi. Zarralarni doimiy elektr maydoni ta'sirida tezlatadigan tezlatkichlarni bevosita ta'sir tezlatkichlari deyiladi. Ushbu qurilmalarda tezlashayotgan zarralar traektoriyasi to'g'ri chiziqqa yaqin bo'lgani uchun ularni bevosita ta'sir chiziqli tezlatkichlari deyiladi. Ayrim hollarda bunday tezlatkichlarni elektrostatik chiziqli tezlatkichlar deb ham aytiladi. Bunday tezlatkichlarda zarralarga energiya doimiy potentsiallar ayirmasi katta bo'lgan oraliqdan bir marta o'tganda beriladi. Biz elektrostatik chiziqli tezlatkichlardan biri bo'lgan va amaliyotda keng tarqalgan Van-de-Graaf generatori ishlash prinsipi bilan tanishib chiqamiz.

Van-de-Graaf generatori.

1926-yilda Van-de-Graaf ortiqcha zaryadlarning o'tkazgich tashqi sirtida joylashiga asoslangan elektrostatik generator konstruksiyasini taklif etadi. O'zining tuzilishi bo'yicha bu qurilma maktablarda fizikadan tajribalar o'tkazish uchun qo'llaniladigan elektrostatik mashinani eslatadi. Chiziqli tezlatkichlardan biri bo'lgan



2.4-rasm. Van-de-Graaf generatori

Van-de-Graaf elektrostatik generator sxemasi 2.4-rasmda keltirilgan. Zarralarni tezlatish T tezlatkich trubkasida amalga oshiriladi. Trubka ichida elektroizolyatorlardan (shisha, farfor) tayyorlangan I ionlar manbai va trubkasimon (naysimon) elektrodlar sistemasi joylashgan. Elektrodlar bitta chiziqli va bir-biridanuncha katta bo'lmagan masofada joylashgan. Elektrodlarning bir uchi tomonida I ionlar manbai va ikkinchi uchining oxiridekshiriladigan materialdan tayyorlangan M nishon joylashadi. Tezlatkich trubkasi ichida bosimi 10^{-5} mm.sim.ust bo'lgan vakuum hosil qilingan. Bu esa tezlatilgan ionlarning havo

molekulalari bilan to'qnashishiga va elektrodlar orasida gaz razryadi hosil bo'lishiga imkon bermaydi.

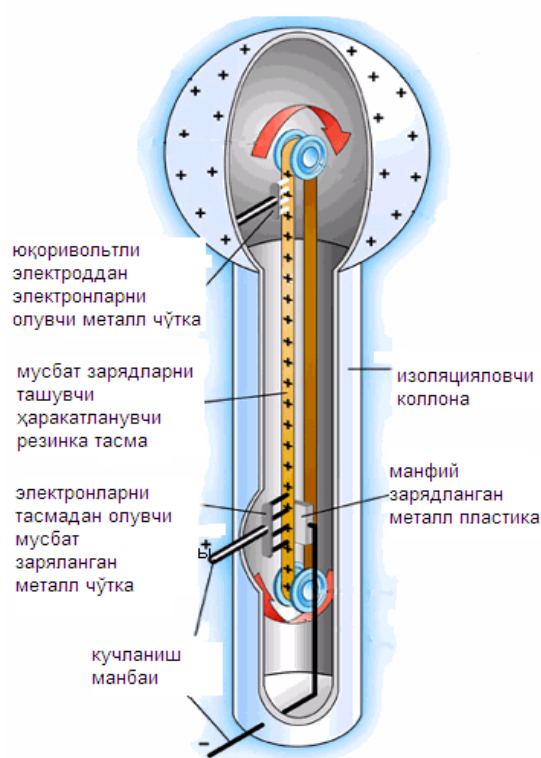
Tezlatkich trubkasiga qiymati $8 \cdot 10^6$ V gacha bo'lgan yuqori kuchlanish beriladi. U ketma-ket ulangan qarshiliklar sistemasi orqali ion manbai, trubkasimon elektrodlar va nishon oralarida tekis taqsimlaniladi.

Tezlatilishi kerak bo'lgan ionlar, ion manбайдan birinchi elektrodning ichiga tushadi. Ionlar manbai va birinchi elektrod orasidagi tirqishda ionlar birinchi energiya portsiyasini oladilar. Trubkasimon elektrodning ichida elektr maydon bo'lmaganligi uchun ionlar inertsiya bo'yicha harakatlanadilar. Keyingi energiya portsiyasini ionlar birinchi va ikkinchi elektrodlar orasidagi tirqishda oladilar va hakoza. Nishonga tushayotgan zarralar $E = qU \approx B$ energiyagacha tezlatiladi.

Yuqori kuchlanish quyidagi usul bilan olinadi. Zaryadlar maxsus taroq orqali past voltli generatorдан elektroizolyatorli materialdan tayyorlangan tasmadagi A nuqtaga beriladi (2.4-rasm). Xuddi shunday ikkinchi taroqning V nuqtasidan zaryadlar olinadi va metall yarim sfera – konduktor R ga beriladi.

Zaryadlar tashqi sirtga to'planib, konduktordagi kuchlanishni $(5 \div 8) \cdot 10^6$ V gacha ko'taradi va tezlatkich trubkalariga beriladi.

Tezlatkichning ishlash printsipi 2.5-rasmда ko'rgazmali tasvirlangan. Bu yerda ham yaqqol ko'rinib turibdiki, baland kollona (ustun) orqali yerdan izolyatsiyalangan katta ichi bo'sh shar (2.4-rasmда R) sirtiga asta-sekin zaryad to'plana boshlaydi. Ushbu zaryadlarni sharning ichki sirtiga, rezinka, qog'oz yoki ipakdan bo'lgan tasma yordamida yetkazib beriladi. Zaryadlar tez harakatlanayotgan tasmaga metall cho'tka (taroqqa o'xshash) bo'yicha tushadi



2.5-rasm. Van-de-Graaff generatorining ishlash

va shunday yo'l bilan tasmadan olinadi. Bu zaryadlar sharning sirti bo'yicha yoyilib ketadi. Xo'sh, ushbu usul bilan cheksiz katta potentsial olish mumkinmi? Buning iloji yo'q, sababi yuqori kuchlanishlarda shar bilan uni o'rab turgan jismlar orasida chaqnash yuz beradi.

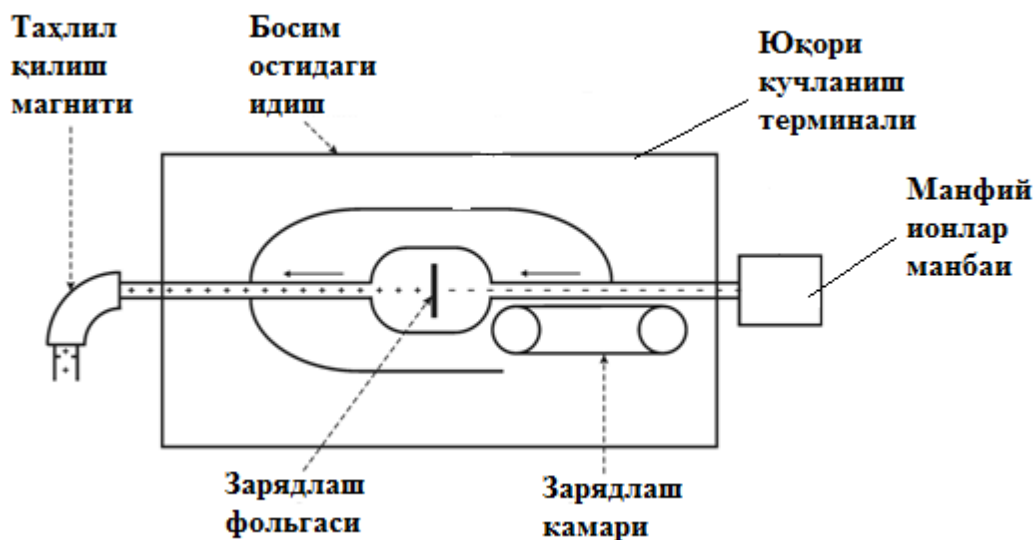
Yirik elektrostatik generatorlardan biri 1937 yilda Xarkov shahrida qurilgan bo'lib, u diametri 10 m atrofidagi shardan iborat bo'lgan. 4-5 million volt kuchlanish zarralarni tezlatuvchi o'n metrli vakuum trubkasiga berilgan. Keyingi yillarda elektrostatik generatorning o'lchamlari sezilarli ravishda qisqartirilgan. Bunga butun tezlatkichni siqilgan gaz (azot, freon) atmosferasiga joylashtirish hisobiga amalga oshiriladi. Bir necha atmosferadagi gaz bosimi elektr chaqnashlarga qarshi qurilma chidamligini oshiradi.

Van-de-Graaf elektrostatik generatorining asosiy kamchiliklaridan biri, zarralar dastasi energiyasining qat'iy chegaralanganligidir. Ushbu generatorning asosiy ustunliklariga bu zarralar dastasining yuqori monoxromatikligi va ular energiyasini yengil rostdash imkoniyatidir. SHuning uchun ham Van-de-Graaf generatori past energiyalarda tadqiqotlar olib borishda keng qo'llaniladi.

Tandem generatori

Tandem generatorlari ikki yoki uch bosqichli ko'rinishda bo'ladi. Ularning ishlash prinsiplari bir xildir. Ikki bosqichli tandem generatorining ishlashini ko'rib o'tamiz. 3.6-rasmda ikki bosqichli tandem generatorining tuzilishi ko'rsatilgan. Ikkita ketma-ket ulangan trubkalardan iborat. Ularga elektr kuchlanishi (U) berilgan. Trubkaning qarama-qarshi tamonining oxiri yerga ulangan. Transporter yordamida (zaryadlash kamerasi) zaryadlar tashiladi va trubkalarda U elektr kuchlanishi hosil qilinadi. Tezlashtiriladigan ionlar quyidagi tartibda hosil qilinadi. Manfiy ionlar manbaida quyidagi jarayonlar yuz beradi. Dastlab musbat zaryadli ionlar hosil qilinadi va ular gaz yoki qattiq nishonlardan o'tishi natijasida neytral holatga o'tadi va qo'shimcha elektron olishi natijasida manfiy ionlarga aylanadi. Manfiy ionlar U elektr kuchlanishi ta'sirida ($E = q \cdot U$) energiya oladi. Manfiy ionlar zaryadlash foʻlgasiga borib tushadi (gaz yoki qattiq nishon) bu yerda elektronlarini yo'qotib, musbat ionlarga aylanadi. Ikkinchi trubkada ham

tezlashtiruvchi elektr maydoni hosil qilinadi. Bu maydon ta'sirida ionlar yana ($E = q \cdot U$) energiya oladi. Tezlashtirish davomida ionlarning to'liq energiyasi $E = 2q \cdot U$ ga teng bo'ladi. Tezlashtirilgan ionlar tahlil qilish magnitidan o'tkaziladi, chunki ionlar turli zaryadli bo'lishlari mumkin. Sortlarga ajratilgan zarrachalarni kerakli maqsadlarda ishlatish mumkin.



2.6-rasm. Ikki bosqichli tandem generatorining tuzilishi

Zaryadlash kamerasida gaz sifatida kislorodni ishlatish mumkin. Uning bosimi 10^{-2} mm.sim.us. darajasida bo'ladi. Qattiq nishon sifatida esa, yupqa ko'mir plenkasidan foydalanish mumkin. Bu tezlatkichlar yordamida protonlarni 20 MeV energiyacha tezlatish imkoniyati bor. Lekin katta toklarni olish imkoniyati cheklangan ($I=1\mu A$).

2.2. SIKLIK TEZLATKICHLAR

Oldingi boblarda zarralarni bevosita tezlatuvchi va chiziqli tezlatkichlar bo'yicha ma'lumotlar berilgandi. Chiziqli tezlatkichlarda, zarralarni tezlatish uchun ular yo'lga kuchli tezlatuvchi qurilmalar joylashtirilishi zarur ekanligini ko'rdik. Tezlatilayotgan zarralar energiyasini qancha oshirishga qarab, tezlatuvchi trubkalar uzunligi va soni oshib boradi. Zarralar tezlatishining yana bir qulay usuli mavjud bo'lib, bu usulda zarralar traektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lmasdan, u spiral yoki halqa shaklida bo'ladi. Mazkur usul shundan iboratki, bunda zaryadlangan zarralar tezlatuvchi qurilmaga ko'p marta qaytib keladi va har

qaytganda u tezlanish oladi. Bunday usulda ishlaydigan tezlatkichlarni siklik tezlatkichlar deyiladi. Bunday tezlatkichlarning eng oddiy vakili - bu tsiklotron hisoblanadi.

Siklotronning tuzilishi va tezlashtirilgan zarrachalar energiyasini baholash

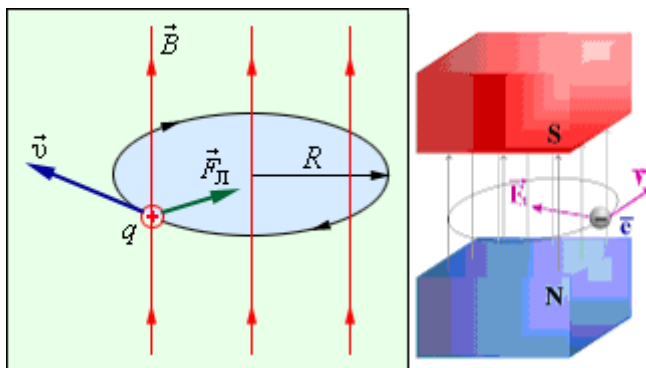
Birinchi siklotron amerikalik olim Lourens tomonidan 1930-yilda qurilgan. Shu davrdan buyon dunyoda turli energiyali yuzlab siklotronlar qurilib, ishga tushirilgan. Ushbu tezlatkichlarni qurishda ishlatiladigan texnika bu davrda tubdan o'zgargan bo'lishiga qaramasdan ularning ishlash prinsipi o'zgarmadi. Siklotronlarda ham boshqa siklik tezlatkichlardagidek, zarralarni tezlatuvchi qurilma orqali o'tkazish uchun magnit maydonidan foydalaniladi. Zarralar trayektoriyasini burish uchun qo'llaniladigan magnitlar juda ham kattadir. Uncha katta bo'lmagan siklotronlardagi magnitlarning og'irligi bir necha o'nlab tonnalar, katta proton sinxrotronlarda esa o'n minglab tonnalar tashkil qiladi. Bunday magnitlar juda ham qimmat turadi va magnit maydoni hosil qilish uchun juda katta elektr quvvatini talab qiladi. Ammo shunga qaramasdan ularning baholari yuqori chastotali generatorlarning bahosiga nisbatan arzon hisoblanadi.

Siklik tezlatkichlarning ishlash tamoyillari bilan tanishib chiqishdan oldin, bizlarga darsliklardan ma'lum bo'lgan ayrim qonun va formularni esab o'tamiz. Ma'lumki, magnit maydonida harakatlanayotgan har bir zarra magnit maydoni tomonidan Lorens kuchi ta'sir qiladi va bu kuch zarra trayektoriyasini o'zgartiradi, ya'ni egri chiziqli shaklida bo'ladi. Lorens kuchi quyidagiga teng:

$$F = eVB, \quad (2.2)$$

Bu yerda e - zarra zaryadi, V - uning tezligi, B - magnit maydon induktsiyasi ($\vec{V}$ tezlik va $\vec{B}$ vektorlar o'zaro perpendikulyar deb faraz qilinadi). Lorens kuchi magnit maydon yo'nalishiga ham, shuningdek zarra tezligi yo'nalishiga ham perpendikulyardir.

Demak, zarra aylana bo'ylab harakatlanadi. Bir jinsli magnit maydonga uchib kirgan zaryadlangan zarrachaning harakati 2.7-rasmda keltirilgan.



2.7-rasm. Bir jinsli magnit maydonda zarrachaning aylanma harakati

Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan:

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (2.3)$$

(2.2) va (2.3) formulalardan quyidagi ifodani olamiz:

$$eVB = \frac{mV^2}{R}, \quad (2.4)$$

yoki

$$p = mV = eBR, \quad (2.5)$$

bu yerda $p = mV$ - zarra impulsi. Agar m massani quyidagi ifoda orqali aniqlanuvchi relyativistik massa deb olsak, ya'ni:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (2.6)$$

u holda (2.5) formula yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda ham o'rinli bo'ladi.

Yuqoridagi (2.5) formuladan ko'rinadiki, magnit maydon induksiyasi zarra energiyasi bilan emas, balki uning impulsi bilan bog'langan. Nisbiylik

nazariyasida(relyativistik mexanikada) impuls bilan energiya quyidagicha bog'langan:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4. \quad (2.7)$$

Bu yerda E – zarra to'liq energiyasi. Agar zarra tinch turgan bo'lsa, uning energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = E_0 = m_0 c^2. \quad (2.8)$$

Bu yerda E_0 – zarraning tinchlikdagi energiyasi deyiladi. Zarraning kinetik energiyasi uning kinetik va tinchlikdagi energiyalarining yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni:

$$E = T + m_0 c^2, \quad (2.9)$$

bu yerda T – zarra kinetik energiyasi. Ushbu energiyani (2.6) va (2.7) ifodalardan foydalanib, quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$T = E - m_0 c^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} - m_0 c^2. \quad (2.10)$$

Yuqoridagi ifodalardan ko'rinadiki, zarra kinetik energiyasi uning impulsi bilan, demak, magnit maydon induktsiyasi bilan ham murakkab formula orqali bog'langan.

Relyativistik fizikada p impuls o'rniga pc kattalikdan, m_0 tinchlikdagimassa o'rniga esa $m_0 c^2$ tinchlikdagi energiyadan foydalanish qo'laydir. Buning uchun (2.2) ifodaning ikki tomonini sc ko'paytiramiz va foydalanish uchun qulay bo'lgan o'lchov birliklardan foydalanib, bu ifodani quyidagi ko'rinishga olib kelamiz:

$$pc(\hat{A}) = 3 \cdot 10^8 BR(\vec{E} \cdot \vec{i}). \quad (2.11)$$

Siklotron va fazotronlarda magnit maydon induksiyasi $B=2$ Tl atrofida bo'ladi. Boshqa turdagi siklik tezlatkichlarda esa $B=1,2$ Tl bo'ladi. Bu qiymatlarni (2.11) ifodaga qo'yamiz va tezlatkichlarning radiusini hisoblash formulasini yozamiz:

Siklotron va fazotronlar uchun

$$R \approx 1,6 \cdot 10^{-9} pc \quad (2.12)$$

Katta siklik tezlatkichlar uchun $R \approx 3 \cdot 10^{-9} pc$

Bu yerda R – metrlarda, pc – elektronvoltlarda.

Proton tezlatkichlar radiuslarini baholashga misollar keltiramiz. Buning uchun har energiyali proton tezlatkichlarning radiuslarni baholaymiz. Protonlarni $T=20$ MeV (norelyativistik hol) gacha tezlatigan siklik tezlatkichning radiusini aniqlaymiz. Ushbu energiyadagi proton impulsi:

$$pc = \sqrt{2mc^2T} = \sqrt{2 \cdot 938 \cdot 20} \hat{A} \approx 200 \hat{A}$$

Binobarin, oxirgi aylanishining (halqasining) radiusi quyidagiga teng bo'ladi:

$$R \approx 1,6 \cdot 10^{-9} pc = 1,6 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^8 (\hat{A}) = 0,32 \hat{A}.$$

Rossiyaning Dubna shahridagi Yadro muammolar laboratoriyasidagi fazotron protonlarni 680 MeV energiyagacha tezlatadi. Ushbu tezlatkichning radiusini aniqlaymiz. Buning uchun (2.8) ifodadan protonlar impulsini topamiz va (2.9) formuladan birinchisiga, ya'ni fazotronlar uchun yozilgan formulaga qo'yamiz va orbita radiusini topamiz:

$$pc = \sqrt{(T + m_0c^2)^2 - (m_0c^2)^2} = 1300 \hat{A},$$

$$R \approx 1,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1,3 \cdot 10^9 \approx 2,1 \hat{A}.$$

Rossiyaning Protvino shahrida joylashgan va protonlarni 70 GeV gacha tezlatadigan tezlatkichning radiusini baholaymiz. Yuqorida keltirilgan (2.10) formuladagi m_0c^2 ifodani pc kattalikka nisbatan kichik bo'lgani uchun hisobga olmaymiz. U holda tezlatkich radiusi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$pc \approx T = 70 \text{ GeV},$$

$$R \approx 3 \cdot 10^{-9} \cdot 70 \cdot 10^9 = 210 \text{ m} \quad (\text{amalda } 236 \text{ m}).$$

Fermi nomidagi laboratoriyada (AQSH) joylashgan tezlatkich protonlarni 500 GeV gacha tezlatadi. Bu tezlatkichning radiusini baholaymiz, ya'ni:

$$R \approx 3 \cdot 10^{-9} \cdot 500 \cdot 10^9 = 1,5 \text{ km} \quad (\text{amalda } 1 \text{ km}).$$

Bu baholashlar inshoot o'lchamini belgilaydi va yirik tezlatkichlar qurish yo'liga keskin iqtisodiy chegara qo'yadi.

Ushbu yo'nalishda sezilarli rivojlanish, ya'ni progress bo'lishi mumkinmi? Turli ferromagnitlardagi erishish mumkin bo'lgan magnit maydon induksiyasining chegarasi bir biriga juda ham yaqin va yaxshi tushunarli holdir. Ferromagnitizm bu elektronning spin aylanishi natijasida hosil bo'ladigan xususiy magnit momenti bilan bog'langan. Agar ba'zi bir atomda aynan bir kvant holatda ikkita elektron bo'lib qolgan taqdirda ularning spinlari qarama qarshi yo'nalishda joylashib oladi. Bu Pauli prinsipi deyiladi. Ushbu prinsipni oddiy qilib aytganda, atomda to'rtta kvant soni bir xil bo'lgan ikkita elektron mavjud bo'lishi mumkin emas. Shuning uchun to'rtinchi kvant soni, ya'ni spin yo'nalishi farq qilishi kerak. Bunday elektron juftliklarning yoki hamma elektron juftliklar magnit momentlari bir birlarini kompensatsiyalaydi va natijaviy magnit momenti nolga teng bo'ladi. Atomdagi toq elektron faqat bitta bo'ladi va uning mavjudligi ferromagnitizm bilan bog'liq bo'ladi. Ma'lumki, hamma element atomlari deyarli bir xil o'lchamga ega. Demak, qattiq jismlarning 1 sm^3 hajmidagi atomlar soni moddadan moddaga o'tganda sezilarli o'zgarmaydi. Ferromagnitizmga sababchi bo'lgan hamma

elektronlarning spinlari bir tomonga qarab burilgan bo'lsa, moddaning maksimal magnitlanishiga erishiladi. Bu yerdan ko'rinadiki, to'yinish induksiyasi kattaligi hamma ferromagnit moddalarda bir biriga juda ham yaqin bo'ladi. Amalda ham xuddi shunday. Ko'pchilik hollarda elektromagnitning o'zagi sifatida temir olinadi. Bunga sabab, uning boshqa moddalardan magnit xususiyatlari bo'yicha ustunligi emas, balki uning arzonligidir. Tezlatkichlarda magnit induksiyasini oshirishning amalga oshirsa bo'ladigan yagona yo'li, bu, odatdagi elektromagnitlardan o'ta o'tkazuvchan moddalardan yasalgan elektromagnitlarga o'tish hisoblanadi. Bunda mavjud materiallarda induksiya 2-3 marta oshishi mumkin. Bu eng istiqboli porloq yo'l bo'lib, u hozirgi zamonaviy tezlatkichlarda keng qo'llanilmoqda.

Endi (2.9) formulani tahlil qilishga qaytsak. Bu yerdan ko'rinadiki, doimiy B magnit maydonda tezlatilayotgan zarralar hosil qilayotgan trayektoriya radiusi, impuls oshishi bilan oshib borar ekan. Bunday maydonda zarra trayektoriyasi aylanib kelayotgan spiralni eslatadi. Ushbu holda elektromagnitning magnit qutblari butun spiralni qoplovchi disk shaklida qilinadi. Qutblarning radiusi 30 sm yoki xatto 2 m bo'lgan yaxlit magnit qutblarini qilish qiyin emas. Ammo diametrlari 1,5 km yoki xattoki 200 m bo'lgan disk shaklidagi magnit qutblarini yasash mumkin emas. Demak uncha katta energiyaga ega bo'lgan tezlatkichlar butun(yaxlit) qutbga ega bo'lgan domiy magnit maydon bilan ishlaydilar, katta energiyaga ega bo'lgan tezlatkichlarda esa bunday maydonni hosil qilib bo'lmaydi. Yirik tezlatkichlarda magnit maydon doimiy radiusli tor halqa yo'laklarda hosil qilinadi. Yuqorida keltirilgan (2.9) formula ko'rsatadiki, bunday tezlatkichlarda, tezlatilayotgan zarraning impulsi oshishi bilan B induksiya ham oshib borishi shart. Endi siklik tezlatkichlar sinfiga kiruvchi tezlatkichlar, ya'ni siklotron, fazotron, mikrotron, betatron va sinxrotronlar bilan batafsil tanishib chiqamiz.

Siklotron

Siklik tezlatkichlarni shartli ravishda ikkiga bo'lish mumkin: rezonans va induksiyon tezlatkichlar. Siklik rezonans tezlatkichlarda qo'yilgan boshqaruvchi magnit maydon ta'sirida zarralar trayektoriyasi egrilanib, aylana yoki yassi spiral

shaklini oladi va shu bilan birga tezlatilayotgan zarralar bitta tezlatuvchi oraliqni ko'p marta o'tadi. Zarralarning tezlatuvchi oraliq orqali keyingi ikki o'tishlar orasidagi vaqt tezlatuvchi maydon davrining o'zgarishiga teng yoki karrali bo'lishi kerak.

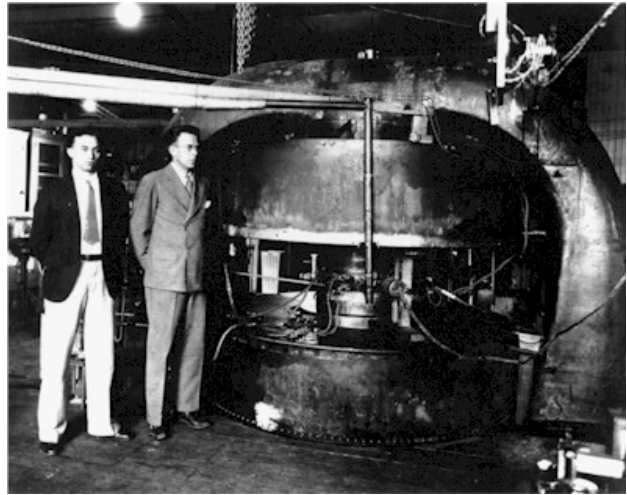
Tezlatuvchi elektr maydon va boshqaruvchi magnit maydonlar xususiyatlariga bog'liq holda siklik rezonansli tezlatkichlar quyidagi turlarga bo'linadi: siklotron, sinxrotron, sinxrofazotron.

Siklotron bu norelyativistik og'ir zaryadlangan zarralarni (protonlar, ionlar) tezlatuvchi siklik tezlatkich bo'lib, bunda zarralar doimiy va bir jinsli magnit maydonda harakatlanadilar. Ushbu zarralarni tezlatish uchun esa yuqori chastotali elektr maydon qo'llaniladi. Elektr maydon chastotasi o'zgarmas bo'ladi.

Birinchi siklotron 1930-yilda AQSHda E. Lourens va S. Livingstonlar tomonidan qurilgan bo'lib, uning diametri 25 sm tashkil qilgan. Mazkur siklotronda protonlar tezlatilgan bo'lib, ularning energiyasi 1 MeV gacha yetkazilgan. 1931-yilda shu olimlar tomonidan siklotronning keyingi avlodi yaratildi. Bu tezlatkichning diametri 69 sm (27 dyum) bo'lib, u proton va deutronlarni bir necha MeV largacha tezlatgan. Mazkur tezlatkich yadro reaksiyalarni va sun'iy radioaktivlikni o'rganish bo'yicha o'tkazilgan tajribalarda samarali foydalanildi. Siklotronning birinchi ishlaydigan modeli 4.2-rasmda keltirilgan. 2.8-rasmda esa diametri 27 dyum bo'lgan siklotronning ko'rinishi keltirilgan.



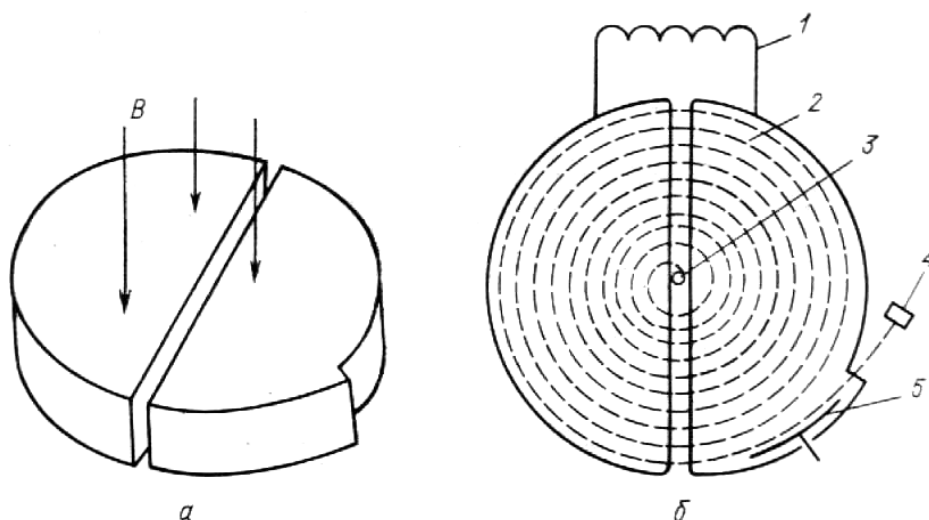
2.8-rasm. a)Siklotronning birinchi ishlaydigan modeli



b) S. Livingston va E. Lourenslar 27-dyuymli siklotron oldida

Siklotron, magnitdan iborat bo'lib, uning qutblari orasidagi bir jinsli magnit maydonga vakuum kamerasi joylashgan bo'ladi. Vakuum kamerasi ichida esa ichi bo'sh bo'lgan ikkita duant va ionlar manbai joylashgan bo'ladi. Vakuum kamerasi ichida yuqori vakuum bo'lib, uning bosimi 10^{-5} mm.sim.ust. ga teng bo'ladi. Elektrodلarning duant deb nomlanishiga sabab, ushbu elektrodلarning shakli lotin alfatidagi "D" xarfiga o'hshashligidadir (2.8a-rasm). Bu elektrodلar shakli bo'yicha konserva bankasiga ham o'hshaydi. Ushbu duantلarni hosil qilish uchun konserva bankasini stolga qo'yamiz va uni diametr bo'yicha yuqoridan pastga kesamiz. So'ngra kesilgan banka bo'laklarini bir biridan ozgina uzoqlashtiramiz natijada ular orasida ozgina tirqish hosil bo'ladi. Ushbu tirqish tsiklotrondagi tezlatuvchi tirqishni eslatadi. Faraz qilamiz, ionlar manbadan uchib chiqqan vaqtda chap tomondagi (2.8-b rasm) elektrod manfiy potentsialga ega bo'lsin. U holda ionlar ushbu elektrod tomon harakatlanadi, ya'ni duantلar orasida tezlanish oladi va chap tomondagi duant kovagi ichiga kirib ketadi. Duant kovaki ichida elektr maydon bo'lmagani uchun ionlar o'zgarmas tezlikda harakatlanib, yarim aylana shaklini yasaydilar va duant ichidan duantلar orasidagi tezlatuvchi oraliqqa chiqadilar. Agar generator chastotasi to'g'ri tanlangan bo'lsa, ya'ni, generator chastotasi ionlar aylanish chastotasiga teng qilib rostlangan bo'lsa, ionlar chap

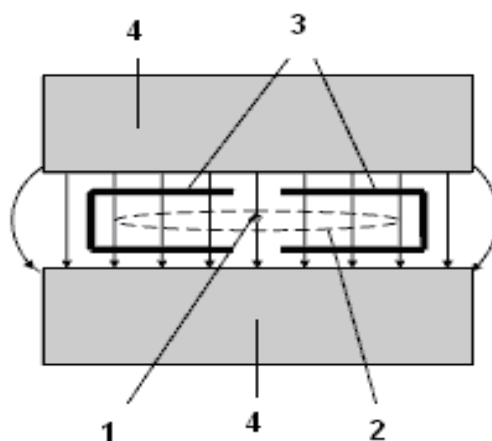
tomondagi duantdan chiqqan vaqtda elektr maydon yo'nalishi teskariga o'zgargan bo'ladi. Natijada ionlar yana tezlanish oladilar va o'ng tomondagi duant kovaki ichiga kirib ketadilar. O'ng tomondagi duant ichiga kirgan ionlar energiyalari oshganligi sababli katta radiusli aylana yasaydilar. Ionlar har gal elektrodlar orasidan o'tganda qo'shimcha energiya portsiyasini oladilar. Natijada siklotronda tezlatilayotgan ionlar spiral traektoriya bo'yicha harakatlanadilar (2.8-rasm). Biz yuqorida aytib o'tganimizdek, mazkur holda ionlar aylana shaklini yasashlariga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi Lorens kuchi hisoblanadi. Mazkur kuch (yoki magnit maydoni) ta'sirida tezlatilayotgan ionlar trayektoriyasi siklik xususiyatga ega bo'ladi. Shu sababli mazkur tezlatkichlarga siklotron deb nom berishgan. 2.9-rasmda siklotron sxemasining yon tomondan ko'rinishi ketirilgan.



2.9-rasm. Siklotron duantlari (a – umumiy ko'rinishi; b – yuqoridan ko'rinishi): 1 – yuqori chastotali kuchlanish manbai; 2 – ion trayektoriyasi; 3 – ionlar manbai; 4 – nishon; 5 – og'diruvchi (chetga buruvchi) elektrod.

Siklotronning ishlash tamoyilini juda oddiy misol yordamida tushuntirish mumkin. Arg'imchoqda o'tirgan bolaga yerda tik turgan odam turtki berib tebratayotgan bo'lsin. Har gal arg'imchoq odam yonidan o'tayotganda unga odam

tomonidan turtki, ya'ni qo'shimcha energiya (tezlik) beriladi. Arg'imchoq har gal oldingiga nisbatan yanada baland ko'tarilsa ham, u o'zining eng pastgi nuqtasidan deyarli bir vaqt oralig'ida o'tadi. Ushbu misoldagi odamning harakati (ta'siri) siklotronda ionlar oqimiga energiya portsiyasini beruvchi yuqori chastotali generatorning harakatiga o'hshashdir. Siklotronda zarralarni tezlatish jarayoni, ularning magnit qutblarinig chetigacha yetib bormaguncha davom etadi. Zarralar oqimi ushbu chegaraga yetib borganda uning oldiga tadqiq qilinayotgan nishon qo'yiladi va zarralar bu nishonga kelib tushishi natijasida yadro reaksiyalari yuz beradi.



2.10-rasm. Siklotron sxemasi. Yon tomondan ko'rinishi: 1 – ionlar manbai, 2 – tezlatilayotgan zarralar orbitasi, 3 - tezlatuvchi elektrodlar (duantlar), 4 –elektromagnit.

Siklotronda zarralarning aylanish davrini hisoblaymiz. Radiusi R bo'lgan aylana bo'ylab v tezlik bilan harakatlanayotgan zarraning T aylanish davri quyidagiga teng bo'ladi:

$$T = \frac{2\pi R}{v}. \quad (2.11)$$

Bizga ma'lumki magnit maydon induksiyasi B bo'lgan magnit maydonda aylana bo'ylab harakatlanayotgan zaryadlangan zarraning tezligi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$g = \frac{eBR}{m} \quad (2.12)$$

(2.12) ifodani (2.11) ga qo'yamiz va zarraning aylanish davrini hisoblaymiz:

$$T = 2\pi \frac{m}{eB} \quad (2.13)$$

Kichik energiyalarda (norelyativistik zarralar uchun) relyativistik m massa o'rniga zarraning m_0 tinchlikdagi massasini qo'yish mumkin. Mazkur holda zarraning aylanish davri, zarraning xususiyati (massa va zaryadi) va magnit maydon induksiyasi orqali aniqlanib, u tezlanish davomida o'zgaradigan zarra kinetik energiyasiga (tezligiga) bog'liq bo'lmaydi. Boshqacha aytganda domiy magnit maydonda harakatlanayotgan zaryadlangan zarraning aylanish chastotasi zarraning kinetik energiyasiga bog'liq emas. Demak uncha katta bo'lmagan tezliklarda zarraning chastotasi aylana radiusiga va zarralar tezliklariga bog'liq bo'lmaydi va zarralar hamma vaqt duantlar orasidagi tezlatuvchi tirqishga aynan bir xil vaqt oralig'ida kelib tushadilar. Aynan bir xil chastotali tezlatuvchi maydon, zarralarning injeksiyasidan (manbadan ionlarning chiqishidan) tezlatilgan zarralarning siklotronidan chiqib ketishigayaa bo'lgan vaqt davomida hamrohi bo'ladi.

Magnit maydon induksiyasi 2 Tl bo'lganda protonlar uchun tezlatuvchi maydonning chastotasini aniqlaymiz:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{eB}{2\pi m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,7 \cdot 10^{-27}} = 30 \cdot 10^6 \text{ } \tilde{A}o. \quad (2.14)$$

Mazkur chastotada elektromagnit tebranishlar to'lqin uzunligi 10 m ni tashkil qiladi. Bu yerdan ko'rinadiki, tsiklotronda qo'llaniladigan yuqori chastotali generatorlarning to'lqin uzunligi radioeshittirishlarning to'lqin uzunligiga yaqin ekan. Siklotronning eng muhim qismlaridan biri bu ionlar manbai hisoblanadi. Axir aynan uning samaradorligi tezlatkichning asosiy ko'rsatgichi bo'lgan - tezlatilgan zarralar intensivligini belgilaydi. Siklotronning ion manbai uncha katta

bo'lmagan metall bo'shliqdan iborat bo'lib, uning ichiga bosimi, tezlatkich kamerasi ichidagi bosimga nisbatan 100 marta katta bo'lgan gaz bilan to'ldiriladi. Siklotronida qanday ionlarni tezlatishga qarab, vodorod, deyteriy yoki geliy gazi bilan to'ldiriladi. Metall bo'shliq ichida yoy razryadi ro'y berishi natijasida ionlar hosil bo'ladi. Pag'a-pag'a (burqiragan) ionizatsiya ustunidan ionlar elektr maydoni yordamida tortib olinadi va bu ionlar duantlarning yuqori chastotali maydonida tezlatiladi. Bunday manba yordamida bir necha milliamperli ion tokini hosil qilish mumkin.

Tezlatilgan ionlar yuqorida aytib o'tganimizdek spiralsimon yo'lni bosib o'tadi va kameradan chiqib ketishga mo'ljallangan qismiga keladi. Ionlar chiqishiga mo'ljallangan tirqish yupqa metall folga bilan berkitilgan bo'lib, uni ichidan ionlar tashqariga chiqib ketadi. Ayrim zarralar spiralning oxirgi o'ramlarini chizayotganda, boshqa zarralar yo'lning o'rtasida bo'ladi. Bu vaqtda yana bir zarralar yo'lning boshida bo'ladi. Siklotronidan tezlatilayotgan zarralar oqimi uzluksiz bo'lib, ular kichik zarralar to'plami (guruhi) ko'rinishida chiqadilar. Agar ushbu zarralar to'plami mos tushadigan fazada bo'lsa, ya'ni ushbu zarralar to'plami tezlatuvchi oraliqqa kelganda ularning harakat yo'nalishi bilan tezlatuvchi maydon yo'nalishi mos bo'lsa, zarralar to'plami qo'shimcha energiya oladi (tezlatiladi). Siklotronidan chiqayotgan ionlarning kinetik energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

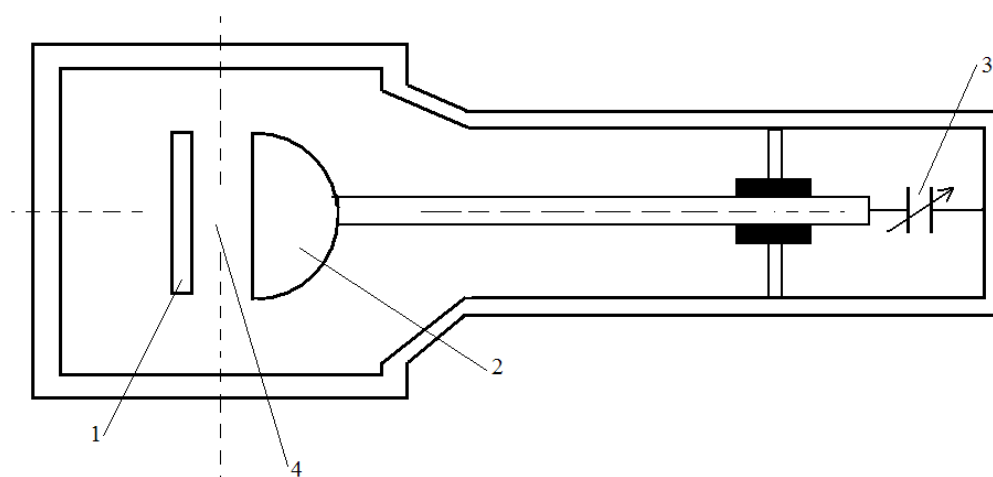
$$T = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{B^2 R^2}{2} \cdot \frac{q^2}{m} . \quad (2.15)$$

Har bir siklotron, ma'lum bir R radiusga va B magnit induksiyasi ega bo'lgan magniti bilan xarakterlanadi. Shu sababli, aniq bir siklotronida tezlatilayotgan ionlar energiyasi ion zaryadi kvadratining uning massasiga nisbatiga proporsional bo'ladi, ya'ni q^2/m . Proton va α -zarralarda q^2/m nisbat teng bo'lib, deytronlarda esa bu nisbat ikki marta kichik bo'ladi. Binobarin, deytronlar siklotronida protonlar energiyasiga nisbatan ikki marta kam energiya oladilar.

Siklotronlar bitta jiddiy kamchilikka ega. Ushbu tezlatkichlarda ionlarni faqat nisbatan uncha katta bo'lmagan energiyagacha tezlatish mumkin (protonlarni 22 MeV energiyalar atrofida). Energiya bo'yicha bunday chetlanishlar qanday sabablarga bog'liq bo'lishi mumkin? Biz bilamizki, siklotronning asosiy ishlash tamoyili "rezonans" tezlanishga asoslangan. Ammo siklotronda katta energiyalarda (katta tezliklarda) ionlarning tezlanish oxiridagi massalari tezlanish boshidagi massalariga nisbatan katta bo'ladi. Nisbiylik nazariyasidagi (2.6) ifodaga asosan tezlik oshishi bilan massa ham oshadi. Katta tezliklarda ($v/c > 0,2$) ionlarning massalari sezilarli o'rta boshlaydi. Masalan, energiyasi 25 MeV atrofida bo'lgan protonning massasi taxminan 2% ga ortadi. Magnit maydon induksiyasi B o'zgarmaganda ionlarning massasi ortsa, (2.14) formulaga asosan ularning aylanish davrlari ham ortadi. Yuqori chastotali maydon davri, tezlanish davomida o'zgarmaydi. Natijada ionlar tezlatuvchi tirqishga (duantlar orasiga) har gal kechikib kela boshlaydi va kam energiya oladi. Har gal kam energiya olib, oxir oqibatda tormozlovchi maydonga tushadi va tezlatilayotgan zarralar qatoridan tushib qoladilar. Ushbu holni chastota yordamida tushuntirish mumkin, ya'ni generator chastotasi bilan ionlarning aylanish chastotalari mos tushmaydi, aylanish davrining ortishi o'z navbatida aylanish chastotasining kamayishiga olib keladi. Mazkur mos tushmaslik natijasida ionlar duantlar orasiga vaqt bo'yicha kechikib keladi va tormozlovchi maydonga kelib tushadi. Tormozlovchi maydon deganda tezlatilayotgan zarralar harakat yo'nalishiga qarshi yo'nalgan maydon tushuniladi. Bu esa o'z navbatida ionlarning energiyasini chegaralaydi. Demak siklotronda zarralarni katta energiyalarga tezlatishga imkon bo'lmasligiga sabab, tezlik oshishi bilan massaning relyativistik oshishi bo'lib, bu esa o'z navbatida zarralarning aylanish davrining ortishiga sabab bo'ladi, ya'ni sinxronlik sharti bajarilmaydi. Shu sababli siklotron qurilmasida elektronlarni tezlatish mumkin emas. Masalan $E = 0,5$ MeV energiyada massa $m = 2m_0$ gacha oshadi. $E = 10$ MeV energiyada esa $m = 28m_0$ gacha oshadi. Klassik siklotronlarda protonlarni 20 MeV gacha, α -zarralarni esa 40 MeV gacha tezlatish mumkin.

Sinxrosiklotron

Sinxrosiklotron fazotron deb ham yuritiladi. Siklik rezonans tezlatkichi bo'lib, og'ir ionlarni tezlashtiradi. Ishlash prinsipi siklotronnikiga o'xshash bo'lib, avtofazirovka muhim ro'l o'ynaydi. Elektromagnit qutblarining diametri katta bo'lib, 6 m ga yetib boradi va tezlashtirilgan zarracha energiyasi ham yetarli darajada katta bo'ladi. Odatda sinxrotsiklotronning tezlatish sistemasi bitta duantli qilib tayyorlanadi. 2.11-rasmda sinxrosiklotronning tezlatish sistemasi aks ettirilgan. Ikkinchi duant vazifasini yerga ulangan metall ramkasi (1) bajaradi. Ramka va ikkinchi duant (2) orasida bo'shliq bo'lib (4), bu tezlashtirish maydoni hisoblanadi. Sinxrosiklotronda kuchlanishning katta qiymati ishlatilmaydi. Yuqori chastotali kuchlanishning amplituda qiymati 25-30 kV ortmaydi. Duantga berilayotgan chastotani modilyatsiyalash, yuqori chastota generatorga ulangan o'zgaruvchan kondensator (3) orqali amalga oshiriladi. Sinxrosiklotronda ion manbasi impuls rejimida ishlaydi. Tezlashtirilayotgan ionlarning energiyasini oshirish uchun duantlarga ionlarning aylanish chastotasi kamayib borishiga qarab, chastotasi kamayadigan kuchlanish qo'yiladi. Bunday tezlatkichlar fazotron yoki sinxrosiklotron deyiladi va bunday tezlatkichlarda ionlarning energiyasini 800 MeV va undan ham katta energiyalargacha oshirish mumkin. Siklotronda ionlar deyarli uzluksiz tezlatiladi, chunki zarralar yuqori chastotali generator tebranish davriga teng bo'lgan vaqt davomida tezlatiladi. Fazotronda ionlar porsiyasini tezlatishga to'g'ri keladi, negaki ionlar energiyasi oshishi bilan generator o'z chastotasini kamaytiradi. Fazotronda proton, deytion va α -zarralar tezlatiladi. Masalan, Yadro tadqiqotlari birlashgan institutining (Dubna shahri, Rossiya) sinxrosiklotroni magnitining radiusi 3 m bo'lib, uning massasi 7000 t. Zarralar energiyasi qutbiy uchlik radiusining kvadratiga proporsional bo'lgani uchun energiyani oshirish uchun magnitning o'lchamini kattalashtirish kerak. Natijada fazotron magnitining massasi bir necha ming tonna bo'ladi. Ushbu sinxrosiklotronda protonlar – 680 MeV, deytionlar – 420 MeV, va α -zarralar – 840 MeV gacha tezlatiladi.



2.11-rasm. Sinxrosiklotronning tuzilishi

1967-yilda Gatchina shaxrida 1 GeV energiyagacha tezlashtiruvchi sinxrosiklotron ishga tushirildi. Bu eng katta energiya beruvchi tezlatkich hisoblanadi. Uning parametrlari 2.1-jadvadada berilgan.

2.1. Jadval. Sinxrosiklotronning parametrlari

Kattaliklar	Son qiymati
Proton zarrachasining eng yuqori energiyasi, GeV	1
Kamera ichidagi zarracha oqimining tok kuchi, μA	3
Tashvariga chiqarilgan zarrachalar intensivligi, zarr./sek	$5 \cdot 10^{12}$
Orbita radiusi, m	3.165
Tok impulsining o'tish davomiyligi, mks	250
Impulslarning takrorlanish chastotasi, Hz	40
Chastotaning o'zgarish sohasi, MHz	13,18-28,88
Tezlatish kuchlanishining amplitudasi, kV	10
Yuqori chastota sistemasining quvvati, kVt	150

Yadro fizika institutining U-115va U-150 tsiklik tezlatkichlarning asosiy xarakteristikalarini

Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining Yadro fizikasi institutida U-150-II tipdagi siklotron mavjud bo'lib, bu tezlatkichda fundamental yadro fizikasi, radiatsion materialshunoslik, yadroviy radiokimyo, radiobiologiya va tibbiyot sohalarida ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. 2.12-rasmda yadro fizika institutidagi U-150-II siklotronining umumiy ko'rinishi tasvirlangan.

Ushbu tezlatkichda protonlar - 8 – 20 MeV, deytronlar 10 – 20 MeV, ^3Ne ionlari - 20 – 40 MeV va alfa-zarralar - 20 – 40 MeV energiya diapazonlarida tezlatiladi. 2.2-jadvalda U-150-2 klassik siklotronida tezlashtiriladigan zarrachalarning parametrlari berilgan.

Bir qator ko'rsatkichlar bilan birgalikda zarralar dastasini intensiv ravishda hosil bo'lishiga qarab U-150-II tezlatkichi mustaqil hamdo'stlik (SNG) davlatlardagi boshqa shu kabi tezlatkichlardan afzalligi bilan ajralib turadi.



2.12-rasm. Yadro fizika institutidagi U-150-II tsiklotroni

Hozirgi vaqtda U-150-II siklotroni ^{57}So radionuklidini olishda ishlatilmoqda. Energiyasi ~ 20 MeV bo'lgan proton zarrachasi ^{58}Ni nishoniga kelib tushadi va turli ko'rinishdagi yadro reaksiyalarini yuzaga keltiradi. ^{57}So radionuklidining hosil bo'lish kesimining katta bo'lishligi, uni olish imkonini beradi.

Tezlatilayotgan zarralar turi	Energiya diapazoni, MeV	Zarralar oqimining tok kuchi(kamera ichida), mkA	Zarralar dastasini chiqarilgan toki, mkA
Proton	8 - 20	≤ 600	≤ 4
Deytron	10 - 20	≤ 150	≤ 2
^3Ne ioni	20 - 40	≤ 150	≤ 2
^4Ne ioni	20 - 40	≤ 200	≤ 3

2.2-jadval. U-150-2 klassik siklotronining xarakteristikasi

- U-150-II tezlatkichini fizikaviy tarzda ishga tushirilishi 1964 yilda amalga oshirildi, shu paytdan boshlab unda ilmiy tadqiqot ishlari o'tkazilib kelinmoqda.

1991-yilda U-150-II tezlatkich negizida Ilmiy ishlab chiqarish korxonasi "TEZLATKICH" tashkil etildi, hozirgi kunda ushbu korxona radioizotop mahsulotlarni jumladan, So-57 radionuklidini ishlab chiqarib xorijiy davlatlarga eksport qilmoqda.

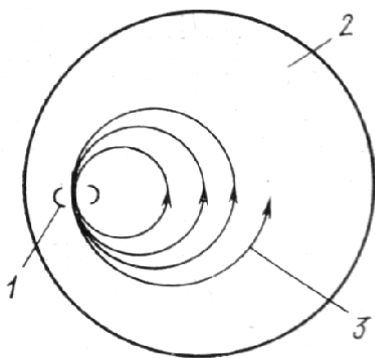
U-150-II telatgichining zarralar dastasidan foydalanish yordamida quyidagi tadqiqotlar olib borilmoqda:

- fundamental yadro fizika sohasida - yadro reaksiyalarni o'rganish asosida yadroni tuzilishi xamda yadro reaksiyalarning mexanizmlari xaqida batafsil ma'lumotga ega bo'lish maqsadida;
- radiatsiyaviy materialshunoslik sohalarida- Yuqori energiyali zaryadlangan zarralar, tez neytronlar va gamma nurlantirishni oqimlari ta'sirida turli materiallarni holat ko'rsatkichlarini o'zgarishini tadqiq etish;
- Yadroviy radiokimyo, radiobiologiya va tibbiyot sohalarida- Radionuklidlar ehtiyoj seziladigan turli sohalarida jumladan, ishlab chiqarish sanoatida, asbobsozlikda, nishonli birikmalarni ishlab chiqarishda, diagnostika va terapevtik radionuklidli preparatlarda qo'llaniladigan radionuklidlarga (jumladan, Co-57, Ga-68, Pd-103) ishlov berish usullarini ishlab chiqish.

Mikrotron

Siklotronda elektronlarni tezlatib bo'lmaydi, sababi ular tez relyativistik tezlikka erishadilar. Shunga qaramay shunday tezlatkichlar mavjudki ularda elektronlar bir jinsli magnit maydonida elektr maydon impulsi bilan tezlatiladi. Bunday turdagi tezlatkichlarni mikrotron deyiladi (ba'zan elektron siklotroni deb ham aytiladi). Mikrotronda zarracha tezlatkich kamerasiga magnit maydonning markaziy qismiga kiritilmasdan balki chetiga kiritiladi. Zarracha chiqish joyiga kovak(ichi bo'sh) tezlatuvchi rezonator joylashtiriladi. Reznatorda zarracha har bir aylanishida elektronning tinchlikdagi energiyasiga aniq teng bo'lgan 0,511 MeV energiya oladi. Elektronning n-chi aylanish davri T_n birinchi aylanish davriga karrali bo'ladi:

$$T_n = nT_1 = \frac{2\pi nmc}{eH\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (2.16)$$



2.13-рasm. Mikrotron sxemasi.

1 –rezonator, 2 –elektronlar

Shuning uchun ham elektron har bir aylanishda rezonatorga tezlatish momentida tushadi. Mikrotronda elektronlar radiusi oshib boruvchi aylana bo'yicha harakatlanib, hamma aylanalar rezonator ichida bir-biriga tegadi (4.8-rasm). Mikrotronlar impuls rejimida ham, uzluksiz rejimda ham ishlay oladi. Ushbu tezlatkichlarda erishilgan chegaraviy energiya

50-100

MeVlar

atrofida

baholanadi. Energiyaning keyingi oshishiga magnit maydoniga qo'yiladigan shartlar halaqit beradi. Hozirgi kunda mavjud bo'lgan mikrotronlar 4 dan 30 MeV gacha bo'lgan energiyaga egadirlar. Energiya oshishi bilan mikrotronlarda intensivlik keskin tushadi. Masalan 13 MeV energiyali mikrotron impulsda 100 mA, 30 MeV energiyali mikrotronda esa atiga 0,05 mA tok beradi. Odatda o'rtacha tok impuls qiymatidan uch tartibgacha kamdir. Mikrotronning afzalliklariga elektronlar dastasi chiqishining soddaligi, dastaning yuqori monoenergetikligi (faqat elektrostatik tezlatkichlarga yon beradi) va past energiyalarda yetarlicha yuqori intensivlikka ega bo'lishlari kiradi. Shuning uchun ham past energiyalarda mikrotron perspektiv turdagi elektron tezlatkich hisoblanadi. Hozirgi kunda mikrotron respublikamizning Samarkand davlat universitetida mavjud bo'lib, uning parametrlari quyidagicha: maksimal orbitalar soni – 22; birinchi tezlatish rejimida elektronlar maksimal energiyasi – 13 MeV; ikkinchi tezlatish rejimida – 22,5 MeV; birinchi rejimdagi o'rtacha tok 30 mA gacha; ikkinchi rejimda 20 mA gacha; impuls toki 20 mA; impuls tokining davomiyligi – 2,3 mks; iste'mol qiladigan quvvat – 20 kVt.

Betatron

O'rta va past energiyali elektron tezlatkichlardan eng ko'p tarqalgani betatron hisoblanadi. U elektronlarning birinchi siklik tezlatkichi bo'lib hisoblanadi. Uning birinchi nusxasi 1940-yilda amerikalik olim D. Krest

tomonidan yasalgan (2.13-rasm). Betatron boshqa tezlatkichlardan shu bilan farq qiladiki, bu turdagi tezlatkichlarda zarralarni tezlatuvchi elektr maydon tashqaridan berilmaydi, balki zarralarni doiraviy orbitalarda ushlab turuvchi magnit maydonning vaqt bo'yicha tez o'zgarishi natijasida hosil bo'ladi. Haqiqatan ham, agar, aksial simmetrik magnit maydon vaqt bo'yicha o'zgarsa, unda Maksvelning quyidagi tenglamasiga asosan

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.17)$$

kuch chiziqlari kontsentrik aylanalardan iborat bo'lgan $\vec{E}$ elektr maydon hosil bo'ladi. Ushbu holda elektronlar ultrarelyativistik xususiyati tufayli magnit maydonining $H(R)$ radial bog'lanishi shunday tanlab olinadiki, bunda elektron orbitalar radiusi vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'ladi.

Betatronning ishlashini ma'lum darajada elektr transformatorning ishlashiga o'xshatish mumkin. Ma'lumki, transformator berk po'lat o'zakdan va unga kiydirilgan sim cho'lg'amli ikkita g'altakdan iborat. Agar birlamchi cho'lg'amdan o'zgaruvchan elektr toki o'tkazilsa, o'zakda o'zgaruvchan magnit maydoni hosil bo'ladi. O'z navbatida ikkilamchi cho'lg'amda induksiya elektr yurituvchi kuch (EYUK) hosil qiladi. Agar ikkilamchi cho'lg'amni tutashtirsak, unda u orqali elektr toki o'tadi. Betatronda ikkinchi o'zak halqasimon vakuum kamerasiga almashtirilgan. Bu kamera «teshik kulchaga» o'xshaydi. Betatronning ko'ndalang kesimi sxemasi 2.10 va 2.11-rasmlarda ko'rsatilgan. Shisha yoki farfordan yasalgan toroidal kamera magnit qutblari orasiga joylashtiriladi. Kamera ichida 10^{-6} mm. sim. ust. tartibidagi bosim ushlab turiladi. Energiyalari bir necha o'n kiloelektronvolt bo'lgan elektronlar 0,001 s vaqt ichida kamera «elektron to'p» yordami bilan injeksiyalanadi (kiritiladi). Elektronlar manbayi elektronlarni chiqaruvchi volfram tolali cho'lg'amdan va elektronlarni tezlatuvchi va fokuslovchi elektrodlar sistemasidan iborat.



2.14-rasm. D. Kerst o'zining betatronlari oldida: 2,3 MeV dagi kichik va 25 MeV energiyadagi katta betatronlar.

Kamera ga kiritilgan elektronlar to'plami uyurmaviy EYUK ta'siri ostida aylanadi. Ushbu EYUKni o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qiladi. Elektronlarni tezlatish vaqtida magnit maydoni shunday qiymatga erishadiki, bunda elektronlar trubka ichida turg'un orbita bo'ylab harakatlanadi. Elektronlarning tezlanish olish davri elektromagnit g'altaklaridagi kuchlanishning noldan maksimal qiymatigacha oshish vaqtiga to'g'ri keladi. Bu o'zgaruvchan kuchlanish davrining chorak qismini tashkil qiladi.

Radiusi R bo'lgan turg'un orbitada F_m markazga intilma tezlanish F_l Lorens kuchi bilan mos tushadi. Lorens kuchining tezlatkich kamerasi bo'yicha radial o'zgarishi quyidagicha: $r > R$ bo'lganda $F_l > F_m$ bo'ladi, $r < R$ bo'lganda esa $F_l < F_m$ bo'ladi. Shu tariqa turg'un orbitadan chetlashgan elektronlar yana unga qaytadilar. Tezlatish jarayonida elektronlarning turg'un orbita atrofida uncha katta bo'lmagan tebranishlari yuz beradi. Amalda betatron elektronlarni bir necha MeV dan 50 MeV gacha tezlatish uchun ishlatiladi. Bir vaqtlar bundan ham katta energiyali hatto 240 MeV gacha bo'lgan betatronlar ham ishlab chiqilgan. Ammo bunday energiyalarda magnitning katta og'irlikda (sinxrotronga nisbatan) bo'lishi, shuningdek 100 MeV dan yuqori energiyalarda betatronda tezlatish rejimi, elektronlarning elektromagnit nurlanishi tufayli buzilishi sababli betatron yuqori

energiyali elektronlarni olishda ishlatilmaydi. Betatronlarda intensivlik katta emas. Har bir impulsda 10^9 - 10^{10} zarra bo'lganda o'rtacha tok 10^{-2} mA dan oshmaydi. Ushbu tezlatkichlarning kamchiliklaridan yana biri unda amalda elektronlar dastasini chiqarib bo'lmastir. Shuning uchun ham betatronlar faqat tormozli gamma-nurlar manbai sifatida ishlatiladi.

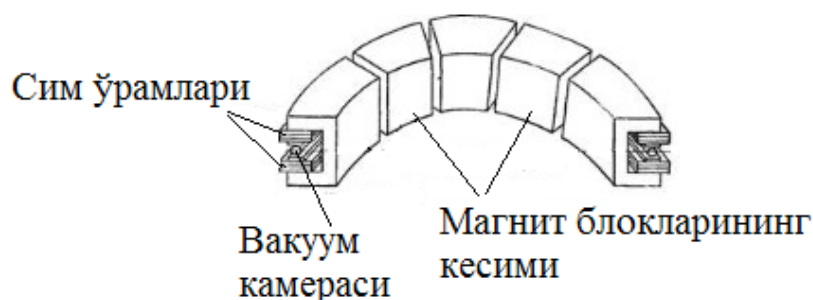
Hozirgi kunda yangi avlod elektron tezlatkichlari yaratilmoqda. Bu elektron tezlatkichlar oldingilaridan o'zining ixchamligi va yuqori intensivlikka egaliklari bilan farq qiladi.

Sinxrotron Yuqori energiyali zarrachalarni olish uchun sinxrotron deb nomlangan tezlatkichlar qo'llaniladi. Siklik tezlatkichlarda ishlatilgan magnit radiusining katta bo'lishligi, uning juda qimmat bo'lishiga olib keldi. Bunday tezlatkichlarda magnit maydoni zarrachalarning harakat orbitalarini to'liq egallaydi. Magnitlarni kerakli soha oraliklariga joylashtirish orqali mablag'larni tejash mumkin emasmikan degan o'rinli savol paydo bo'ldi. Bu qo'yilgan vazifa tez orada ijobiy hal bo'ldi va magnitlar tor soha oraliklariga o'rnatildi. Bu rusumdagi birinchi sinxrotron 1952-yil AQSH dagi Brukxeyven milliy laboratoriyasida ishga tushirildi. Bu tezlatkichda proton zarrachasi 3 GeV energiyagacha tezlashtirildi. Keyinchalik 6 GeV energiyali "Bevatron" ishga tushirildi (AQSH, Kaliforniya universiteti). Ularda olib borilgan ilmiy tadqiqodlar natijasida antiproton zarrachasi kuzatildi. Bu tezlatkichlarda kuchsiz fokuslash prinsipi qo'llanilgan edi. Shu sababli tezlashtirilayotgan zarrachalarning radial tebranish chastotasining amplitudasi katta qiymatga ega edi. Bu o'z navbatida magnit maydonini juda katta aniqlikda nazorat qilish vazifasini yuklay edi. 1952-yilda zarrachalar tebranishini kuchli fokuslash orqali kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Shu prinsipda ishlaydigan birinchi sinxrotron Brukxeyvenda ishga tushirildi. Keyinchalik shu tipdagi tezlatkich Jenevada (TSERN) ishga tushirildi. 2.3-jadvalda ishga tushirilgan sinxrotronlar va ularga tegishli parametrlar berilgan.

2.3. Jadval. Sinxrotronlar ro'yxati

Nomlanishi	Joylashgan o'ri	Energiyasi, GeV
Proton sinxrotroni		
TSERN	Jeneva	28
Brokxeyven milliy laboratoriyasi	Brokxeyven, AQSH	32
KEK	Tokio, Yaponiya	12
Serpuxov	Rossiya	76
TSERN(supersinxrotron)	Jeneva	450
Tevatron(Fermi laboratoriyasi)	Bataviya, AQSH	1000
Elektron tezlatkich	Gamburg, FRG	7

1990-yilda Tevatron (Fermi laboratoriyasidagi) sinxrotroni eng katta energiya beruvchi tezlatkich hisoblanar edi. Bu tezlatkich halqasining diametri 2 km ga teng. Unda protonni 1 TeV energiyagacha tezlatish uchun bir nechta tezlatkichlar ishlatilgan.



2.15-rasm. Sinxrotronning magnit sistemasi

Sinxrotronlarning ishlash prinsipiga qisqacha to'xtalamiz. Yuqorida aytilganidek magnit maydoni tor soha oraliqlarida, ya'ni zarrachalar harakat orbitalarida hosil qilinadi (2.15-rasm). Bu o'z navbatida kamerani kichik bo'lishligini ta'minlaydi. Vakuum kamerasi tor shaklida bo'ladi.

Tezlashtirilayotgan zarracha butun tezlatish jarayonida halqada ushlab turiladi. Buni amalga oshirish uchun zarrachaning impulsi ortib borgan sari, magnit maydoni ham ortib borishi lozim. Harakat yo'li o'zgarmas bo'ladi. Harakat yo'li zarrachaning tezligiga bog'liq bo'lmaydi. Harakatlanish yo'lining radiusi relyativistik holat uchun quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$R = \frac{v \cdot E}{c \cdot q \cdot H'} \quad (2.18)$$

bu yerda R-harakat yo'lining radiusi, v-zarrachaning tezligi, E-zarrachaning energiyasi, s-yorug'lik tezligi, q-zarrachaning zaryadi, H-magnit maydon kuchlanganligi. Relyativistik holat uchun zarrachaning energiyasi quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.19)$$

2.18-ifodadan ko'rinib turibdiki, harakat yo'lining radiusi o'zgarmas bo'lishi uchun zarrachaning tezligi yorug'lik tezligiga teng bo'lishi kerak ($v \approx c$). Bunda magnit maydoni kuchlanganligining o'zgarishi quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgarishi kerak.

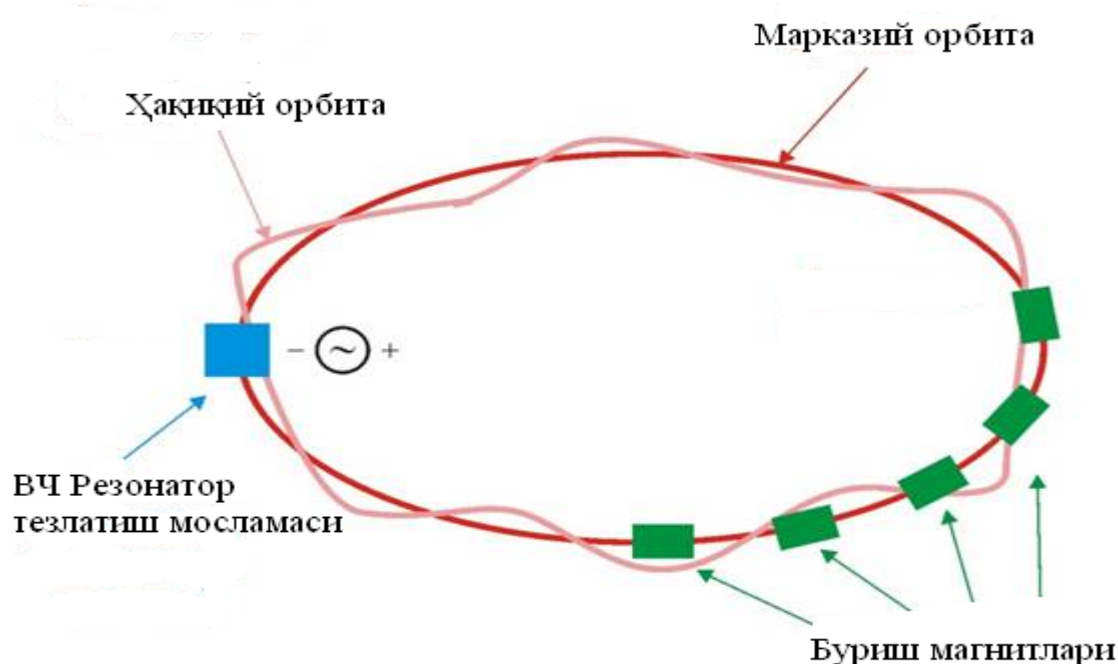
$$H = \frac{E}{q \cdot R} \quad (2.20)$$

Sinxrotronda elektronlarni 100 MeV dan 10 GeV energiya oraliqlarida tezlatish mumkin. Og'ir ionlarni, masalan protonni 1 TeV energiyagacha tezlatish mumkin.

2.16-rasmda sinxrotronning sodda chizmasi ko'rsatilgan. Zarracha harakatining markaziy orbitasi ko'rsatilgan bo'lib, u ideal holat uchun berilgan. Real holatda esa ko'p parametrlarni e'tiborga olishga to'g'ri keladi. Natijada zarrachaning harakat yo'li boshqacha ko'rinishni oladi (haqiqiy orbita). Zarrachaga elektr va magnit maydonlari ta'sir ko'rsatadi. Elektr maydoni zarrachaga tezlanish beradi, magnit maydoni esa zarracha harakat yo'nalishini o'zgartiradi (buradi). Rezonatorlarda yuqori chastotali kuchlanish bo'lganligi uchun, bu yerda zaryadli

zarracha energiyasini oshiradi. Tezlashtirilayotgan zarracha rezonatoridan juda ko'p marta o'tadi va energiyasini oshirib boradi. Zarrachaning harakatlanish yo'llariga burash magnitlari joylashtiriladi. Bu magnitlar o'ta-o'tkazuvchanlik printsipligiga ko'ra ishlaydi. Magnit maydonini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish mumkin:

$$r \cdot s \text{ (eV)} = 3 \cdot 10^8 B \cdot R \text{ (Tl} \cdot \text{m)} \quad (2.21)$$



2.16-rasm. Sinxrotronning eng sodda chizmasi

Sinxrofazotron

Sinxrofazotron, sinxrotronning bir ko'rinishi bo'lib, proton zarrachasini tezlashtirish uchun mo'ljallangan. Koltso ko'rinishida tayyorlangan bo'lib, avtofazirovka prinsipi asosida ishlaydi va o'zgarmas orbitaga ega. Protonlar yuqori chastotali elektr maydonida, vaqt davomida ortib boruvchi magnit maydonida tezlashtiriladi. Sinxrofazotron sinxrotronga nisbatan quyidagi farqqa ega, sinxrotronda elektr maydoni o'zgarmas bo'lsa, sinxrofazotronta esa zarracha energiyasining ortib borishida ortib boradi. Bu farqning paydo bo'lishiga sabab

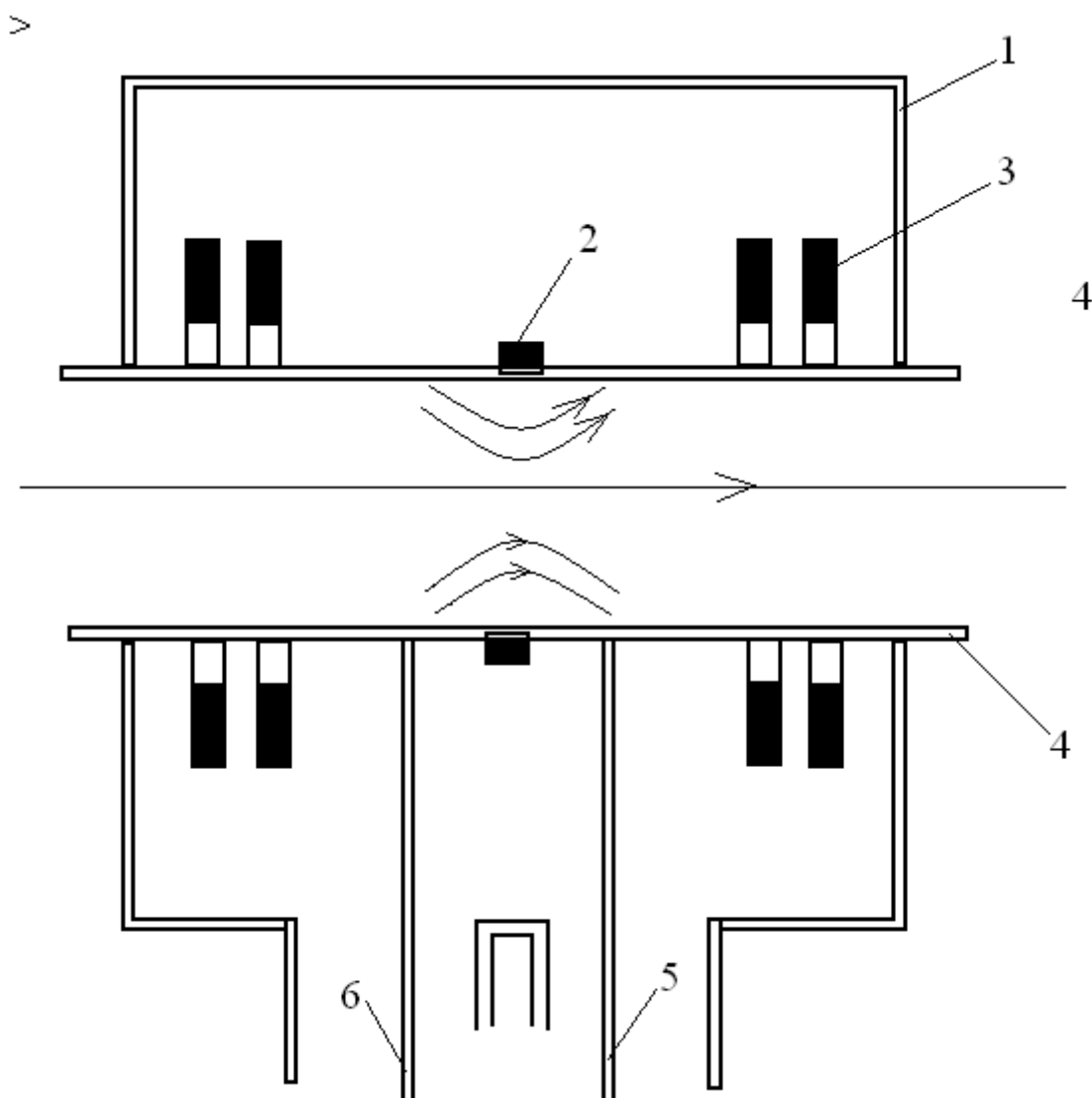
tezlashtirilayotgan zarracha massalarining turlicha bo'lishligidir. Sinxrotronda yengil zarracha (elektron) tezlashtirilgani uchun butun tezlatish davomida orbitadagi aylanish chastotasi o'zgarmasdan qoladi, shu sababli kuchlanish chastotasi ham o'zgarmaydi. Proton og'ir zarracha bo'lganligi uchun energiyasining ortib borishi davomida aylanish chastotasi ham ortib boradi. Bu o'z navbatida kuchlanish chastotasining qiymatini sinxron ravishda ortirish kerakligiga olib keladi. Protonning energiyasi yuqori qiymatlarga teng bo'lgan vaqtlarda, ya'ni eng chetki orbitalarda o'zgarmasdan qoladi ($v \approx c$), natijada aylanish chastotasi ham o'zgarmas holatiga keladi. Bunda sinxrofazotron sinxrotron kabi ishlaydi va u proton sinxrotroni deb yuritiladi.

Sinxrofazotron va sinxrotron orasidagi farqlardan yana biri sinxrofazotonda radiatsion nurlanishga sarflangan energiya unchalik katta emas va u tezlatish jarayoniga ta'sir ko'rsatmaydi. Masalan, tezlashtirilgan protonning energiyasi 10 GeV, orbita radiusi 30m bo'lgan holda, bir marta to'liq aylanishda yo'qotilgan energiya 0,005eV ga teng bo'ladi. Sinxrotronda esa xuddi shu parametrlar uchun yo'qotilgan energiya 29,5 MeV ga tengdir.

Sinxrofazotonda zarrachalarni orbitalarda turg'unlik holatini ta'minlash kuchsiz va kuchli fokuslash orqali amalga oshiriladi. Sinxrofazotonda tezlatish moslamasi sifatida hajmiy rezonator va dreyf trubkalari ishlatiladi. Agar kuchlanish chastotasi kichik soha oralig'larida o'zgarsa, bunda rezonatorlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. 2.17-rasmda hajmiy rezonatorning tuzilishi ko'rsatilgan. 2.17-rasmda 1-rezonator, 2-tezlashtirish oralig'i, 3-ferrit halqalari, 4-vakuum kamerasi, 5-va 6-koaksial kabellar. Koaksial kabellar yordamida (5 va 6), tezlashtirish oralig'iga(2) elektr maydoni beriladi. Ferrit halqalari qo'shimcha induktivlikni hosil qiladi. O'zgarmas tok ta'sirida magnitlanadi va ferrit halqasining magnit singdiruvchanligi o'zgaradi. Natijada rezonatorning hususiy chastotasi o'zgaradi:

$$f_0 = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})}, \quad (2.22)$$

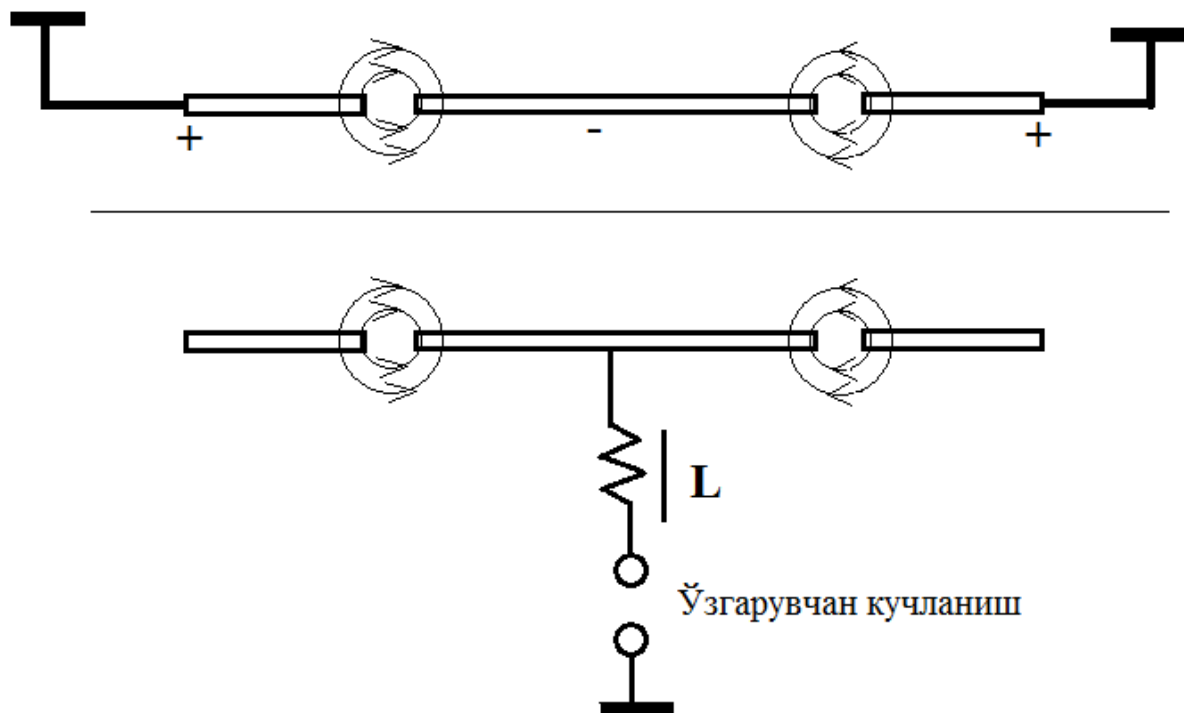
bu yerda S- rezonatorning sig'imi.



2.17. Rasm. Hajmiy rezonatorning tuzilishi

Agar dreyf trubkalari ishlatiladigan bo'lsa, tezlatish sistemasi sodda ko'rinishga keladi. Bunda uchta trubkalar ishlatiladi va ular ketma-ket joylashtiriladi. O'rtada joylashgan trubkaning uzunligi chetdagilarga nisbatan kattaroq bo'ladi. Trubkalarga yuqori chastotali kuchlanish beriladi. Trubka oraliqlarida o'zgaruvchan elektr maydoni hosil bo'ladi. Tezlashtirilayotgan zarracha birinchi oraliqda energiya oladi va o'rtada joylashgan trubkadan o'ta boshlaydi. O'tish davomida keyingi trubka oralig'idagi maydon o'zining qutbini o'zgartirishga

ulguradi va zarracha yana qo'shimcha energiya oladi. 2.18-rasmda dreyf trubkalarining joylashish tartibi ko'rsatilgan.



2.18. rasm. Dreyf trubkalarining joylashish tartibi

2.3. DUCHMA-DUCH KELGAN ZARRACHALAR DASTASI BILAN ISHLAYDIGAN TEZLATKICHLAR

Kollayderlarning asosiy vazifasi va ishlash prinsipi

Atomlarni o'rganish laboratoriyalarda o'rnatilgan qurilmalar yordamida amalga oshiraladi. Atom yadrolarini o'rganishda esa maxsus qurilgan tezlatkichlar va sochilish kameralari joylashtirilgan zallar kerak bo'ladi. Zalning devorlari radiatsiyadan himoyalani uchun maxsus materiallardan quriladi. Yadroning tashkil etuvchilari bo'lgan nuklonlarning ichki tuzilishini o'rganishda, ya'ni birlamchi zarrachalarni aniqlashda, tajriba qurilmalari: tezlatkichlar, zarrachalarni qayd qiluvchi detektorlar, vakuum sistemalari va boshqa jihozlar murakkab

ko'rinishni oladi. Bu tajriba ishlarida juda katta energiya beruvchi tezlatkichlar komplekslari kerak bo'ladi. Buday tezlatkichlarning o'lchami bir necha 10 km ni tashkil etadi. Bundan tashqari tezlashtirilayotgan zarrachalar o'z orbitasida yuzlab o'tao'tkazuvchanlik asosida ishlaydigan magnitlar yordamida ushlab turiladi. Zarrachalar yuradigan kanallarda gazning bosimi 10^{-10} mm.sim.ust. atrofida bo'lishi lozim. Bu ishlarning barchasi katta miqdordagi mablag'ni talab qiladi.

Yuqori energiya beruvchi tezlatkichlarni supermikroskoplar deb atashimiz mumkin. Demak, ular yordamida birlamchi elementar zarrachalarni qidirish ishlarini amalga oshirish mumkin. Hozirgi vaqtda bu yo'nalishda olib borilayotgan ishlar keng tus oldi va ma'lum yutuqlarga erishildi. Elementar zarrachalar soni 16 taga keltirildi: ulardan 6 tasi kuchli ta'sirlashuvchi kvarklar; 6 tasi kuchsiz ta'sirlashuvchi leptonlar va 4 tasi esa bu zarrachalarni turli kombinatsiyalarda bog'lab turuvchi kalibrovka bozonlaridir. Bozonlarning ikkitasi yengil hisoblanib, ularga foton va glyuon kiradi. Yengil bozonlar massaga ega emas. Qolgan ikkita W va Z bozonlarning massalari shu darajada kattaki, ularni qo'zg'almas nishon asosida ishlovchi har qanday tezlatkichlarda olish mumkin emas.

2.4-jadvalda 16 ta elementar zarrachalar, ularning massalari, yashash vaqtlari va topilgan yillari berilgan. Elementar zarrachalarning massalari energiya o'lchov birligida berilgan. Rezonans holatlarining kengligi ham aks ettirilgan.

Elementar zarrachalarning bu qadar ko'pligi izlanishlarni yana o'ta yuqori energiyalarda bajarish kerak ekanligini ko'rsatadi. Bu zarrachalarning ba'zi birlari haqiqiy elementar zarracha emasdir. Buni kelgusida olib boriladigan tajriba natijalari ko'rsatadi. Atrofimizdagi olamni yaratish uchun ikkita kvark (u va d) va bitta lepton (elektron) yetarlidir. Yerda hayot bo'lishini ta'minlab beradigan harorat uchun esa yana bitta lepton (elektron neytrinosi) kerak bo'ladi. Bu leptonsiz quyosh va yulduzlarda vodorodning yonish jarayoni sodir bo'lmaydi. Bu jarayon quyidagi ko'rinishda yuz beradi:



$\nu_e < 10 \text{ eV}$ 1956	$\nu_\mu < 170 \text{ KeV}$ 1962	$\nu_\tau < 24 \text{ MeV}$ 2001	$\gamma < 10^{-15} \text{ eV}$ 1926
e^- , 0,51 MeV 1397	μ , 105,7 MeV $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ sek}$ 1947	τ , 1777 MeV $3,0 \cdot 10^{-13} \text{ sek}$ 1975	g , 0,0 1979
u , 5 MeV 1964	c , 1300 MeV 10^{-12} sek 1974	t , 176 GeV $G=2 \text{ GeV}$ 1994	Z , 91,2 GeV $G=2,5 \text{ GeV}$ 1933
d , 10 MeV 1964	s , 150 MeV 1964	b , 4,3 GeV 10^{-12} sek 1977	W , 30,4 GeV $G=2,1 \text{ GeV}$ 1933

2.4-jadval. Elementar zarrachalar va ularning xarakteristiklari

Har bir sekunda Yer sirtining 1 sm^2 yuzasiga 70 milliard elektron neytrinolari kelib tushadi.

Elementar zarrachalar massalarining bir-biridan bunchalik katta farq qilishligi hamda W va Z bozonlari massalarining katta bo'lishligi ham tushunarsizdir. Elementar zarrachalarning strukturasini o'rganish uchun shu zarrachalarga o'ta yuqori energiyali zarrachalarni to'qnashtirish lozim. Bunday tajribalarda tezlashtirilgan zarrachalarning to'lqin uzunligi tekshirilayotgan ob'ektning o'lchamidan kichik bo'lishi kerak. Demak, tezlashtirilgan zarrachaning de-Broyl to'lqin uzunligi $\lambda = h/r$ (h -Plank doimiysi, r - zarracha impulsi) ob'ektning o'lchami D dan kichik bo'lishi lozim ($\lambda < D$). Aks holda, ya'ni $\lambda > D$ bo'lganda esa ikkita nuqtaviy zarrachalarning to'qnashishi sodir bo'ladi. Elementar zarrachalarning strukturasini payqash 10^{-16} sm dan katta bo'lmagan masofalarda kuzatiladi. Yuqorida aytilgan farazlarga ko'ra, quyidagi xulosani chiqarish

mumkin: zarrachalar energiyasini 200 GeV gacha tezlashtirish kerak. Bunday tezlatkichlar hozirgi davrda mavjuddir. Lekin, qo'zg'almas nishonlarda zarracha impulsini 200 GeV/c ga yetkazish amri maholdir.

Bir-biriga qarama-qarshi yo'naltirilgan zarrachalar oqimiga asoslangan kollayderlar

Kollayderlarning ishga tushishi 1960-yillarga to'g'ri keladi. Bu usulning ma'nosini tushunish uchun quyidagi masalaga to'xtalib o'tamiz. Bir xil massali zarrachani ikki xil usul bilan tezlashtiraylik. Masalan, proton zarrachasi uchun ko'rib o'taylik.

1. Proton zarrachasi E_r energiyagacha tezlashtirildi va qo'zg'almas nishonga kelib urildi. Massalar markazi sistemasida protonning kinetik energiyasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$T=E_{ts.m.s.}-2Mc^2=\sqrt{E^2-P^2c^2}-2Mc^2\cong\sqrt{2E_pMc^2}, \quad (2.24)$$

bu yerda $E=E_p+Mc^2$ va R - ikkita protonning to'liq energiyasi va impulslari. Mc^2 - protonning tinchlikdagi massasi, 933 MeV ga teng.

Bu holda $E\gg Mc^2$ bo'lganligi uchun protonning tinchlikdagi energiyasini hisobga olmasa ham bo'ladi. 3.2-ifodadan shunday natija kelib chiqadiki, protonni 200 GeV energiyagacha tezlashtirilsa, protonning olgan kinetik energiyasi ~19 GeV ga teng bo'ladi. Faqat shu energiya yangi zarrachalarni hosil qilishga sarflanadi. Qolgan energiya tinch turgan proton va massalar markazi sistemasining harakatiga sarflanadi;

2. Ikkita proton zarrachalari bir hil energiyagacha tezlashtirilib bir-biriga qarab yo'naltirilgan holatini ko'rib o'tamiz. Bunda massalar markazi sistemasi tinch holatda bo'ladi va ikkita protonning yig'indi kinetik energiyasi $T=2E_p$ -

$2Mc^2 \approx 2E_p$ ga teng bo'ladi. Kollayderda olingan energiyani ushbu ifoda orqali topish mumkin:

$$E_p = 2 \frac{E_0^2}{Mc^2} \quad (2.25)$$

Kollayderda 200 GeV ta'sirlashish energiyasini olish uchun energiyalari 100 GeV dan bo'lgan proton zarrachalarini bir-biriga qarama-qarshi yo'naltirish kerak bo'ladi. Agar proton qo'zg'almas nishonga yo'naltirilgan bo'lsa, 200 GeV ta'sirlashish energiyasini olish uchun protonning energiyasi ≈ 20000 GeV bo'lishi lozim. Bundan tashqari o'tao'tkazuvchan magnitlar ishlatilgan taqdirda ham tezlatkich o'lchamining diametri 25 km dan katta bo'ladi.

Odatda kollayderlar sinxrotron bo'lib, halqasimon tezlatkichlar hisoblanadi. Unda bir-biriga yo'naltirilgan zarrachalar tezlashtiriladi va yig'iladi. Harakat traektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan joylarda zarrachalar bir biri bilan to'qnashadi va turli jarayonlarni sodir etadi. SHu joylarning atroflariga detektorlar joylashtiriladi. Detektorlardan olingan signallar analiz qiluvchi moslamalarga uzatiladi.

Katta elektron-pozitron kollayderlar

Eletron-pozitron kollayderi BEPK (LEP) hozirgi vaqtda eng katta energiya beradigan tezlatkichlardan biri hisoblanadi. Bu qurilmada injektor sifatida elektron va pozitronlarning chiziqli tezlatkichlari ishlatildi. Yordamchi tezlatkichlar sifatida esa sinxrotronlar qo'llaniladi. BEPK kollayderining oxirgi halqasidagi ye^+ zarrachalarning energiyasini 20 GeV dan 104 GeV oraligigacha o'zgartirishmumkin bo'ldi. Massalar markazi sistemasida olingan energiya 203 GeV ni tashkil qildi. Bu ishlarda qurilmaning yorituvchanligi $9,73 \cdot 10^{31} \text{ sm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ga teng bo'ldi.

Bu qurilma yordamida Z^0 va $W^- W^+$ bozonlarini hosil qilish ustida ishlar olib borildi. 1939-yil Z^0 bozoni olindi. 2.5-jadvalda katta eletron-pozitron kollayderining BEPK (LEP) xarakteristikalarini berilgan.

XARAKTERISTIKASI	QIYMATI
LEP kollayderi asosiy halqasining aylana uzunligi, km	26,66
e^- va ye^+ zarrachalarning maksimal energiyasi, GeV	97,3
Zarrachalar oqimining injeksiyalangan energiyasi, GeV	20
Yorituvchanligi, $sm^{-2}s^{-1}$	$9,73 \cdot 10^{31}$
Oqimdagi to'plamlar soni	4
To'plamning uzunligi, mm	11
Ikki oqimdagi to'liq tok, mA	5,76

2.5-jadval. katta eletron-pozitron kollayderining BEPK (LEP)

xarakteristikalari

1970-yillar boshlariga kelib 12 ta eletron-pozitron kollayderlari qurildi. Ular yordamida bir qator kashfiyotlar qilindi. 1972-yil Stenfordda e^-e^+ kollayderi (SPEAR) ishga tushirildi. Unda 2×4 GeV energiya qiymatiga erishildi. 1974-yili birinchi kashfiyot e'lon qilindi. Adronlarda e^-e^+ zarrachalarni annigilyatsiyasining kesim kattaligida tor rezonans holatlari kuzatildi. Bu yangi zarrachaga I/ψ -nomi berildi. Rezonans holatining kengligi $G=63$ GeV ni tashkil qildi. Zarrachaning yashash vaqti ushbu ifoda orqali aniqlandi:

$$\tau = \frac{\hbar}{\Gamma} = \frac{6,6 \cdot 10^{-22} \text{ MэB} \cdot \text{cek}}{0,063 \text{ MэB}} = 10^{-20} \text{ sek} \quad (2.26)$$

Bu topilgan vaqt kuchli kanal bo'yicha parchalanuvchi zarracha vaqtiga nisbatan 10^3 marta katta bo'lib chiqdi. Juda ko'p fikr mulohazalardan so'ng, I/ψ – zarrachasi s-kvarkning bog'langan holatidagi ko'rinishi deb faraz qilindi. 1937-yili

Argusda (DESY) o'tkazilgan tajribalarda asosiy natijalar olindi. e^-e^+ annigilyatsiyasida $Y(4)$ -yangi zarracha hosil qilindi. Bu zarracha b va anti- b kvarklarning bog'langan holatlaridagi yangi zarrachalar deb faraz qilindi. 1976-yilda SPEAR kollayderida tau-leptonlari kashf etildi. Bu tajriba e^-e^+ annigilyatsiyasi asosida olib borildi. Tau-leptonlarining xosil bo'lish sxemasi quyidagicha:

$$e^-e^+ = \tau^+ + \tau^- \quad (2.27)$$

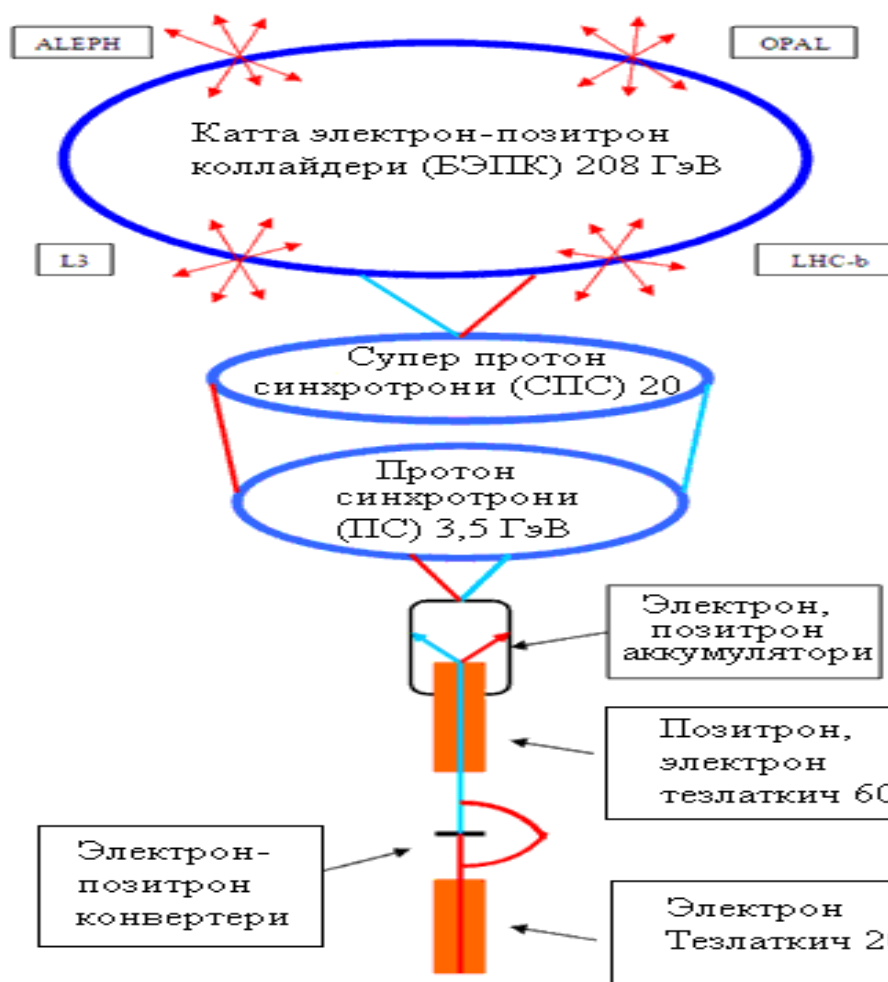
Hosil bo'lgan tau-leptonlar quyidagi sxema bo'yicha parchalanadi:

$$\tau^+ \rightarrow \nu_\tau + \nu_e + e^+, \quad \tau^- \rightarrow \nu_\tau + \nu_\mu + \mu^- \quad (2.28)$$

τ -leptonning massasi 1777 MeV ga teng va u proton zarrachasining massasidan 2 marta katta ekanligi ma'lum bo'ldi. Bundan shunday xulosani chiqarish mumkinki, τ -leptoni elementar zarracha emas. τ -leptonining yashash vaqti $3 \cdot 10^{-13}$ sek ga teng ekanligi topildi.

1973-yili Gamburgda qurilgan PETRA kollayderida kuchli ta'sirlashishni uzatuvchi g-glyuoni kuzatildi. Bu tajribalarda e^-e^+ (23,4 x 2 GeV) kollayderi ishlatildi.

2.19-rasmda katta elektron-pozitron kollayderining (BEPK) ishlash prinsipi ko'rsatilgan. Kollayder bir nechta tezlatkichlardan iborat. Demak, tezlatkichlar kompleksi ishlatiladi. Bitta tezlatkich yordamida zarrachaning energiyasi ma'lum qiymatga olib kelinib, keyingi tezlatkichga uzatiladi.



2.19-rasm. Katta elektron-pozitron kollayderi (BEPK)

Katta adron kollayderi (BAK)

Katta adron kollayderlari yordamida proton va og'ir ionlarni tezlatish mumkin. Hozirgi vaqtda BAK kollayderi eng katta energiya beruvchi tezlatkich hisoblanadi. Bu tezlatkich kompleksida elementar zarrachalar sohasi bo'yicha bir qator kashfiyotlar qilindi. 5.3-jadvalda BAK kollayderiga tegishli xarakteristikalar berilgan.

XARAKTERISTIKASI	QIYMATI
LHC kollyayderi asosiy halqasining aylana uzunligi, km	26,66
proton zarrachalarning nominal energiyasi, GeV	7
Zarrachalar oqimining injeksiyalangan energiyasi, GeV	20
Yorituvchanligi, $\text{sm}^{-2} \text{s}^{-1}$	10^{34}
Oqimdagi to'plamlar soni	2303
Zarracha to'plamining radiusi, mkm	16
Zarracha to'plamlari orasidagi masofa, m	~ 7
To'plamdagi protonlar soni	$1,1 \cdot 10^{11}$
Bir sekunddagi aylanishlar soni	11245
Bir sekunddagi to'qnashishlar soni	$(4-6) \cdot 10^3$
Magnitlarning soni	9300
Dipollar soni	1232
Kvadrupollar soni	336
Asosiy halqaning to'lish vaqti, min.	7,5

2.6-jadval. BAK kollyayderiga tegishli xarakteristikalar

1971-yilda TSERN da qo'zg'almas nishonga asoslangan proton sinxrotroning qurilishi boshlandi. 10 yildan keyin bu tezlatkich $p\bar{p}$ —kollyayderiga aylantirildi. 1933-yilda kuchsiz ta'sirning tashuvchilari bo'lgan W va Z- bozonlar kashf etildi. $p\bar{p}$ —kollyayderda W-bozonining hosil bo'lish jarayoni quyidagicha:

$$p + \bar{p} \rightarrow W^{\pm} + X, \quad W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_e, \quad (2.29)$$

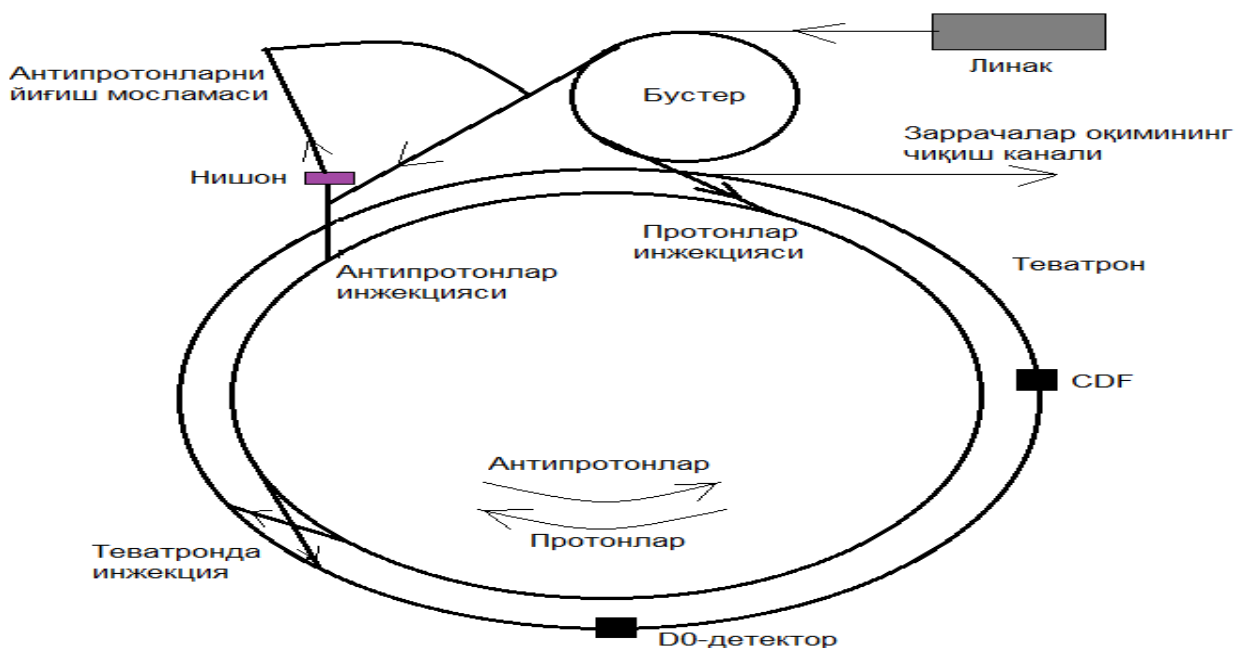
bu yerda X-protonning boshqa tashkil etuvchilarining bo'lishi mumkin bo'lgan holatlari.

1933-yilda W-bozonining massasi $M_W=30,9 \text{ GeV}/c^2$ ga teng ekanligi aniqlandi. Quyidagi jarayon ham kuzatildi:

$$p + \bar{p} \rightarrow Z^0 + X, \quad Z^0 \rightarrow e^+ + e^- \text{ yoki } \mu^+ + \mu^-, \quad (2.30)$$

5.3-jarayonning intensivligi 5.7-jarayonning intensivligiga nisbatan 10 marta kichik ekanligi kuzatildi. Z^0 -bozonining massasi aniqlandi va u $M_Z=93,9 \text{ GeV}/s^2$ ga tengligi topildi.

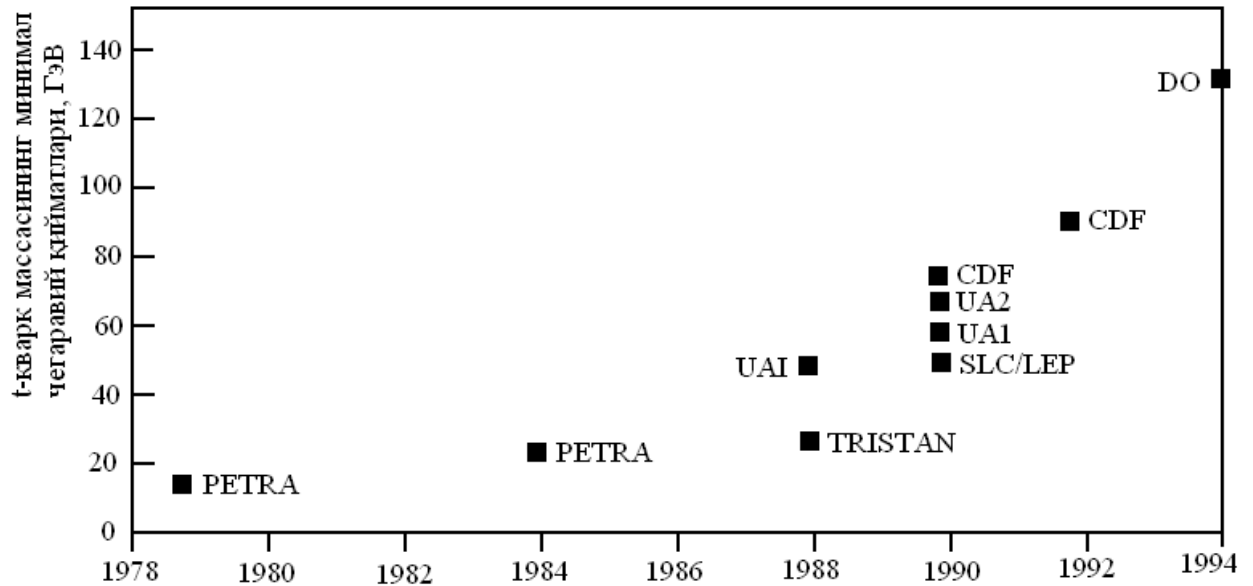
1937-yilda Fermi halqaro laboratoriyasida (AQSH) $p\bar{p}$ —kollayderi (Tevatron) ishga tushirildi. Unda energiyaning qiymati $2 \times 900 \text{ GeV}$ ga teng bo'ldi va o'ta'okazuvchan magnitlar ishlatildi. 5.2-rasmda Tevatronning sxemasi tasvirlangan. 1994-yili shu kollayderda oldindan aytilgan t-kvarki kashf etildi. 1979-1990- yil olib borilgan ishlar natijasiga ko'ra t-kvark massasining minimal qiymati $15 \text{ GeV}/s^2$ dan $45,3 \text{ GeV}/s^2$ ga ko'tarildi.



2.20-rasm. Tevatronning sxemasi

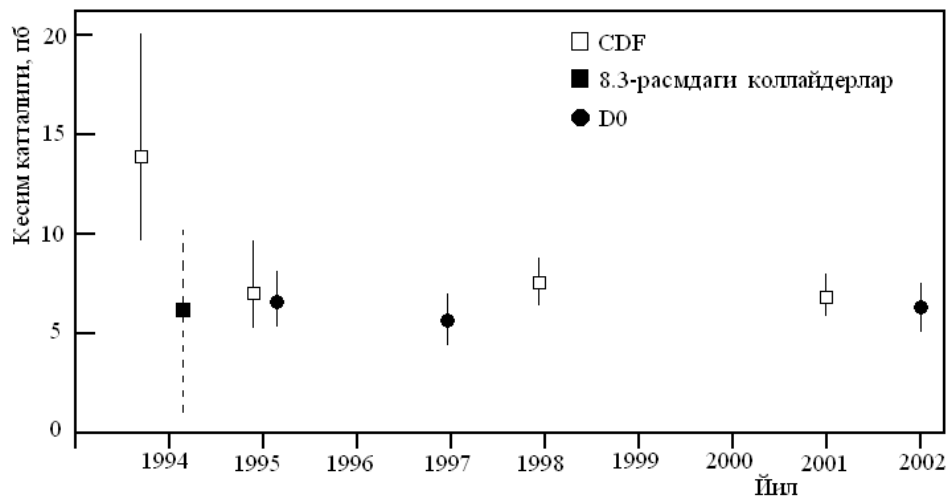
Bu natijalar turli kollayderlarda olindi. Turli tajribalarda aniqlangan t-kvark massasining pastki qiymatining chegaraviy kattaligi 5.3-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, t-kvark massasining pastki qiymatining chegaraviy kattaligi $17-129 \text{ GeV}/s^2$ oralig'ida o'zgarmoqda. 1933-yilda UA1 da amalga oshirilgan tajribada bu qiymat $45 \text{ GeV}/s^2$ ga tengligi aniqlandi. 1990-yilga kelib UA2 va CDF qurilmalarida o'tkazilgan tajribalar natijasiga ko'ra t-kvark

massasining pastki qiymati 60 GeV/s^2 ga teng bo'ldi. 1992 yilda CDF qurilmasida o'tkazilgan tajriba natijasiga ko'ra t-kvark massasining pastki qiymati 91 GeV/s^2 ga ko'tarildi. D0 qurilmasida esa bu qiymat 123 GeV/s^2 ga ko'tarildi.



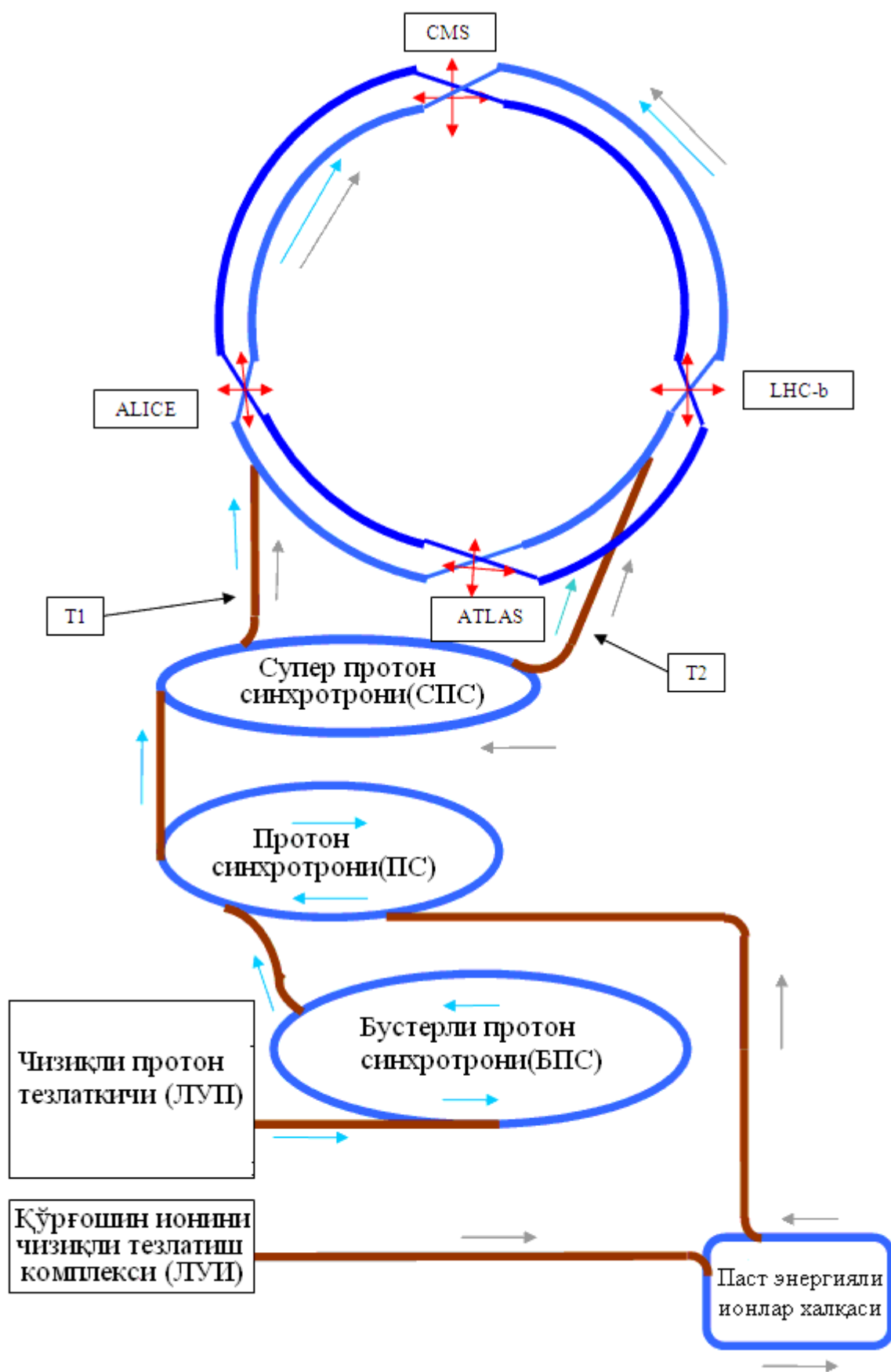
2.21-rasm. t-kvark massasining pastki qiymatining chegaraviy qiymati

2.21-rasmda $t\bar{t}$ —kvarklarining hosil bo'lishining kesim kattaligi berilgan. Bu olingan natijalar turli yillar davomida turli qurilmalar yordamida aniqlangan. 2.21-rasmdan ko'rinib turibdiki, 1994 yildan keyingi olingan natijalar bir-biriga mos keladi va bu kesimning qiymati 5-10 pb ga tengdir.



2.22-rasm. $t\bar{t}$ —kvarklarining hosil bo'lish kesimi

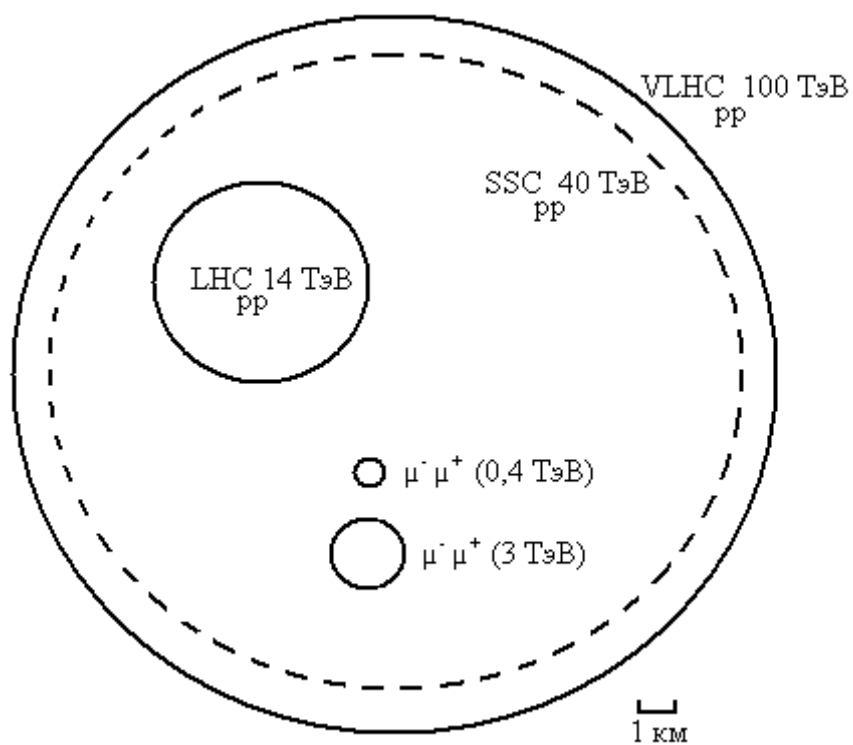
2.23-rasmda katta kollayderning ishlash printsipli ko'rsatilgan. BAK ning ishlashida bir nechta tezlatkichlar ishlatiladi. Proton zarrachasining energiyasi tezlatkichlar yordamida asta-sekinlik bilan oshirib boriladi. Tezlashtirilgan zarrachalar halqalarda yig'iladi va bir-biriga qarab yo'naltiriladi. To'qnashish natijasida zarrachalar parchalanishga uchraydi (strelkalar orqali berilgan). Parchalanish sodir bo'ladigan joylarga detektorlar o'rnatiladi. Detektorlardan olingan signallar taxlil qilish uchun spektrometrlarga uzatiladi. 2011 yilda BAK qurilmasi yordamida har bir proton oqimlarining energiyasi 3,5 TeV ga yetkazildi. Bunda qurilmaning yorituvchanligi har bir zarrachalar oqimi uchun $4,67 \cdot 10^{32} \text{ sm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ga teng bo'ldi. Kelgusida zarrachalar energiyasini yanada oshirish ko'zda tutilmoqda.



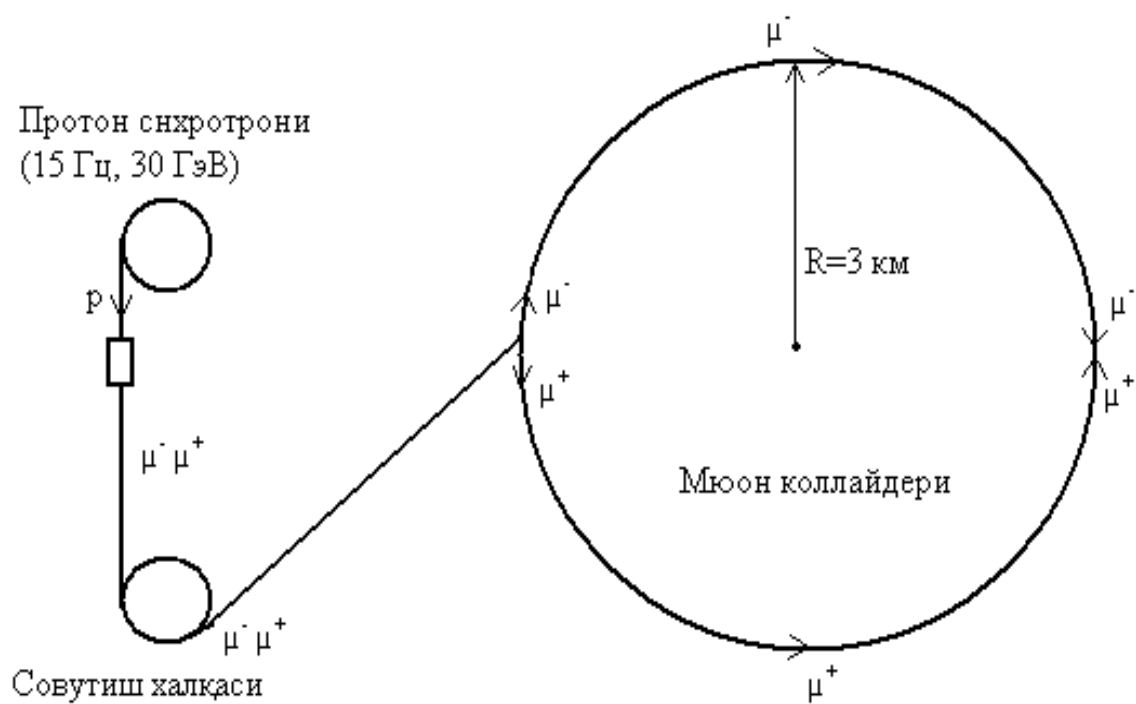
2.23-rasm. Katta kollayderining (BAK) sxemasi

Myuon kollayderlari

1969-yil G.I. Budker tomonidan birinchi marta myuon kollayderlari haqida takliflar berildi. Myuon kollayderidagi asosiy qiyinchilik bu betatron tebranishlarining hosil bo'lishidir. Betatron tebranishlari zarrachalarni orbitadan chetga chiqishiga olib keladi va oqimning kengligini oshiradi. Shunga qaramasdan $\mu^-\mu^+$ kollayderi e^-e^+ kollayderiga nisbatan bir qator yutuqlarga ega. Myuon elementar zarrachalar guruhiga kiradi va uning massasi elektronning massasidan 207 marta kattadir. Shu sababli $\mu^-\mu^+$ kollayderda sinxrotron nurlanishini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bundan tashqari $\mu^-\mu^+$ kollayderidagi orbita radiusi e^-e^+ kollayderidagiga nisbatan anchagina kichikdir. 2.24-rasmda hozirgi vaqtda ishlab turgan turli turdagi kollayderlarning solishtirma o'lchamlari berilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, $\mu^-\mu^+$ kollayderining o'lchamlari boshqa kollaydernikiga nisbatan yetarli darajada kichikdir. Lekin $\mu^-\mu^+$ o'lchashlarda bitta qiyinchilik mavjud. Bu $\mu^-\mu^+$ zarrachalar yashash vaqtining kichikligidir. Tezligi nolga teng bo'lgandagi yashash vaqti 2,2 mks ga teng. 2.25-rasmda myuon kollayderining sxemasi berilgan. Proton sinxrotronida tezlashtirilgan proton zarrachalari nishonga kelib tushadi va bu yerda μ^- va μ^+ zarrachalari hosil bo'ladi. Sovutish halqasida μ^- va μ^+ zarrachalari yig'iladi va radiusi 3 km bo'lgan uchrashuv halqasiga uzatiladi. μ^- - halqada soat strelkasi bo'ylab harakatlansa, μ^+ -zarrachasi esa soat strelkasiga qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Orbitaning ma'lum bir nuqtasida μ^- va μ^+ zarrachalari bir - biri bilan to'qnashadilar. Bu nuqtada turli ko'rinishdagi zarrachalar hosil bo'ladi. Shu nuqta atrofiga detektorlar joylashtiriladi.



2.24-rasm. Kollayderlarning solishtirma o'lchamlari



2.25-rasm. Myuon kollayderining sxemasi

Myuon kollayderlarida energiyasi 4-25 GeV oraliqlarida bo'lgan $\mu^-\mu^+$ zarrachalarini bir - birlari bilan to'qnashtirish ko'zda tutilgan. To'qnashish halqaning to'g'ri uchastkalarida sodir bo'ladi. To'qnashish natijasida ye^- , ν_μ va $\bar{\nu}_e$ hosil bo'ladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, myuonning yashash vaqti juda kichik bo'lganligi uchun (2,2 mks) tajribani qisqa vaqt ichida bajarish lozim. Agar myuon tezligining ortishi hisobiga yashash vaqtining ortishi e'tiborga olinsa tajribani o'tkazish birmuncha osonlashadi. Myuonning tinch turgan holatidagi yashash vaqtini τ -bilan belgilaylik, v/s tezlik bilan harakatlanayotgandagi yashash vaqtini t ga teng deb olaylik. t ni quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$t = \tau \cdot \gamma, \quad (2.30)$$

bu yerda γ -relyativistik tuzatma bo'lib, quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{T_\mu}{m_\mu c^2} - 1, \quad (2.31)$$

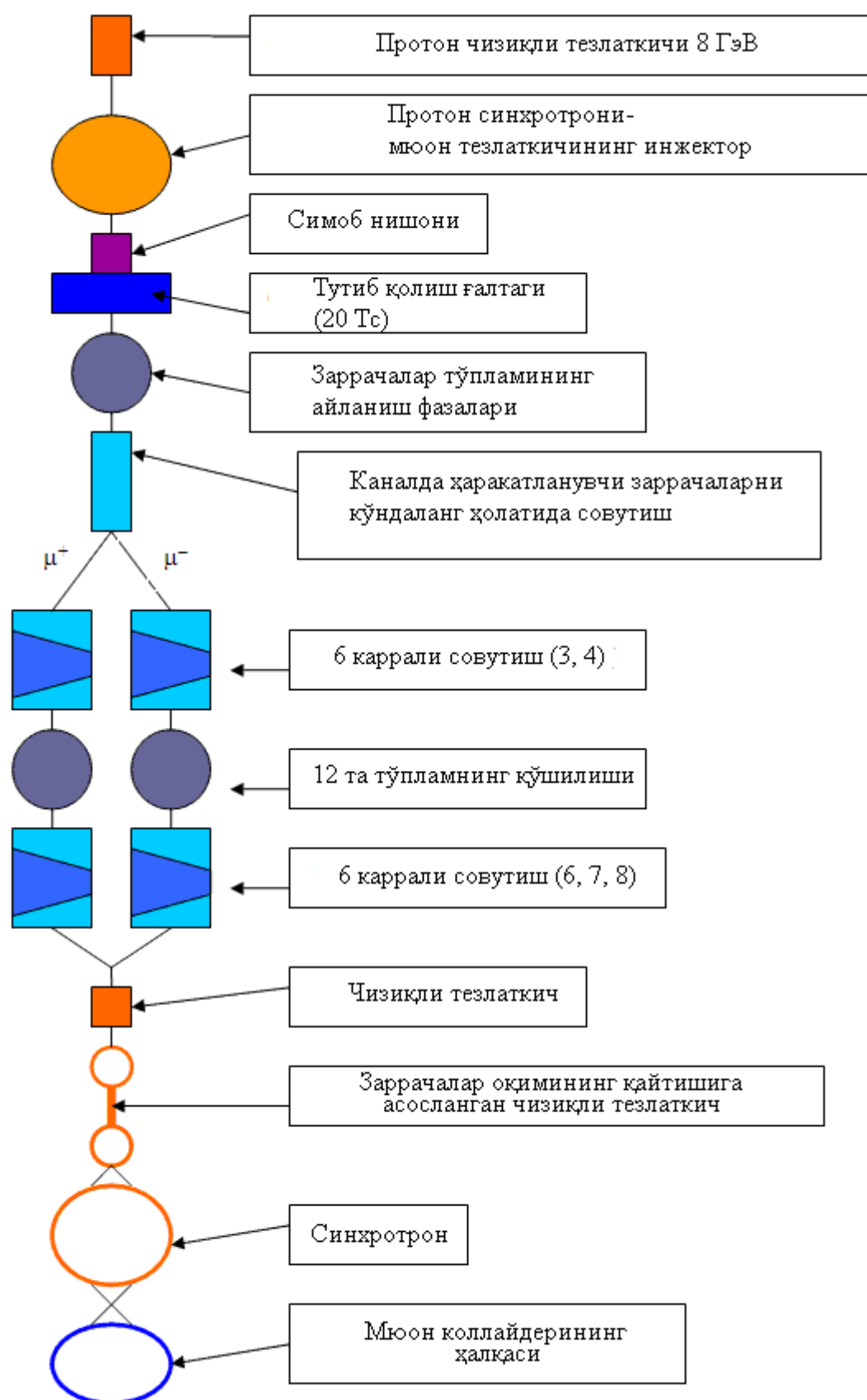
bu yerda T_μ -myuonning kinetik energiyasi, m_μ -myuonning tinchlikdagi massasi.

Agar T_μ -myuonning kinetik energiyasini 57 GeV deb olinsa, $\gamma=5,4 \cdot 10^2$; $\beta=0,9991$ ga teng bo'ladi. Myuonning yashash vaqti $\tau=2,2$ mks dan $t=1,19$ cekundga ortadi.

Energiya, ts.m.s. (GeV)	1,5	4.0
Yorituvchanligi, ($10^{34} \text{ sm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1	4
Zarrachalar oqimining energiyasi, TeV	0,75	2
To'plamdagi myuonlar soni, (10^{12})	2	2
Halqa uzunligi, (km)	3	3,1
To'plamlarning chastotasi (Gts)	12	6
Proton injektorining quvvati	~ 4	~ 2

2.7-jadval. Energiyalari 1,5 va 4 TeV bo'lgan myuon kollayderlarining xarakteristikalar

2.26-rasmda Myuon kollayderining to'liq sxemasi ko'rsatilgan. Proton zarrachasi chiziqli tezlatkich yordamida tezlashtiriladi va simob nishoniga yo'naltiriladi. Nishonda hosil bo'lgan $\mu^- \mu^+$ zarrachalari to'planadi va ajratiladi. Ajratilgan zarrachalar guruhlari bir biriga qo'shiladi va sovutiladi. So'ngra chiziqli tezlatkichga uzatiladi. Ma'lum energiyagacha tezlashtirilgan zarrachalar sinxrotronga berilib, unda tezlashtirilgandan keyingina kollayderning halqasiga uzatiladi.



2.26-rasm. Myuon kollayderining to'liq sxemasi

III BOB TEZLATKICHLARNING QO'LLANILISHI

Hozirgi kunda radioaktiv nuklidlar va radiopreparatlar fan va texnikaning turli sohalarida keng qo'llanilmoqda. Ionlovchi nurlanishlar manbai va radioaktiv indikatorlar metodlari ilmiy izlanishlarda va ishlab chiqarish sohalarida keng ishlatilmoqda. Bu metodlarning qo'llanish darajasining ortib borishi o'z navbatida keng nomenklatura radioaktiv nishon brikmalarini va radionuklidlarini olish va ajratish metodlarini rivojlantirishga yo'naltirilgan yadro fizika va radioximiya sohasidagi ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish va chuqurlashtirish zarurligiga sabab bo'lmoqda.

Hozirgi kunda mamlakatimizda va chet ellarda bu muammoga juda katta e'tibor berilmoqda. Radioaktiv nuklidlar va radiopreparatlar ishlab chiqarish esa, sanoatning alohida muhim tarmog'ini kasb etadi. Radioizotoplar qo'llanilayotgan sohalar kengayib ketganligi sababli bu sanoat strategik ahamiyatga ega bo'lmoqda. Bunga misol qilib, joriy yilning boshida AQSH yuzaga kelgan izotop krizisi bilan bog'liq bo'lgan vaziyatni keltirish mumkin. Hozirgi vaqtda AQSH Kongressi mamlakatga tibbiyot radioizotoplarini kafolatlangan holda yetkazib berish yo'llarini o'rganmoqda. Bunga Kanadaning NRU tadqiqot reaktori to'xtaganidan keyin 2007-yilning oxirida yuzaga kelgan izotop yetishmaslik inqrozi sabab bo'ldi.

Radioaktiv izotoplar quyidagi to'rtta har xil yo'nalishlarda qo'llanilishlari mumkin:

- 1) ilmiy tadqiqotlarda, sanoatda va tibbiyotda radioaktiv indikator sifatida;
- 2) texnologik nazorat qiluvchi radioizotop asboblarda, modda tarkibini yadro-fizikaviy tahlil qiluvchi asbob va qurilmalarda;
- 3) radiatsion texnologiyalarda va radioterapiyada moddaga ta'sir qilish uchun kuchli nurlanish manbalari ko'rinishda;

- 4) “kichik” energetika (ya’ni issiqlik radioizotop manbalarida, radioizotop termoelektron generatorlarda va atom batareyalarda) radioaktiv yoqilg’i sifatida.

Diagnostic tibbiyotda radioizotoplar har xil analizlar uchun qo’llanilmoqda ya’ni qalqonsimon bezning funksiyasini tekshirishda, qon hajmini aniqlashda, buyrak va jigar funksiyalarini o’rganishda, B₁₂ vitaminining inson organizmida hazm bo’lishini o’rganishda, ichaklarda yog’larning shimilishini buzilishini tekshirishda, temir almashinuvini o’rganishda, yurak-tomir sistemalarining hajmini aniqlashda, jigar ishini o’rganishda va h.k. ishlarda qo’llanilmoqda. Hozirgi vaqtda keng qo’llanilayotgan ko’pchilik radioizotoplar tsiklotron va yadro reaktorlarida ishlab chiqariladi. Shu bilan bir vaqtda radioizotoplarni ishlab chiqarishning o’sishi elektron tezlatkichlarda ham kuzatilmoqda.

Elektron tezlatkichlarda radioizotoplarning ishlab chiqarishning o’sishiga sabab, kuchli intensivlikka ega bo’lgan yangi elektron tezlatkichlarning yaratilishidir. Elektron tezlatkichlar radioizotoplar ishlab chiqarish bo’yicha ma’lum ustunliklarga ega. Buni quyidagi fikrlar orqali izohlashimiz mumkin: birinchidan, tormozlanish nurlarining energiyasini o’zgartirish orqali radioizotoplarni hosil qiluvchi fotoyadro reaksiyalarini tanlash imkoniyati bor; ikkinchidan, gamma-kvantlarining yuqori kiruvchanlik (o’tuvchanlik) xususiyati, katta hajmdagi nishonlarni nurlantirishga imkon beradi.

3.1. Tezlatkichlarning radioizotoplar ishlab chiqishda qo’llanilishi

Radioaktiv izotoplarning asosiy qismi reaktorlar va siklotron tezlatkichlari yordamida olinadi. Reaktorlar yordamida ko’p miqdordagi radionuklidlarni olish imkoniyati bor. Lekin shunday radionuklidlar borki, ularni faqatgina tezlatkichlar yordamida olish mumkin. Tezlatkichlar ichida radionuklidlarni olishda, asosan tsiklotron qurilmasi ishlatiladi. Bunga asosiy sabab tezlashtirilgan zarracha energiyasining keng soha oraliqlarida o’zgartirish mumkinligi va tok kuchining katta qiymatlarida bo’lishligidir. Hozirgi davrga kelib, taxminan 1700 ga yaqin

radionuklidlar olindi. Ulardan 90 taga yaqini tabiatda uchraydi. Qolganlari esa sun'iy yo'l bilan hosil qilinadi. 1700 ta radionuklidlardan faqatgina 200 taga yaqinini amalda ishlatish imkoniyati bor. Buni, ko'pchilik radionuklidlarning yarim yemirilish davrining kichik bo'lishligi bilan izohlash mumkin. Izotoplardan foydalanishning ehtimolligi juda kichik, sababi ularni mahsulot ko'rinishiga kelturguncha ketgan vaqt oraligida izotop o'zining aktivligini tez kamaytirib boradi va yaroqsiz holatiga kelib qoladi. Radionuklidlarning ko'pchiligi reaktorlarda elementlarni kuchli issiq neytronlar oqimi bilan nurlantirish orqali olinadi. Nurlantirish jarayonida asosan (n,γ) reaksiyasi yuz beradi. Bu reaksiyaning kesim kattaligi juda ko'p elementlar uchun katta qiymatga ega. Bu o'z navbatida radionuklidlarni olishga keng yo'l ochib beradi.

Ushbu qurilmada elektronlar, ya'ni zaryadlangan zarralar yuqori chastotali radiatsiya bilan tezlashadi va o'smalarni nurlantirish uchun bevosita ishlatilishi mumkin. Elektronlar to'qimalarga chuqur kirib bo'lmagani uchun ular masalan, teri shishi kasalliklarini davolash uchun ishlatiladi.

To'qimalarining yanada chuqur qatlamlarida joylashgan malign neoplazmalarni nurlantirish uchun foton radiatsiyasidan foydalanish kerak. Tezlashtirilgan elektronlar og'ir metallardan to'siq (maqsad) bilan to'qnashganda, ko'pincha volfram, bu yuqori energiyali rentgen nurlari ishlab chiqarish bilan birga keladi. Foton nurlari qanchalik kuchli bo'lsa, to'qimaga uning kirib borishi chuqurroq bo'ladi. Nishon bilan to'qnashgandan so'ng, radiusi nurlanish zonasining maksimal maydonini belgilaydigan asosiy kolimatorni va bir xil nurlanishni ta'minlovchi filtrni o'tkazadi. Keyin nurlarning paydo bo'ladigan nurlarining shakli shishning aniqlanish parametrlariga moslanadi, bu esa uning aniq nurlanishini ta'minlaydi. Bunga ko'p bosqichli kolimator (multikolimulyator) yordamida erishiladi. Radiatsiya uchun qurilmaning boshida kengligi 1 dan 16 mm gacha bo'lgan 160 tagacha plitalar mavjud bo'lib, ular radiatsiya jarayonini rejalashtirganda, o'simtaning konturini oladi. Har bir lavhaning joylashuv

ma'lumotlari saqlanib qoladi va nurlanish seansi vaqtida u bemorning anatomik parametrlariga millimetrga o'rnatiladigan do'rusal tezlatgichga uzatiladi.

3.2. Chiziqli tezlatgichda nur terapiyaning amalga oshirilishi.

KT-skaner yordamida olingan tasvirlar yordamida nurlanish jarayonini rejalashtirish boshlanadi. Protsessual stol, bemorning tanasi holati va korpuslarni joylashtirish uchun yordamchi vositalar chiziqli tezlatgich bilan bir xildir. Bemorning jismi davolash stoliga to'planganidan so'ng, KT skaneri o'simtaning maydonini suratga olishni rejalashtirmoqda, unda shifokor kelajak radiatsiyaviy hududning konturini aniqlaydi.

Rentgen nurlar simulyatori chiziqli tezlatgichning barcha parametrlarini va dizayn xususiyatlarini to'liq takrorlaydigan rentgenli diagnostika qurilmasi. Bundan tashqari, bemorning tanasining joylashuvi haqidagi ma'lumotni davolovchi stolda chiziqli tezlatgich ma'lumoti bilan mos tushadi. Radiatsiya jarayonini rejalashtirishda hisoblangan barcha zarur o'lchovlar terapiyaning birinchi sessiyasidan oldin bemorga simulyator yordamida o'tkaziladi. Avvalo, bu bemorning tanasining aniq pozitsiyasi, nurlanish holatlari burchagi, nurlangan maqsad chegarasi. Bu ma'lumotlar raqamli rentgenda saqlanadi.

Chiziqli tezlatgichda nur terapiyaning bosqichma-bosqich jarayoni:

1. Davolash tushunchasini tasdiqlash. Har bir bemor uchun individual tibbiyot sohasi shifokorlari - jarrohlar, terapevtlar, patologlar, radiologlar, yadro tibbiyoti mutaxassislari, psixosozialistiklar, palliativ tibbiyot vakillari - onkologik konferensiya davomida individual davolash kursini rivojlantirmoqda.

2. Bemorni xabardor qilish. Onkolog-radiolog batafsil suhbat chog'ida bemorga nur terapiyasini qo'llash kerakmi yoki uni radiatsensitizatorlar (radio kimyoterapiya, immunoterapiya) yoki ichki nurlanish uchun radioaktiv moddalar bilan kombinatsiyalash mumkinmi deb tushuntirish mumkin.

3. Bemorni nur terapiyaga tayyorlash. Bemor tibbiy fizika muhandislik laboratoriyasida tayyorlangan turli xil maxsus asboblarni yordamida bemor tanasining holatini davolash stoliga joylashtiradi va uni ishonchli tarzda tuzatadi. Nur terapiyasi seansi vaqtida radiatsiyaning to'g'ri ekanligini ta'minlash uchun ushbu pozitsiyani o'zgartirish mumkin emas.

4. Radioterapiya uchun kompyuter tasvirlarini olish. Davolanish rejasini tuzishda turli tomografiya usullari, masalan, kompyuter tomografiyasi, pozitron emissiya tomografiyasi (PET), magnit-rezonans tomografiya (MRT) qo'llaniladi. Ushbu qurilmalar zararlangan joyni suratga olishadi, ular radiatsiyaviy yo'nalishga yo'naltiriladi. Ularning yordami bilan radiolog nurlantirilgan o'simtaning chegaralarini davolanishga tayyorgarlik jarayonida sog'lom to'qimalardan aniq ajratib turadi.

5. Nur terapiya o'tkazishni rejalashtirish. Radiatsion terapiyani rejalashtirish radiolog va tibbiyot fizigi tomonidan birgalikda amalga oshiriladi. Onkolog maqsad radiatsiya maydonini aniqlaydi va uni tibbiyot fizigi bilan birga kompyuter tasvirlari bilan belgilaydi. Bundan tashqari, radiatsiya qaerda va qanday dozani berish kerakligini va tibbiy fizikchining dozalarning taqsimlanishini hisoblab chiqadi. Nihoyat, ular rejani birgalikda baholaydilar. Agar reja ikkala tomonidan tasdiqlansa, davolanish boshlanishi mumkin.

6. Simulyatorda davolanish jarayonini taqsimlash. Nafas olish jarayonini boshlashdan oldin bemor stol simulyatoriga joylashtiriladi. U simulyatsiya paytida tananing joylashuvi (va shu sababli keyingi davolash paytida) mutlaqo bir xil bo'lishi ta'minlanadi. Keyin radiatsiya jarayoniga ko'ra dastlabki reja asosida amalga oshiriladi. Shunday qilib, simulyatsiya jarayoni radiatsiya rejasini terapevtik qurilmada haqiqiy davolanish jarayoni bilan solishtirish imkonini beradi. Ushbu bosqichda uni haqiqiy rasmga moslashtirib, to'g'ridan-to'g'ri davolanishga o'tiladi.

7. Nur terapiya mashg'uloti. Jarayon davomida tibbiy texnik-radiologlar bemorni davolashadi. Ularning vazifasi bemorni terapiya va tibbiy chiziqli tezlatgichni davolash mashg'ulotiga tayyorlashdir. Shu bilan birga, ular shifokorlar, tibbiy fiziklar, tibbiy-fizikaviy muhandislik laboratoriyasi xodimlari bilan yaqindan hamkorlik qiladi. Davolashning eng oddiy usuli juda tez amalga oshiriladi: ishlab chiqilgan reja asosida bir necha soniyadan bir necha daqiqagacha davom etadi.

8. Nur terapiyani nazorat qilish. Nur terapiyasi jarayonida nurlanish aniqligini doimiy nazorat qilish CT skaneridan yoki rentgen apparatidan olingan bir qator tasvirlar yordamida amalga oshiriladi. Masalan, nafas olish yoki yurak urishni o'rganish vaqtida harakatlanishi mumkin bo'lgan o'smaning joyi tekshiriladi va bemorning davolanish stolidagi joylashuvi belgilanadi.

9. Tibbiy amaliyot paytida shifokor bilan suhbatlar. Davolash seansi vaqtida bemorni shifokor bilan doimiy aloqada saqlaydi. Agar biron-bir savollar yoki muammolar yuzaga kelsa, bemor radiologga murojaat qilishi mumkin..

10. Nur terapiya sessiyasi tugashi. Jarayon tugagandan so'ng, shifokor bilan bemorning batafsil yakuniy nutqlari, davolanish jarayoni tugaganmi yoki kimyoterapiya kabi boshqa terapevtik choralar zarurmi kerakmi aniqlik kiritib olishadi.

11. Operatsiyadan keyingi bemorlarni davolash. Radioterapiya tugaganidan keyin 4-6 hafta o'tgach, bemor klinikaga tashrif buyuradi. Shifokor ehtiyotkorlik bilan tekshiradi, ishlatiladigan davolash usulining samaradorligini aniqlaydi: nazorat ostidagi o'smaning rivojlanishi yoki saratondan butunlay davolanganligini. Bundan tashqari, tegishli davolanishni belgilash uchun yon ta'sir yoki uning oqibatlari tekshiriladi. Normativ hujjatlarga ko'ra, bemorning kuzatuvini bir necha yil davom etadi va uning maxsus shifokori va oilaviy shifokori bilan yaqin hamkorlikda olib boriladi.

Tel-Aviv tibbiy markazi Suraski (Ichilov) nur terapiyasini talab qiluvchi saraton kasalliklari bo'yicha dunyoda eng ilg'or chiziqli tezlatkichlarga ega. Yangi radioterapiyani ta'sir qilishning yuqori aniqligini ta'minlaydi: ular o'simga yaqin sog'lom to'qimalarning yon ta'sirini va nurlanishini kamaytiradi. Yangi tezlatkichlarning eksklyuziv afzalligi birinchi navbatda Monte-Carlo usuli yordamida radiatsiyaviy taqsimotni hisoblaydigan kompyuter tizimida yotadi. Bu usul sizning hisob-kitob muammolarini tasodifiy sonlar bilan bir nechta hisob-kitoblarni qo'llash orqali muhim statistika rasmini qo'lga kiritmaguncha hal qilishga imkon beradi; shu bilan hisob-kitoblarning maksimal aniqligiga erishish mumkin.

Radioterapiya xizmatining rahbari Neytan Straussning aytishicha, bu usul hisoblaganda hali onkologiya institutlarida qo'llanilmagan - asosan NASA, atom reaktorlarida va boshqalarda ishlatilgan. Ushbu tizimni shifoxonada amalga oshirish qisqa vaqt ichida aniq hisob-kitoblarni amalga oshirishga qodir kuchli hisoblash tizimiga ehtiyoj sezildi.



3.1-rasm Chiziqli tezlatkichning ko'rinishi

Yangi tezlatkichlar yuqori aniqlik bilan ajralib turadi. Ular dunyodagi eng ilg'or vizualizatsiya tizimi bilan jihozlangan, bu tizim har sessiya vaqtida ishga tushirishdan oldin tasvirni olish imkonini beradi. Bu nur terapiyasining maksimal aniqligini ta'minlaydi. Bundan tashqari, yangi tezlatkichlar tezda tezroq o'tkazishni ta'minlaydi, chunki terapiyaning muvaffaqiyati uchun juda muhimdir. Radioterapiya radiatori MLC HighDefinition tizimi bilan jihozlangan bo'lib, u dunyodagi mavjud bo'lgan tezlatkichlarni ishlatish yo'li bilan erishish mumkin bo'lgan eng yuqori muvofiqlik darajasida o'simtaning shakliga moslashuvini ta'minlaydi.

Davolanish paytida atrof-muhitga alohida e'tibor qaratiladi: bu maqsadda osmonni simulyatsiya qiladigan tizim derazadan ko'rinadigan darajada o'rnatiladi. Musiqalar davolanish vaqtida yoqimli muhit yaratish uchun bemorning tanloviga ko'ra ham ijro etiladi. "VarianMedicalSystem tomonidan ishlab chiqarilgan NovalisTrueBeam STX bu tezlatuvchi modeli bugungi kunda Tel-Aviv Tibbiyot Markazida o'rnatilgan to'rtta tezlatgichlarning birinchisidir.

"Eng zamonaviylashtirilgan hisoblash tizimi bilan jihozlangan ushbu zamonaviy asbob-uskunalar bizning bemorlarimizga eng yuqori darajadagi davolanishni ta'minlaydi - yuqori rentabellikga ega va radiatsiyaviy hududga yaqin sog'lom to'qimalarni maksimal darajada saqlab qoladi". Chiziqli tezlatkich radiatsiya dozasi uchun o'lchovli rejalashtirishda ilgari aniqlangan hududga elektron va foton radiatsiyasini keltiradi. Kiruvchi kuchga ega bo'lganligi sababli, foton nurlari elektron nurlanishidan ko'ra ko'proq universaldir. Foton nurlanishi

eng kuchli rentgen nuridir. Elektr manbaidan kuchli elektronlar nurlari chiqadi, bu klystron tomonidan taqdim etilgan yuqori chastotali energiya bilan tezlashadi va naychadan katta tezlikda o'tadi. 2 metrli trubadagi klystron elektronlarning tezligini nur tezligiga oshiradi. Shundan so'ng, taxminan 1 mm qalinlikdagi tezashtirilgan elektronlarning nurlari 270 daraja aylanadi va tormozlanish maqsadiga (og'ir metall) yo'naltiriladi. Elektronlar maqsad atomlarning yadrolari bilan o'zaro aloqada bo'lganda, ularning energiyasi kamayadi va inhibitsiyon paydo bo'ladi, ya'ni. Rentgen nurlari (foton nurlanishi). Uning o'rtacha energiyasi 6-15 meV orasida o'zgarib turadi. Konusning markazidagi proton jarayonida foton nurlanishi darajasi taxminan 2-8 Gr/min (odatda RapidArc foydalanilganda 4 Gr/min, tezlik o'zgaradi). Elektron nurlari bilan nurlanganida, tormozlanish maqsadi o'chiriladi. Bunday holda nurlanish darajasi 10 Gr / min bo'lishi mumkin. Elektron nurlari tomonidan sarflanadigan energiya 4-16 meV. Elektron nuri yoki tarqalgan foton nurlarini bemorga mos kelmaguncha yo'naltira olmaydi. Ma'lum bir hudud shakliga ko'ra, elektron nurlari elektron-aplikatorlar va elektron blokerlari (qo'rg'oshin, yog'och qotishmasi) yordamida taqsimlanadi. Foton nurlari maxsus metall filtrlar yordamida o'rnatiladi va chiroqlarning yuqori va pastki yo'nalishlariga taqsimlanadi. Foton nurlari milimetrik nurlarga maxsus cheklovchidan taqsimlanadi. Kir yuvish kamerasi kamerani (ionizatsiya kamerasi) yordamida nazorat qilinadi: kerakli doza, kuch va to'g'ri chiziq simmetriyasi ta'minlanadi.

Radiatsiya dozasi Hume monitor birliklarida ionlash kamerasi yordamida aniqlanadi (100 Hume - 1 Gr.) Yozuvchi doimiy ravishda ishlaydi, ionlash va yarim o'tkazgich detektori o'lchovlari bilan bir-biriga bog'lanadi.



3.2.-rasm

Chiziqli tezlatgichlarda nur terapiyasi saraton kasalligini davolashda ulkan yutuqlarga erishmoqda. Har yili 160 ming ukrainalik saraton tashxisi qo'yilgan va 90 ming nafar fuqarolari o'ta xavfli o'smalardan o'lib ketmoqda ... Ukrainani rivojlantirish bo'yicha Rinat Axmetov fondi tomonidan o'tkazilgan saraton kasalligining bir qismi sifatida UNIAN diagnostika, davolash usullari bo'yicha bir qator materiallarni chop etishda davom etmoqda va onkologik kasalliklarning oldini olish. Ukrainada onkologiya muammosi, boshqa joydan ko'ra o'tkirroq. Bir tomondan, har yili 160 ming ukrainalik saraton kasalligiga duchor bo'ladi (shifokorlar ekologiyaga, noto'g'ri turmush tarzini sabab qilib ko'rsatadilar) va 90 ming nafar yomon xulq-atvorlardan o'ladi. Aksariyat hollarda onkologning profilaktik tashrifidan qo'rqishadi. Bemorlarning aksariyati kasallikning oxirgi bosqichlarida yordam so'rashadi. Ammo onkologiya natijalari kasallikning qaysi bosqichida boshlanganiga bog'liq - bu global tadqiqotlar bilan isbotlangan. Hatto 50-60 yil ilgari saraton kasallari tezda vafot etdi. Endilikda butun dunyodagi mutaxassislar bu kasalliklarni muvaffaqiyatli davolashmoqda. Axir terapiyaning samarali usullari mavjud bo'lib, u bemorni o'z vaqtida tashxislash va etarli darajada

davolash bilan uzoq muddatli remissiyaga erishishga imkon beradi va odam odatdagi turmush tarziga qaytadi. Barcha lokalizatsiyadagi onkologik kasalliklarni (xirurgik va kimyoterapiya bilan birgalikda) davolashning eng samarali zamonaviy usullaridan biri butun dunyoda chiziqli tezlatkichlarda nur terapiyasi hisoblanadi. Birinchi chiziqli tezlatkichlar 1961-yilda ishlab chiqildi. O'shandan beri ularning mashxurligi tobora ortib bormoqda. Chiziqli tezlatkichlar madaniy dunyoda qo'llaniladi. Chiziqli tezlatgichlarda nur terapiyasi usuli ancha yangi. Mamlakatimizda radiologlar asosan kobalt qurilmalari ustida ishlashadi. Mutaxassislar ularning kamchiliklarini eslatib turadi: sog'lom to'qimalarga olib keladigan katta miqdorda radiatsiya yuqori dozada radiatsiya oladi, bu aniq radiatsiya reaksiyalari va zararga olib keladi. Co^{60} ning doimiy radioaktiv manbalarining mavjudligi radioaktiv holatni oshiradi, bu tibbiy xodimlarning salomatligiga salbiy ta'sir qiladi. Donetsk viloyat antitümmori markazining mutaxassisleri tomonidan chiziqli tezlatgichlarda nur terapiyasi bo'yicha birinchi (hozirgi kunga qadar faqatgina sog'liqni saqlash tizimida yagona) mutaxassislar malakaga ega bo'ldi. Donetsk antitümore markazi Ukrainada 2007 yil fevral oyidan buyon markazda to'la quvvatda ishlaydigan ikkita VARIAN chiziqli tezlatkichlari (DBX, CLINAC 2100) ishlamoqda. Shifokorlar yordami bilan spiral hisoblangan tomografiya skanerida tadqiqotlar olib boradigan, individual davolash rejasini yaratadigan va bemorni davolanishni to'g'ri yo'lga solish uchun simulyatsiya qiluvchi o'simtani davolash uchun maxsus dasturdan foydalanadi. Ikki yarim yil mobaynida 3 mingga yaqin saraton kasalligi davolandi. Donetsk mintaqaviy antitumor markazining radiologiya bo'limining boshlig'i, Ukraina Sog'liqni saqlash vazirligining radiologiya va radioterapiya bo'yicha mutaxassisi Nataliya SEMIKOZ: "Chiziqli tezlatgichlarda nur terapiyasini o'tkazish - bu barcha joylarning o'sma bo'lgan bemorlarni davolashning zamonaviy usullaridan biridir", deydi.

Tezlatkichdagi ko'p qirrali kollimator tizimi kerakli maydonni nurlanishini va o'simtaga yo'naltirilgan radiatsiya nurini ta'minlaydi, bu sog'lom to'qimalarga salbiy ta'sirni kamaytirish imkonini beradi. Bu usul radiatsiya shikastlanishiga olib

kelmaydi, sog'lom to'qimalar o'lmaydi, bemorga nogironlik bilan tahdid qilinmaydi va eng muhimi, biz eski uskunada bo'lgan jiddiy reaksiyalarni (umumiy va mahalliy) kuzatmayapmiz ".

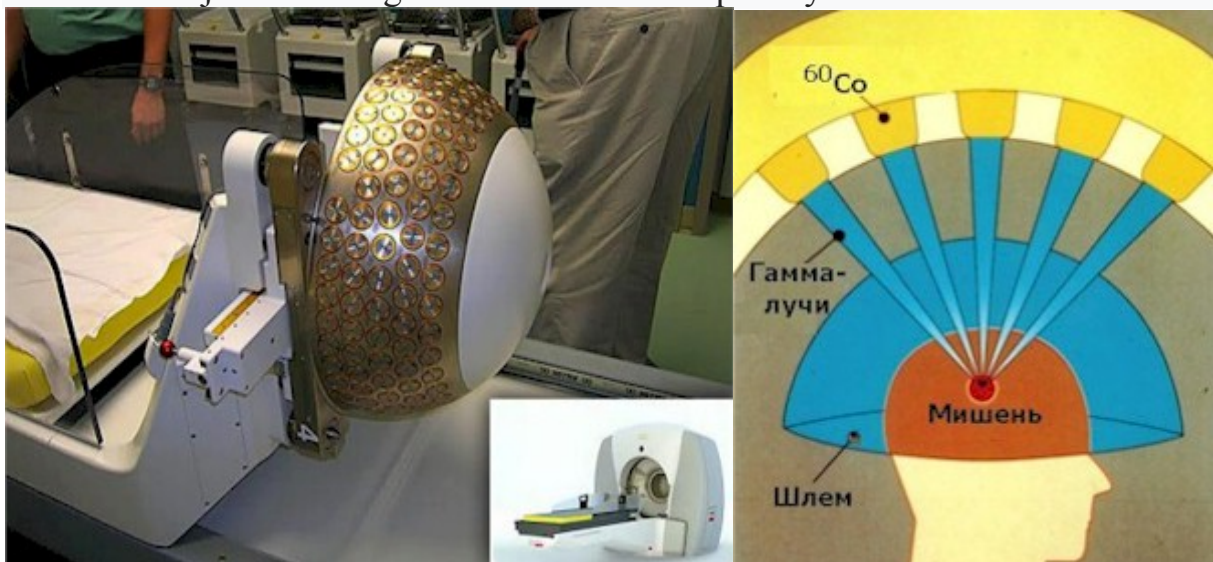
Chiziqli tezlatgichlarning ishlashi shifokorlarga maxsus dasturni ishlatishga imkon beradi - bemorni belgilash va shamollatish sohasidagi atrof-muhitdagi sog'lom organlar va to'qimalarni radiatsiya ta'siriga olib kelmasdan, ta'sirli hududdagi radiatsiya nurini yanada aniq va maqsadga muvofiq tarzda urish. Shuning uchun saraton hujayralarining nekroziga olib keladigan markazga nisbatan kuchli doza qo'llaniladi. Shish paydo bo'lgan radiatsiya ta'siriga uchraganida, malign hujayralar genetikasi yo'q qilinadi va shish paydo bo'ladi. Aksariyat hollarda faol hujayralar bo'linish jarayonida bo'lgan o'smalar mavjud, shuning uchun ularning ta'siri ancha yaxshi bo'ladi.

Nur terapiyasi ham bemorda kichik shish (0,5-1sm) bo'lgan va operatsiyadan voz kechgan hollarda ham qo'llaniladi. Bunday holda, shish chiziqli tezlatgichda nur terapiyasidan kelib chiqadi. "Ammo bemorlar (va, afsuski, ularning aksariyati) beparvo qilingan saraton kasalliklari bilan og'riydilar va jarrohlik muolajalari endi mumkin emas", deydi professor N. Semikoz. Keyin bemorlar radioterapiya va radioterapiya bilan birgalikda radioterapiya va radioterapiya bo'yicha uchta jarroh maslahati bilan qaror qabul qilishadi. Radiatsion terapiyaning birinchi bosqichi o'tkaziladi, keyin bemorlar uch hafta davomida bo'shatiladi va ta'siri baholanadi. " Professor N.Semikozning so'zlariga ko'ra, saratonning dastlabki operatsiyasiz bosqichlari bo'lganlarning 60% da, uch hafta o'tib, shifokorlar inoperabl shishani rezektsiya qilish imkoniyatiga ega. Shifokorlar jarrohlik, radiatsiya va kemoterapi yordami bilan davolashning umumiy usullarini qo'llashda sezilarli ta'sir ko'rsata oladilar. "Bizning bemorimiz keng qamrovli davolanishni boshlaganida, biz aniq bir ajoyib ta'sir ko'rsatadi. Odamlar normal hayotga, ham ishlariga qaytishayotganini ko'rsatadigan ko'rsatkichlarga egamiz. Nur terapiyasining samaradorligi Donetsk antitumor markazidagi saraton kasalliklari oqibatida namoyon bo'ladi. "Bemorlarning soni ortib bormoqda. Bir oy oldin. Radiologiya bo'limida - 120 ta yotoq. Shuning uchun

barcha mehmonlar shifoxonaga yotqizilmaydi. Ambulatoriya sharoitida nur terapiyasini qabul qilish. Rakslar Ukrainaning barcha hududlaridan keladi. Boshqa klinikalarda allaqachon tark qilinganlar bor. Biz har kimga yordam berishga va etarli yordam berishga harakat qilmoqdamiz ", deydi professor N. SEMIKOZ.

3.3. Terapiya va diagnostika uchun tezlatkichlar

Ionlashtiruvchi nurlanish diagnostika va terapiya uchun, ayniqsa, onkologiya uchun keng qo'llaniladi. Birinchisi, x-nurlarning va gamma-kvant (kobalt-60) terapiyasini qo'llash edi. 1-rasm, masalan, bir kobalt-60 ko'rsatiladi, unda bir xil miqdordagi gamma-nur chizig'ini yaratish uchun ishlatiladigan ^{60}Co Coning 201 manbasi mavjud. Ularning hammasi o'simta haqida o'ylashadi.



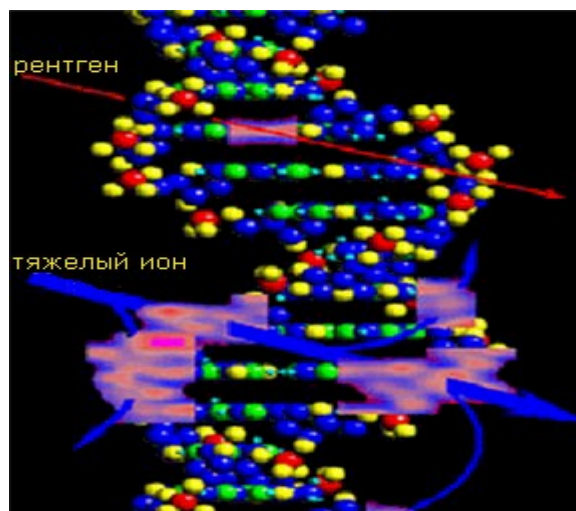
3.3-rasm. Chapda kobalt-60, o'ngda nurlanish sxemasi.

Asta-sekin kobaltli qurollar tobora ko'proq betatronlar o'rnini egallaydi va yaqinda mikrotron va chiziqli tezlatkichlar. Bu tezlatkichlar ikki rejimda ishlaydi: elektron terapiya uchun elektron nurni ajratish (kichik nurli oqim) va gamma terapiyasi uchun gematroning γ -nurlanishini ishlab chiqarish usuli (yuqori nurli oqim). Mikrotron kichik va nisbatan arzon. Proton va ionlarni davolash uchun siklotronlar ishlatiladi.

Xujayralardagi radiatsiya ta'sirida asosiy maqsad - DNK molekulalari. DNKning zararlanishi sodir bo'lganda, hujayra bo'linishining buzilishi - mitoz. Ammo, agar DNK zanjirlaridan faqat bittasi zararlangan bo'lsa, molekula ta'mirlanishi mumkin.

3.4-rasm. DNKda radiatsiya ta'sirining past va yuqori ionlash zichligi bilan ta'siri

Ikkala spiral ham uzilib qolsa, hujayra DNKni saqlab qola olmaydi va nobud bo'ladi. Nur terapiyasining asosiy vazifasi - saraton hujayralarining



DNK spirosiga zarar etkazishdir, bu ularni ajratib olish va ularni o'limga olib kelishi mumkin emas. Ionlashtiruvchi nurlanish to'qima bilan o'zaro ta'sirlanganda, 1 dan 20 eV kuchga ega bo'lgan ko'p sonli ikkinchi elektronlar hosil bo'ladi. Bu kabi energiya bilan elektronlarning ta'siri DNK molekulasining bir yoki ikkala heliksizini sindirishga olib kelishi mumkin. Ionizatsiya tufayli DNK molekulasiga bevosita zarar etkazilishi bilan birga, DNK tuzilishiga bevosita zarar etkazilishi radiatsiya ta'siri ostida kimyoviy jihatdan agressiv erkin radikallar, asosan, suv radiolizining mahsulotlari shakllanishiga bog'liq. Ionlashtiruvchi nurlanishning zararli ta'siri kislorodni (kislorod ta'sirini) kuchaytiradi. Kam miqdordagi maxsus yo'qotishlarga ega radiatsiya uchun kamdan-kam hollarda ionlashtiruvchi nurlanish (X-nurlari, elektronlar), muhitda kislorod kontsentratsiyasining ortishi 0 dan 30-40% gacha shikastlanish ta'sirini uch barobar oshiradi.

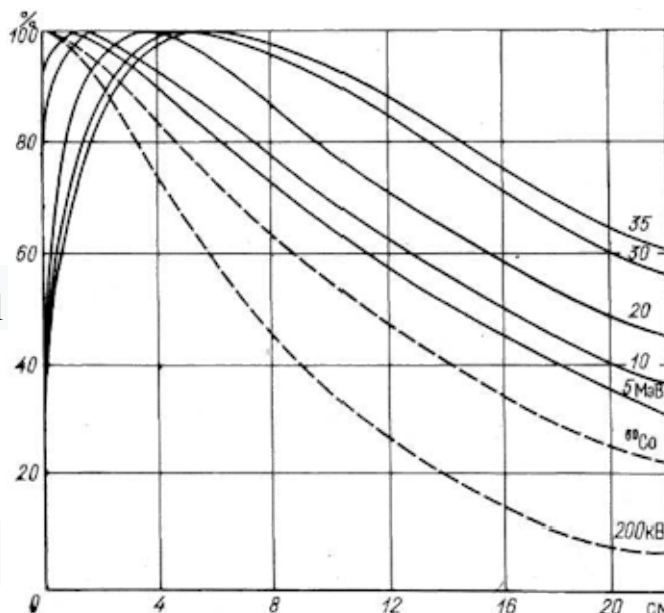
Elektronlarning ionlashtiruvchi nurlanishining asosiy ta'siri, rentgen va gamma-kvant - erkin radikallarni, xususan, DNKga zarar etkazadigan kislorodning reaktiv shakllarini yaratishdir. Yuqori darajada ionlashtiruvchi nurlanish, masalan, og'ir ionlar, to'qimalarning hujayralariga o'zaro ta'sirida, ionlash zichligi yuqori bo'lib, DNKning molekula uchun radiatsiya shikastlanishi yanada kuchayadi. Kislorod muhitida to'qimalarning hujayralarida zich ionlashuvchi nurlanish paydo bo'lganda, kislorod kontsentratsiyasining zararli ta'siri zaif yoki hech qanday bog'liq emas.

Gamma va elektron terapiya

Elektron tezlatgichlaridagi tormoz nurlari elektron nurlari katta Z bilan materialdan konvertor bilan o'zaro aloqada bo'lganda paydo bo'ladi. Foton nurini

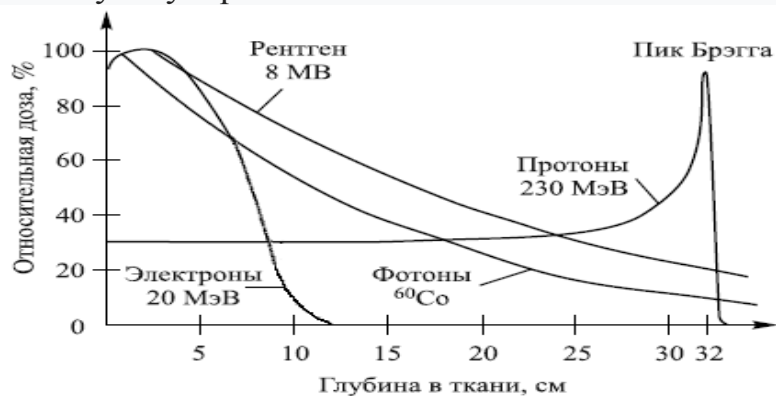
konvertor orqasida joylashgan kolimator hosil qiladi. Nur chizig'idagi doza darajasi bir xil bo'lmasa, tenglashtiruvchi filtrlar o'rnatiladi.

Tibbiy tezlatgichlarda maksimal elektron energiyasi odatda <45 MeV. Sirt qatlamlarida ikkinchi darajali elektronlarning emissiyasi tufayli nurlanishning tanasi bilan o'zaro aloqada bo'lganda, so'rilgan dozaning maksimal tezligi elektronga energiyani tezlatgichga bog'liq bo'lgan masofaga cho'ziladi (3-rasm). Misol uchun, maksimal energiya 30 MeV bo'lgan bremsstrahlung uchun so'rilgan doz 5 sm ($\rho=1\text{g/sm}^3$) chuqurlikda bo'ladi.



3.5-rasm. 35, 30, 20, 10 va 5 MeV energiyali elektronlar uchun nisbiy so'rilgan dozani chuqur taqsimlash. Noktalanagan chiziq ^{60}Co nuklidining nurlanishi va x-nurli trubaning ($U = 200\text{kV}$) emissiyasi.

Gamma nurlanishi uchun ^{60}Co ($E = 1.17$ va 1.33 MeV) bo'lsa, u faqat 6 mm chuqurlikda bo'ladi. Afsuski, so'rilgan dozaning maksimal miqdorini o'simga tushirish uchun energiyani tanlab olsa ham, sog'lom to'qimalar ham nurlanishadi. Sog'lom to'qimalarni shamollashning salbiy ta'sirini kamaytirish uchun radiatsiya turli yo'nalishlardan amalga oshiriladi, murakkab kollimatorlar yordamida nurning kesimini turli xil proektsiyalarda cheklab qo'yadi, nurlanish intensivligini modulyatsiya qiladi.



3.6-rasm Qat'iy dozani chuqurlikka bog'liqligi.

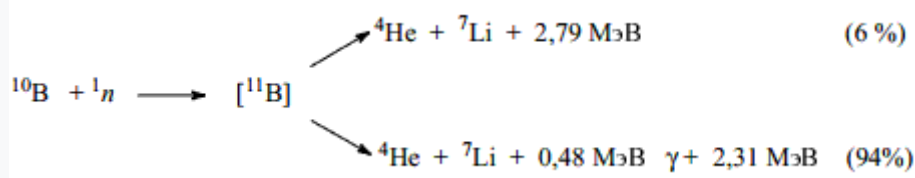
Elektronlar yuzaki o'smalarni davolash uchun, shuningdek intraoperativ nur terapiyasi uchun ishlatiladi. Intraoperativ radiatsiya davolashda, chuqur xabis o'simta yotqizilgan bo'lsa, jarrohlik vaqtida uni olib tashlangandan so'ng, uning ochilishi ochiq holda nurlanadi. Elektron dozasiining taqsimlanishi, ishning oxirida keskin pasayish bilan juda keng chegaraga ega (4-rasm). Elektronlarning chuqurligi ularning energiyasiga mutanosibdir va ularni o'zgartirish mumkin. To'qimalarning maksimal elektron yo'lidan tashqarida, ikkilamchi bremsstrahlung tufayli odatda faqat kichik doza olinadi. Tezlatgichdagi elektron nurlari kolimatsiyalanadi. Bundan tashqari, kichkina atom raqami bo'lgan materiallardan tayyorlangan diaphragmalar majmuasidan tashkil topgan aplikator, kasallik darajasini pasaytirish uchun to'g'ridan-to'g'ri bemorning tanasiga yaqin joyda o'rnatiladi. Eng ilg'or chiziqli elektronli tezlatgichlar multilob kolimatorlari bilan jihozlangan. Ko'chib yuruvchi tor yaproqlar (ekranlar) nurning ma'lum bir qismini blokirovka qilishga imkon beradi. Cho'tkilarning holati o'zgaradi, bu sizning o'simtaning chegarasida maksimal dozalik tomchi va atrofdagi sog'lom to'qimalarni yaratishga imkon beradi. Bundan tashqari zamonaviy inshootlar sessiyada turli intensivlik bilan nurlanishni amalga oshirishga imkon beradi (intensiv modulyatsiyalangan radioterapiya - IMRI). Ta'sir kompyuter bilan nazorat qilinadi. Bunga qo'shimcha ravishda, zamonaviy uskunalarda, ta'sir qilish tomografiya yoki boshqa usullar yordamida olingan tasvirlar orqali kuzatiladi va tuzatiladi.

Neytron terapiyasi

Neytronlar bevosita ionlashmaydi. Ular yadrolarga tarqalib, ularga energiya etkazib berishadi va yadro reaksiyalariga ham sabab bo'ladi. Rekoil yadrolari, qaytaruvchi protonlar va boshqa reaksiya mahsulotlari moddada yuqori ionlash zichligi hosil qiladi. DNKning zararlanishi sezilarli va DNKning yangilanishi ehtimolligi juda kichik. Bundan tashqari, neytron bilan nurlanganida, kislorod ta'siri sezilarli darajada kamroq. Neytron terapiyasi - bu radiomeaktiv shishi bo'lgan (bosh va bo'yin o'smalari, yumshoq to'qimalar sarkomasi, miya o'smalari ba'zi shakllari va boshqalar) bemorlarni davolash uchun istiqbolli usul.

Neytron terapiyasini yadro reaktorlari, neytron generatorlari terapevtik kanallari yordamida. Tez neytronli terapiya uchun yuqori oqim siklotronlari ishlatiladi (nur oqimi 15-60 mA, proton energiyasi 42-66 MVt). Yaqin vaqtga qadar non-invaziv

terapiya asosan termo neytronlarni (3838 mlrd.) Bosib olishning katta kesimiga ega bo'lgan ^{10}B ishlatildi (Bor-neytron terapiyasi). Ushbu usulda preparat inson qoni ichiga yuboriladi - masalan, borfenilalanin borli eritma. Borfenilalaninidan foydalanish natijasida saraton xujayrasidagi bor konsentratsiyasi sog'lom hujayradan 3-4 barobar ko'pdir. Maqsad bemorlarda va sog'lom hujayralardagi ^{10}B konsentratsiyalarida 8-10 barobargacha farqni ta'minlaydigan dori yaratishdir. Preparat, shuningdek, o'simtga o'tqazilgan bo'lishi mumkin. Saraton xujayralari ichida, bor xujayralari sog'lom bo'lganlarga nisbatan yuqori konsentratsiyalarda to'planadi.



3.7-rasm. Reaksiya sxemasi

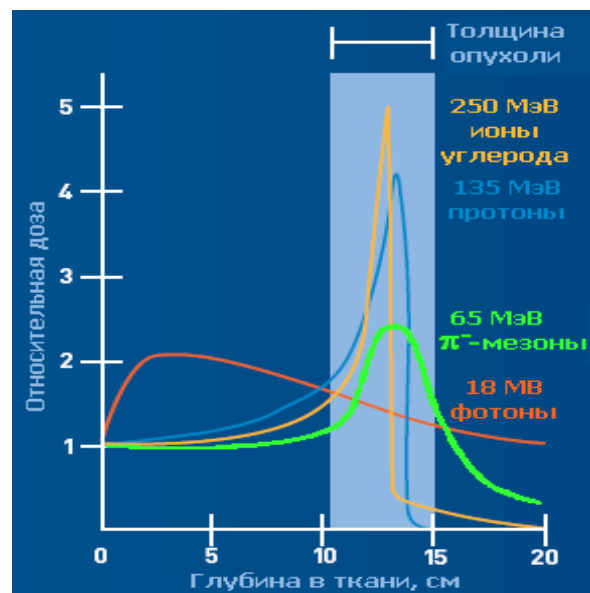
Formalangan ionlar $^4\text{He}_2$ va $^7\text{Li}_3$ matoning kvadratik qiymati mos ravishda ~ 7 va ~ 5 mm. Hujayra kattaligi ~ 10 mm bo'lganligi sababli, reaksiya energiyasining $\sim 80\%$ ni neytronni so'raydigan bor nukleusni o'z ichiga olgan hujayradagi to'liq chiqariladi. Termal neytronlardan foydalanish (energiya <5 keV) ularning zaif kirish qobiliyati tufayli cheklangan, bu esa ularni chuqurligi <2 sm bo'lgan o'smalarni davolashda ishlatishga imkon beradi, buni epitermal neytron deb ataladi. Neytronni terapiya qilishda ham reaktor, ham tezlatkichlar ishlatiladi.

Shakl. 6-INPda tandem ko'rsatiladi. G.I. Budker SB 6-rasm. Be reaksiya natijasida neytron lityum maqsadda hosil bo'ladi. Optimal ish usuli 1.915 MeV proton energiyasida amalga oshiriladi (reaksiya chegarasidan 34 keV). Shu bilan birga, o'rtacha 30 kVt energiyali yaxshi naqshli neytron nurlari hosil bo'ladi.



3.8-rasm. INP ularning proton energiyasini 2.5 MeV. G.I. Budker SB (chapda), neytron hosil qiluvchi maqsad (o'ng)

10B bilan solishtirilsa, gadolinyum izotoplari sezilarli darajada katta neytron olish tasavvuriga (^{155}Gd - 60900 mlrd., ^{157}Gd - 255000 mlrd.) ega. Shu bilan birga, neytronni tortib olishda foydalanish uchun, ayniqsa, gadolinyumning kimyoviy toksikligiga va uni o'simta ichida saqlab qolish zarurligiga bog'liq muammolarni hal qilish zarur. Proton va ion terapiyasi. Dozaning to'qima chuqurligiga bog'liqligi. Gamma, elektron va neytronli terapiya bilan solishtirganda ion davolanishining afzalligi shundaki, asosiy energiya yo'qotishlarni to'xtatishdan oldin (Bragg cho'qqisi) (3.9-rasmga qarang), ionning diapazonining so'nggi millimetrlarida paydo bo'ladi.



3.9-rasm Dozaning to'qima chuqurligiga bog'liqligi.

Bragge tepaliklarining chuqurligi zarrachaning dastlabki energiyasiga bog'liq va uning kengligi nurning energiyasining tarqalishiga bog'liq. Shunday qilib, ionlarning energiyasini o'zgartirib, sog'lom to'qimalarga minimal zarar etkazadigan o'simtaning butun chuqurligi bo'yicha maksimal quvvatni yo'qotish mumkin. Zarralarning maksimal chuqurligi 30 sm bilan cheklangan, bu og'ir ionlar uchun ~ 250 MeV. proton energiyasiga to'g'ri keladi, energiya bir necha yuz MeV / nuklin bo'lishi kerak. Proton va ionli davolashda siklotronlar va sinxrotronlar asosan ishlatiladi. Chiziqli tezlatkichlar kamroq qo'llaniladi. Siklotronlar barqaror energiya bilan ishlaydi. Ularning afzalliklari - operatsiyaning soddaligi va ishonchliligi. Siklotron nurlarining oqimlari terapiya ehtiyojlarini ancha oshiradi va boshqa dasturlar uchun, masalan, radionuklidlar ishlab chiqarish uchun etarli. Siklotronlarning salbiy tomoni shundaki, energiya nur chizig'ida joylashtirilgan changni yutish vositalar yordamida o'zgarishi kerak va energiya taqsimoti kengayadi, bu esa qo'shimcha puls analizi bilan kamayishi kerak.

Sinxrotronda energiya energiya taqsimotining tanazzulga yuz tutmasligi uchun energiya bir bo'lakdan ikkinchisiga kichik qismlarga bo'linishi mumkin. Ammo sinxrotronlar murakkab va qimmatroq. Katta chuqurlikdagi penetrasyonda, asosiy ionlar nurlarining ko'p tarqalishi bilan bog'liq ta'sirlar boshlang'ich ionlarining kengayishi va tarqalishiga olib keladi. Shunday qilib, suvdagi 25 sm masofani ~ 200 MeV kuchga ega proton nurlari va 4 mm boshlang'ich diametri 25 mm diametrli masofaga qadar kengayadi. Protonlar bilan solishtirganda, og'ir ionlar terapiya uchun yaxshi xususiyatlarga ega. Misol uchun, uglerod ionlari nurlari uchun yomonlashadi, bu ta'sir 4 barobar kuchsizlanadi va Bragge cho'qqisi kengligi ham 4 barobar toraysa. Bragge tepasida va platoda doz nisbati yuqori. Bundan tashqari, og'ir ionlar tomonidan to'xtab bo'lmaydigan yuqori darajadagi ionlao'smalar natijasida hujayralar kislorod konsentratsiyasidan qat'iy nazar zarar ko'radi. Og'ir ionlar o'simtaning ichki qismlariga kislorodda kambag'al bo'lgan hududga samarali ta'sir ko'rsatadi. Oksidlanishning og'irligi ionlarning og'ir ionlari parchalanishiga bog'liq bo'lib, yo'l uzunligi boshlang'ich iondan kattaroqdir, shunda o'simtaning orqasida joylashgan sog'lom to'qimalar ko'payadi.

Proton va ion terapiyasi birliklari bir yoki bir necha gantryalar bilan ta'minlangan (3.10-rasm): nurni radiatsiya har qanday burchagida o'smaga shikast etkazishi uchun nurni bemor atrofida aylantirish imkonini beradigan katta mexanik inshootlar: an'anaviy nur terapiyasida .



3.10-rasm nurni radiatsiya har qanday burchagidagi ta'siri

XULOSA

Bugungi kunda onkologik kasalliklar xavfliligi jihatidan dunyo bo'yicha ikkinchi o'rinni egallab turibdi. Bu ko'rsatkich bizning ham respublikamizni chetlab o'tmagan ya'ni ayni vaqtda mamlakatimizning har 100000(yuz ming) aholisiga 75 tadan onkologik kasalliklarga chalingan bemorlar to'g'ri keladi. Afsuski bu kasallikni davolovchi zamonaviy apparatlar juda kam. Magistrlik dissertatsiyasining amaliyotga joriy etilsa, respublikamizdagi onkologik kasalliklarga chalingan bemorlarning davolash samaradorligini oshirish va yangi zamonaviy texnologiyalarni qo'llash uchun kadrlar tayyorlashdan iborat. Respublikada sog'liqni saqlash tizimini rivojlantirish strategiyasini, ilg'or xalqaro standartlar va jahondagi eng yaxshi amaliyotni hisobga olgan holda sog'liqni saqlashni rivojlantirishning yangi zamonaviy diagnostika va davolash sifatlariga oid standartlarni yaratish imkoniyatini mavjud bo'lar edi. Ushbu dissertatsiyada amaliyotga tadbqiq etilishi sog'liqni saqlash sohasida onkologik kasalliklarni davolash samaradorligini oshirish bilan birga qo'shimcha ish o'rni yaratiladi. Bu loyihada umumiy respublikamiz viloyatlarida har bir onkologiya dispanserida o'rnatilgan har bir apparat uchun 3 ta radiolog, 3 ta tibbiyot fizigi va 4 labarant jalb qilinishini hisobga olsak, respublika miqyosida nur terapiya bilan ishlovchi qo'shimcha 220 ish o'rni yaratiladi. Shu bilan birgalikda har bir viloyatda, rentgen, kompyuter tomografiya va UZI apparatlari bilan ishlovchi o'rta maxsus diplomga ega 180 ta (Namangan) hodimlar mavjudligini hisobga olib, ularni oliy ma'lumotli tibbiyot fiziklari tayyorlashni ham amalga oshirish mumkin. Shu bilan birgalikda onkologik kasalliklarni Chiziqli tezlatkichlar yordamida davolash yo'lga qo'yilib, unda davolanishda davlat xizmatini yo'lga qo'yilsa, respublikamizning iqtisodiy tomondan ham rivojlanishi olib keladi. Chiziqli tezlatkichlarning ishlashini yo'lga qo'yilsa, respublikamiz dunyo bo'yicha eng kamida 4 daraja yuqorilangan reytingga ega bo'lishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Комар Е.Г. Основы ускорительной техники. М., Атомиздат, 2005.
2. Коломенский А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. М., изд. МГУ, 2008
3. Гольдин Л.Л. Физика ускорителей. М., Наука, 2010.
4. Шальнов А.В., Лебедев А.Н. Основы физики и техники ускорителей. Том. 1-3, М., Энергоиздат, 2008
5. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М., Энергоатомиздат, 2011
6. Пипко А.И., Плисковский В.Я., Королев Б.И., Кузнецов В.И. Основы вакуумной техники. М., Энергоиздат, 2012
7. Дорман И.В. Космические лучи ускорители и новые частицы. М. Наука, 1989.
8. Капица С.П., Мелехин В.И. Микротрон. М., “Наука”, 2009
9. Пенионжкевич Ю.Э. Пучки радиоактивных ядер. “Физика элементарных частиц и атомного ядра”, Том 25, вып.4, 2004
10. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий, М., ЭнергоАтомиздат, 2001
11. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. М., Мир, 1980.
12. Саркисян Л.А. Релятивистский циклотрон. М., изд. МГУ, 1990.
13. Воробьев А.А., Москалев В.А. Сильноточный бетатрон и стеробетатрон. М., Атомиздат, 1969.
14. Электрон тезлаткичларда радиоактив изотопларни олиш имкониятлари. Электрон қўлланма, 2008.
15. Polvonov S.R., Kanokov Z., Karaxodjaev A., Ruzimov SH.M. Yadro fizikasidan masalalar to'plami. O'quv qo'llanma. Toshkent, O'zMU, 2006, 119 b.
16. Kanokov Z., Karaxodjaev A., K.R. Nasriddinov, Polvonov S.R.

Atom va yadro fizikasidan laboratoriya ishlari. O'quv qo'llanma. Toshkent, O'zMU, 2006, 148 b.

17. Naumov A.I. Fizika atomnogo yadra. Prosvehenie, M., Naumov A.I.

Fizika atomnogo yadra i elementarnix chastits. prosvshenie, M., 1984.

18. Azimov S.A., Abdujamilov A. Elementar zarralar fizikasi. O'qituvchi, Toshkent, 1986.

19. Teshaboev Q.T. Yadro va elementar zarralar fizikasi. O'qituvchi, Toshkent, 1992.

20. Ginzburg V.'., Levin L.N., Rabikovich M. S. Sivuxin D.V. Sbornik zadach po obshemu kursu fiziki: Atomnaya fizika, Fizika yadra i elementarnqx chastits., uch. pos. , M. :Nauka, 1981.

21. Bekjanov R.B., Beleng'skiy V.M. Yadernaya fizika v zadachax i 'rimerax. Ucheb. 'os., Ukituvchi, Tashkent, 1988.

22. Jukovskiy Yu.G., Sergeev V.O., Antong'ev N.M. 'raktikum 'o yadernoy fizike. M., «Vqsshaya shkola», 1975.

23. Valg'ter A.K., Zalyubovskiy I.I. Yadernaya fizika. Xarg'kov: Osnova, 1991. - 479 s.

24. Mixaylov V.M., Kraft O.E. Yadernaya fizika. L.: Izd-vo LGU, 1988.

25. Rakobolg'skaya I.V. Yadernaya fizika. M.: Izd-vo MGU, 1981. - 280 s.

26. Vlasov N.A. Neytronq. M.: Nauka, 1971. - 550 s.

27. Obodovskiy I.M. Sbornik zadach po eksperimentalni metodam yadernoy fiziki. M.: Energoatomizdat, 1987. - 279 s.

28. Polvonov S.R. Fotoyadro reaksiyalari. Elektron darslik. 2007.
29. Polvonov S.R. Elektron tezlatgichlarda radioaktiv izotoplarni olish imkoniyatlari. Elektron qo'llanma, 2008.
30. <http://www.hys.msu.ru>
31. <http://nucl.hys.sin.msu.ru>
32. <http://cdfc.sin.msu.ru/index.ru.html>