

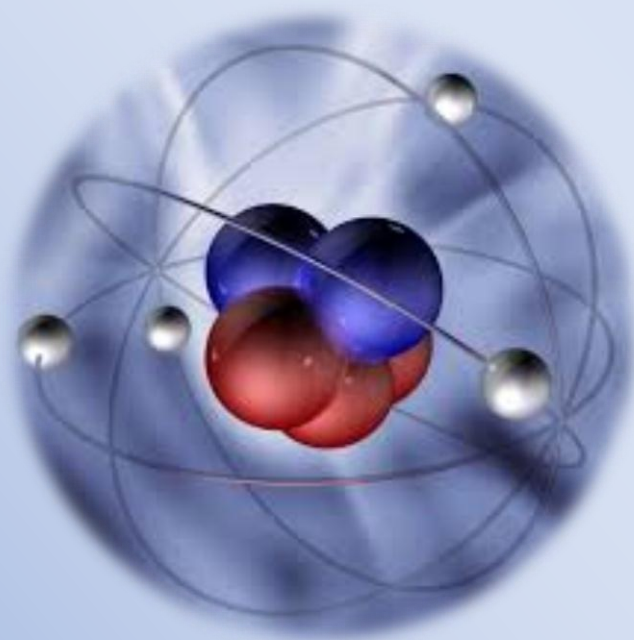
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI

JIZZAX DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
FIZIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

UMUMIY FIZIKA KAFEDRASI

R.N. Bekmirzaev,
M. H. Samadov .

YADRO VA ELEMENTAR ZARRACHALAR
FIZIKASI ELEMENTLARI



JIZZAX-2015

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI

JIZZAX DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
FIZIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

UMUMIY FIZIKA KAFEDRASI

R.N. Bekmirzaev,
M.H. Samadov.

YADRO VA ELEMENTAR ZARRACHALAR
FIZIKASI ELEMENTLARI

JIZZAX-2015

Uslubiy qo'llanma institut o'quv-uslubiy kengashi tomonidan
" 29 " yanvar 2015 y. tasdiqlangan. Bayonnoma № 5

Uslubiy qo'llanma "Umumiy fizika" kafedrasining
"19" dekabr 2014 yildagi majlisida ko'rib chiqildi. Bayonnoma № 5

Taqrizchi:

Dots: S.A. Sattarov

Mualliflar:

**R.N. Bekmirzaev,
M.H. Samadov.**

Soʻz boshi

Ushbu "Yadro va elementar zarrachalar fizikasi elementlari » uslubiy qoʻllanma talabalarning mustaqil ishlarini bajarishda koʻmak berish uchun moʻljallangan boʻlib, unda modda ekstremal holati, atom yadrosi, yadro kuchlari, radioaktivlik, yadro reaksiyalari, elementar zarralar va olamning hozirgi zamon fizik tasavvuriga bagʻishlangan mavzular kiritilgan. Mualliflar uslubiy qoʻllanma tayorlashda ilmiy, ilmiy – ommabop, darslik va oʻquv qoʻllanmalaridan ijodiy foydalandilar.

Ushbu uslubiy qoʻllanma kamchiliklardan xoli emas. Shu sababli uning kamchiliklari toʻgʻrisida oʻz fikr-mulohazalarini bildirgan oʻrtoqlarga mualliflar oldindan oʻz minnatdorchiligini bildiradilar.

MUNDARIJA

KIRISH.....	6
-------------	---

1-BOB

EKSTREMAL SHAROITDAGI MODDA XUSUSIYATLARI

1.Moddaning o'ta yuqori temperatura va zichliklardagi holati. Metallsimon vodorod. Moddalarning neytronlashuvi.....	7
2. Yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi.....	9
3. Mitti oq yulduzlar.....	11
4. Moddaning neytron holati. Pulpsarlar. Qora teshiklar.....	13
5. O'ta yuqori elektromagnit maydonda modda.....	17

2-BOB

YADRO FIZIKASI ELEMENTLARI

1. Atom yadrosining tuzilishi va asosiy xarakteristikalar.....	20
2. Yadroviy kuchlar. Yadroning fenomenologik modellari.....	25
3. Yadro massasi va bog'lanish energiyasi.....	30
4. Radioaktiv emirilish.....	35
5. Myossbauer effekti.....	40

3-BOB

YADROVIY REAKTSIYALAR

1. Yadroviy reaksiyalar va ularning asosiy qonuniyatlari.....	42
2. Yadrolarning bo'linish reaksiyalari.....	47
3. Zanjir reaksiya. Yadroviy reaktor.....	50
4. Termoyadroviy reaksiyalar.....	56
5. Boshqariladigan termoyadro reaksiyalari. Yadroviy energetika istiqbollari.....	60

XULOSA	62
--------------	----

ADABIYOTLAR.....	63
------------------	----

Kirish.

Qadim zamonlardan inson o'zini o'rab turgan olamni o'rganish va bilishga intilib kelgan. Shu o'rinda barcha mavjud narsalarning asosi bo'lgan elementar tashkil etuvchilar va ularning o'zaro bir — birlari bilan bo'ladigan munosabatlari — o'zaro ta'sirlari to'g'risidagi qarashlar doimo inson aqlini band qilib kelgan.

Fizikaning elementar zarralar fizikasi bo'limi mikrodunyoda, ya'ni elementar zarralar fizikasida ro'y beradigan barcha jarayonlarni, ularning xarakteristikalarini, o'zaro bir — biriga aylanishlarini, ular orasidagi o'zaro ta'sir turlarini o'rganadi.

Mazkur ma'ruza matni yuqorida qayd qilib o'tilgan masalalarni o'zida mujassamlashtirgan bo'lib, bakalavrlar dasturi asosida yozilgan va ayni paytda mukammal qo'llanma bo'lib xizmat qila olmaydi. Shu bilan birga, ushbu qo'llanma talabalarning o'z ustida mustaqil ishlashi, adabiyotlardan foydalana bilishi va shu tariqa yetarli bilimga ega bo'la olishi uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

1-BOB

EKSTREMAL SHAROITDAGI MODDA XUSUSIYATLARI

1. Moddaning o'ta yuqori temperatura va zichliklardagi holati. Metallsimon vodorod. Moddalarning neytronlashuvi.

Fizikada moddalarning odatdagi holatlaridan tashqari o'ta yuqori temperatura va o'ta yuqori zichliklardagi holatlarini o'rganish ham juda katta qiziqish uyg'otadi. Chunonchi, Koinotning asosiy elementi bo'lgan yulduzlar bag'rida, hozirgi kunda Quyosh sistemasidagi planetalarning markaziy sohalarida moddalar ana shunday ekstremal holatlarda bo'ladi.

Dastlab zichlik o'zgarish bo'lsin deb faraz qilaylik va temperatura ortishi bilan modda holatidagi o'zgarishlarni sifat jihatidan qarab chiqaylik. Aniqki, avvalo moddaning kondensirlangan holati (qattiq jismlar va suyuqliklar) gazsimon holat bilan almashadi. Temperaturaning bir necha ming gradus kelpvin (K) ga ko'tarilishi odatdagi molekulyar gazlarda termik dissotsiatsiyaga olib keladi, natijada gazlar atomar holatga o'tadi. $T \sim 10^4$ K temperaturada gaz atomlari ionlasha boshlaydi va $T \sim 10^6$ K da moddaning ionlashgan holati-plazma, ya'ni faqat ionlar va elektronlardan tashkil topilgan gazsimon holat vujudga keladi. Plazmaning to'liq ionlashgan holati $T \sim 10^7$ K larda erishiladi va u faqat atom yadrolari bilan erkin elektronlardan tashkil topadi. Temperaturaning $\sim 10^8$ K qiymatlarida yadroviy o'zgarishlar yuz beradi, $T > 10^9$ K larda esa yadrolar parchalana boshlaydi va $T \sim 10^{11}$ K ga etganda moddaning protonlar va elektronlardan iborat holati qaror topadi. Nihoyat, temperaturaning $m_p s^2 \sim kT$ ($m_p \approx 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg-protonni tinchlikdagi massasi, $3 \cdot 10^8$ mG's - yorug'likni vakuumdagi tezligi, $1,38 \cdot 10^{-23}$ JG'K) shartni qanoatlantiruvchi, ya'ni $T \sim 10^{13}$ K qiymatlarida nuklon-antinuklon juftlarning tug'ilishi, umuman, aytganda, elementar zarralarning bir-biriga aylanishi boshlanadi.

Modda holatini temperatura o'qi bo'ylab o'zgarishini qarab chiqishda biz bosim odatdagidek, ya'ni normal (~ 1 ammq $1,032 \cdot 10^5$ Pa) deb faraz qildik. Endi temperatura

uncha yuqori bo'lamagan holda o'zgarmas qolsin deylik va sifat jihatdan moddaning holati zichlik (bosim) ortishi bilan qanday o'zgarib borishini kuzataylik.

Etarli darajada yuqori ($R \sim 10^8$ ammm) bosimgacha siqilgan modda atomlarining elektron qobiqlari deformatsiyalanadi. Alohida olingan atom yadrolarining elektr maydonlari bir-biriga kirishib ketadi va natijada atom tashqi qobig'idagi elektronlar o'z atomlari bilan bog'lanishni uzib, modda bo'ylab erkin ko'chib yura oladigan zaryad tashuvchilarga aylanadi (moddaning "metallashuvi" yuz beradi).

Amerikalik fiziklar Vigner va Xantingtonlarni ko'rsatishicha (1935) $R \geq 10^6$ ammm bosimlarda vodorod molekulyar dielektrik (N_2) fazadan zichligi $\rho \approx 1^8 G'm^3$ bo'lgan eng oddiy bir valentli metall vodorodga aylanadi (metall fazaga o'tadi).

Agar uncha yuqori bo'lmagan bosim ostidagi moddalar turli-tuman xossalarga ega bo'lib, ximiyaviy tarkibiga qarab keskin o'zgarib tursalar, yuqori bosimgacha siqilgan moddalarning xossalaridagi farqlar yo'qola boradi. Buni tushunish oson. Haqiqatan, moddalarning mexanik, issiqlik, optik, magnit kabi fizik va barcha ximiyaviy xossalari atomlarning tashqi qobiq elektronlari bilan aniqlanadi. $R \geq 10^8$ ammm bosimlarda bunday elektronlar atomlardan uzilib, kollektivlashib qoladilar, ichki qobiq elektronlari esa zichlashib, fazoviy kam o'zgaradigan holatga o'tadilar. $R \sim 10^{12}$ ammm bosimgacha siqilgan moddalarning atomlaridagi elektronlar va yadrolarning o'zaro ta'siri uncha muhim rol o'ynamaydi va moddani ma'lum ma'noda katta zichlikdagi elektron gaz (Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadigan "aynigan" holatda) deb qarash mumkin. Bosim va zichlik mos holda 10^9 kgG'm³ va 10^{18} ammm qiymatlarga etganda elektron gaz relyativistik gazga aylanadi (temperatura ko'tarilib, elektronning o'rtacha energiyasi $\bar{\epsilon} \approx m_e c^2$ ga yaqinlashadi).

Zichlikni yanada ortishi termodinamik nuqtai nazardan yadro reaksiyalari kechishi afzal bo'lgan holatga olib keladi. Bunda elektronlar yadrolar tomonidan yutilib, neytrino nurlatishdan iborat jarayon ro'y beradi ($n + p \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$), yadro massasi o'zgarmagan holda zaryadi kamayadi, umuman olganda, yadro turg'unligi ham pasayadi, oqibatda yadrolarning emirilishi boshlanadi. Zichlik $\rho \sim 10^{14}$ kgG'm³ va bosim $R \sim 10^{24}$ atm ga etganda neytronlar soni elektronlar sonidan ortib ketadi, $\rho \sim 10^{15}$

kgG'm³ zichliklarda esa neytronlar bosimi elektronlarnikidan o'zib ketadi. Ana shunday ekstremal holatda moddaning neytronlashuvi yuz beradi, ya'ni modda asosan neytronlarning fermi-gazidan iborat deb qaralishi mumkin bo'lib qoladi.

Bosimning $\sim 10^{27}$ atm qiymatlarida neytron gaz yadro moddasining zichligi $\rho_{ya} \approx 10^{17}$ kgG'm³ ga ega bo'ladi. Moddaning bunday holati $T \sim 10^{12}$ K gacha mavjud bo'ladi.

2. Yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi.

Bosim R bilan zichlik ρ va temperatura T orasidagi $R_q(\rho, T)$ bog'lanish holat tenglamasi deb ataladi. Masalan, ideal gaz uchun u

$$R \cdot V_q \frac{m}{\mu} RT \quad \text{yoki} \quad R_q \frac{\rho}{\mu} RT \quad (1.1)$$

Mendeleev-Klapeyron tenglamasidan iborat. Moddaning o'ta yuqori temperatura va zichlikdagi holati planeta-gigantlarda (Yupiter, Saturn, Uran, Neptun) va yulduzlarda real amalga oshadi.

Planeta yadrosidagi bosim gravitatsion $R(\rho, 0)$ (nolinchi izoterma) va issiqlik R_T bosimlarning yig'indisidan iborat:

$$R(\rho, T) = R(\rho, 0) + Q \frac{3RT}{\bar{A}} \rho \gamma(\rho), \quad (1.2)$$

bu erda $\bar{A}$ - o'rtacha atom og'irlik, $\gamma(\rho)$ -Gryunayzen parametri.

R, amm	ρ gG'sm ³	
	N	N ₂
1	0,58	0,089
$1 \cdot 10^3$	0,617	0,112
$1 \cdot 10^4$	0,635	0,170
$1 \cdot 10^5$	0,657	0,320
$1 \cdot 10^6$	0,860	0,694
$1 \cdot 10^7$	1,93	1,83
$1 \cdot 10^8$	5,90	5,79

Planeta-gigantlarning bag'rida bosim $R \sim (10^6 \div 10^8)$ atm, temperatura $T \sim (10^3 \div 10^4)$ K. Bu holda metall vodorod ($\rho_n \approx 1$ gG'sm³, $\gamma \approx 1$, $\bar{A} \approx 1$) va suv ($\rho_{N_2O} \approx 3,5$ gG'sm³, $\gamma \approx 1$, $\bar{A} \approx 6$) uchun mos holda $R_t \approx 2,5(10^5 \div 10^6)$ atm va $R_t \approx 1,4(10^5 \div 10^6)$ atm tartibidagi qiymatlar kelib chiqadi. Demak planetalar bag'ridagi umumiy bosimining 10÷20% ini issiqlik bosimi tashkil etadi, xolos, ya'ni ularni tashkil etgan modda yadro qismida asosan gravitatsion bosim ostida siqiladi. Quyidagi 16.1-

jadvalda metall vodorod va molekulyar vodorod uchun $R(\rho, 0)$ bog'lanish (nolinchi izoterma) keltirilgan.

Molekulyar vodorodni metall vodorodga fazaviy o'tish nuqtasi nazariy hisoblanmagan. O'tish nuqtasidagi bosim temperaturaga kuchsiz bog'liq va $\sim 3 \cdot 10^6$ atm tartibida baholanadi.

Qattiq fazada o'tish nuqtasidagi zichlik sakrab $\sim 10\%$ ga ortadi. Suyuq holatda esa bunday o'tish uzluksiz ro'y beradi.

Endi Quyosh tipidagi yulduzlar markazidagi bosim va temperaturani holat tenglamasidan foydalanib baholaymiz. Ko'pchilik yulduzlar plazma holatida bo'lsada, ularni ideal gaz holatidagi shar deb model qurish mumkin, chunki ularda $R \ll 10^{12}$ atm. Haqiqatan, Quyosh massasi $M_Q \approx 2 \cdot 10^{30}$ kg, radiusi $R_Q \approx 7 \cdot 10^8$ m ni bilgan holda uning markazidagi gravitatsion bosimni

$$R_Q \approx G \frac{M_K^2}{R_K^4} = \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot (2 \cdot 10^{30})^2}{(7 \cdot 10^8)^4} \text{ Pa} \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ atm.} \quad (1.3)$$

kabi taqribiy hisoblash mumkin.

Statsionar yulduzlarda gravitatsion siqilish issiqlik aks bosim bilan kompensatsiyalanadi ($R_{\text{grav}} \approx R_{\text{is}}$)

$$G \frac{M_{\text{юл}}^2}{R_{\text{юл}}^4} \approx \frac{\rho}{\mu} RT_{\text{mar}}. \quad (1.4)$$

Yulduz moddasining zichligini $\rho \sim M_{\text{yul}} G / R_{\text{yul}}^3$ baxolab, (1.4) dan uning markazidagi temperatura uchun

$$T_{\text{mar}} \approx G \frac{M_{\text{юл}} \cdot \mu}{R_{\text{юл}} \cdot R} \quad (1.5)$$

ifodani olamiz. Quyosh uchun $\mu \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg G' molp}$ (asosan vodoroddan tashkil topgan)

$$T_{\text{mar}} \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30} \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^8 \cdot 8,31} \text{ K} \approx 2 \cdot 10^7 \text{ K}$$

natiija kelib chiqadi. Biroq zichlik ortib borishi bilan, yulduz elektronlar gazi kvant "aynigan" holatga o'tib, ularning kvant bosimi (temperaturaga bog'liq emas)

$$R_{\text{kv}} \sim \epsilon_F \left(\frac{N_e}{V} \right) \sim \frac{h^2}{m_e} \left(\frac{N_e}{V} \right) \sim 10^7 \cdot \rho^{5/3} \quad (1.6)$$

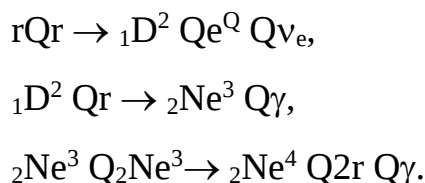
gravitatsion bosimni muvozanatlashi mumkin. Yulduz moddasining zichligini yanada ortishi, yuqorida aytilganidek, elektronlar gazini kvantoviy relyativistik holatga o'tkazadi. Bunda holat tenglamasi

$$R_{\text{rel}} \sim s R_F \left(\frac{N_e}{V} \right) q_{\text{ch}} \left(\frac{N_e}{V} \right)^{4/3} \quad (1.7)$$

ko'rinishda bo'ladi. Oxirgi ikki holatni quyida batafsilroq ko'rib chiqamiz.

3. Mitti oq yulduzlar.

Gravitatsion kuchlar bilan siqilgan qaynoq gazsimon shar modelida yulduzning nurlanish energiyasining manbai xususiy gravitatsion energiya ($U_{\text{qG}} M_{\text{pe}}^2 / R_{\text{pe}}$) dan tashqari, asosan, proton-proton tsikli termoyadro reaksiyalaridir:



Bunda energiya pozitronlar e^+ (ular oxir - oqibatida elektronlar bilan anniglyatsiyalashib γ - kvantlarga aylanishadi), γ -kvantlar, neytrino ν_e oqimlari va protonlarning kinetik energiyasi tariqasida ajralib chiqadi.

Normal yulduz markazida vodorodning termoyadroviy yonishi tugagandan so'ng o'ta zichlashgan geliysimon yadro hosil bo'ladi. Tashqi qobiqdagi qolgan vodorod zapasi tufayli r-r-reaktsiya hali davom etadi va yulduz qobig'i nihoyatda kengayib, hatto Quyosh sistemasining hozirgi kundagi o'lchamlariga ($\sim 40 \text{ a.b.} \approx 6 \cdot 10^9 \text{ km}$) yaqinlashib boradi. Bunday yulduzlar qizil gigantlar deb ataladi. Qizil gigantlar sovishi natijasida siyraklashgan qobiq tarqalib ketadi va Oq mitti deb ataluvchi yulduzning o'ta zichlashgan yadrosi qoladi.

Oq mitti yulduzlarning moddasi asosan geliy yadrolaridan va "aynigan" kvant holatdagi erkin elektronlardan tashkil topgan. Ularning issiqlik o'tkazuvchanligida elektronlar asosiy rol o'ynaydi. Shu sababdan oq mitti yulduzlarning butun hajmi bo'ylab temperatura deyarli bir xil bo'ladi. Hajmda yadro reaksiyalari ro'y bermaydi. Yulduz o'zining issiqlik zapasi hisobiga nurlanib turadi va temperaturasi $T \sim 10^8 \text{ K}$ dan $T \sim 0 \text{ K}$ gacha tushadi. Oq mittilarning sovish vaqti 10^8 yilga yaqin.

Mitti oq yulduz moddasining minimal zichligini (16.6) holat tenglamasidan foydalanib baholaylik. Bunda yulduzning elektronlar gazi kvantoviy “aynigan” holatda bo’lib, ularning bosimi (16.6) qo’pol ravishda yulduz massasining issiqlik bosimi (16.1) tartibida deb faraz qilamiz:

$$10^7 \rho^{5G'3} \sim \frac{R}{\mu} \rho T. \quad (16.8)$$

Yulduz asosan geliydan tashkil topganligi uchun $\mu q4 \cdot 10^{-3} \text{ kgG'molp}$ va (16.8) dan $T \sim 10^7 \text{ K}$ uchun

$$\rho \sim \left(\frac{RT}{10^4} \right)^{3/2} = \left(\frac{8,31 \cdot 10^7}{10^4} \right)^{3/2} \text{ kgG'm}^3 \approx 10^6 \text{ kgG'm}^3. \quad (16.9)$$

Bunday temperaturali qaynoq moddaning elektronlari “aynigan” Fermi-gazdan iborat bo’ladi. Quyosh markazidagi temperatura $T_q \approx 2 \cdot 10^7 \text{ K}$ ekanligini e’tiborga olsak, uning zichligi $\rho \sim 10^5 \text{ kgG'm}^3$ bo’lgani holda, xuddi shunday temperaturali oq mitti yulduzlarning zichligi $10^7 < \rho < 10^9 \text{ kgG'm}^3$ oraliqda o’zgaradi. Ma’lumki, aynigan elektron gaz holati temperaturaga bog’liq emas. Xususan, $T_q 0 \text{ K}$ da oq mittining muvozanati siquvchi gravitatsion bosim bilan elektronlar Fermi-gazining kvant tabiatiga bog’liq bo’lgan aks ta’sir etuvchi bosimning tenglik munosabati orqali aniqlanadi:

$$G \frac{M_{\text{юл}}^2}{R_{\text{юл}}^4} \sim 10^7 \rho^{5G'3}. \quad (1.10)$$

Agar $\rho \sim \frac{M_{\text{юл}}}{R_{\text{юл}}^3}$ desak, massasi $M_{\text{yul}} \approx M_q q 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ - Quyosh massasiga teng oq mitti yulduz radiusi uchun

$$R_{\text{yul}} \sim \frac{10^7}{GM_{\text{юл}}^{1/3}} \approx \frac{10^7}{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot (2 \cdot 10^{30})^{1/3}} \sim 10^4 \text{ km},$$

ya’ni Er radiusi ($R_{\text{er}} q 6370 \text{ km}$) tartibidagi natijani olamiz.

Berilgan massali yulduzning gravitatsion potentsiali uning radiusiga teskari proportsional: $|\phi| \sim qGM_{\text{yul}}/R_{\text{yul}}$. Shuning uchun biri oq mitti va ikkinchisi oddiy yulduzdan iborat qo’shaloq yulduzda akkretsiya deb ataladigan hodisa - oq mittining kuchli gravitatsion ta’siri ostida oddiy yulduz moddasining oq mitti yulduzga oqib

o'tishi kuzatiladi. Oq mitti massasining ortib borishi bilan elektron gazning zichligi $N_e G'V$ ortadi, unga bog'liq ravishda esa elektronlarning chegaraviy (Fermi) impulsi R_F va demak, Fermi energiyasining o'sishi, $\varepsilon_{Fqs} R_F (N_e G'V)^{1/3} \gg m_e c^2$ ro'y beradi va gaz holati relyativistik, hatto ulptrelyativistik sohaga o'tishi mumkin. Bu holatdagi ulptrelyativistik elektron gaz (va demak yulduz moddasining) kengayishga intilgan bosimi

$$R \sim \varepsilon_F \left(\frac{N_e}{V} \right) \sim \text{ch} \left(\frac{N_e}{V} \right)^{\frac{4}{3}} = \text{ch} \left(\frac{\rho}{m_N} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (1.11)$$

ifodalanadi. Ana shunday o'ta zichlashgan oq mittining muvozanat sharti (16.10) o'rniga

$$G \frac{M_{yul}^2}{R_{yul}^4} \sim \text{ch} \left(\frac{\rho}{m_N} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (1.12)$$

dan iborat bo'ladi. Bundan esa $\rho \sim M_{yul} G' R_{yul}^3$ deb, elektronlar gazi ulptrelyativistik holatda bo'lgan oq mitti yulduzning chegaraviy (eng yuqori) massasini topamiz:

$$M_{yul} \approx \left(\frac{\text{ch}}{G} \right)^{3/2} \frac{1}{m_N^2} \approx 1,4 M_{\odot} \approx 2,8 \cdot 10^{30} \text{kg}. \quad (1.13)$$

(16.13) chegaraviy massa (u Chandrasekar chegarasi deb ataladi) mavjudligining ma'nosi shuki, oq mitti yulduz massasining bundan keyingi ortib borishida kvantoviy ulptrelyativistik elektronlar gazining bosimi gravitatsion bosimni muvozanatla olmay qoladi va yulduz moddasining yana qayta qurilishi boshlanadi.

4. Moddaning neytron holati. Pulpsarlar.

Qora teshiklar.

Agar protonlar va elektronlardan iborat o'ta zichlashgan oq mitti yulduzlarda zichlik $\rho \sim 10^{12} \div 10^{13} \text{ kgG'm}^3$ ga etib borsa, moddaning neytronlashish jarayoni - elektronlarni yadrolarga "bosib kiritilishi" natijasida protonlarni neytronlarga aylanishi sodir bo'ladi. Modda neytron holatga o'tadi va neytron yulduz tug'iladi. Neytronlarning "aynigan" Fermi-gazi xuddi elektronlardagi (16.6) kabi

$$R_n \sim \frac{h^2}{m_n} \left(\frac{N_n}{V} \right)^{5/3} = \frac{h^2}{m_n} \left(\frac{\rho}{m_n} \right)^{5/3} \sim 10^4 \rho^{5/3} \quad (1.14)$$

kvantoviy bosim hosil qiladi. Yuqorida ko'rsatganimizdek, (1.14) ni gravitatsion bosim bilan tenglashtirib, neytron yulduzning radiusi uchun

$$R_n \sim \frac{10^4}{GM_n^{1/3}} \quad (1.15)$$

ifodani olamiz. Agar neytron yulduz massasi $M_n \approx M_q$ Quyosh massasiga teng deb faraz qilsak, uning radiusi $R_n \approx 10$ km tartibida bo'lib chiqadi. Uning zichligi esa

$$\rho \approx \frac{M_n}{\frac{4}{3}\pi R_n^3} \approx \frac{2 \cdot 10^{30}}{4 \cdot (10^4)^3} \sim 5 \cdot 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$$

atom yadrolari moddasining zichligiga tengdir. Shu sababdan neytron yulduzni “gigant atom yadrosi” deb qaraydilar.

Neytronlar gazi Fermining kvant statistikasiga bo'ysunadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, neytron yulduzda qarama-qarshi spinli neytronlar juftining bog'lanishi (korrelyatsiyasi) va demak boze-zarrachalar tug'ilishi, buning oqibatida esa neytron suyuqligi o'ta oquvchan holatga o'tishi mumkin. Neytron yulduz tarkibida ma'lum darajada protonlar va elektronlar ham uchraydi. Protonlar juftli korrelyatsiya tufayli o'ta o'tkazuvchan holatda bo'la olsada, biroq elektronlar sistemasi uchun bunday holat neytron yulduz sharoitida mumkin emasdir.

Neytron yulduzlarning markaziy qismlari bosim va zichlik o'ta yuqori bo'lganligidan asosan giperonlar va mezonlardan tashkil topgan bo'lsa kerak deb taxmin qilinadi. Uning tashqi sohalari o'ta zichlashgan temir ${}_{26}\text{Fe}^{57}$ yadrolaridan iborat qattiq qobiqni tashkil etadi. Aytaylik, massasi Quyosh massasiga yaqin bo'lgan yulduz o'zining yadroviy energiya manbaini sarflab tugatdi va xususiy gravitatsiyasi ta'siri ostida siqilib, neytron yulduzga aylanadi. Modomiki, bunday siqilishda impuls momenti saqlanadi, u holda

$$M_q \omega_q R_q^2 \approx M_n \omega_n R_n^2, \quad (1.16)$$

bu erda $\omega_q \approx 3 \cdot 10^{-6}$ radG's - Quyoshning o'z o'qi atrofida aylanishining burchagiy tezligi. (16.16) dan radiusi $R_n \approx 10 \text{ km} \cdot 10^4 \text{ m}$ bo'lgan neytron yulduzning burchagiy tezligi uchun

$$\omega_n q \omega_q \left(\frac{R_k}{R_n} \right)^2 \sim \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot (7 \cdot 10^8)^2}{(10^4)^2} \text{ radG's} \sim 10^4 \text{ radG's} \quad (1.17)$$

qiyamatni olamiz, ya'ni neytron yulduz o'z o'qi atrofida 1 s ichida qariyb 1000 marta aylanadi.

Neytron yulduzning magnit maydoni kuch chiziqlari uning plazma moddasi zarralariga go'yo "yopishgan" yoki "qotirilgan" deb faraz qilishga to'g'ri keladi. Haqiqatan, agar dastlabki yulduz yuqori temperaturali plazmasini ideal o'tkazgich deb qarasak, magnit oqimining o'zgarishi elektromagnit induksiya hodisasiga ko'ra yulduzda juda katta induksion elektr tokini vujudga keltirishi kerak edi. Biroq bu hol tekshirishda kuzatilmaydi. Shunday qilib, yulduzning gravitatsion siqilishida uning magnit oqimi o'zgarmasligi kerak:

$$N_q \cdot R_k^2 q N_n R_n^2, \quad (1.18)$$

bu erda N_q , N_n - Quyosh va neytron yulduz sirtidagi magnit maydon kuchlanganligi. Kuzatishlardan $N_q \approx 10^2 \text{ AG'm}$ ma'lum, u holda (1.18) dan neytron yulduz magnit maydonining kuchlanganligi uchun

$$N_q q N_n \left(\frac{R_k}{R_n} \right)^2 \approx 10^2 \frac{(7 \cdot 10^8)^2}{(10^4)^2} \frac{A}{M} \approx 10^{12} \text{ AG'm} \quad (1.19)$$

natijani hosil qilamiz. Shuni takidlash joizki, Er sharoitidagi fizik laboratoriyalarda nisbatan kichik hajmlarda va qisqa vaqt ($\sim 10^{-6}$ s) davomida hosil qilingan eng yuqori magnit maydon kuchlanganligi $\sim 10^8 \text{ AG'm}$ ga etib borgan, xolos.

1967 yili Kembrij universitetining Kavendish laborato-riyasida radioteleskop yordamida kosmik manbalardan kelayotgan aniq davr bilan o'zgarib turuvchi radionurlanish topildi. Dastlab bunday radiosignal Erdan tashqaridagi tsivilizatsiya vakillari tomonidan yuborilgan deb taxmin qilindi. Keyinchalik bunday sirli radionurlanish manbai o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'lgan o'z o'qi atrofida tez (radiochastota bilan) aylanuvchi va o'ta kuchli magnit maydonga ega bo'lgan neytron

yulduz degan fikrga kelindi. Ana shunday yulduzlar pulpsarlar deb nomlanadi. Pulpsarning neytron yulduz ekani va uning o'ta yangi portlash qoldig'i bilan bog'liqligi haqidagi g'oyalar 1968 yili Qisqichbaqasimon tumanlikda sekundiga 30 marta chaqnaab-so'nib turuvchi pulpsar topilgandan keyin hamda bu pulpsar va tumanlik 1054 yili Xitoy astronomlari tomonidan kuzatilgan o'ta yangi portlash qoldiqlari ekanligi isbotlangandan keyingina ko'pchilik tomonidan tan olindi. Pulpsarlarning intensivlik bo'yicha davriy o'zgarib turuvchi radionurlanishi aylanuvchi neytron yulduzlarda mavjud bo'lgan o'ta kuchli magnit maydon bilan bog'liqdir (bu haqda quyida batafsilroq fikr yuritamiz). Hozirda ana shunday pulpsarlardan yuzdan ortig'i ma'lum.

Pulpsarlarning gravitatsion maydonini o'rganish uchun Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasidan (UNN) foydalanish zarur. Haqiqatan, agar neytron yulduz uchun $\beta qv^2 G's^2 q^2 |\varphi| G's^2$ parametrni (bu erda $\varphi q - GM_n G'R_n$ - gravitatsion maydon potentsiali) baholasak

$$\beta = \frac{v^2}{c^2} = \frac{2|\varphi|}{c^2} = 2 \frac{GM_n}{c^2 R_n} \sim \frac{2 \cdot 6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{(3 \cdot 10^8)^2 \cdot 10^4} \approx 0,3, \quad (1.20)$$

ya'ni pulpsarlar uchun $|\varphi| \sim s^2$ yoki $v \sim s$ natija kelib chiqadi. Pulpsarlar sirtida zarrachalar-neytronlar gravitatsion maydon ta'sirida $v \sim s$ relyativistik tezlikka erishadilar. Shu sababdan neytron yulduzlar yaqinida fazo sezilarli egrilanishga uchraydi, vaqt o'tishi esa sekinlashadi.

Barqaror neytron yulduzlar (pulpsarlar) uchun ham xuddi oq mittilar kabi massaning yuqori chegaraviy qiymati mavjud - $M_{n, ch}$. Hisoblashlar $M_{n, ch} \approx (2 \div 3)M_q$ ekanligini ko'rsatadi. Massasi bu qiymatdan katta bo'lgan neytron yulduzlar barqaror bo'lmasdan (neytronlarning relyativistik kvant bosimi gravitatsion bosimni kompensatsiyalay olmay qoladi), balki gravitatsion siqilish (kollaps) da davom etadi va oxir-oqibatda qora teshiklarga aylanadi. Shunday qilib, normal yulduz so'nishidan keyin oq mitti, neytron yulduz va pulpsar yoki qora teshik kabi kosmik jismlardan biri hosil bo'ladi. Massiv qora teshiklarda gravitatsion kollaps o'ta yangi portlashga va yangi yulduzlar tug'ilishiga yoki gravitatsion to'lqinlarning nurlanishiga olib kelishi mumkin.

Ixtiyoriy M massali ob'ekt gravitatsion radius yoki Shvartsshilpd radiusi deb ataluvchi

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (1.21)$$

radiusgacha siqilganda qora teshikka aylanadi. Undan $R < r_s$ masofadagi zarrachalar va hatto fotonlar ham qora teshikning gravitatsion tortishish kuchini engib, chiqib keta olmaydi, tashqi kuzatuvchi uchun bunday ob'ekt absolyut qora bo'ladi. O'zining (1.21) gravitatsion radiusigacha siqilgan jism o'ziga tushuvchi har qanday signal (zarrani) to'liq yutibgina qolmay, balki o'zidan hech qanday signal chiqarmaydi ham. Shu sababdan bunday ob'ektlar qora teshik nomini olgan. Massasi M_q ga teng bo'lgan ob'ekt uchun $r_s \approx 3 \text{ km}$, o'rtacha zichlik $\rho_s \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ kgG}^3$, ya'ni yadro moddasining zichligidan 1000 marta ortiqdir.

5. O'ta yuqori elektromagnit maydonda modda.

Ma'lumki, elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ va magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ bo'lgan muhitda zaryadi e va tezligi $\vec{v}$ bo'lgan zarraga elektromagnit maydon

$$\vec{F} = e\vec{E} + \frac{e}{c}[\vec{v}, \vec{H}] \quad (1.22)$$

Lorents kuchi bilan ta'sir qiladi. Bu ifodadan ko'rinadiki, modda bilan magnit maydonning o'zaro ta'siri relyativistik hodisadir (vG 's nisbatga bog'liq, v - zaryadli zarraning harakat tezligi, s - yorug'lik tezligi). Atom elektronlari uchun vG 's $\ll 1$ va shu sababdan magnit maydonining modda elektromagnit xossalariga ta'siri v^2G 's² ga proportsional) juda kuchsizdir. Atom ichidagi magnit maydoni kuchlanganligini

$$N_a \approx \frac{P_{ma}}{R_a^3} \quad (1.23)$$

formulaga ko'ra baholaymiz: atom magnit momenti $R_{ma} \approx \frac{eh}{2m_e c} q 9 \cdot 10^{-21} \text{ ergG}^3$,

o'lchami esa $R_a \approx 10^{-8} \text{ cm}$ bo'lganligidan $N_a \approx 7 \cdot 10^5 \text{ AG}^3$ ($1 \text{ AG}^3 = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ E} \cdot 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Gs}$). Kuchlanganligi $N \approx N_a$ bo'lgan magnit maydonlarini "kuchli", $N \ll N_a$ larni esa "kuchsiz" magnit maydonlari deb hisoblaymiz. Vodorod atomi ichidagi elektr maydoni kuchlanganligi

$$E_a q \frac{e}{R_a^2} \approx 6 \cdot 10^{11} \text{ VG'm} \quad (1.24)$$

tartibidadir. Unga mos holda $E \approx 10^{11} \text{ VG'm}$ va $E \ll 10^{11} \text{ VG'm}$ maydonlarni “kuchli” va “kuchsiz” elektr maydonlari deb ataymiz.

Kuchsiz elektromagnit maydon atom ichki elektronlarining energetik holatini sezilarli o'zgartira olmaydi. Moddaning elektrofizik xarakteristikalar, masalan, ϵ dielektrik va μ magnit singdiruvchanlik, n yorug'likni sindirish ko'rsatkichi kabi parametrlar E va N ga bog'liq bo'lmaydi. Elektromagnit to'lqinlarni modda ichida tarqalishi Maksvell tenglamalari, ya'ni chiziqli tenglamalar bilan ifodalanadi. Shu sababdan muhitdagi $\vec{E}$ va $\vec{H}$ ga nisbatan chiziqli elektromagnit hodisalarning qonuniyatlarini o'z ichiga olgan fizik ta'limot “chiziqli elektrodinamika” (xususan, “chiziqli optika”) deb nomlanadi.

Kuchli elektromagnit maydonda ($E \approx 10^{11} \text{ VG'm}$, $N \approx 10^6 \text{ AG'm}$) modda xususiyatlari chiziqli elektrodinamika bilan ifodalanmaydigan yangi sifat o'zgarishlarga uchraydi, maydon intensivligiga ($\sim E_0^2$) bog'liq yangi - effektlar yuzaga chiqadi. Masalan, 14 - ma'ruzada ko'rilganidek, kuchli lazer nurlanishi bilan ta'sirlashayotgan moddada yorug'likning ω , 3ω , 5ω , ... chastotalarda qayta nurlanishi, o'z-o'zidan fokuslanish, muhitning qaytuvchan optik yorqinlashuvi yoki xiralashuvi kabi nochiziqli optika hodisalari kuzatiladi.

O'ta yuqori elektromagnit maydonlar ($E \gg 10^{11} \text{ VG'm}$, $N \gg 10^6 \text{ AG'm}$) tabiatda pulpsarlar, qora teshiklar, kvazarlar kabi Koinot jismlari bag'rida sodir bo'ladi. Misol tariqasida biz quyida faqat pulpsarlarning magnit maydoni va uning ta'sirida vujudga keladigan antiqa radionurlanishga to'xtalamiz, xolos. Neytron yulduz

(pulpsar)ning magnit momenti $\vec{P}_m$ ning yo'nalishi odatda, xususiy aylanish o'qi (burchagiy tezlik vektori $\vec{\omega}$) bilan ustma-ust tushmaydi, balki $\vec{P}_m$ vektor $\vec{\omega}$ atrofida aylanib, fazoda konus sirtini chizadi (pretsessiyalanadi). Mana shunday sharoitda pulpsar magnito-dipolp nurlanish manbaiga aylanib qoladi. Nurlanish chastotasi magnit dipolpning mexanik aylanish chastotasi ω ga teng bo'lib, uning yo'nalishi qat'iy ravishda neytron yulduzning magnit momenti vektori $\vec{P}_m$ ning yo'nalishi bilan

mos tushadi (elektr dipolning nurlanish tekisligi dipol momenti $\vec{d}_g$ ga perpendikulyar bo'lishini esga oling). Ana shu tariqa kosmosda “aylanuvchi moyak modeli” hosil bo'ladi va Erdagi kuzatuvchi bunday yulduzdan radionurlanishning alohida impulslarini qabul qiladi (qachonki aylanuvchi $\vec{P}_m$ vektor kuzatuvchiga yo'nalgan paytlarda). Shu sababdan ham xususiy magnit momentga ega bo'lgan aylanuvchi neytron yulduzlar o'ziga xos bo'lgan pulpsarlar (o'chib-yonuvchi) degan nomni oldi. Qizig'i shundaki, nurlanish chastotasi ham, nurlanish impulsining o'zgarish chastotasi ham bir xil - ω . Hisoblashlar ko'rsatadiki, magnito-dipolp nurlanish intensivligini

$$I \sim P_m^2 \omega^4 G' c^3 \quad (1.25)$$

ifodalash mumkin. Agar (1.23) ni e'tiborga olsak, (1.25) ni pulpsarning nurlanish uchun

$$I \sim \frac{1}{c^3} H_n^2 R_n^6 \omega_n^4 \quad (1.26)$$

ko'rinishda qayta yozsa bo'ladi. Oxirgi ifodaga yuqoridan bizga ma'lum $N_n \approx 10^{12}$ $AG'm \sim 10^{10} E$, $R_n \approx 10^6 \text{ cm}$, $\omega_n \approx 10^4 \text{ c}^{-1}$, $s \approx 10^{10} \text{ cmG's}$ qiymatlarni qo'ysak, $I \approx 10^{40} \text{ ergG'sq} 10^{33} \text{ Vt}$ - nihoyatda katta nurlanish quvvati kelib chiqadi. Erdagi barcha radio va telestantsiyalarning umumiy quvvati 10^9 Vt ga yaqin deb baholanadi. U holda birgina “Kosmik radioperedatchik”ning quvvati Erdagilarni hammasidan ko'ra 10^{24} marta quvvatliroq ekanligi ma'lum bo'ladi.

Pulpsarning faol yashash davrini oson baholash mumkin. Haqiqatan, uning aylanma harakat kinetik energiyasi uchun

$$E_k \frac{I \omega_n^2}{2} \approx M_n R_n^2 \omega_n^2 \sim 10^{30} \cdot (10^4)^2 \cdot (10^4)^2 \sim 10^{46} \text{ J}$$

natijani olamiz. U holda pulpsarning aylanish energiyasi

$$\tau = \frac{E}{I} \sim \frac{10^{46} \text{ Ж}}{10^{33} \text{ Br}} \approx 10^{13} \text{ s} \approx 10^6 \text{ yil}$$

ichida nurlanish energiyasiga o'tadi.

Erning magnit momenti va aylanish o'qi yo'nalishlari ham xuddi pulpsarlar kabi burchak ($\sim 13^\circ$) hosil qiladi. Biroq Er magnit maydoni kuchlanganligi $N \approx 10^{-2} \text{ E}$ va aylanish chastotasi $\omega \cong 10^{-4} \text{ radG's}$ juda kichik. Shu sababdan (1.26) ga ko'ra Erning magnito-dipolp nurlanish quvvati nihoyatda oz va amalda Er magnit maydoni uning aylanishiga deyarli ta'sir qilmaydi.

Elektronlar o'ta yangi yulduzning kuchli magnit maydonida harakatlanganda elektromagnit to'lqinlari - kuchli sinxrotron nurlanish chiqaradi. Shu nurlanishni radioteleskopda qayd qilish bilan kosmik nurlarning elektron komponentasi to'g'risida fikr yuritiladi.

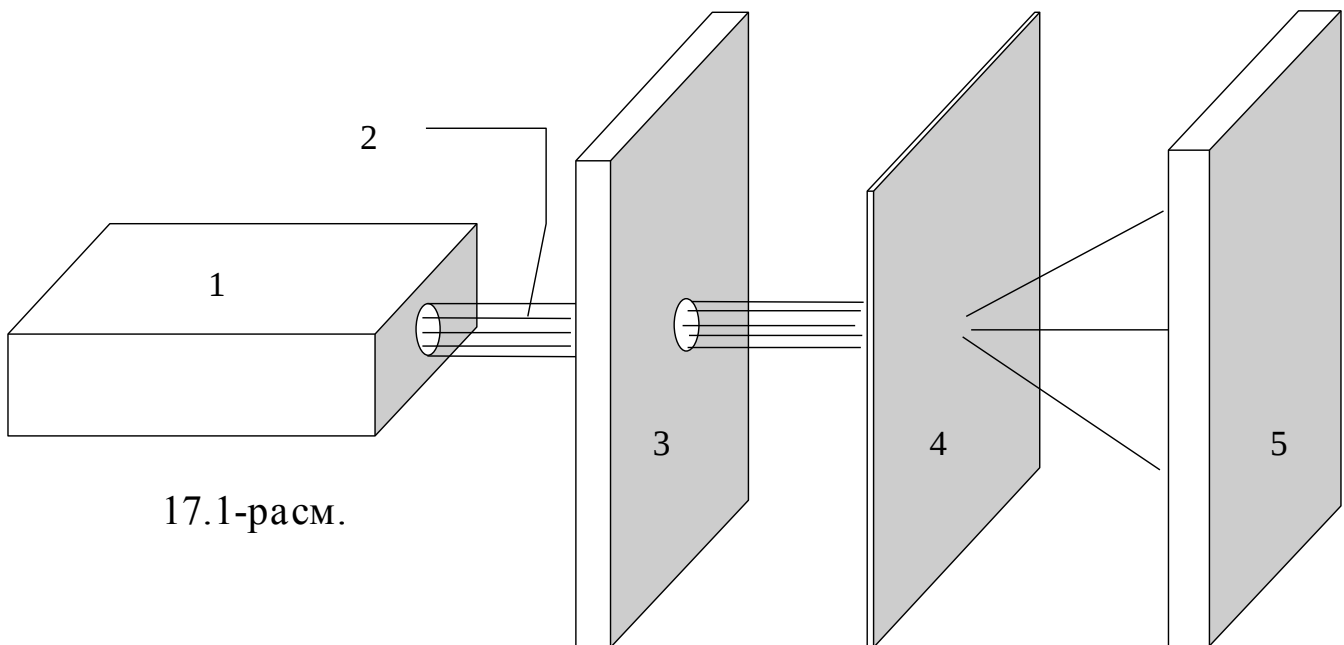
Ma'ruza oxirida qiziq bir holni takidlaymiz. Pulpsar sirtidagi o'ta yuqori magnit maydoni ($N \sim 10^{12} \div 10^{14} \text{ AG'm}$) uning qobig'idagi modda (temir yadrolari va atomlari) holatiga kuchli ta'sir qiladi. Temir atomining elektronlar qobig'i maydon yo'nalishida cho'zilgan ignasimon shaklni oladi va pulpsar qobig'ining moddasi xuddi polimerlar tuzilishini eslatuvchi holatda bo'ladi.

2-BOB

YADRO FIZIKASI ELEMENTLARI

1. Atom yadrosining tuzilishi va asosiy xarakteristikalar.

Atom markazida yadro joylashgan va uning atrofida turli orbitalar bo'yicha elektronlar tinimsiz xarakat qiladi. Atom yadrosi atomning markaziy qismida joylashgan bo'lib, proton va neytronlardan tashkil topgan. Atomning ichki tuzilishi qanday? – bu savol XX asr boshlarigacha echilmay keldi. Shu davrga qadar faqat atomning o'lchami 10^{-8} sm atrofida ekanligi, musbat va manfiy zarralar esa atom ichida muallaq xarakatda ekanligi, hamda elektron massasi atom massasiga nisbatan bir necha ming marta kichik bo'lishligi ma'lum edi, xolos.



1911 yilda Ernest Rezerford azot yadrolarini α -zarralar bilan bombardimon qilganda ulardan vodorod yadrolarini ajralib chiqishini kuzatdi. α -zarralar – elektronini yo'qotgan geliy elementining ionlaridir. Ular radiy va shu kabi elementlarning parchalanishida hosil bo'ladi. α -zarralarning massasi elektron massasidan 8000 marta katta bo'lib, zaryadi musbat va absolyut qiymati elektron zaryadidan 2 marta ortiq ($2e$, $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$).

Rezerford tajribasi quyidagi 17.1 - rasmda keltirilgan. α -zarralar qo'rg'oshin quticha ichida joylashgan 1 manbadan chiqib, 2 tuynukchadan o'tadi va oltin plastinka tomon yo'naladi. α -nurlari maxsus 5 ekranda yorug'lik chaqnashi orqali qayd qilinadi. Tajribaning ko'rsatishicha, ko'pchilik α -zarralar plastinkadan bema'lol o'tgan. Ba'zilar esa ma'lum burchakka burilgan. Ammo shunday α -zarralar ham uchraganki, ular dastlabki yo'nalishidan $135\text{--}150^\circ$ ga teng burchakka burilgan. Folpga-plastinkadan α - zarraning o'z yo'nalishini o'zgartirmay o'tishi oltin atomlarining ichida bo'shliq fazo mavjud ekanligini tasdiqlaydi. Xaqiqatdan ham, zaryadli zarralar atom ichida bir tekis taqsimlanganda edi, Kulon qonuniga ko'ra barcha α -zarralar ma'lum burchakka burilgan bo'lar edi.

Tajriba natijasiga asoslangan holda Rezerford atom yadrosi haqidagi g'oyani ilgari surdi. Bu g'oyaga ko'ra, atomning deyarli hamma massasi va uning musbat zaryadi o'lchami atom o'lchamidan juda kichik bo'lgan yadroda joylashgan. Bu fikrlar atomning planetar modeli, ya'ni atom – markazida massasi atom massasiga yaqin musbat ishorali yadro va yadro atrofida turli orbitalar bo'yicha harakat qiluvchi elektronlar to'plamidan iborat sistemadir, deb uqtiruvchi modelga asos bo'ldi. Rezerfordning hisoblashicha, yadroning o'lchami, diametri $10^{-12} \div 10^{-13} \text{ sm}$ atrofida bo'lar ekan.

Yana bir elementar zarra – neytronni 1932 yil Chedvik aniqladi. Shundan so'ng fizik D.D.Ivanenko va nemis olimi V.Geyzenberg bir-biridan mustaqil ravishda atom yadrosi proton va neytronlardan tashkil topgan, degan fikrni ilgari surdilar. Shu tariqa atom yadrosining proton-neytron modeli yaratildi. Proton va neytronning birgalikdagi

nomi nuklon deb ataladi. Bu nom lotincha **NUCLEUS** yadro degan so'zdan olingan bo'lib, u proton va neytron yadroviy zarralar ekanligini anglatadi.

Proton musbat elementar elektr zaryadga ega bo'lgan zarradir, ya'ni $q = +e$. Proton massasi $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27}$ kg. Neytron esa elektroneytral zarra bo'lib, uning tinchlikdagi massasi $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27}$ kg. Bundan tashqari energiya va massaning ekvivalent qonuniga ($E = mc^2$) asoslanib, massa Joulp larda yoxud elektron * Volptlarda ($1 \text{ J} = 6,2419 \cdot 10^{18} \text{ eV}$) ham ifodalanadi. Demak,

$$m_p c^2 = 1,5033 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 938,28 \text{ MeV}$$

$$m_n c^2 = 1,5054 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 939,57 \text{ MeV}$$

Xar qanday fermionlar (Fermi – Dirak statistikasiga tegishli zarralar) kabi nuklonlarning ham spinlari (Spin – ingliz so'zidan olingan bo'lib burilib aylanish deganidir) yarimga teng, ya'ni $S = \frac{1}{2}$. Elementar zarralar spinlarini kvant sonlari yordamida ana shunday yozish mumkin. Proton yoxud neytronning spini $\frac{1}{2}$ ga teng deyilganda, nuklon spinining ixtiyoriy yo'nalishga (masalan tashqi magnit maydon yo'nalishiga) proektsiyasi

$$\frac{1}{2} \hbar = \frac{1}{2} \cdot 1,054559 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 0,5273 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

ga teng ekanligini tushunishimiz lozim.

Proton va neytronlar xususiy magnit momentlarga ham ega, ularning qiymatlari quyidagicha:

$$\mu_p = 2,79 \mu_N$$

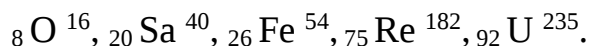
$$\mu_n = -1,91 \mu_N$$

Bu ifodadagi μ_N yadrolar va zarralarning magnit momentlarini o'lchash uchun qo'llaniladigan va yadroviy magneton deb ataluvchi kattalik. Bu tushuncha Bor magnetoniga qiyoslan kiritilgan. Agar Bor magnetoni ifodasining maxrajidagi elektron massasi m_e o'rniga proton massasi m_p qo'ysak, yadroviy magnetonning ifodasi hosil bo'ladi:

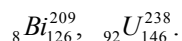
$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p} = 5,0508 \cdot 10^{-27} \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{J}}$$

D.I.Mendeleev davriy jadvalidagi elementlarning tartib nomeri Z shu element atomi yadrosining zaryadini aniqlaydi. Yadrodagi nuklonlar soni, ya'ni yadro tarkibidagi barcha protonlar soni Z va barcha neytronlar soni N ning yig'indisi

Yadrolarni belgilashda elementning ximiyaviy simvolidan foydalanib, simvolning yuqoridagi o'ng tomonida yadroning massa soni yoziladi. Masalan: Li^7 , Au^{197} va hokazo. Ba'zan simvolning pastki chap tomonida elementning tartib nomeri (protonlar soni) ham qayd qilinadi:



Ba'zi hollarda esa yadrodagi protonlar va neytronlar sonini aks ettirish uchun ximiyaviy simvolning pastki o'ng tomoniga neytronlar soni ham yozib qo'yiladi:



Demak, yadroni xarakterlash uchun Z , N va A sonlar qo'llaniladi. Bu sonlardan birontasi o'zgarmas bo'lgan yadrolarni umumlashtiruvchi quyidagi nomlardan foydalaniladi:

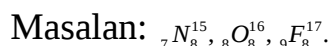
1. Z lari bir xil bo'lgan yadrolar **IZOTOPLAR** deyiladi.

Masalan vodorodning uchta izotopi mavjud bo'lib,

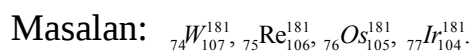


Demak, izotoplar deganda neytronlar soni bilan farqlanuvchi ayni element atomlarining yadrolarini tushunish lozim.

2. N lari bir xil bo'lgan yadrolar **IZOTONLAR** deyiladi.



3. Z va N lari har xil, lekin A qadri Z va N larni bir xil bo'lgan yadrolar **IZOBARLAR** deyiladi.



Yadrolarning impulsc momentlari (yoki oddiygina spinlari) yadro tarkibiga kiruvchi nuklonlarning orbital va xususiy momentlarining vektor yig'indisi shaklida aniqlanadi. Yadrolar spinlarining qiymatlari Z va N larning toq va juftligiga bog'liq:

❖ Z va N lari juft sonlar bilan ifodalangan barcha yadrolar (bunday yadrolar juft-juft yadrolar deb ataladi) ning spinlari nolga teng.

- ❖ Z va N lari toq sonlar bilan ifodalangan yadrolar (bunday yadrolar toq-toq yadrolar deb yuritiladi) ning spinlari butun sonli qiymatlarga (masalan 0,1,2,...) ega bo'ladi.
- ❖ Nuklonlarning umumiy soni A q Z Q N toq sonli qiymatlar bilan aniklanadigan yadrolar (Z-toq, N-juft, yoki aksincha, bo'lishi lozim) ning spinlari $1G'2, 3G'2, 5G'2$ va hokazo qiymatlarga teng bo'ladi.

Yadroning magnit momentini yadro tarkibidagi nuklonlar xususiy magnit momentlarining vektor yig'indisi tarzida ifodalash mumkin emas. Bu fikrimizning isboti tariqasida N^2 (deyteriy) yadrosi ustida mulohaza yuritaylik. N^2 yadrosi bitta proton va bitta neytrondan tashkil topgan. Uning spini 1 ga teng. Bundan proton va neytronning spinlari bir xil yo'nalishga ega (chunki $1G'2Q1G'2q1$), degan xulosaga kelamiz. U holda deyteriyning magnit momenti

$$\mu_n \text{ q } \mu_p \text{ q } \mu_n \text{ q } (2,79 - 1,91\mu_{ya}) \text{ q } 0,88\mu_{ya}$$

bo'lishi lozim edi. Tajribalarda esa deyteriyning magnit momenti $0,86\mu_{ya}$ ga tengligi topiladi. Demak, yadroning magnit momentida nuklonlarning xususiy magnit momentlaridan tashqari protonlarning orbital magnit momentlarining hissasi ham mavjud.

Yadro o'lchamlarini aniqlash uchun bir qator tajribalar o'tkazilgan. Bu tajribalarda yadrolarning shakli sferaga yaqinligini va bu sferalarning radiuslari yadroning massa sonini $1G'3$ darajasiga proportsional ekanligi aniqlanadi:

$$R_{ya} \approx 1,3 \cdot 10^{-15} A^{1G'3} \text{ m.}$$

Yadro moddasining

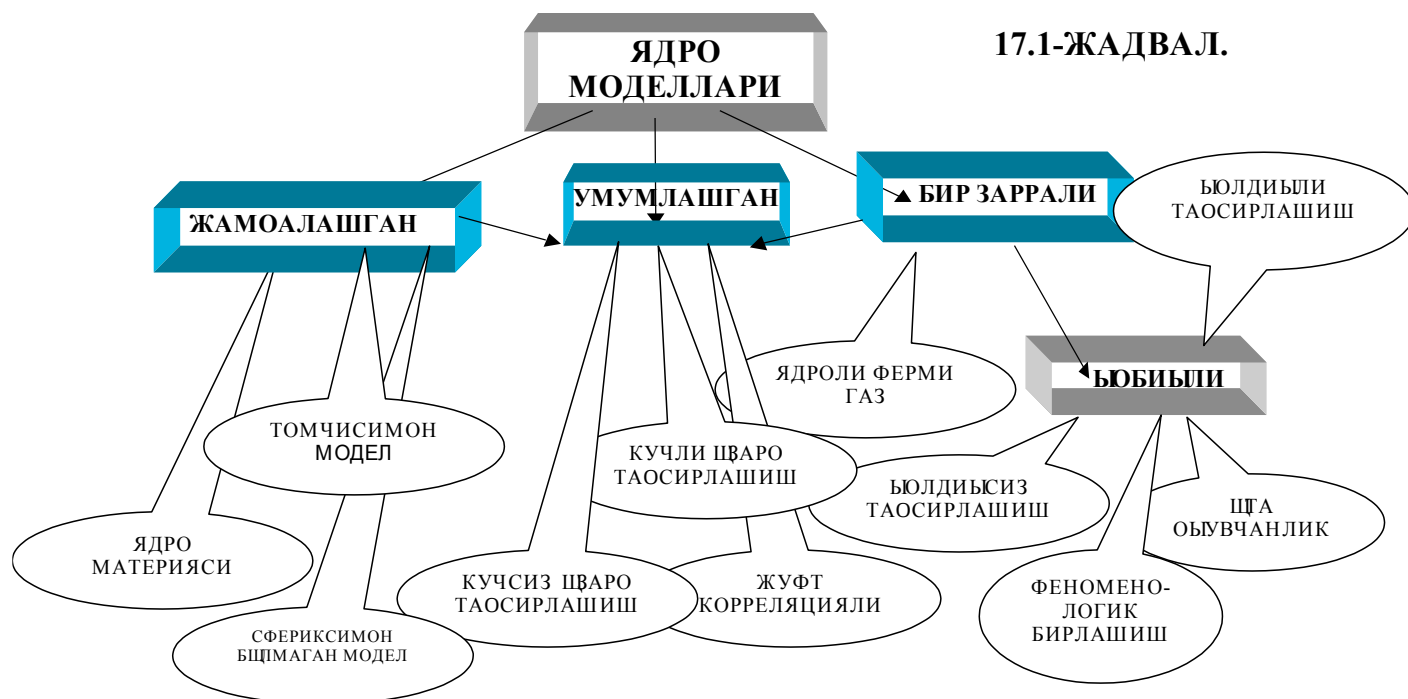
zichligini esa taqribiy ravishda quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\rho_y = \frac{m_y}{V_y} = \frac{A \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\frac{4}{3} \pi R_y^3} \approx 1,8 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad (2.1)$$

Demak, yadro moddasining zichligi yadro tarkibidagi nuklonlar soniga bog'liq emas. Uning qiymati shu qadar kattaki, yadroviy modda zichligidek zichlikka ega bo'lgan jismdan yasalgan, radiusi 200 m chamasidagi sharning massasi Erning massasiga teng bo'lar edi.

2. Yadroviy kuchlar. Yadroning fenomenologik modellari.

Yadro o'lchamlari bilan tanishgandan so'ng quyidagicha mulohaza yuritishimiz mumkin. Yadro tarkibidagi ikki proton orasida, Kulon qonuniga asosan, miqdori



$$F_k = \frac{e * e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \approx 34 \text{ H}$$

bo'lgan o'zaro itarishish kuchi ta'sir kilishi lozim. Og'ir yadrolarda (bu yadrolarda bir necha o'nlab protonlar mavjud) esa, kulon kuchining miqdori bir necha ming npyutonga etadi. Bunday kuchlar ta'sirida yadrodagi protonlar tarqab ketishi lozim edi. Vaxolanki, barqaror yadrolar mavjud. Balki yadrolar barqarorligining sababini nuklonlar orasidagi o'zaro tortishish gravitatsion kuchlarining ta'siri bilan tushuntirish mumkindir. Biroq ikki proton orasidagi gravitatsion kuchning miqdori

$$F_{ep} = \gamma \frac{m_p * m_p}{r^2} \approx 28 * 10^{-36} \text{ H}$$

ga teng, ya'ni gravitatsion kuch kulon kuchidan taxminan 10^{36} marta kichik. Shuning uchun barqaror yadrolarning mavjudligini yadro ichida tortishish xarakteriga ega bo'lgan qudratli yadroviy kuchlar bilan tushuntiriladi.

Yadroviy kuchlarning xususiyatlari tajribada yaxshigina o'rganilgan. Bu xususiyatlarning asosiylari quyidagidan iborat:

1) nuklonlar orasidagi masofa r $(1 \div 2) \cdot 10^{-15}$ m bo'lganda yadroviy kuchlar tortishish xarakteriga, $r < 1 \cdot 10^{-15}$ m masofalarda esa itarishish xarakteriga ega buladi. $r > 2 \cdot 10^{-15}$ m masofalarda yadroviy kuchlarning ta'siri deyarli sezilmaydi;

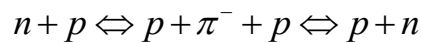
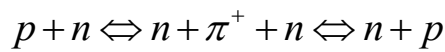
2) yadroviy kuchlarning mikdori o'zaro ta'sirlashayotgan nuklonlarning zaryadli yoxud zaryadsiz bo'lishiga bog'lik emas, ya'ni ikki proton, ikki neytron yoki proton va neytron orasidagi o'zaro ta'sirning kattaligi bir xil bo'ladi;

3) yadroviy kuchlar o'zaro ta'sirlashadigan nuklonlar spinlarining yo'nalishiga bog'liq. Bunga ikkita nuklondan tashkil topgan sistema misol bo'la oladi. Neytron va protonning spinlari faqat parallel bo'lgan taqdirdagina sistema bog'liq bo'ladi, ya'ni deyteriy (N^2) hosil bo'ladi. Spinlari antiparalell bo'lgan neytron va proton N^2 xosil qilmaydi;

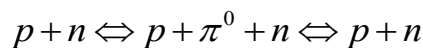
4) yadroviy kuchlar to'yinish xususiyatiga ega, ya'ni har bir nuklon yadrosidagi barcha nuklonlar bilan emas, balki o'zining atrofidagi chekli sonli nuklonlar bilan bir vaqtning o'zida ta'sirlasha oladi. Yadroviy kuchlarning bu xususiyati molekuladagi atomlarning valent bog'lanishini eslatadi. Masalan, vodorod atomi faqat yana bitta atom bilan birikishi, uglerod esa bir vaqtning o'zida boshqa 4-ta atom bilan bog'lanishi mumkin. Ma'lumki, valent bog'lanish molekuladagi atomlarning bir-biri bilan doimo valent elektronlar almashib turishi tufayli vujudga keladi. Vodorod atomining bitta valent elektroni bo'lganligi uchun u bittadan ortiq atom bilan elektron almasha olmaydi. Uglerodni esa, 4-ta valent elektroni bor. Shuning uchun u ikki, uch yoki 4-ta atom bilan elektronlar almashib turishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda, valent kuchlarning to'yinish sababi – ularning almashinuvchi kuchlar ekanligida edi. Xuddi shuningdek yadroviy kuchlarning to'yinishi – ularning almashinuvchi kuchlar ekanligidan dalolat beradi. Umuman almashinuvchi kuchlar kvantomexanik tushunchadir. Bunda ikki zarra bir – biri bilan uchunchi xil zarrani doimo almashib turish vositasida bog'langan bo'ladi.

Xaqiqatdan, zamonaviy tasavvurlarga asosan, yadrodagi nuklonlar bir – biri bilan π - mezonlar almashib turadi. π - mezonlar uch xil bo'ladi: musbat π^+ , manfiy π^-

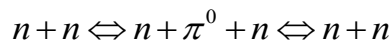
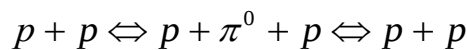
va neytral π^0 . Proton va neytronning o'zaro ta'sirlashishi quyidagicha amalga oshadi: proton π^0 chiqarib o'zi neytronga aylanadi, π^0 -ni neytron yutadi va u protonga aylanadi. Bu jarayonni sxematik tarzda



shaklida yozish mumkin. Bunda proton va neytron orasida zaryad almashinishi ro'y beryapti. Proton va neytron orasidagi o'zaro ta'siri π^0 vositasida ham ro'y berishi mumkin, lekin bu holda nuklonlar zaryad almashmaydi:

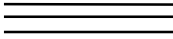
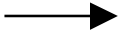
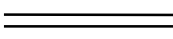
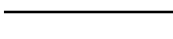
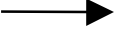
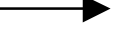


Proton va proton yoki neytron va neytron orasidagi o'zaro ta'sir ham π^0 vositachiligida o'tadi.



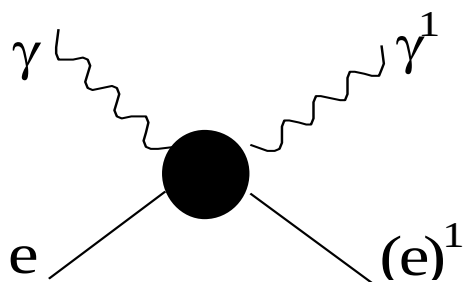
Shunday qilib, nuklonlar doimo mezon chiqarib va yutib turadi, ya'ni ular mezonlar buluti bilan qoplangan bo'ladi. Xususan, neytron o'z umrining ma'lum qismini r Q π^- holatda (bunday holat virtual holat deyiladi) o'tkaziladi. π^- ning orbital xarakati tufayli neytron manfiy magnit momentga ($\mu_p q - 1,91 \mu_{ya}$ ekanligini eslang) ega bo'ladi.

Xuddi shuningdek proton ma'lum muddat n Q π^0 virtual xolatda bo'ladi. Bu vaqt

		Барионлар – учламчи тѣри чизиы
		Пион и каонлар – икки чизиы
		e^- , μ и ν – ингичка тѣри чизиы
		Фотон – ингичка тѣйин чизиы

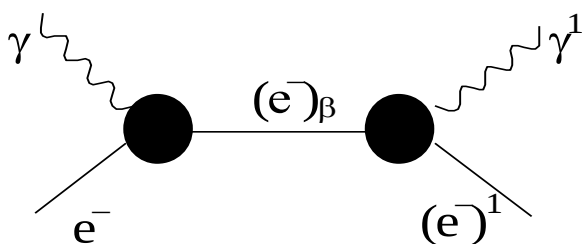
ichida π^0 orbital xarakatda qatnashadi. Shuning uchun protonning magnit momenti μ_{ya} ga emas, balki kattaroq qiymatga yapni $2,79 \mu_{ya}$ ga teng.

Xozirgi zamon tasavvurida yadroning tuzilishini tushunturish uchun juda ko'p sonli modellar mavjud. Ulardan: tomchi yoki gidrodinamik modelp, umumlashtirilgan modelp, qobiqsimon modelp, juft korrelyatsiya modeli, statistik modelp va hokazo.



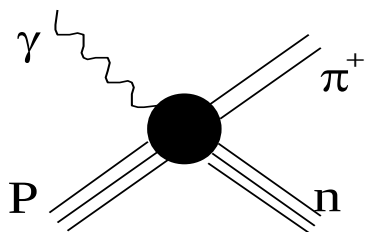
$$\gamma + e \rightarrow \gamma^1 + (e)^1$$

Elementar zarralar o'zaro ta'sirini grafik usulda tasvirlash Feynman diagramalari yordamida olib borilishi mumkin. Ushbu diagrammalar yordamida zarralarni o'zaro ta'sirlashishlari va yangi zarralarni paydo bo'lishini kuzatish mumkin. Zarralarni bir – biridan farq qilishi uchun belgilar qabul qilingan. Tanlab olingan chiziqlar va belgilar aynan shu holda bo'lishi bejiz emas, balki zarralarni kvark tuzilishini ham xisobga olgan. Diagrammadagi har qanday chiziq zarra va uning xolatiga mos ravishda to'g'ri keladi. Feynman taklifiga binoan diagramma chapdan - o'nga yoki pastdan yuqoriga qarab o'zgartirilib boradi.



$$\gamma + e \rightarrow (e^-)_{\beta} \rightarrow \gamma^1 + (e^-)^1$$

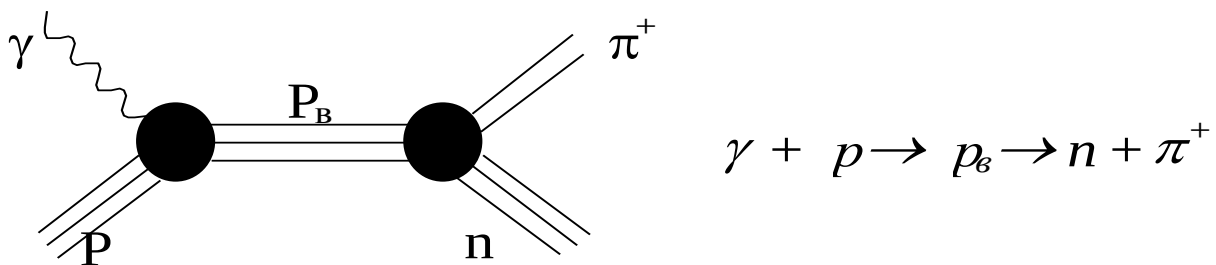
Tushunarli bo'lishligi uchun chiziq yoniga zarraning belgisi ham qo'shib yoziladi. Chap va o'ng tomondan chiziqlarni boshi va oxiri zarra xayoti mavjud ekanligini ko'rsatadi.



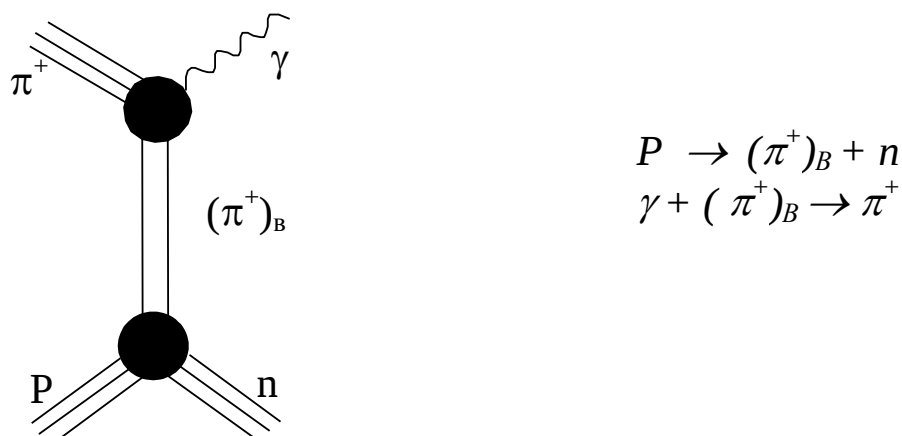
$$\gamma + p \rightarrow n + \pi^+$$

Zarralarni to'qnashgan qismi tugun orqali belgilanadi. Tugun (yoki nuqta) – bu kiruvchi va chiquvchi chiziqlarga ega bo'lgan diarammaning joyiga aytiladi. Tugun orqali butun jarayonni yoki uning bir qismini belgilash mumkin. Masalan, Kompton – effekt.

Umumiy ko'rinish uchun yuqorida keltirilgan diagramma xaqlidir, lekin asosiy jarayonni tushunush uchun virtual fotonni yutulishi va nurlanishini xisobga olish zarur. Ya'ni, tugunni diagramma uchi deb ham ataladi. Doira bilan murakkab jarayon belgilanadi. Ushbu holda jarayon borishi uchun aloxida vaqt va masofalar o'zgarishi kerak. Nuqta bilan esa, elementar jarayon, lokal sodir bo'luvchi, ya'ni bir zum, bir onda fazoning bir joyida siljishsiz sodir qilinadigan jaranni belgilanadi.



Agar elektron chizig'ining bo'sh uchi bo'lmasa, bunday chiziqlar ichki chiziqlar deb ataladi va ko'pincha virtual zarralarga mos keladi. Diagramma tuzish yo'llari bilan tanishib chiqamiz. Misol uchun protonlarda zaryadlangan pionlarni fototug'ulish yo'li bilan paydo bo'lishini olamiz. Bu jarayonni ehtimolligi bor deb xisoblab, virtual fotonni yutilishi va virtual nuklondan pionni paydo bulishi bilan izohlash mumkin.



Fototug'ulishning mexanizmi quyidagicha: oldin nuklon virtual pionni chiqaradi keyin esa virtual pion fotonni yutib oladi

Shunday qilib, Feynman diagrammalari orqali bo'lib o'tayotgan jarayonlarni kuzatibgina qolmasdan, balki oraliqda sodir bo'layotgan fizik jarayonlarni ham, jarayonlarni bir-biriga bog'lanishlarini ham juda sodda yo'l bilan kuzatish mumkin. Shuni takidlash lozimki, Feynman diagrammasidagi tugunlarda barcha saqlanish qonunlari o'z kuchini yo'qotmaydi: zaryadni saqlanish qonuni, izospin, juftlik va ajablik son qiymatlari va h.k.

3. Yadro massasi va bog'lanish energiyasi

Turli kimyoviy elementlar izotoplarining massalari mass-spektrometr deb ataluvchi qurilmalar yordamida etarlicha aniqlik bilan o'lchanadi. Mass-spektrometrlarning tuzilishi 17.2-rasmda tasvirlangan. Ion manbaida (IM) jism atomlari musbat zaryadlangan ionlarga aylantiriladi. So'ngra D_1 va D_2 tirqishli to'siqlar oralig'ida q zaryadli ionlar qU energiyagacha tezlatiladi, ya'ni vakuum kameraga (VK) kirayotgan ionlar uchun

$$\frac{mV^2}{2} = qU \quad (2.2)$$

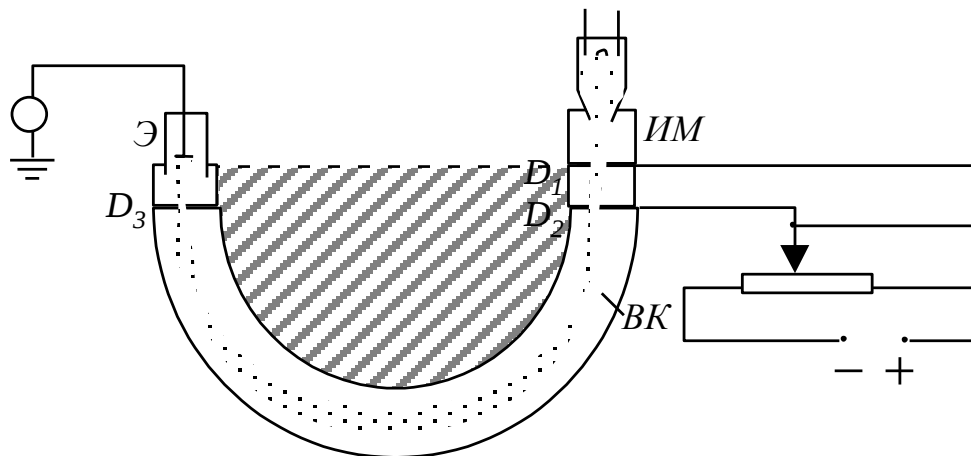
munosabat o'rinli bo'ladi. Bunda m - ionning massasi, V - uning tezligi. Vakuum kamerada ionlarga perpendikulyar yo'nalishdagi bir jinsli magnit maydon ta'sir etadi. Bu maydon ta'cirida ion aylanma tarektoriya bo'yicha harakatlanadi. R radiusli aylana bo'ylab harakatlanayotgan ionga ta'sir etuvchi markazdan qochma kuch induktsiyasi V bo'lgan magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi Lorents kuchiga teng, ya'ni

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

(2.2) va (2.3) tenglamalarni birga echsak,

$$m = \frac{qR^2B^2}{2U} \quad (2.4)$$

ifodani hosil qilamiz. Demak, m massa va q zaryad bilan xarakterlanuvchi ionning induktsiyasi V bo'lgan bir jinsli maydondagi aylanma traektoriyasining radiusi U tezlatuvchi potentsial bilan aniqlanadi.



17.2-pacm.

Shuning uchun tezlatuvchi potentsialni asta-sekin o'zgartirib, ion orbitasining radiusini kamera radiusiga moslashtirish mumkin. Natijada ionlar D_3 to'siqdagi tirqishdan o'tib E elektrometrga tushadi, bu esa o'z navbatida elektrometr tokining qiymatini keskin oshishiga sabab bo'ladi. (17.4) ifodadan foydalanib ion massasi aniqlanadi. Yadro massasi haqida axborot olish uchun ion massasidan uning tarkibidagi barcha elektronlar massalarini ayirish kerak, albatta. Mass-spektrometrlar yordamida olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, yadroning massasi uning tarkibidagi nuklonlar massalarining yig'indisidan kichik. Masalan, Ne^4 yadrosining massasi 4,001523 m.a.b. ga teng. Bu yadro ikki proton va ikki neytrondan tashkil topgan. Bu nuklonlarning umumiy massasi $2 m_p + 2 m_n$ q $(2 * 1,007276 + 2 * 1,008665)$ m.a.b. q 4,031882 m.a.b. ga teng. Demak, Ne^4 yadrosining massasi uning tarkibidagi nuklonlarning umumiy massasidan Δm q $(2m_p + 2m_n) - m_{Ne^4}$ q $(4,031882 - 4,001523)$ m.a.b. q 0,030359 m.a.b. qadar kichik. Bu muammoni qanday tushunmoq kerak? Mazkur savolga javob berish uchun nisbiylik nazariyasining asosiy xulosalaridan biri bo'lgan energiya va massaning ekvivalentligi haqidagi printsipga

murojaat qilamiz. Bu printsipting ta'kidlashicha, agar sistema biror ΔW energiya yo'qotsa yoki qo'shib olsa, uning massasi

$$\Delta m = \frac{\Delta W}{c^2} \quad (2.5)$$

qadar kamayadi yoki ortadi. Shu printsiptga asoslanib yuqoridagi misolni muhokama qilaylik. Ikki proton va ikki neytrondan iborat sistema mavjud. Nuklonlar bir-biri bilan ta'sirlashmaydigan darajadagi uzoqlikda joylashgan (ya'ni izolyatsiyalashgan) xayoliy holni sistemaning bir holati desak, to'rtala nuklon yadro bo'lib bog'langan real holni sistemaning ikkinchi holati deb hisoblash lozim. Sistemaning bu ikki holatdagi massalarining o'zgarishi Δm ga teng bo'lyapti.

Demak, (2.5) munosabatga asosan, nuklonlar bir-biri bilan bog'langanda (yadro tarzida) ularning energiyasi

$$\Delta W \text{ q } \Delta m \cdot s^2$$

ga o'zgaradi. Boshqacha aytganda, Δm - nuklonlarning bog'lanish energiyasini ifodalovchi kattalik.

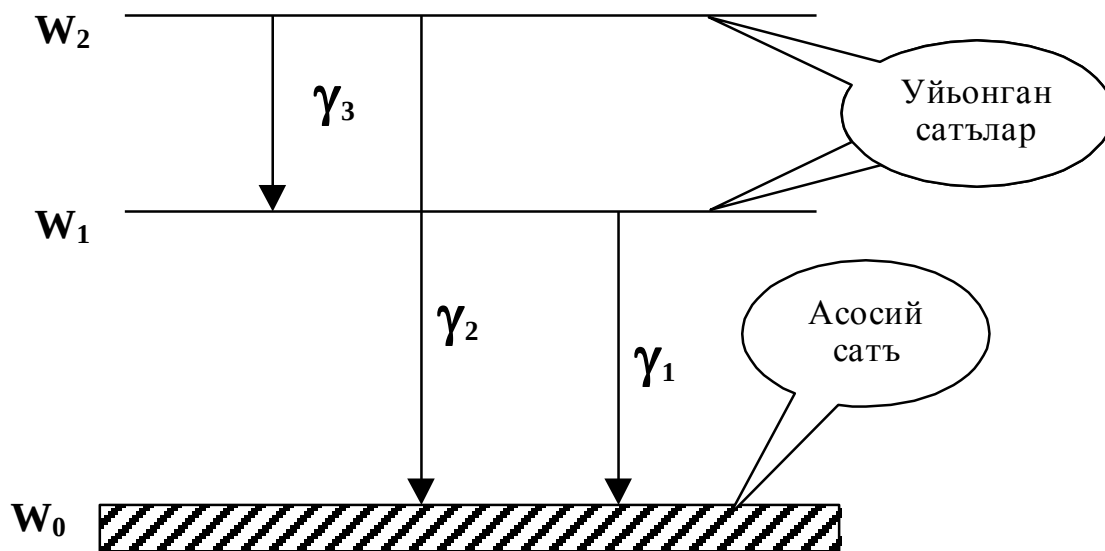
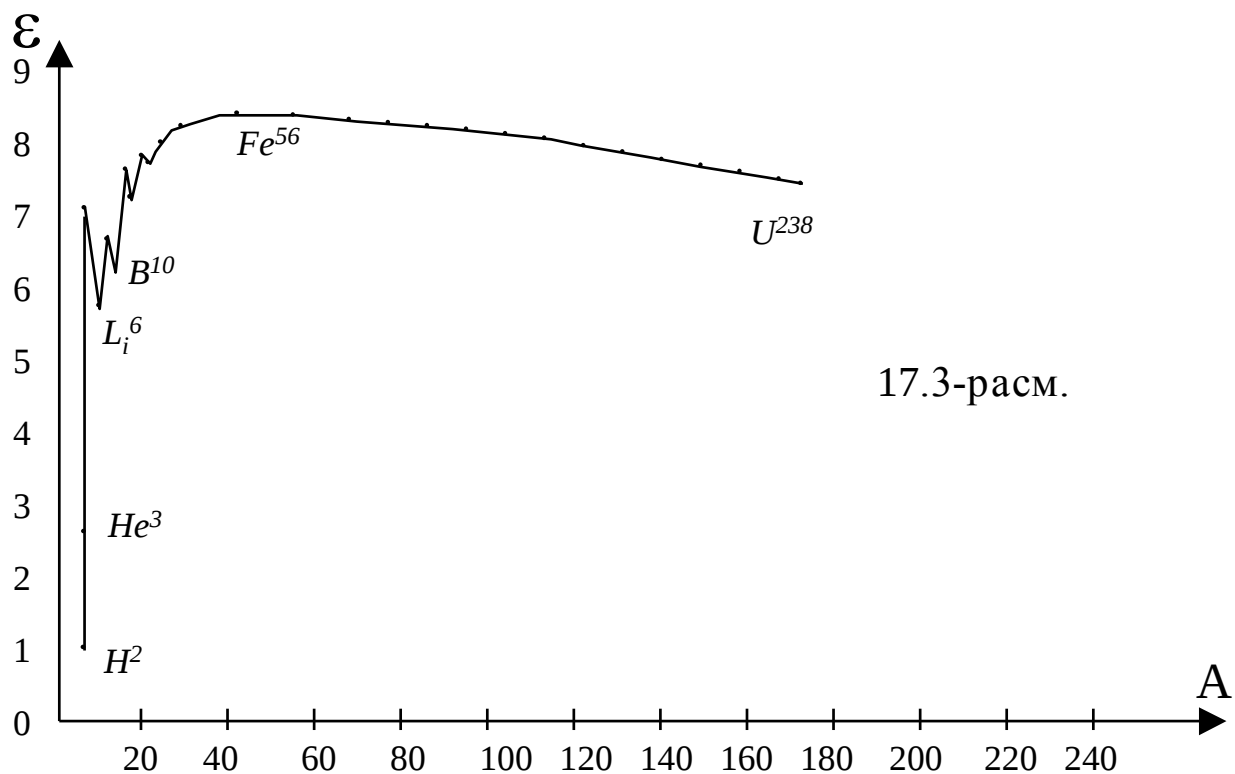
Umuman, fizikada (kimyoda ham) bog'lanish energiyasi deganda shu bog'lanishni butunlay buzish uchun bajarilishi lozim bo'ladigan ish tushuniladi. Xususan, yadrodagı nuklonlarning bog'lanish energiyasi - yadroni tashkil etuvchi nuklonlarga butunlay ajratish uchun sarflanadigan energiyadir. Uning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$W_b \text{ q } (Zm_p + Nm_n - m_{ya})s^2. \quad (2.6)$$

Yadro bog'lanish energiyasining nuklonlar soniga nisbati, ya'ni

$$\varepsilon = \frac{W_b}{A} \quad (2.7)$$

kattalik yadrodagı nuklon bog'lanishining o'rtacha energiyasi deb ataladi. ε ning qiymati qanchalik katta bo'lsa, nuklonni yadrodan ajratish uchun shunchalik ko'proq energiya sarflash kerak bo'ladi. Bu esa o'z navbatida yadroning mustahkamroq ekanligini bildiradi. ε ning turli yadrolar uchun qiymatlari 17.3-rasmda tasvirlangan. Abstsissa o'qi bo'ylab yadrolarning massa soni A joylashtirilgan.



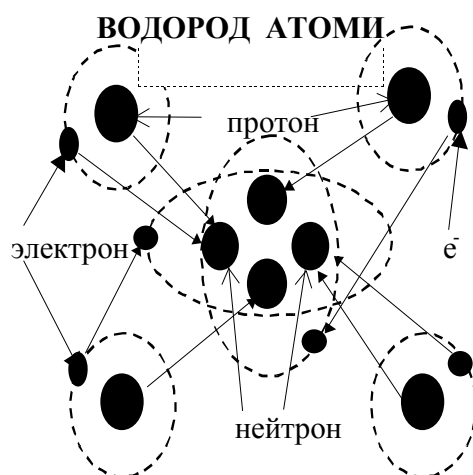
Rasmdan koʻrinishicha, A q $50 \div 60$ da ε ning qiymati maksimumga ($\sim 8,8 \text{ MeV}$) erishadi. Eng kichik qiymat esa N^2 misolida ($\sim 1 \text{ MeV}$) kuzatiladi. Massa soni 3 ga teng

bo'lgan N^3 va Ne^3 yadrolari uchun $\varepsilon \approx 2,5$ MeV. Lekin Ne^4 yadrosida ε ning qiymati 7 MeV ga etadi. Shuning uchun ham Ne^4 juda mustahkam yadro sifatida namoyon bo'ladi. Umuman, Mendeleev davriy jadvalining o'rta qismidagi elementlar yadrolari, ya'ni $40 < A < 120$ bilan xarakterlanuvchi yadrolarda nuklonlar yadro bilan mustahkam bog'langan. Nuklonlar soni yanada oshgan sari ε ning qiymati kamayib boradi. Masalan, uran uchun ε ning qiymati 7,6 MEV ga teng. ε ning A ga bog'liqlik grafigidagi $40 < A < 120$ sohani deyarli gorizontal bo'lishini yadroviy kuchlarning to'yinish xususiyati bilan tushuntiriladi, ya'ni yarodagi har bir nuklon qolgan barcha nuklonlar bilan emas, balki faqat o'zining atrofidagi nuklonlar bilan yadroviy kuchlar vositasida ta'sirlashadi. $A < 40$ sohada esa yadrolardagi nuklonlar soni unchalik ko'p emas. Shuning uchun har bir nuklon yadrodagi barcha nuklonlar bilan ta'sirlashadi. Bu esa o'z navbatida ε ning qiymatini yadrodagi nuklonlar soniga deyarli proportsional o'zgarishiga sabab bo'ladi. Grafikning og'ir yadrolariga mos sohada pasayishini yadrodagi protonlar orasidagi kulon itaraishish kuchlarining roli bilan tushuntiriladi. Haqiqatan, og'ir yadrolarda yadroviy kuchlar to'yingan. Kulon kuchlari esa yadro o'lchamidan katta masofalarda ham namoyon bo'la oladi. Shuning uchun bu kuchlar yadrodagi protonlar soniga monand ravishda ortib boradi va yadroviy kuchlarga qarshilik ko'rsatadi. Bu esa og'ir yadrolarda ε ning qiymatini kamayishiga olib keladi. Z proton va N neytrondan tashkil topgan yadro bog'lanish energiyasining qiymatlari bir necha bo'lishi mumkin. Bu qiymatlar yadroning turli holatlarini ifodalaydi. Xususan, yadroning asosiy holatiga bog'lanish energiyasining eng kichik qiymati W_0 mos keladi. Bog'lanish energiyasining kattaroq qiymatlari esa yadroning uyg'ongan holatlarini xarakterlaydi. Shuning uchun yadro bog'lanish energiyasining mumkin bo'lgan $W_i > W_0$ qiymatlari ayni yadroning energetik sathlarini ifodalaydi. 17.4-rasmda yadroning asosiy va uyg'ongan energetik sathlari tasvirlangan. Yadro bir uyg'ongan holatdan quyiroq uyg'ongan holatga yoki asosiy holatga o'tganda elektromagnit nurlanish chiqaradi. Bu nurlanish gamma-kvant yoki gamma-nur (γ) deb ataladi. Chiqariladigan γ -nurlarning energiyasi yadroning boshlang'ich va oxirgi holatlarini xarakterlovchi energetik sathlar farqiga teng.

Masalan, 17.4-rasmda tasvirlangan γ_1 -kvant energiyasi $W_1 - W_0$ ga, γ_2 - kvant energiyasi esa $W_2 - W_0$ ga teng. Lekin yuqoriroq sathdan quyiroyq sathga o'tishlarning barchasi ham amalga oshavermaydi. Umuman, o'tishlar intensivligi (ya'ni ehtimolligi) sathlarning kvant xarakteristikalariga bog'liq. O'tishlar intensivligining tafsiloti ancha murakkab bo'lib, ular ustida to'xtalmaymiz.

4. Radioaktiv emirilish.

Radioaktivlikni tushunush va u xaqida tasavvurga ega bo'lish uchun geliy atomini – vodorod atomini biriktirish natijasida xosil qilish yo'li bilan ko'rib chiqamiz. Bizga ma'lumki vodorod atomi bitta planetar elektron va yadrodagı protondan tashkil topgan.

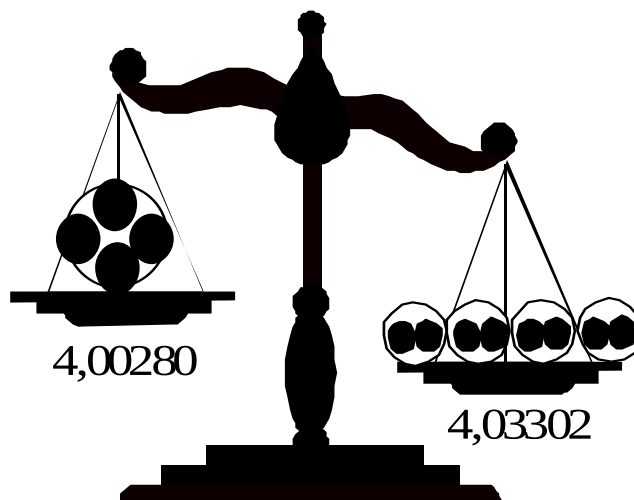


Geliy atomida esa, ikkita planetar elektron va uning yadrosida ikkita proton, ikkita neytronlar mavjuddir. Hullas kalom, geliy atomi to'rtta vodorod atomiga ekvivalentdir yoki to'rt atom birliklariga egadir.

Yuqorida qilingan hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, geliy yadrosi paydo bo'lish jarayonida 0,030359 m.a.b. energiyaga aylanadi. Shu tarzda Quyosh o'z energiyasini qaerdan olayotganini tushinish mumkin bo'ladi.

1896 yilda frantsuz olimi Bekkerelp uran elementidan fotografiya plastinkasiga ta'sir etuvchi noma'lum nurlar chiqishini aniqladi. Keyinchalik bunday nurlarni boshqa elementlar (toriy, radiy, poloniy) ham chiqarishi Pper Kyuri va Mariya Kyuri-Sklodovskayalar tomonidan aniqlandi. Bu hodisa radioaktivlik deb ataldi. Nurlarning o'zi radioaktiv nur nomini oldi.

Radioaktiv nurlarning kelib chiqishi, tabiati, ularning boshqa moddalarga ta'siri kabi qator xossalarini tekshirish keng rivojlandi. Jumladan, bu nurlar magnit maydon ta'sirida, uch yo'nalishda tarqalar ekan.



Birinchi toifa nurlar dastlabki yo'nalishidan o'ng tarafga, ikkinchi toifa nurlar esa chap tarafga burilar, uchinchi xil nurlar esa burilmay o'z yo'nalishida davom etar ekan. O'z - o'zidan ravshanki, magnit maydonda qarama - qarshi tomonga burilgan nurlar turli ishorali elektr zaryadiga ega bo'lishi kerak. Uchinchi nurlarning xususiyati rentgen nurlariga o'xshab ketadi, chunki rentgen nurlariga ham magnit maydon ta'sir qilmas edi.

Radioaktivlikni har tomonlama tekshirish natijasida musbat elektr zaryadiga ega bo'lgan radioaktiv nurlar α - zarralar ekanligi aniqlandi. α - zarralar – o'z elektronlarini yo'qotgan geliy atomlaridir. Manfiy zaryadga ega bo'lgan zarralar elektronlar oqimi ekan, ular β - zarralar deb nom oldi. Magnit maydon ta'siriga uchramagan nurlar chastotasi yuqori bo'lgan γ - nurlardir.

α – zarralar faqat atom yadrosi tarkibi o'zgarishi tufayli chiqishi mumkin. Shuningdek, β - nurlarning chiqishi ham element xususiyatining o'zgarishi, uning

boshqa elementga aylanishi bilan bog'langan. γ - nurlarning manbai ham yadrodagilarning o'zgarishlaridir. Demak, chiqayotgan hamma radioaktiv nurlar atom yadrosidagi o'zgarishlar tufayli vujudga keladi.

Turli radioaktiv elementlar turli tezlik bilan nur chiqarib, boshqa elementga aylanar ekan. Har bir radioaktiv modda uchun aniq vaqt intervali mavjud bo'lib, shu vaqt davomida aktivlik ikki marta kamayadi. Bu vaqt yarim emirilish davri deb ataladi. Agar boshlang'ich $t = 0$ vaqtda mavjud bo'lgan atomlar soni N_0 ga teng bo'lsa, t vaqt o'tgandan keyin qolgan yadrolar soni N quyidagicha aniqlanadi.

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (2.8)$$

Bunda T – yarim emirilish davri.

Radioaktiv yadrolarning vaqt mobaynida kamayishi

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (17.9)$$

formula yordamida ifodalanishi ham mumkin. Bunda λ - emirilish doimiysi bo'lib, u vaqt birligi ichida umumiy yadrolarning qancha qismi emirilishini ko'rsatadi. Emirilish doimiysi λ bilan yarim emirilish davri T o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (17.10)$$

Hozirgi vaqtda yarim emirilish davri qiymati juda katta intervalda o'zgarishi aniqlangan. Masalan, uran uchun T q $4,5 \cdot 10^9$ yil bo'lsa, ba'zi elementlar uchun T q 10^{-6} c ga teng.

Atom yadrosi ikki turga bo'linadi stabil va nostabil. Stabil yadrolarni parchalash uchun tashqaridan katta kuch sarflanishi zarur. Nostabil yadrolar esa, vaqt o'tishi bilan o'z-o'zidan elementar zarralar α -zarralar va boshqa engil yadrolar chiqarib boshqa element yadrolariga spontan holda o'zgarib o'tib qoladi. Yadrolarning bunday xususiyati radioaktivlik va nostabil yadrolarning o'zlari esa, radioaktiv yadrolar deb ataladi. *Radioaktivlik tabiiy va sun'iy turlariga bo'linadi.*

Tabiiy radioaktivlik deb, tabiatda uchraydigan turg'un bo'lmagan izotoplardagi nurlanishlarga aytiladi. Sun'iy radioaktivlik deb esa, yadro reaksiyalari paytida tashkil topgan izotoplardagi nurlanishlarga aytiladi.

Quyidagi jadvalda radioaktivlikning asosiy usullari keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, sochilish usullari o'ziga xos imkoniyatlariga ega.

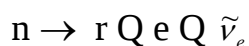
radioaktivlik turlari	Yadro zaryadi o'zgarishi	A sonini o'zgarishi	JARAYON XARAKTERI
Alfa-emirilish	$Z - 2$	$A - 4$	α – zarrani chiqishi – ikki proton va ikki neytron sistemasi, ularni o'zaro birikishi
Beta- emirilish	$Z \pm 1$	A	Neytron (1_0n) va protonni (1_1p) yadroda o'zaro o'zgarishi
β^- emirilish	$Z + 1$	A	${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + ({}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}_e)$
β^+ emirilish	$Z - 1$	A	${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + ({}^0_{+1}e + {}^0_0\nu_e)$
			${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + ({}^0_0\nu_e)$
Elektron tutush	$Z - 1$	A	${}^0_0\nu_e$ va ${}^0_0\bar{\nu}_e$ - elektronli neytrino va antineytrono.
(e – yoki K – tutish)			Qavs ichida yadrodan uchib chiqayotgan zarralar keltirilgan.

Spontan bo'linish	$Z - {}^1_0\text{G} \rightarrow {}^1_0\text{Z}$	$A -$	Yadro, massasi va zaryadi taxminan teng bo'lgan ikkita qismga bo'linishi.
-------------------	---	-------	---

Barcha radioaktivlik turlari qattiq, qiskato'lqinli elektromagnit gamma-nurlanish orqali sodir etiladi. Gamma-nurlanish radiaktiv o'zgarishni tashkil etuvchi va energiyani kamayish sabachilaridan biri. Radioaktiv emirilishni sodir etayotgan yadro «ONA» yadro deb, xosil bo'lgan yadro esa «BOLA» yadro deb ataladi. Bu jarayon o'tayotgan vaqtda foton paydo bo'ladi.

Radioaktiv izotopning yarim emirilish davri T shunday vaqt intervaliki, bu vaqt ichida mavjud radioaktiv yadrolarning yarmi emiriladi. Bu kattalik o'zgarishi juda katta bo'lib, 10^{18} yildan 10^{-10} sekundan xam kichik bo'lishi mumkin.

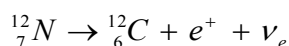
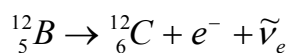
Elektron e^- yoki pozitron e^+ orqali yadroni emirilishi β – emirilish deb ataladi (elektronli – β^- – emirilish, pozitronli – β^+ – emirilish). β - emirilishning uch turi mavjud: β^- - emirilish, β^+ - emirilish, elektron yutish. Elektronli β^- – emirilish deb yadroning neytronlaridan birini proton, elektron va antineytrinoga parchalanishiga aytiladi.



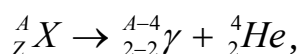
pozitronli β^+ – emirilish esa, quyidagi sxema bo'yicha boradi



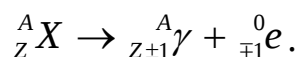
Masalan:



α – emirilish



β – emirilish



5. Myossbauer effekti.

Yadro uyg'otilgan W_1 holatdan asosiy W_0 ga o'tganda energiyasi

$$h\nu \approx W_1 - W_0$$

bo'lgan γ – kvant chiqaradi. Agar yadro xuddi shu energiyali γ – kvantni yutsa u asosiy holatdan W_1 energiyali o'yg'ongan holatga o'tadi. γ – nurlanishning bunday yutilishi rezonans yutilish deyiladi.

Endi, yadro γ – kvant chiqarayotgan vaqtda sodir bo'ladigan quyidagi hodisaga e'tibor beraylik. γ - kvant bitta sistemani tashkil etadi. Buni miltiq va undan chiqib ketayotgan o'qdan iborat sistemaga o'xshatish mumkin. Shuning uchun chiqarilgan γ – kvantning impulsiga miqdoran teng, lekin teskari yo'nalishdagi impulsiga yadro ham ega bo'lishi, ya'ni u «TEPKI» olish mumkin. Bu «tepki» natijasida yadro ma'lum kinetik energiyaga erishadi. Boshqacha aytganda, yadroning uyg'onish energiyasi, ya'ni W_1 q 129 keV faqat γ – kvant energiyasi tarzida nurlantirilmaydi. Aksincha, mazkur energiya γ – kvant massalariga teskari proportsional ravishda sodir bo'ladi. Unchalik murakkab bo'lmagan hisoblar muhokama qilinayotgan misolda yadro «tepki» tufayli $T_{ya} \approx 0,05$ eV kinetik energiyaga erishishini ko'rsatadi. Bu unchalik katta energiya emas, lekin nurlanish chizig'ining tabiiy kengligidan $\approx 10^4$ marta katta. Demak, chiqarilayotgan γ - nurlanishning energiyasi yadroning o'yg'onish energiyasidan T_{ya} qadar kichik, ya'ni $W_\gamma \approx W_1 - T_{ya}$. Bu γ – kvant nishonga tushganda energiyaning T_{ya} ga teng qismi nishon yadrosiga impuls berishga sarflanadi. Natijada nishon yadrosini uyg'otish uchun qolgan energiyaning qiymati $W_1 - 2T_{ya}$ ga teng bo'ladi. Bu esa W_1 energiya bilan xarakterlanuvchi holatni o'yg'otishga etarli emas. Shuning uchun oddiy tajribada γ – nurlanishining rezonans yutilishi kuzatilmaydi.

1958 yilda yosh fizik R. Myossbauer (u 29 yoshda edi) bayon etilgan muammoni hal qilish yo'lini ishlab chiqdi. γ – nurlanish chiqarayotgan yadroning «tepki»sini kamaytirish uchun nihoyat past temperaturadan foydalandi. Manba va nishon 88 K temperaturagacha sovitiladi. Bunday past temperaturalarda kristaldagi yadrolarning issiqlik tebranishlari shu qadar kamayib ketadiki, kristall parchasi faqat mustahkam yagona sistemadek harakatlanishi mumkin, xolos. Bunday kristall tarkibidagi biror yadro

γ – nurlanish chiqarganda «tepki» ni shu yadroning o'zi emas, balki yaxlit kristall parchasi oladi. Kristall parchasining massasi yadro massasiga nisbatan juda katta ($\approx 10^8$ marta) bo'lgani uchun yadrodan γ – kvant chiqarilish jarayonida kristallga «tepki» sifatida beriladigan energiyani amalda nolga teng deb hisoblash mumkin. Shuning uchun bunday «muzlatilgan» kristall tarkibidagi yadrolar chiqarayotgan γ – nurlanishlarni deyarli monoxromatik deb hisoblasa bo'ladi. Deyarli so'zini ishlatishimizning sababi shundaki, bu nurlanishning energetik tarqoqligi mavjud. Lekin bu tarqoqlik γ – nurlanish chiqarish chizig'ining tabiiy kengligidan ortmaydi. U nihoyat kichik $\Delta E \approx 4 \cdot 10^{-11}$. Natijada nishonga tushayotgan γ – nurlanish energiyasi yadroni uyg'otishga etarli bo'ladi. Shuning uchun Myossbauer amalga oshirgan tajribalarda γ – nurlanishning rezonans yutilishi kuzatildi va u Myossbauer effekti nomini oldi.

3-BOB

YADROVIY REAKTSIYALAR

1. Yadroviy reaksiyalar va ularning asosiy qonuniyatlari.

Ikki zarra (ikki yadro yoki yadro va zarra) bir-biri bilan 10^{-15} m lar chamasiga yaqinlashganda yadroviy kuchlarning ta'siri tufayli uzaro intensiv ta'sirlashadi, natijada yadroviy o'zgarishlar vujudga keladi. Bu jarayonni yadroviy reaksiyalar deb ataladi. Yadroviy reaksiyani quyidagicha yozish odat bo'lgan:

$$A + Q + a \rightarrow V + Q + b \quad \text{yoki} \quad A(a,b)B, \quad (3.1)$$

bunda A – boshlang'ich yadro, a – reaksiyaga kirishuvchi zarra, b –yadroviy reaksiyada ajralib chiquvchi zarra, V – yadroviy reaksiyada vujudga kelgan yadro, a va b zarralar – neytron, proton, α - zarra, γ - kvant, engil yadrolar yoki boshqa elementar zarralar bo'lishi mumkin.

Birinchi yadroviy reaksiyani 1919 yilda Rezerford amalga oshirgan. Bunda azotni α - zarralar bilan bombardimon qilish natijasida kislorod va proton hosil bo'lgan. Yuqorida bayon etilgan yadroviy reaksiyalarni yozish usuliga asoslanib mazkur reaksiyani



yoki ixchamroq quyidagi



ko'rinishda ifodalash mumkin.

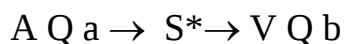
Reaksiyalarning turlari ko'p. Lekin reaksiyaga kirishuvchi zarralarning tabiatiga asoslanib uch sinfga:

- 1) zaryadli zarralar;
- 2) neytronlar;
- 3) γ - kvantlar ta'sirida amalga oshadigan reaksiyalarga ajratish mumkin.

Reaksiyalarni amalga oshish mexanizmi buyicha ularni ikki sinfga shartli ravishda ajratsa bo'ladi:

1.Yadroviy reaksiyalarni oraliq yadro orqali amalga oshishi. Bunda reaksiya ikki bosqichda o'tadi. Birinchi bosqichda zarra yadro tomonidan yutiladi. Vujudga kelgan

sistemani oraliq yadro yoki kompaund yadro deb ataladi. Ikkinchi bosqichda esa oraliq yadro emiriladi. Demak, reaksiya



sxema buyicha amalga oshadi. S^* yadroning (bundagi yulduzcha yadroning uyg'ongan holatini ifodalaydi) yashash davomiyligi ancha katta taxminan (10^{-14} dan 10^{-15}) s bo'ladi. Yadro fizikasida yadroviy vaqt tushunchasidan foydalanish odat bulgan. Yadroviy vaqt deganda energiyasi 1 MeV bo'lgan nuklon ($v \sim 10^7$ mG's ga moc keladi) yadroning diametriga ($\sim 10^{-14}$ m) teng masofani bosib o'tishi uchun ketgan vaqt

$$\tau_{ya} \approx 10^{-14} \text{ m} / 10^7 \text{ mG's} \approx 10^{-21} \text{ s}$$

tushuniladi. Demak, oraliq yadroning yashash davomiyligi yadroviy vaqtdan 10^6 dan 10^7 martagacha katta.

2. Zarrani yadro bilan bevosita o'zaro ta'sirlashuvi tufayli amalga oshadigan reaksiyalar. Misol tariqasida deytton (N^2) ni yadro bilan o'zaro ta'sirlashuvini bayon qilaylik. Yadroga yaqinlashgan deyttonning protonini yadro itarib yuboradi (ikkalasining ham zaryadi musbat bo'lganligi uchun). Deytonning neytroni esa yadroga kirishi mumkin. Natijada deytton bo'linib ketadi, ya'ni uning neytronini yadro yutadi, protoni esa yadroga kirmasdan o'tib ketadi. Buni ba'zan, «uzib olish» reaksiyasi deb ham ataladi.

Yadroviy reaksiyalarni tajribalarda o'rganish tufayli reaksiyalarda saqlanish qonunlarining bajarilishi aniqlandi:

1. Yadroviy reaksiyaga kirishuvchi zarralarning umumiy zaryadi reaksiyada vujudga kelgan zarralarning umumiy zaryadiga teng.

2. Yadroviy reaksiyaga kirishayotgan zarralardagi nuklonlarning tuliq soni reaksiyadan keyin ham saqlanadi, ya'ni reaksiyada hosil bo'lgan zarralar nuklonlarining to'liq soniga teng bo'ladi. Bu ikki qonunning bajarilishini quyidagi jadvalda keltirilgan yadroviy reaksiyalar misolida tekshirib ko'rish mumkin.

Yadroviy reaksiya	Elektr zaryadi	Nuklonlar soni
$N^{14} + \alpha \rightarrow O^{17} + p$	7 Q 2 q 8 Q 1	14 Q 4 q 17 Q 1
$H^2 + H^2 \rightarrow He^4 + n$	1 Q 1 q 2 Q 0	2 Q 2 q 3 Q 1
$Li^7 + p \rightarrow Be^7 + n$	3 Q 1 q 4 Q 0	7 Q 1 q 7 Q 1
$S^{32} + n \rightarrow P^{32} + p$		
$Be^9 + \gamma \rightarrow 2He^4 + n$		

3. Yadroviy reaksiyalarda massaning saqlanish qonuni (va energiyaning saqlanish qonuni ham) bajariladi. Bu ikki qonunni birgalikda bayon qilmoqchiligimizning sababi massa va energiya o'zaro $W \propto v^2$ munosabat bilan bog'langanligidadir. Yadroviy reaksiyani (18.1) belgilanishiga amal qilaylik. U holda yadroviy reaksiyaga kirishayotgan zarralarning tinchlikdagi massalarini m_A va m_a deb, reaksiyada vujudga kelgan zarralarnikini esa m_B va m_b deb belgilaymiz. Ularning kinetik energiyalarini mos ravishda T_A , T_a , T_B , T_b deb belgilaylik. Natijada reaksiyaga kirishayotgan zarralar to'liq energiyalarining yig'indisi reaksiyada vujudga kelgan zarralar to'liq energiyalarining yig'indisiga tengligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$m_A s^2 + T_A + m_a s^2 + T_a = m_B s^2 + T_B + m_b s^2 + T_b$$

Mos hadlarni gruppallasak, bu ifoda quyidagi

$$[(m_A + m_a) - (m_B + m_b)]c^2 + (T_A + T_a) - (T_B + T_b) = 0$$

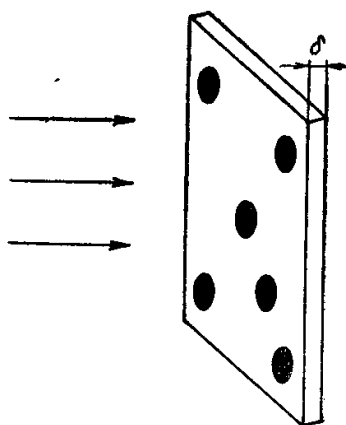
ko'rinishga keladi. Bu tenglikning o'ng tomoni reaksiya natijasida vujudga keladigan energiya o'zgarishini ifodalaydi. Yadroviy reaksiyada ajralib chiqadigan yoki yutiladigan energiyani reaksiya energiyasi deb ataladi va odatda, Q harfi bilan belgilanadi. U holda

$$Q = [(m_A + m_a) - (m_B + m_b)]c^2 + (T_B + T_b) - (T_A + T_a). \quad (3.3)$$

Agar $Q > 0$ bo'lsa, zarralar tinchlikdagi massasining kamayuvi hisobiga zarralar kinetik energiyasining ortishi kuzatiladi. Bu holda ekzoenergetik, reaksiya amalga oshayotgan bo'ladi. Ekzoenergetik reaksiya ($T_A > T_B$) ning har qanday qiymatida ham amalga oshadi. Faqat zarra zaryadli bo'lgan holda uning energiyasi yadro elektr maydonining qarshiligini (odatda, uni kulon to'sig'i deyiladi) engishga etarli bo'lishi kerak, albatta.

Agar $Q < 0$ bo'lsa, endoenergetik reaksiya sodir buladi. Bunda zarralar kinetik energiyasining kamayuvi hisobiga ularning tinchlikdagi massalari ortadi. Shuning uchun reaksiyaga kirishayotgan zarralar kinetik energiyalari etarlicha katta bo'lishi, ya'ni ($T_A > T_B$) q $|Q| > (T_B - T_A)$ shart bajarilishi kerak.

Endi yadroviy o'zaro ta'sir ehtimolligini xarakterlash uchun qo'llaniladigan effektiv kesim tushunchasi bilan tanishaylik. Buning uchun quyidagi xayoliy tajriba



ustida mulohaza yuritaylik. Nishon sifatida qo'llanilayotgan bir jinsli jism tarkibidagi yadrolar kontsentratsiyasi, ya'ni birlik hajmdagi yadrolar soni p bo'lsin. Nishonning qalinligi δ shunday bo'lsinki, (18.1-rasm), undagi yadrolar bir-birini to'smasin. Bu nishonga tushayotgan zarralarning zichligi (ya'ni nishonning birlik yuzidan birlik vaqtda o'tadigan zarralar soni) N bo'lsin. Bu zarralarning hammasi ham

18.1-pacm.

nishondagi yadrolar bilan to'qnashmaydi, albatta. Chunki to'qnashish sodir bo'lishi uchun zarra nishondan uchib o'tayotganda uning yo'lida yadro mavjud bo'lishi kerak. Agar yadroni radiusi r_{ya} bo'lgan sharcha deb tasavvur qilsak, uning ko'ndalang kesimi $\sigma' = \pi r_{ya}^2$ yuzli doira bo'ladi. Nishonning birlik yuziga mos kelgan hajmdagi yadrolar soni $p \delta$ ga, bu yadrolar kesimlarining umumiy yuzi esa $\sigma' p \delta$ ga teng bo'ladi. Bu yuzning qiymati kanchalik katta bo'lsa, nishonga tushayotgan zarrani yadrodan birortasi bilan to'qnashishining ehtimolligi shunchalik katta bo'ladi. U holda nishondagi yadrolar bilan to'qnashadigan zarralar soni

$$\Delta N \approx N \sigma' p \delta$$

ifoda bilan aniqlanadi. Agar $N \ll 1$ (ya'ni nishonning birlik yuziga birlik vaqtda bitta zarra tushmoqda) va $p \ll 1$ (ya'ni nishonning birlik yuziga mos keluvchi hajmda bittagina yadro mavjud) bo'lsa, $\Delta N \ll \sigma'$ bo'lib qoladi. Demak, yuzi bir birlikka teng nishon hajmida bittagina yadro mavjud bo'lgan holda bu nishonga birlik vaqtda bitta zarra tushadigan bo'lsa, uning yadro bilan to'qnashish ehtimolligi miqdoran yadroning ko'ndalang kesim yuziga teng ekan. Lekin zarra yadro bilan to'qnashganda hamma vaqt ham biz qiziqayotgan yadroviy reaksiya sodir bo'lavermaydi. Umuman, yadroviy reaksiyani sodir bo'lish ehtimolligi zarra va nishonning parametrlariga, ayniqsa, zarraning energiyasiga bog'lik. Bundan tashqari yadroviy reaksiyani qattik zarra bilan sferik shakldagi qattiq yadroning to'qnashishi kabi tasavvur qilish ham haqiqatga unchalik mos kelmaydi. Natijada yadroviy reaksiyani sodir bo'lish ehtimolligi zarrani yadro bilan to'qnashish ehtimolligidan miqdoran farq qiladi. Boshqacha qilib aytganda, biror yadroviy reaksiyani sodir bo'lish ehtimolligi aslida σ' ga emas, balki undan farqlanuvchi σ qiymatga ega bo'ladi. Bu qiymat yadroning ko'ndalang kesimiga emas, balki qandaydir effektiv kesimga mos keladi. Shuning uchun yadroviy reaksiyaning sodir bo'lish ehtimolligini effektiv kesim orqali xarakterlash odat bo'lgan. Effektiv kesim m^2 larda o'lchanadi.

1932 yilda D.Chedvik α -zarralar ta'sirida vujudga keladigan «berilliy nurlanishi» massasi proton massasiga yaqin bo'lgan elektroneytral zarralardan iborat, degan fikrni ilgari surdi. Bu fikrga asoslanib Chedvik mavjud tajriba natijalarini miqdoriy jixatdan ham izohlab berdi. Neytronlar deb nomlangan zarralar shu tarzda kashf etildi. Shunday qilib, neytronlar kuzatilgan birinchi yadroviy reaksiyani

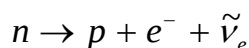


shaklda yozamiz. Bu reaksiyadan hanuzgacha neytronlarning ixchamgina manbai sifatida foydalaniladi. Bunday manbalarni berilliy metalliga α - nurlanish chiqaradigan preparat aralashtirib hosil qilinadi. Masalan, 1g radiyga bir necha gramm berilliy aralashtirilsa, sekundiga taxminan 10^7 neytron chiqaradigan manba hosil bo'ladi. 1 g poloniy aralashtirilgan (Ro - Be) manbadan sekundiga chiqariladigan neytronlar soni $3 \cdot 10^6$ ga etadi. Bu ikkala manba chiqaradigan neytronlar energiyasi keng intervaldagi

qiymatlarga ega. Agar monoenergetik neytronlar lozim bo'lsa, boshqa reaksiyalardan foydalaniladi. Masalan, Bi^{214} ning 1,78 MeV energiyali γ -kvantlari ta'sirida



reaktsiya tufayli energiyasi ~ 110 keV bo'lgan monoenergetik neytronlar hosil bo'ladi. Erkin holatdagi (ya'ni, yadro tarkibiga kirmagan) neytron β -radioaktiv emirilishga moyil. Uning yarim emirilish davri ~ 12 minut. Emirilish quyidagi



sxema bo'yicha sodir bo'ladi.

Neytronlar biror muxitdan o'tayotganda, muxit atom va molekulalarining elektron qobiklari bilan deyarli ta'sirlashmaydi. Sababi — neytronlarning elektr zaryadga ega emasligidir. Neytronlar faqatgina muhit atomlarining yadrolari bilan ta'sirlashadi, xolos. Bu ta'sirlashuv neytronning tezligiga (ya'ni, energiyasiga) bog'liq. Neytronlarning tezligi bo'yicha shartli ravishda tez va sekin neytronlarga ajratiladi:

1) de-Broyl to'liq uzunliklari ($\lambda_{\text{qhg}} m_n$) yadro radiusi r dan kichik bulgan neytronlar [bunga (0,1 4 50) MeV energiyalar mos keladi] tez neytronlar deb ataladi;

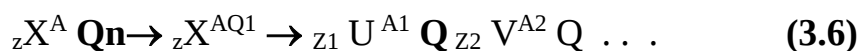
2) neytronlarning de-Broyl to'liq uzunliklari yadro radiusidan katta bo'lgak hollarda (bunga 0,1 MeV dan kichik energiyalar mos keladi) ularni sekin neytronlar deb nomlanadi.

2. Yadrolarning bo'linish reaksiyalari.

E. Fermi (Italiya), I. Jolio - Kyuri va P. Savich (Frantsiya), O. Gan va F. Shtrassman (Germaniya), O. Frish va L. Maytner (Avstriya) lar ning tajribalari va nazariy izlanishlari tufayli neytronlar bilan bombardimon kilingan og'ir yadrolar (masalan, uran) ni ikki qismga bo'linishi aniqlandi. Bundan tashkari neytronlar, elektronlar va γ -nurlanishlarning ham vujudga kelishi kuzatildi. Bu hodisa yadro bo'linishi deb nom oldi. Bo'linish jarayonida vujudga kelgan (Mendelev davriy jadvalining o'rtarog'idagi elementlariga taalluqli) yadrolarni esa bo'linish parchalari deb ataldi.

Bu xodisa ni yadro fizikasiga oid bilimlarimiz asosida talqin qilib ko'raylik. Neytron ${}_Z\text{X}^A$ yadroga kirgach, uning nuklonlari orasida o'ralashib qoladi. Natijada yangi ${}_Z\text{X}^{\text{AQ1}}$

yadro hosil bo'ladi, u esa ikki yadroga, ya'ni, $z_1 U^{A_1}$ va $z_2 V^{A_2}$ yadrolarga bo'linadi. Bo'linish natijasida vujudga kelishi mumkin bo'lgan boshqa zarralar bilan qiziqmasak, mazkur reaksiyani quyidagicha yoza olamiz:



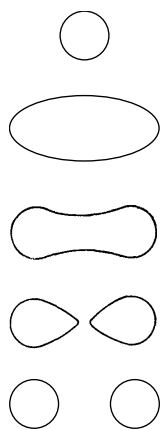
X yadroni U va V yadrolarga ajralish imkoniyati energetik nuqtai nazardan

$$Q \approx (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2) - \epsilon A \quad (3.7)$$

ifodaning ishorasiga bog'liq. (3.7) da ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ lar mos ravishda bo'linish parchalari - U va V hamda X yadrolardagi bitta nuklonga to'g'ri keluvchi bog'lanish energiyalarining qiymatlari. Davriy jadvalning o'rta qismidagi elementlar yadrolari uchun nuklonning yadroga bog'lanish energiyasi (ya'ni, ϵ_1 va ϵ_2 lar) ning qiymatlari jadval oxiridagi og'ir yadrolarniki (ya'ni ϵ) ga nisbatan $\sim 0,8$ MeV katta. Shuning uchun Q ning ishorasi musbat bo'ladi. Bundan tashqari X yadroning nuklonlari U va V yadrolar orasida taqsimlanganligi uchun

$$Z_1 Q Z_2 Q Z \text{ va } A_1 Q A_2 Q \approx A \quad (3.8)$$

deb xisoblash mumkin. Natijada og'ir yadro (masalan, U^{235}) ikki o'rtacharoq yadroga



18.2-расм.

- a). ajralganda $Q \approx A * 0,8$ MeV energiya ajralishi lozim, degan xulosaga kelimiz. Qizig'i shundaki, (3.7) ifoda asosida xisoblashlar massa soni 100 dan katta bo'lgan barcha yadrolar uchun Q ning ishorasi musbat ekanligini ko'rsatdi. Demak, nazariy jihatdan $A > 100$ bo'lgan yadrolar o'z-o'zidan, ya'ni spontan bo'linishi mumkin. U xolda nima uchun spontan bo'linish faqat og'ir yadrolarda kuzatiladi? Xaqiqatan, spontan ravishda og'ir yadroni ikki o'rtacharoq yadroga ajralishi elementlar davriy jadvalining oxiridagi

ba'zi yadrolarda sobiq sovet fiziklari G. N. Flerov va K. A. Petrjaklar tomonidan kuzatildi. Lekin spontan bo'linishning tajribada aniqlangan ehtimolligi juda kichik, ya'ni yarim emirilish davri nihoyat katta. Masalan, uran uchun $0,8 \cdot 10^{16}$ yilga teng. Demak, yukoridagi savolni quyidagicha ifodalasa ham bo'ladi:

nima uchun ikkiga ajralishga nisbatan $Q > 0$ bo'lgan yadrolarning bo'linishini amalga oshirish uchun tashqaridan biror ta'sir berilishi kerak? Bu savolga javob berish uchun yadroning tomchi modelidan foydalaniladi. Mazkur modelda atom yadrosi suyuqlik tomchisiga o'xshatiladi. Shuning uchun yadroning bo'linish jarayonini bayon qilishdan oldin suyuqlik tomchisi ustidagi muloxazalarga to'xtab o'taylik. Agar sharsimon suyuqlik tomchisni astagina turtsak, u deformatsiyalanib, «nafas olayotgandek» tebranadi. Bunda tomchining shakli sharsimondan ellipsoidsimonga, undan yana sharsimonga o'tadi. Shu tarzda ma'lum vaqt tebrangach, tomchi yana sharsimon shaklini oladi, chunki bu shakl tomchi uchun asosiydir. Agar tomchiga berilgan turtki echarlicha katta bo'lsa, tomchi tebranish jarayonida elastik deformatsiyaning kritik nuqtasidan o'tib ketadi. Natijada tomchining boshlanrich sferasimon shaklga qaytish imkoniyati yo'qoladi. Shuning uchun tomchi bir necha bosqichlardan (18.2-rasm) o'tib, ikkiga ajraladi. Yadroning bo'linishi ham tomchinikiga o'xshash bo'ladi. Neytron yadro ichiga kirib nuklonlarga aralashib ketadi va yadroviy kuchlar tufayli yadro bilan bog'lanib qoladi. Bunda neytron yadrodagi nuklonlar «kollektivi»ga o'zining kinetik va bog'lanish energiyalarining yig'indisiga teng miqdordagi energiya beradi. Yadroga berilgan bu energiya suyuqlik tomchisini deformatsiyalash jarayonida berilgan energiyaga o'xshaydi. Neytron olib kirgan energiya ta'sirida yadro bo'linadigan darajada deformatsiyalanmasa, bir qator tebranishlardan so'ng yadro boshlang'ich holatga qaytadi. Tebranish energiyasi esa γ -kvant tarzida nurlantiriladi. Agar neytronning energiyasi yadroga 18.2-v rasmda tasvirlangandek gantelsimon shaklni berishga etarli bo'lsa, endi yadro sferasimon shaklini tiklay olmaydi. Haqiqatan, gantelsimon shaklga kelgan yadroning chekkalarida joylashgan protonlarning o'zaro itarishish kuchlarini yadroviy kuchlar muvozanatlashtirmaydi, chunki yadroviy kuchlar faqat qisqa masofalardagina tortishuv xarakteriga ega. Natijada gantelsimon shakldagi yadro ikki yadroga – bo'linish parchalariga ajraladi. Yadroning bo'linishi uchun etarli darajada deformatsiyalay oladigan energiyaning qiymati bo'linishning kritik energiyasi W_{kr} (yoki aktivlash energiyasi) deb ataladi. Yadro bo'linish xodisasining nazariyasini 1939 yilda N. Bor, J. Uiller va Rossiyalik fizik Ya. I. Frenkel yaratdi. Shu nazariyaga asoslangan yadroning bo'linish

mexanizmini soddalashtirilgan tarzda yuqorida bayon qildik. Endi, yadroning bo'linishida kuzatiladigan neytronlar va elektronlar qanday sabablar tufayli vujudga keladi? degan savolga javob beraylik. Buning uchun yadrolar tuzilishidagi quyidagi qonuniyatga e'tibor beraylik. Elementlar davriy jadvalidagi turli stabil (ya'ni, barqaror) yadrolardagi neytronlar soni N ning protonlar soni Z ga nisbati entil yadrolar uchun taxminan 1 ga teng bo'lsa, og'ir yadrolar soxasiga siljiganimiz sari bu nisbatning qiymati kattalashib boradi. Masalan, O^{16} , Ag^{108} , Va^{137} , U^{238} yadrolari uchun $NG'Z$ ning qiymatlari mos ravishda 1,0; 1,3; 1,46; 1,6 larga teng, Demak, og'ir yadro (masalan, uran) bo'linishi tufayli hosil bo'lgan bo'linish parchalarida ham neytronlar protonlardan anchagina ko'p bo'ladi (chunki $NG'Z$ q 1,6 edi). Bundan tashqari bo'linish parchalari yangigina vujudga kelgan vaqtda nihoyat darajada deformatsiyalangan bo'ladi. Bunday deformatsiyalarga ega bo'lgan yadrolarni o'ta uyg'ongan yadrolar deb ataladi. O'ta uyg'ongan yadroning potentsial energiyasi juda katta. Shuning uchun o'ta uyg'ongan yadro (bo'linish parchasi) «silkinib» o'zidan bir-ikkita neytron chiqarib yuboradi. Neytron chiqarish bo'linish vaqti boshlangandan so'ng 10^{-14} s lar chamasi vaqt ichida sodir bo'ladi. Shu sababli mazkur neytronlar oniy neytronlar deb ataladi. Oniy neytronlar chiqarilgandan keyin ham bo'linish parchalarni tarkibida ortiqcha neytronlar mavjud bo'ladi. Shuning uchun bo'linish parchalari β - emirilishga moyil bo'ladi, ya'ni elektron va antineytron chiqarib neytron protonga aylanadi. Natijada parcha-yadroning zaryadi 1 ga ortadi, neytronlarning soni esa 1 ga kamayadi. Lekin bu yadroda ham neytronlar ortiqcha bo'lishi mumkin. U holda bu yadroda yana β - emirilish sodir bo'ladi. Faqat oxirgi yadrodag $NG'Z$ nisbat barqarorlik (stabillik) shartiga javob beradigan shartni qanoatlantirgandagina β - emirilishlar zanjiri to'xtaydi. Masalan, uranning bo'linishi tufayli hosil bo'lgan bo'linish parchalaridan biri — Xe^{140} ning β - emirilish zanjiri quyidagicha:



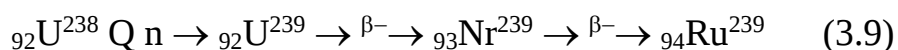
Yuqorida Xe^{140} yadrosini uran yadrosining bo'linishi tufayli vujudga keladigan parchalardan biri deb atadik. Bunday deyishimizning sababi shundaki, uranning 60 ga

yaqin bo'linishi kuzatiladi. Ular ichida bo'linish parchalarining massa sonlari nisbati $A_1G'A_2$ ning $2G'3$ ga yaqin bo'lganlari esa katta ehtimollik bilan amalga oshadi.

3. Zanjir reaksiya. Yadroviy reaktor

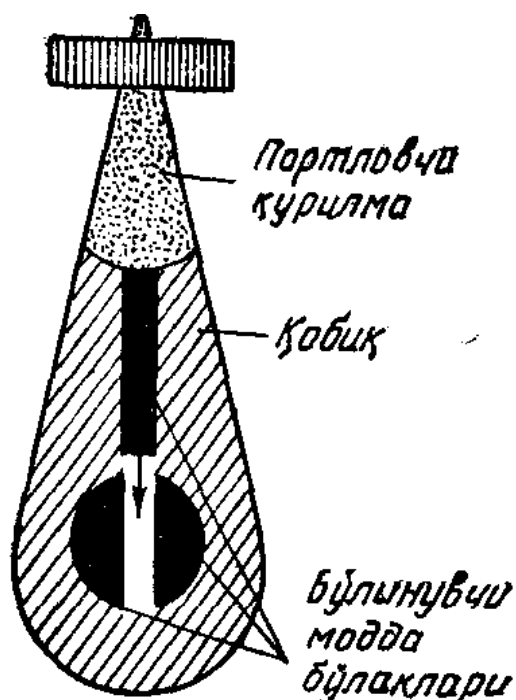
U^{230} yadrosi bo'linishi tufayli ajraladigan energiyaning taxminan $82\div 84\%$ i bo'linish parchalarining energiyasi tarzida, qolgan qismi esa neytronlar ($2\div 3\%$), γ -nurlanish ($5\div 6\%$), elektronlar ($3\div 4\%$) va neytrinolar ($5—6\%$) ning energiyasi sifatida namoyon bo'ladi. Har bir yadro bo'linganda, taxminan 200 MeV energiya ajraladi. Solishtirish maqsadida oddiy ximiyaviy reaksiyalarda (masalan, yonish protsessida) ajraladigan energiyaning xar bir atomga to'g'ri keladigan ulushi atigi bir necha eV ekanligini eslaylik. Demak, yadro bo'linishida ximiyaviy reaksiyadagidan millionlab marta ko'p energiya ajraladi. Shuning uchun og'ir yadrolarning bo'linish xodisasi kashf qilinishi bilanoq, bu reaksiyada ajraladigan energiyadan foydalanish yo'llari izlana boshlandi. Bo'linish energiyasidan foydalanish imkoniyati amalga oshishi uchun shunday sharoit yaratish lozimki, bu sharoitda reaksiya bir boshlangandan so'ng o'z-o'zidan davom eta bo'lsin, ya'ni reaksiya zanjir xarakterga ega bo'lsin. Bunday reaksiyani amalga oshirishga og'ir yadroning bo'linishida vujudga keladigan 2-3 dona neytron yordam beradi. Masalan, birinchi yadro bulinganda ajralib chiqqan 2-3 neytronning xar biri o'z navbatida yangi yadrolarning bo'linishiga sababchi bo'ladi. Natijada 6 - 9 yangi neytronlar vujudga keladi. Bu neytronlar yana boshqa yadrolarni bo'linishiga imkoniyat yaratadi va xokazo. Shu tariqa bo'linayotgan yadrolar va buning natijasida vujudga keladigan neytronlar soni nixoyatda tez ortib boradi. Bayon etilgan tarzda rivojlanadigan protsess - zanjir reaksiyadir. Xisoblarning ko'rsatishicha, birinchi yadro bo'lingandan keyin $7,5 * 10^{-7}$ s vaqt o'tgach $10^{24} \div 10^{25}$ yadro (shuncha yadro taxminan 1 kg uran tarkibida bo'ladi) reaksiyada qatnashgan bo'ladi. Reaksiyani bunday o'ta shiddatli tusda o'tishi – portlash demakdir. Lekin bu mulohazalarda barcha neytronlar yangi yadrolarning bo'linishiga sabab bo'ladi, degan farazdan foydalanildi. Aslida neytronlar boshqa yadrolar tomonidan yutilishi, lekin bu yadro bo'linmasligi mumkin. Yoxud neytronlar bo'linuvchi yadrolar bilan

to'qnashmasdan reaksiya sodir bo'ladigan hajm (ya'ni aktiv zona) dan chiqib ketishi mumkin. Natijada zanjir reaksiya rivojlanmaydi. Demak, zanjir reaksiya rivojlanishi uchun yadroning bo'linishi tufayli hosil bo'lgan neytronlarning o'rta hisobda bittadan ortig'i yangi bo'linishni vujudga keltirishi shart. Umuman, zanjir reaksiyaning rivojlanish tezligi kupayish koeffitsienti K_k ning qiymati bilan xarakterlanadi. Ko'payish koeffitsienti – biror avlod bo'linishlarida vujudga kelgan neytronlar sonini undan oldingi avlod bo'linishlarda hosil bo'lgan neytronlar soniga nisbatidir. Agar $K_k > 1$ bo'lsa zanjir reaksiya rivojlanadi. $K_k < 1$ da reaksiya so'nadi. $K_k \approx 1$ bo'lganda reaksiya bir me'yorda davom etadi. Shuning uchun ko'payish koeffitsientining qiymatiga ta'sir etuvchi faktorlarni o'zgartirish yo'li bilan zanjir reaksiya tezligini boshqarish mumkin. Zanjir reaksiyalarda uran yoki plutoniyning izotoplaridan foydalaniladi. Masalan, tabiiy uran tarkibida 99,282% U^{238} izotop, 0,712% U^{235} izotop va 0,006% U^{234} izotop bor. Tez neytronlar ta'sirida bu izotoplarning barchasi bo'linadi, sekin neytronlar esa faqat U^{235} izotopning bo'linishiga sabab bo'la oladi. Energiyasi 1 MeV dan kichik neytronlar U^{238} yadrosi tomonidan tutiladi va U^{239} hosil bo'ladi. Lekin U^{239} izotop β^- – emirilish natijasida Nr^{239} ga, u esa Ru^{239} ga aylanadi, ya'ni



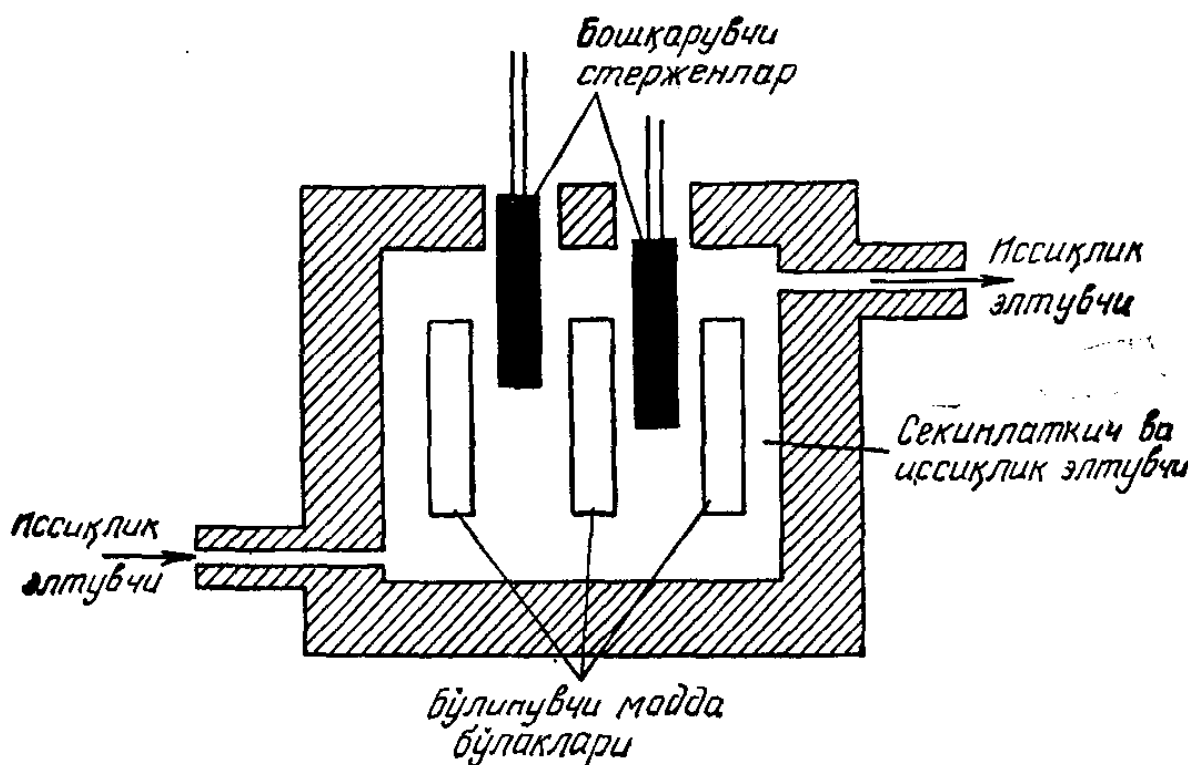
Ru^{239} ham, xuddi U^{235} kabi sekin neytronlar ta'sirida bo'linadi. Bundan tashqari U^{235} va Ru^{239} yadrolarning bo'linishida hosil bo'ladigan neytronlar sonining o'rtacha qiymatlari (ν) mos ravishda 2,46 va 2,90 ga teng. Demak, U^{235} yoki Ru^{239} yadrolaridan foydalanib zanjir reaksiyani amalga oshirish uchun imkoniyatlar mavjud. Faqat neytronlarni reaksiyada qatnashmay aktiv zonadan chiqib ketishini kamaytirish lozim. O'z-o'zidan ravshanki, aktiv zonaning hajmi (bo'linuvchi moddaning massasi shu hajmga proporsional) kanchalik kichik bo'lsa, undan chiqib ketadigan neytronlar soni shunchalik ko'p bo'ladi. Shuning uchun aktiv zona hajmini kattalashtirib borilsa, uning biror qiymatida zanjir reaksiyani amalga oshishi uchun etarli sharoit yaratilgan bo'ladi. Bunday hajmdagi bo'linuvchi moddaning massasini kritik massa (t_{kr}) deb ataladi.

Masalan, sof U^{235} dan tashkil topgan bo'linuvchi modda uchun $m_k \sim 9$ kg. Shunday qilib, bo'linuvchi modda massasining qiymati $m < m_{kr}$ bo'lgan holda neytronlarning ko'payish koeffitsienti $K_k < 1$ bo'ladi, shuning uchun zanjir reaksiya amalga oshmaydi. Aksincha, $t > t_{kr}$ shart bajarilganda $K_k > 1$ bo'ladi (lekin $K_k \leq \nu$), natijada zanjir reaksiya rivojlanadi. Zanjir reaksiya boshkarilmaydigan tarzda amalga oshishi atom bombaning portlash jarayonida sodir bo'ladi. Atom bombaning tuzilishi sxematik tarzda 18.3-rasmda tasvirlangan. Unda bo'linuvchi modda ikki yoki kuproq bo'laklar tarzida tayyorlanadi.



18.3-расм.

Bu bo'laklarning umumiy massasi kritik massasidan katta, lekin har bo'lakning



18.4-расм.

massasi kritik massadan kichik. Shuning uchun har bir bo'lakning o'zida bo'linish zanjir reaksiyasi rivojlanmaydi. Bombaga joylashtirilgan oddiy portlovchi qurilma portlaganida mazkur bo'laklar qo'shilib, zanjir reaksiyani amalga oshishiga sharoit yaratiladi. Bo'linish reaksiyasini boshlab berish uchun kerak bo'ladigan birinchi neytronlar esa bo'linuvchi modda ichida doimo «adashib» yurgan bo'ladi. Masalan, massasi 1 kg bo'lgan uranda spontan bo'linish tufayli sekundiga taxminan 20 neytron vujudga keladi. Bundan tashqari kosmik nurlar ta'sirida ham doimo turli zarralar qatori neytronlar ham vujudga kelib turadi. Atom Bomba portlaganda juda qisqa vaqt ichida nihoyatda katta energiya ajralib chiqqanligi uchun portlash zonasida issiqlik bir necha million gradusga etadi. Bunday issiqlik ta'sirida portlash zonasidagi modda bug'ga aylanadi. O'ta qizigan sharsimon gaz tez kengayishi natijasida juda kuchli zarb to'liqini vujudga kelib, o'z yo'lidagi ob'ektlarni emiradi va kuydirib tashlaydi. Kezi kelganda shuni qayd qilmoq lozimki, mazkur qurolni yadroviy bomba deb atash to'g'riroq

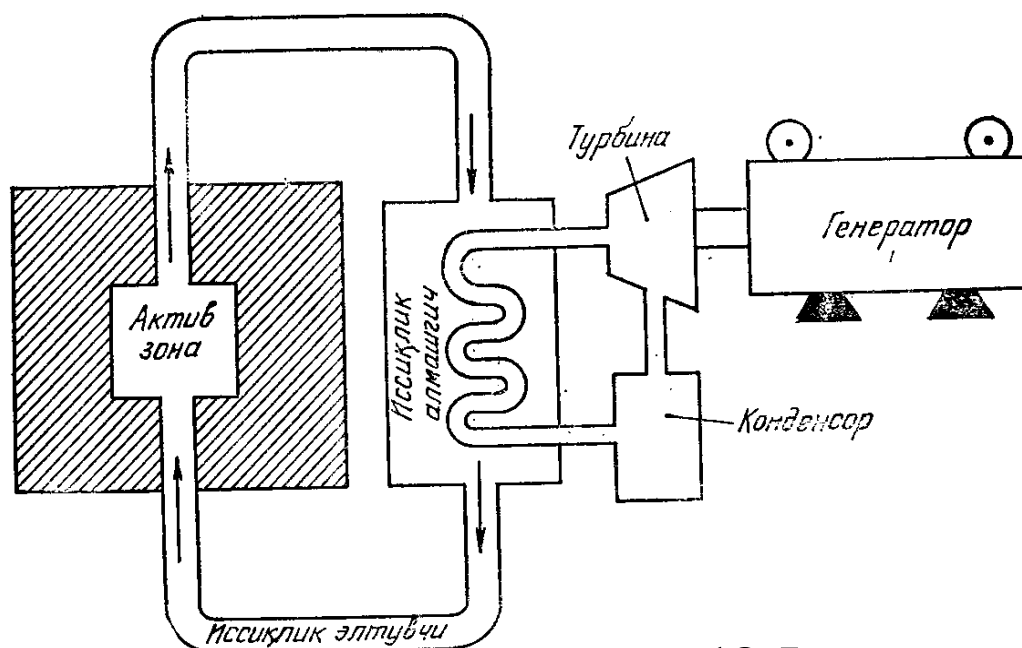
bo'lardi, chunki uning portlashida yadroviy energiya ajraladi- da! Boshqariladigan bo'linish zanjir reaksiyalarini amalga oshirish uchun qo'llaniladigan qurilmani yadroviy reaktor deb ataladi. Bunday qurilmalarda neytronlar ko'payish koeffitsienti K_k ning 1 dan ozgina katta qiymatlarida zanjir reaksiyani boshlash imkoniyati mavjud bo'lishi kerak. U xolda aktiv zonadagi neytronlar konsentratsiyasi va reaktorning quvvati orta boshlaydi. Kerakli kuvvatga erishilganda K_k ning qiymatini aynan 1 ga teng qilib turish imkoniyati bo'lishi kerak. Bu holda zanjir reaksiya o'zgaras tezlik bilan davom etadi, natijada reaktor statsionar rejimda ishlay boshlaydi. Bo'linish zanjir reaksiyasining anchagina variantlari mavjud. Biz hozirgi zamon energetikasida keng foydalanilayotgan issiqlik neytronlar ta'sirida ishlaydigan reaktorlar bilan tanishamiz. Reaktorning asosiy elementi — bo'linuvchi moddadir. Zamonaviy reaktorlarda bo'linuvchi modda sifatida U^{235} izotop bilan boyitilgan tabiiy urandan foydalaniladi. Issiqlik neytronlar U^{235} ni effektiv ravishda bo'linishiga sababchi bo'ladi. Shuning uchun bo'linish reaksiyasida vujudga kelgan tez neytronlarni sekinlatish yo'li bilan issiqlik neytronlarga aylantiriladi. Odatda, sekinlatkichlar sifatida grafit yoki og'ir suv (D_2O) dan, ba'zan esa oddiy suv (H_2O) dan ham foydalaniladi. 18.4-rasmda reaktor aktiv zonasining soddalashtirilgan sxemasi tasvirlangan. Reaktorning aktiv zonasi sekinlatkich modda bilan tuldirilgan. Sekinlatkich ichiga sterjen yoki plastinka shaklida bo'linuvchi modda bo'laklari joylashtiriladi. Zanjir reaksiya tezligini boshqaruvchi sterjenlar yordamida o'zgartirish mumkin. Bu sterjenlar neytronlarni intensiv ravishda yutadigan materiallar (masalan, bor yoki kadmiy) dan tayyorlanadi. Boshqaruvchi sterjenlarning ko'proq yoki kamroq qismini aktiv zona ichiga kiritish yo'li bilan K_k ning qiymatini o'zgartirishga erishiladi. Statsionar rejimda ishlayotgan reaktorning aktiv zonasidagi neytronlar soni normadan ozgina chetga chiqishi (ya'ni K_k ning qiymati 1 dan ozgina farqlanishi) bilanoq, maxsus avtomatik qurilma boshqaruvchi sterjenlarni kerakli tomonga siljitadi.

Yadroviy energiyadan foydalanishga asoslangan qurilmalarning asosiy qismi yadroviy reaktordir. Misol tariqasida atom elektr stantsiya (AES) ning ishlash printsipli bilan tanishaylik. Zanjir bo'linish reaksiyasida ajralayotgan energiya aktiv zonani aylanib yuradigan (18.5-rasm) issiqlik eltuvchiga o'tadi. Issiqlik eltuvchi bu energiyani

issiqlik almashgichdagi suvga beradi, natijada suv bug'ga aylanadi. Bug' esa o'z navbatida generatorning tarkibiy qismi bo'lgai turbinani harakatga keltiradi. Turbinadan o'tgach bug' kondensorda suvga aylanib, yana issiqlik almashgichga boradi. Shu tarzda yadroviy energiya zlektr energiyaga aylantiriladi.

4. Termoyadroviy reaksiyalar

Yadro bog'lanish energiyasining bir nuklonga mos keluvchi qiymati ε ning massa soni A ga bog'liqligini xarakterlovchi grafik (11.2-rasm) ga nazar tashlasak, faqat og'ir yadrolarning bo'linish tufayligina emas, balki juda engil yadrolarpi



18.5-расм.

biriktirish (yadrolar sintezi) usuli bilan ham yadroviy energiyadan foydalanish mumkin, degan fikrga kelamiz. Masalan, deyteriy va tritiyning sintezida α -zarra va neytron hosil bo'ladi, ya'ni



Mazkur reaksiyaning energiyasini (3.3) munosabatga asoslanib hisoblaylik:

$$Q = [(m_{{}_1\text{H}^2} + m_{{}_1\text{H}^3}) - (m_{{}_2\text{He}^4} + m_{{}_0\text{n}^1})] c^2 \sim 17,6 \text{ MeV} \quad (3.11)$$

Demak, reaksiya ekzotermik va unda qatnashayotgan xar bir nuklonga tug'ri keluvchi energiya $\sim 3,5$ MeV ga teng. Taqqoslash maqsadida U^{238} ning bo'linishida ajraladigan energiyaning bitta nuklonga mos keluvchi ulushi $\sim 0,85$ MeV ligini eslaylik.

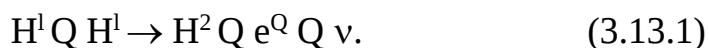
Yadrolar sintezi amalga oshishi uchun ular bir-biri bilan yadroviy kuchlarning ta'siri seziladigan masofa ($r \sim 10^{-15}$ m) gacha yaqinlashishi kerak. Lekin yadrolarning bu darajada yaqinlashishiga kulon itarishish kuchlari tufayli ular orasida vujudga keladigan potentsial to'siq qarshilik ko'rsatadi. Bu to'siqni engish uchun N^2 va N^3 ning sintez reaksiyasida yadrolar

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{(1.16 \cdot 10^{-19})^2}{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-15}} \mathcal{K} \approx 0,7 \text{ MeV} \quad (3.12)$$

energiyaga ega bo'lishi kerak. Demak, to'qnashayotgan yadrolarning har birini kinetik energiyasi $\sim 0,35$ MeV bo'lsa, yadroviy sintez reaksiyasi amalga oshadi. U holda yadrolar sintezi issiqlik harakatning energiyasi (ya'ni $3kTG^2$) tufayli sodir bo'lishi uchun yadrolarni kanday temperaturagacha qizdirish lozim? – degan savolga javob topaylik. Hisoblardan ko'rinishicha bu temperatura $2 \cdot 10^9$ K bo'lishi kerak. Mazkur temperaturani amalda hosil qilib bo'lmaydi. Lekin bunchalik yuqori temperaturaga xojat ham bo'lmasa kerak. Bu fikr quyidagi ikki sababga asoslanadi:

- 1) ixtiyoriy T temperaturadagi gaz molekulalari tezliklarining qiymati Maksvell taqsimotiga bo'ysunadn. Shu sababli Maksvell taqsimotini xarakterlovchi grafikning «dumi» ga mos keluvchi tezliklar bilan xarakterlanadigan yadrolar issiqlik harakat energiyasining qiymatlari $3kTG^2$ dan ancha katta bo'ladi;
- 2) tunnel effekt tufayli yadrolar birikishi uchun lozim bo'ladigan kinetik energiyaning qiymati kulon to'sig'i balandligidan kichik ham bo'lishi mumkin. Shuning uchun N^2 va N^3 yadrolarining $\sim 10^7$ K temperaturada ham etarlicha intensiv birikishi kuzatiladi. Yadrolar sintezi yuqori temperaturalarda sodir bulganligi uchun uni termoyadroviy reaksiya deb ham ataladi. Bu qadar yuqori temperatura yulduzlarda jumladan, Quyoshda mavjud. Quyosh nurlanishining spektrini o'rganish asosida yulduzlar tarkibi, asosan vodorod va geliydan hamda ozgina miqdordagi (~ 1 % cha) uglerod

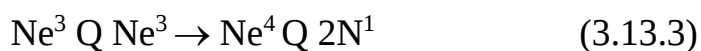
azot va kisloroddan iborat, degan xulosaga kelingan. Quyosh energiyasi uning tarkibidagi yadrolarning sintezi, ya'ni termoyadroviy reaksiyalar tufayli ajraladi. Bu reaksiyalarning variantlaridan biri proton–proton (pp) tsiklidir. Mazkur tsikldagi birinchi reaksiyada ikki proton birikib, deytinni hosil qiladi:



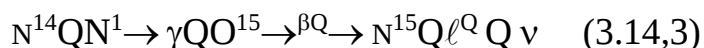
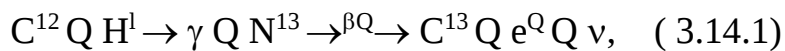
Ikkinchi bosqichda



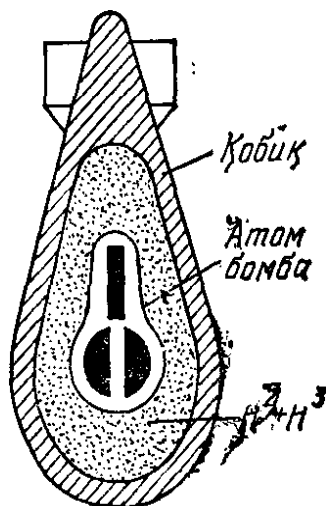
reaksiya amalga oshadi. Shundan so'ng



reaksiyada geliy yadrosi va ikki proton hosil bo'ladi. Bundan tashqari Bete tomonidan taklif etilgan uglerod tsikli amalga oshishi mumkin. Mazkur tsikl quyidagi to'rt bosqichda o'tadi:



Bu tsiklda ham geliy yadrosi hosil bo'ladi. Bundan tashqari tsiklning birinchi bosqichidagi S^{12} yadrosi ham vujudga keladi. U yana yangi tsiklni boshlaydi. Boshqacha aytganda, S^{12} yadrosi uglerod tsiklida «yadroviy katalizator» vazifasini o'taydi. Shuni ham qayd qilmoq lozimki, uglerod tsikli pp—tsiklga nisbatan yuqoriroq temperaturalarda o'tadi. Zamonaviy tasavvurlarga asosan, Quyosh energiyasining manbai asosan pp —tsikldir.



Olimlar sun'iy ravishda termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish usulini topdilar. Buning uchun termoyadroviy reaksiyada qatnashishi lozim bo'lgan modda (masalan, N^2 va N^3 aralashmasi) ichida atom bomba (18.6 -rasm) portlatilsa bas. Atom bomba portlaganda g'oyat qisqa vaqt ichida temperatura $\sim 10^7$ K ga etib, deyteriy va tritiy birikadi, bunda energiya ajralib chiqishi yanada kuchliroq portlash tarzida namoyon bo'ladi. Portlashda vodorod izotoplari qatnashganligidan bayon etilgan printsipta ishlaydigan qurolga vodorod bomba deb nom berilgan. Agar vodorod bombaning devorlariga U^{238} izotop (ya'ni tabiiy uran, chunki uning 99% i U^{238} edi) qoplansa, termoyadroviy reaksiyada ajralib chiqadigan tez neytronlar U^{238} yadrolarining bo'linishiga sababchi bo'ladi. Buning natijasida bombaning portlash quvvati yanada ortadi.

Neytron bomba deb ataluvchi qurolga esa yadroviy sintez reaksiyasi amalga oshishi uchun talab qilinadigan sharoit detonatorlik vazifasini bajaruvchi atom bombani portlatish yuli bilan emas, balki boshqa usullar yordamida vujudga keltiriladi. Neytron bombani xarakterlovchi kriteriy sifatida termoyadroviylik koeffitsienti K_T dan foydalaniladi. K_T - yadroviy sintez reaksiyasida ajraladigan energiyannng portlash vaqtida ajraladigan umumiy energiyaga nisbatadir. Neytron bombada $K_G \sim 0,90 \div 0,95$. Yadroviy sintez reaksiyasida ajralib chiqadigan energiyaning asosiy qismi (~ 80 %) neytronlarning energiyasi sifatida namoyon bo'ladi (mazkur qurolni neytron bomba deb atalishining sababi ham shunda). Shuning uchun neytron bomba portlaganda vujudga keladigan zarb to'lqin anchagina kuchsiz, lekin nurlanish dozasi nihoyat kuchli bo'ladi. Neytronlar muxit atomlarining elektron qobiqlari bilan bevosita ta'sirlashmaydi. Lekin muxit atomlarining yadrolari bilan ta'sirlashuvi tufayli zaryadli zarralar, γ - kvantlar va radioaktiv yadrolar hosil bo'ladi. Bular esa, o'z navbatida boshqa atomlarni ionlashtiradi. Shuning uchun odam organizmiga neytronlarning ta'siri tirik to'qimalarning atom va molekulalarini ionlashtirishdan iborat bo'ladi. Ionlarning aktivligi o'zgacha bo'lganligi uchun sog' organizmda salbiy ta'sir ko'rsatuvchi ximiyaviy birikmalar vujudga keladi. Yadroviy nurlanish, xususan, neytronlar ta'sirida ba'zi murakkab molekulalar, birinchi navbatda iliq, so'ngra qon hosil bo'lish jarayoni, ayniqsa, markaziy nerv sistemasining to'qimalari zararlanadi.

Ovqat xazm qilish yo'li va jinsiy a'zolarining xujayralari ham shikastlanadi. Nurlanishlarning tirik organizmga ta'siri haqida quyidagi tajriba etarlicha tasavvur beradi: maymunlar uzoq vaqt davomida kuniga olti soatdan chambarak aylantirishga, o'n minut aylantirgandan keyin besh minut dam olishga o'rgatilgan. Bunday mehnatdan ular mutlaqo charchamagan. So'ngra maymunlarga neytron - gamma nurlanish bilan ta'sir etilgan. Nurlanishning ekvivalent dozasi 46 zivert ($1\text{Zv} \approx 1\text{J/kg}$) bo'lgan. Nurlangandan besh sekund o'tgach, maymunlar yana chambarak aylantirishga undalgan. Lekin ularning 80% i 8 minut ichida ish qobiliyatini butunlay yo'qotgan. Nurlangandan so'ng 7 - 132 soat ichida barcha maymunlar xalok bo'lgan.

Shuni alohida qayd qilmoq lozimki, quvvati o'n kilo tonna bo'lgan neytron bomba (bunday bombadagi deuteriy - tritiy aralashmasining massasi 130 grammga teng) portlatilganda portlash markazidan bir kilometrcha masofadagi ochiq erda joylashgan odamlarga xuddi yuqorida bayon etilgan tajribadagidek nurlanish ekvivalent dozasi ta'sir etadi.

5.Boshqariladigan termoyadro reaksiyalari.

Yadroviy energetika istiqbollari

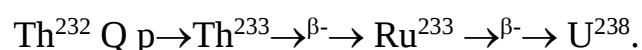
Yadroviy sintez reaksiyasi, hozircha, boshqarilmaydigan tarzda amalga oshirilishi mumkin. Boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish uchun, asosan ikki qiyinchilikni engish kerak. Birinchidan «termoyadroviy yoqilg'i» ning temperaturasini $\sim 10^8\text{ K}$ gacha qizdirish, ya'ni Quyosh temperaturasidan taxminai 10 marta yuqori temperaturalarni olish usulini topish lozim. Bunchalik yuqori temperaturalar zarurligining sababi nimada? Masala shundaki, sun'iy ravishda termoyadroviy reaksiya sodir bo'ladigan qurilmaning hajmi chegaralangan, natijada undan issiqlik yo'qolishi ham Quyoshdagidan ancha katta bo'ladi, albatta. Shuning uchun sun'iy ravishda hosil qilinadigan «mitti quyosh» temperaturasi Quyoshnikidan ancha yuqori bo'lishi lozim. «Termoyadroviy yoqilg'i» bunday yuqori temperaturalarda termoyadroviy plazmaga aylanadi. Berk hajmdagi plazma kamera

devorlari bilan kontaktga kiradi va unga issiqlik berib soviydi yoki xuddi vodorod bomba misolidagidek kamerani eritib yuboradi. Shuning uchun termoyadroviy plazmani berk hajmda biror muddat davomida saqlab turish muammosi tug'iladi. Bu ikkinchi qiyinchilikdir.

Olimlar plazmaning magnit maydon yordamida izolyatsiyalash mumkin, degan fikrni ilgari surdilar. Bu fikrga

asoslanib turli qurilmalar yasalgan. Ular ichida sobiq sovet olimlari yasagan va «Tokamak» nomi bilan yurgiziladigan qurilmalar e'tiborga loyiqdir. «Tokamak» lar yordamida Xalqaro hamkorlik asosida boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish bo'yicha izlanishlar ham olib borilmokda.

Hozirgi vaqtda dunyoning 16 mamlakatida 100 dan ortiq atom elektrostansiya (AES) lar ishlab turibdi. Ularning umumiy elektr quvvati $4 \cdot 10^7$ kVt dan ortiq. Bundan buyon energetik balansda yadroviy energetikaning ulushi ortib boradi. Buning sababi shundaki, dunyoda ishlatilayotgan energiyaning taxminan 70% i neft va gazni yoqish xisobiga olinmoqda. Borgan sari oshib borayotgan energiya ehtiyojlarini hisobga olsak, neft va tabiiy gaz zapaslari uzog'i bilan 50 yilga etadi. Ko'mirni yoqish hisobiga esa energiya ehtiyojlarini uzog'i bilan 500 yil davomida qondirib turish mumkin. Bu raqamlar insoniyatning energiya ta'minotida vujudga kelgan muammoni xarakterlaydi. Bu muammoni xal qilishda yadroviy energetikaga muxim rol ajratilgan. Hozirgi vaqtda AES larning reaktorlarida, asosan, U^{235} dan foydalanilmokda. Lekin U^{238} dan tez neytronlar ta'sirida Ru^{239} hosil qilish (18.9 ga k.) mumkin. Bu protsess ko'paytirgich reaktorlarda amalga oshadi. Natijada bunday reaktorlarda ikki protsess, ya'ni yadroviy bo'linish va yangi «yoqilg'i» — plutoniy hosil bo'ladi. Ko'paytirgich reaktorlardan foydalanib yana bir «yoqilg'i» ni hosil qilish mumkin:



U^{233} va Ru^{239} larda xuddi U^{235} ga o'xshash, issiqlik neytronlar ta'sirida bo'linish reaksiyasi amalga oshadi. Mutaxassislarning fikricha, boshqariladigan bo'linish reaksiyalari uchun kerak bo'ladigan «yoqilg'i» lardan shu tarzda foydalanilsa, ular insoniyat energiyaviy ehtiyojlarini bir necha yuz yil davomida qondira olar ekan.

Termoyadroviy reaksiyani boshqarish muammosi xal bo'lgan taqdirda insoniyat uchun energiya tanqisligi xavfi butunlay yo'qolgan bo'ladi, chunki okean suvlaridagi «Termoyadroviy yoqilg'i» ning zapaslari juda katta.

Xulosa.

Diqqatingizga havola etilayotgan uslubiy qo'llanma yadro fizikasining asosiy elementlarini yoritib berishga bag'ishlangan. Qo'llanma "Fizika" yo'nalishi bo'yicha talabalarning mustaqil bilim olishlari uchun xizmat qiladi degan umiddamiz.

Adabiyotlar .

1. D. Shodiev, Shaxmaev. Fizika - 10. T. 1996 y.
2. D. Shodiev, Shaxmaev. Fizika -11, 1997 y.
3. Vaniev A.A. va boshkalar.
O'rta maktabning 9 -sinfida fizika ukitish. T. 1986.
4. Vaniev A.A. Korm M.
“O'rta maktabning 11 - sinfida fizika ukitish”.
5. Vaniev A.A. Korm M.
“O'rta maktabning 10 - sinfida fizika ukitish”.
6. Mirzaaxmedov B. Mamadiyorov N.
“O'rta maktabda fizika ukitish” T. 1992 y.
7. N. Mamadiyorov “Maktabda issiklik xodisalari va molekulyar fizikani urganish. T. 1985 y.

Terishga berildi 21.03.15 yil.
Bosishga ruhsat etildi 18.03.15 yil.
Qog'oz bichimi 30X42, 4,85 bosma toboq.
Adadi 10 nusxa. Buyurtma №
Bahosi shartnoma asosida.

Ushbu o'quv uslubiy qo'llanma bo'yicha tavsiyanoma Jizzax Davlat Pedagogika Instituti ilmiy-uslubiy Kengashi tomonidan (" 29 " yanvar 2015 yil) pedagogika institutlarining fizika va fizika-matematika fakultetlari talabalari uchun o'quv-uslubiy qo'llanma sifatida chop qilishga ruxsat etilgan.

Bosmaxona manzili: Jizzax Davlat pedagogika institut kichik bosmaxonasi.
Jizzax shahar, Sharof Rashidov shoh ko'chasi.