



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI**



**BUXORO OZIQ-OVQAT VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYASI
INSTITUTI**

S.X.Astanov, U.N.Islomov, N.N.Dalmuradova

“UMUMIY FIZIKA” kursining

"YADRO VA ELEMENTAR ZARRACHALAR FIZIKASI"

bo'limidan

MA'RUZA MAVZULARINI MUSTAQIL O'RGANISH UCHUN

uslubiy ko'rsatma

BUXORO-2006

Tuzuvchilar: S.X.Astanov, U.N.Islomov, N.N.Dalmuradova

Taqrizchilar: "NGI" kafedrası mudiri prof. Do'stov H.B.

Bux DU "Nazariy fizika va qattiq
jismlar fizikasi" kafedrası mudiri
f-m.f.d. Djuraev D.R.

Uslubiy ko'rsatma institut o'quv-uslubiy kengashi tomonidan
"___" _____ 2006 y. tasdiqlangan. Bayonnoma № ___

Uslubiy ko'rsatma "Umumiy fizika" kafedrasining
"___" _____ 2006 yildagi majlisida ko'rib chiqildi. Bayonnoma № ___

"YADRO VA ELEMENTAR ZARRACHALAR FIZIKASI"

Ushbu uslubiy ko'rsatma talabalarning mustaqil ma'ruzalari uchun mo'ljallangan bo'lib, "Yadro va elementar zarralar fizikasi" bo'limida modda ekstremal holati, atom yadrosi, yadro kuchlari, radioaktivlik, yadro reaksiyalari, elementar zarralar va olamning hozirgi zamon fizik tasavvuriga bag'ishlangan ma'ruzalar kiritilgan. Mualliflar ma'ruzalar matnlarini tayorlashda ilmiy, ilmiy - ommabop, darslik va o'quv qo'llanmalaridan ijodiy foydalandilar.

Tushuncha, hodisa, qonunlar talabalarga tushunarli bo'lishi uchun ma'ruzalar kengroq va soddaroq qilib bayon qilingan. Ma'ruzalar matni, "Oliy ta'lim Davlat Standarti" ga binoan texnika yo'nalishlari bo'yicha bakalavrlar tayyorlash uchun ishlab chiqilgan va O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining o'quv uslubiy boshqarmasi tomonidan 5.06.1997 yilda tasdiqlangan fizika fanidan 3 semestrlik namunaviy o'quv dasturi asosida tuzilgan.

MUNDARIJA

1-MA'RUZA. EKSTREMAL ShAROITDAGI MODDA XUSUSIYATLARI (Astrofizika elementlari)	4
1. Moddaning o'ta yuqori temperatura va zichliklardagi holati. Metallsimon vodorod. Moddalarning neytronlashuvi.....	4
2. Yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi.....	5
3. Mitti oq yulduzlar.....	7
4. Moddaning neytron holati. Pulsarlar. Qora teshiklar.....	9
5. O'ta yuqori elektromagnit maydonda modda.....	11
MUSTAHKAMLASH UChUN SAVOLLAR.....	14
ADABIYOTLAR.	14
2-MA'RUZA. YADRO FIZIKASI ELEMENTLARI.....	15
1. Atom yadrosining tuzilishi va asosiy xarakteristikalar.....	15
2. Yadroviy kuchlar. Yadroning fenomenologik modellari.....	18
3. Yadro massasi va bog'lanish energiyasi.....	21
4. Radioaktiv yemirilish.....	24
5. Messbauer effekti.....	27
MUSTAHKAMLASH UChUN SAVOLLAR.....	28
ADABIYOTLAR.....	28
3-MA'RUZA. YADROVIY REAKSIYALAR (ZANJIR REAKSIYA).....	29
1. Yadroviy reaksiyalar va ularning asosiy qonuniyatlari.....	29
2. Yadrolarning bo'linish reaksiyalari.....	33
3. Zanjir reaksiya. Yadroviy reaktor.....	35
4. Termoyadroviy reaksiyalar.....	38
5. Boshqariladigan termoyadro reaksiyalari. Yadroviy energetika istiqbollari.....	40
MUSTAHKAMLASH UChUN SAVOLLAR:.....	42
ADABIYOTLAR.....	42
4-MA'RUZA. OLAMNING HOZIRGI ZAMON FIZIK TASAVVURI (Elementar zarralar fizikasi elementlari).....	43
1. Modda va maydon. Moddaning atom - molekulyar tuzilishi, atom yadrosi, kvarklar.....	43
2. Elementar zarralar (maydon kvantlari, leptonlar, adronlar) va ularning bir-biriga aylanishi.....	44
3. Kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlar.....	47
4. Bosqichma-bosqich o'zaro ta'sirlashish. Materiyaning yagona nazariyasi haqida.....	49
5. Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida.....	50
MUSTAHKAMLASH UChUN SAVOLLAR:.....	51
ADABIYOTLAR.....	51

1-MA'RUZA. EKSTREMAL SHAROITDAGI MODDA XUSUSIYATLARI (ASTROFIZIKA ELEMENTLARI)

Reja:

- 1. Moddaning o'ta yuqori temperatura va zichliklardagi holati. Metallsimon vodorod. Moddalarning neytronlashuvi.**
- 2. Yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi.**
- 3. Mitti oq yulduzlar.**
- 4. Moddaning neytron holati. Pulsarlar. Qora teshiklar.**
- 5. O'ta yuqori elektromagnit maydonda modda.**

Tayanch so'zlar va iboralar: moddaning ekstremal holati, kondensirlangan holat, plazma, elementar zarralar, metall vodorod, relyativistik gaz, moddaning neytronlashuvi, holat tenglamasi, gravitatsion bosim, issiqlik bosimi, kvant bosim, relyativistik bosim, oq mitti yulduzlar, akkretsiya, neytron yulduzlar, pulsarlar, magnitodipol nurlanish, o'ta yuqori magnit maydon, gravitatsion kollaps, qora teshiklar, gravitatsion radius.

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'zgarmas 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 kelvin (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 $m_p c^2 \sim \kappa T$ ($m_p \approx 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg - protonning tinchlikdagi massasi, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s - yorug'likning vakuumdagi tezligi, $\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K) shartni qanoatlantiruvchi, ya'ni $T \sim 10^{13}$ K qiymatlarida nuklon-antinuklon juftlarning tuqilishi, 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 amM = $1,032 \cdot 10^5$ Pa) deb faraz qildik. Endi

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

Yetarli darajada yuqori ($P \sim 10^8$ atm) bosimgacha siqilgan modda atomlarining elektron qobiqlari deformatsiyalanadi. Alohida olingan atom yadrolarining elektr maydonlari bir-biriga kirishib ketadi va natijada atom tashqi qobiq'ida 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) $P \geq 10^6$ atm bosimlarda vodorod molekulyar dielektrik (H_2) fazadan zichligi $\rho \approx 1 \text{ g/sm}^3$ 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 xossalardagi farqlar yo'hola boradi. Buni tushunish oson. Haqiqatan, moddalarning mexanik, issiqlik, optik, magnit kabi fizik va barcha ximiyaviy xossalari atomlarning tashqi qobiq elektronlari bilan aniqlanadi. $P \geq 10^8$ atm bosimlarda bunday elektronlar atomlardan uzilib, kollektivlashib qoladilar, ichki qobiq elektronlari esa zichlashib, fazoviy kam o'zgaradigan holatga o'tadilar. $P \sim 10^{12}$ atm 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 kg/m^3 va 10^{18} am qiymatlarga etganda elektron gaz relyativistik gazga aylanadi (temperatura ko'tarilib, elektronning o'rtacha energiyasi $\varepsilon \approx m_e c^2$ ga yaqinlashadi).

Zichlikning 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 ($p + e^- \rightarrow n + \nu_e + \gamma$), yadro massasi o'zgarmagan holda zaryadi kamayadi, umuman olganda, yadro turg'unligi ham pasayadi, oqibatda yadrolarning emirilishi boshlanadi. Zichlik $\rho \sim 10^{14} \text{ kg/m}^3$ va bosim $P \sim 10^{24} \text{ atm}$ ga etganda neytronlar soni elektronlar sonidan ortib ketadi, $\rho \sim 10^{15} \text{ kg/m}^3$ 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 holadi.

Bosimning $\sim 10^{27} \text{ atm}$ qiymatlarida neytron gaz yadro moddasining zichligi $\rho_{ya} \approx 10^{17} \text{ kg/m}^3$ ga ega bo'ladi. Moddaning bunday holati $T \sim 10^{12} \text{ K}$ gacha mavjud bo'ladi.

2. Yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi.

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

$$P \cdot V = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{yoki} \quad P = \frac{\rho}{\mu} RT \quad (1.1)$$

Mendeleyev-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 $P(\rho, 0)$ (nolinchi izoterma) va issiqlik P_T bosimlarning yig'indisidan iborat:

$$P(\rho, T) = P(\rho, 0) + \frac{3RT}{\bar{A}} \rho \chi(\rho), \quad (1.2)$$

bu yerda $\bar{A}$ - o'rtacha atom oqirlik, $\chi(\rho)$ - Gryunayzen parametri.

P, atm	ρ g/sm ³	
	H	H ₂
1	0,58	0,089
1·10 ³	0,617	0,112
1·10 ⁴	0,635	0,170
1·10 ⁵	0,657	0,320
1·10 ⁶	0,860	0,694
1·10 ⁷	1,93	1,83
1·10 ⁸	5,90	5,79

Planeta-gigantlarning bag'rida bosim $P \sim (10^6 \div 10^8)$ atm, temperatura $T \sim (10^3 \div 10^4)$ K. Bu holda metall vodorod ($\rho_H \cong 1 \text{ g/cm}^3$, $\gamma \cong 1$, $\bar{A} = 1$) va suv ($\rho_{H_2O} \cong 3,5 \text{ g/cm}^3$, $\gamma \cong 1$, $\bar{A} = 6$) uchun mos holda $P_T \approx 2,5(10^5 \div 10^6)$ atm va $P_T \approx 1,4(10^5 \div 10^6)$ 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 1.1-jadvalda metall vodorod va molekulyar vodorod uchun $P(\rho, 0)$ 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 $P < < 10^{12}$ atm. Haqiqatan, quyosh massasi $M_Q = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, radiusi $R_Q = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$ ni bilgan holda uning markazidagi gravitatsion bosimni

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

kabi taqribiy hisoblash mumkin.

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

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

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

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

ifodani olamiz. Quyosh uchun $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ (asosan vodoroddan tashkil topgan)

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

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

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

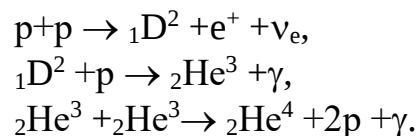
gravitatsion bosimni muvozanatlashi mumkin. Yulduz moddasining zichligini yanada ortishi, yuqorida aytilganidek, elektronlar gazini kvantoviy relyativistik holatga o'tkazadi. Bunda holat tenglamasi

$$P_{\text{peп}} \sim c P_F \left(\frac{N_e}{V} \right) = ch \left(\frac{N_e}{V} \right)^{4/3} \quad (1.7)$$

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 ($U = G M_{\text{be}}^2 / R_{\text{be}}$) dan tashqari, asosan, proton-proton sikli 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 p-p-reaksiya qali davom etadi va yulduz qobig'i nihoyatda kengayib, hatto quyosh sistemasining hozirgi kundagi o'lchamlariga (~ 40 a.6. $\approx 6 \cdot 10^9 \text{ km}$) 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 holadi.

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 qisobiga 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 (1.6) holat tenglamasidan foydalanib baholaylik. Bunda yulduzning elektronlar gazi kvantoviy "aynigan" holatda bo'lib, ularning bosimi (1.6) qo'pol ravishda yulduz massasining issiqlik bosimi (1.1) tartibida deb faraz qilamiz:

$$10^7 \rho^{5/3} \sim \frac{R}{\mu} \rho T. \quad (1.8)$$

Yulduz asosan geliydan tashkil topganligi uchun $\mu=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ va (1.8) dan $T \sim 10^7 \text{ K}$ uchun

$$\rho \sim \left(\frac{RT}{10^4} \right)^{3/2} = \left(\frac{8,31 \cdot 10^7}{10^4} \right)^{3/2} \text{ kg/m}^3 \approx 10^6 \text{ kg/m}^3 \quad (1.9)$$

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 $\rho \sim 10^5 \text{ kg/m}^3$ bo'lgani holda, xuddi shunday temperaturali oq mitti yulduzlarning zichligi $10^7 < \rho < 10^9 \text{ kg/m}^3$ oraliqda o'zgaradi. Ma'lumki, aynigan elektron gaz holati temperaturaga bog'liq emas. Xususan, $T=0 \text{ K}$ 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:

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

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

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

ya'ni, Yer radiusi ($R_{\text{yer}}=6370 \text{ km}$) tartibidagi natijani olamiz.

Berilgan massali yulduzning gravitatsion potentsiali uning radiusiga teskari proporsional: $|\varphi| = GM_{\text{yu}}/R_{\text{yu}}$. 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/V ortadi, unga bog'liq ravishda esa elektronlarning chegaraviy (Fermi) impulsi P_F va demak, Fermi energiyasining o'sishi, $\varepsilon_F = cp_F = c(N_e/V)^{1/3} \gg m_e s^2$ ro'y beradi va gaz holati relyativistik, hatto ultrarelyativistik soqaga o'tishi mumkin. Bu holatdagi ultrarelyativistik elektron gaz (va demak yulduz moddasining) kengayishga intilgan bosimi

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

ifodalanadi. Ana shunday o'ta zichlashgan oq mittining muvozanat sharti (1.10) o'rniga

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

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

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

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

4. Moddaning neytron holati. Pulsarlar. Qora teshiklar.

Agar protonlar va elektronlardan iborat o'ta zichlashgan oq mitti yulduzlarda zichlik $\rho \sim 10^{12} \div 10^{13} \text{ kg/m}^3$ 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 (1.6) kabi

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

kvantoviy bosim hosil qiladi. Yuqorida ko'rsatginimizdek, (16.14) 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 $M_n \approx M_{\odot}$ quyosh massasiga teng deb faraz qilsak, uning radiusi $R_n \approx 10 \text{ km}$ tartibida bo'lib chiqadi. Uning zichligi esa ρ

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

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 tuqilishi, 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 soqalari o'ta zichlashgan temir ${}^{56}\text{Fe}$ 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

$$M_K \omega_K R_K^2 = M_n \omega_n R_n^2, \quad (1.16)$$

bu yerda $\omega_k \approx 3 \cdot 10^{-6}$ rad/s - quyoshning o'z o'qi atrofida aylanishining burchagiy tezligi. (1.16) dan radiusi $R_n \approx 10 \text{ km} = 10^4 \text{ m}$ bo'lgan neytron yulduzning burchagiy tezligi uchun

$$\omega_n = \omega_k \left(\frac{R_k}{R_n} \right)^2 \sim \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot (7 \cdot 10^8)^2}{(10^4)^2} \text{ rad/s} \sim 10^4 \text{ rad/s} \quad (1.17)$$

qiymatni 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'qri 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:

$$H_k \cdot R_k^2 = H_n \cdot R_n^2 \quad (1.18)$$

bu yerda H_q , H_n - quyosh va neytron yulduz sirtidagi magnit maydon kuchlanganligi. Kuzatishlardan $H_k \approx 10^2 \text{ A/m}$ ma'lum, u holda (1.18) dan neytron yulduz magnit maydonining kuchlanganligi uchun

$$H_k = H_n \left(\frac{R_k}{R_n} \right)^2 \approx 10^2 \frac{(7 \cdot 10^8)^2}{(10^4)^2} \frac{\text{A}}{\text{M}} \approx 10^{12} \text{ A/M} \quad (1.19)$$

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

1967 yili Kembrij universitetining Kavendish laboratoriyasida radioteleskop yordamida kosmik manbalardan kelayotgan aniq davr bilan o'zgarib turuvchi radionurlanish topildi. Dastlab bunday radiosignal Yerdan tashqaridagi sivilizatsiya 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 pulsarlar deb nomlanadi. Pulsarning neytron yulduz ekani va uning o'ta yangi portlash qoldig'i bilan bog'liqligi haqidagi g'oyalar 1968 yili qisqichbaqasimon tumanlikda sekundiga 30 marta chaqnab-so'nib turuvchi pulsar topilgandan keyin qamda bu pulsar va tumanlik 1054 yili Xitoy astronomlari tomonidan kuzatilgan o'ta yangi portlash qoldiqlari ekanligi isbotlangandan keyingina ko'pchilik tomonidan tan olindi. Pulsarlarning 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 pulsarlardan yuzdan ortiq ma'lum.

Pulsarlarning gravitatsion maydonini o'rganish uchun Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasidan (UNN) foydalanish zarur. Haqiqatan, agar neytron

yulduz uchun $\beta = v^2/c^2 = 2 |\varphi|/c^2$ parametrni (bu yerda $\varphi = -GM_n/R_n$ - 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 pulsarlar uchun $|\varphi| \sim s^2$ yoki $v \sim s$ natija kelib chiqadi. Pulsarlar 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 (pulsarlar) uchun ham xuddi oq mittilar kabi massaning yuqori chegaraviy qiymati mavjud - $M_{n,q}$. Hisoblashlar $M_{n,q} \approx (2 \div 3)M_K$ ekanligini ko'rsatadi. Massasi bu qiymatdan katta bo'lgan neytron yulduzlar barqaror bo'lmasdan (neytronlarning relyativistik kvant bosimi gravitatsion bosimni kompensatsiyalay olmay holadi), 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 pulsar yoki qora teshik kabi kosmik jismlardan biri hosil bo'ladi. Massiv qora teshiklarda gravitatsion kollaps o'ta yangi portlashga va yangi yulduzlar tuqilishiga yoki gravitatsion to'lqinlarning nurlanishiga olib kelishi mumkin.

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

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

radiusgacha siqilganda qora teshikka aylanadi. Undan $R < r_s$ masofadagi zarrachalar va qatto fotonlar ham qora teshikning gravitatsion tortishish kuchini yngib, chiqib keta olmaydi, tashqi kuzatuvchi uchun bunday ob'yekt absolyut qora bo'ladi. O'zining (1.21) gravitatsion radiusigacha siqilgan jism o'ziga tushuvchi har qanday signal (zarrani) to'liq yutibgina holmay, balki o'zidan hech qanday signal chiqarmaydi ham. Shu sababdan bunday ob'yektlar qora teshik nomini olgan. Massasi M_q ga teng bo'lgan ob'yekt uchun $r_s \approx 3 \text{ km}$, o'rtacha zichlik $\rho_s \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ kg/m}^3$, 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 muqitda zaryadi e va tezligi $\vec{V}$ bo'lgan zarraga elektromagnit maydon

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

Lorens kuchi bilan ta'sir qiladi. Bu ifodadan ko'rinadiki, modda bilan magnit maydonning o'zaro ta'siri relyativistik qodisadir (v/s nisbatga bog'liq, v - zaryadli zarraning harakat tezligi, s - yoruqlik tezligi). Atom elektronlari uchun $v/s \ll 1$ va shu sababdan magnit maydonining modda elektromagnit xossalriga ta'siri v^2/s^2 ga proporsional) juda kuchsizdir. Atom ichidagi magnit maydoni kuchlanganligini

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

formulaga ko'ra baholaymiz: atom magnit momenti $P_{ma} \approx \frac{eh}{2m_e c} = 9 \cdot 10^{-21} \text{ erg/Gs}$,

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

$$E_a = \frac{e}{R_a^2} \approx 6 \cdot 10^{11} \text{ V/m} \quad (1.24)$$

tartibidadir. Unga mos holda $E \approx 10^{11} \text{ V/m}$ va $E \ll 10^{11} \text{ V/m}$ maydonlarni "kuchli" va "kuchsiz" elektr maydonlari deb ataymiz.

Kuchsiz elektromagnit maydon atom ichki elektronlarining energetik holatini sezilarli o'zgartira olmaydi. Moddaning elektrofizik xarakteristikalarini, masalan, ϵ dielektrik va μ magnit singdiruvchanlik, n yorug'likni sindirish ko'rsatkichi kabi parametrlar E va H 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 ($E \approx 10^{11} \text{ V/m}$, $H \approx 10^6 \text{ A/m}$) modda xususiyatlari chiziqli elektrodinamika bilan ifodalanmaydigan yangi sifat o'zgarishlarga uchraydi, maydon intensivligiga ($\sim E_0^2$) bog'liq yangi - effektlar yuzaga chiqadi. Masalan, avvalgi 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 ($E \gg 10^{11} \text{ V/m}$, $H \gg 10^6 \text{ A/m}$) tabiatda pulsarlar, qora teshiklar, kvazarlar kabi Koinot jismlari bag'rida sodir bo'ladi. Misol tariqasida biz quyida faqat pulsarlarning magnit maydoni va uning ta'sirida vujudga keladigan antiqa radionurlanishga to'xtalamiz, xolos.

Neytron yulduz (pulsar)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 pulsar magnito-dipol nurlanish manbaiga aylanib qoladi. Nurlanish chastotasi magnit dipolning 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 $\vec{d}_3$ ga perpendikulyar bo'lishini esga oling). Ana shu tariqa kosmosda "aylanuvchi moyak modeli" hosil bo'ladi va Yerdagi 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 pulsarlar

(o'chib-yonuvchi) degan nomni oldi. Qizig'i shundaki, nurlanish chastotasi qam, nurlanish impulsining o'zgarish chastotasi ham bir xil - ω . Hisoblashlar ko'rsatadiki, magnito-dipol nurlanish intensivligini

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

ifodalash mumkin. Agar (1.23) ni e'tiborga olsak, (1.25) ni pulsarning 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 $H_n \approx 10^{12}$ A/m $\sim 10^{10}$ E, $R_n \approx 10^6$ sm, $\omega_n \approx 10^4$ s⁻¹, $s \approx 10^{10}$ sm/s qiymatlarni qo'ysak, $I \approx 10^{40}$ erg/s = 10^{33} Vt - niqoyatda katta nurlanish quvvati kelib chiqadi. Yerdagi barcha radio va telestansiyalarning umumiy quvvati 10^9 Vt ga yaqin deb baholanadi. U holda birgina "Kosmik radioperedatchik"ning quvvati Yerdagilarni hammasidan ko'ra 10^{24} marta quvvatliroq ekanligi ma'lum bo'ladi.

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

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

natijani olamiz. U holda pulsarning aylanish energiyasi

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

ichida nurlanish energiyasiga o'tadi.

Yerning magnit momenti va aylanish o'qi yo'nalishlari ham xuddi pulsarlar kabi burchak ($\sim 13^\circ$) hosil qiladi. Biroq, Yer magnit maydoni kuchlanganligi $H \approx 10^{-2}$ E va aylanish chastotasi $\omega \approx 10^{-4}$ rad/s juda kichik. Shu sababdan (1.26) ga ko'ra Yerning magnito-dipol nurlanish quvvati nihoyatda oz va amalda Yer 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. Pulsar sirtidagi o'ta yuqori magnit maydoni ($H \sim 10^{12} \div 10^{14}$ A/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 pulsar qobig'ining moddasi xuddi polimerlar tuzilishini eslatuvchi holatda bo'ladi.

MUSTAHKAMLASH UCHUN SAVOLLAR.

1. O'ta yuqori temperaturaning xarakterli qiymatlarini va ularga mos ravishda modda holatlarini ko'rsating.
2. O'ta yuqori zichlikdagi modda holatining xarakterli belgilarini aytib bering.

3. O'ta yuqori zichlikdagi moddaning holat tenglamasi haqida nimalarni bilasiz?
4. Metall vodorod nima? Moddaning neytronlashuvichi?
5. Neytron gazining issiqlik, kvant va gravitatsion bosimlarining fizik moqiyatini tushuntiring.
6. Oq mitti yulduz va uning parametrlari haqida so'zlab bering.
7. Neytron yulduz qanday hosil bo'ladi?
8. Pulsarning qanday xususiyatlarini bilasiz.
9. Qora teshik nima?
10. Moddaning o'ta yuqori magnit maydanidagi o'ziga xos xususiyatlari haqida gapirib bering.

ADABIYOTLAR.

1. Ivanov B.N. Zakoni fiziki. M.: Visshaya shkola, 1986. §70-74.
2. Raximov A.U, Otaqulov B.O. Elektrodinamika va nisbiylik nazariyasi, 2 kitob. T. O'qituvchi-1986. §§143-152.
3. Savelev I.V. Kurs obshey fiziki, kniga 5. Kvantovaya optika, atomnaya fizika, fizika tverdogo tela, fizika atomnogo yadra i elementarnix chastits. M.: Nauka, 1998.
4. Jarkov V.N. Vnutrennee stroenie zemli i planet. M.Nauka, 1983. §§6.1, 10.6.
5. Dj. Orir. Fizika. M.: Mir 1981, gl.30. 548-562 s.
6. Astrofizika, kvanti i teoriya otnositelnosti, M.:Mir, 1982. 397-498 s.

2-MA'RUZA. YADRO FIZIKASI ELEMENTLARI

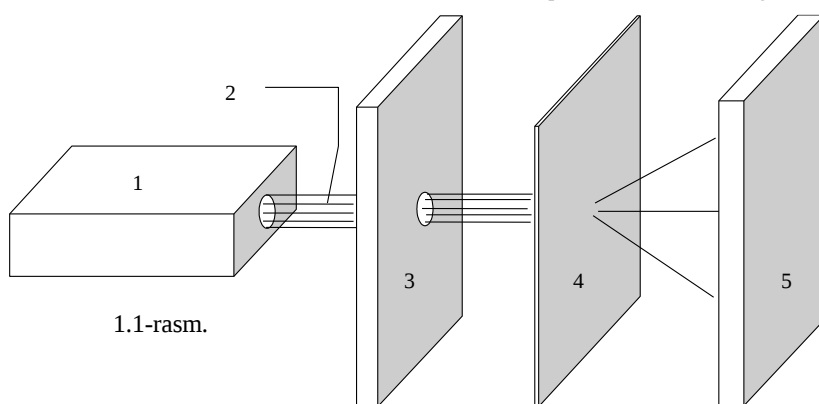
Reja:

1. Atom yadrosining tuzilishi va asosiy xarakteristikalar.
2. Yadroviy kuchlar. Yadroning fenomenologik modellari.
3. Yadro massasi va bog'lanish energiyasi.
4. Radioaktiv yemirilish.
5. Messbauer effekti.

Tayanch so'zlar va iboralar: atom yadrosi, proton, neytron, α -zarralar, Rezerford tajribasi, nuklon, nuklonning massasi, spini va magnit momenti, yadroning zaryad soni va massa soni, izotoplar, izobarlar, izotonlar, yadroning impuls momenti, magnit momenti, yadro o'lchamlari, yadroviy kuchlar, π - mezonlar, yadro kuchlarining to'yinish va almashinish qarakterlari, yadro modellari, mass-spektrometr, yadro massasi va bog'lanish energiyasi, radioaktivlik, α -yemirilish, β -yemirilish. Spontan bo'linish, yadroning asosiy va o'yqotilgan holatlari, rezonans yutilish, Messbauer effekti.

1. Atom yadrosining tuzilishi va asosiy xarakteristikalar.

Atom markazida yadro joylashgan va uning atrofida turli orbitalar bo'yicha elektronlar tinimsiz harakat qiladi. Atom yadrosi atomning markaziy qismida



joylashgan bo'lib, proton va neytronlardan tashkil topgan. Atomning ichki tuzilishi qanday? - bu savol XX asr boshlarigacha yechilmay keldi. Shu davrga qadar faqat atomning o'lchami 10^{-8} sm atrofida ekanligi, musbat va manfiy zarralar esa atom ichida muallaq harakatda 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 ($2e=3,2 \cdot 10^{-19}$ Kl).

Rezerford tajribasi quyidagi 2.1 - 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

bemalol o'tgan. Ba'zilar esa ma'lum burchakka burilgan. Ammo shunday α - zarralar ham uchraganki, ular dastlabki yo'nalishidan $135-150^\circ$ ga teng burchakka burilgan. Folga-plastinkadan α - zarraning o'z yo'nalishini o'zgartirmay o'tishi oltin atomlarining ichida bo'shliq fazo mavjud ekanligini tasdiqlaydi. Haqiqatdan 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 qoyaga ko'ra, atomning deyarli qamma 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 qarakat qiluvchi elektronlar to'plamidan iborat sistemadir, deb uqtiruvchi modelga asos bo'ldi. Rezerfordning hisoblashicha, yadroning o'lchami, diametri $10^{-12} \div 10^{-13}$ 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 $q = +e = +1,60219 \cdot 10^{-19}$ Kl. Uning tinchlikdagi 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 ($W = m \cdot c^2$) asoslanib, massa Joul larda yoxud elektron Voltlarda ($1J = 6,2419 \cdot 10^{18}$ eV) ham ifodalanadi. Demak,

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

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

Har 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 $S = 1/2$. Elementar zarralar spinlarini kvant sonlari yordamida ana shunday yozish mumkin. Proton yoxud neytronning spini $1/2$ ga teng deyilganda, nuklon spinining ixtiyoriy yo'nalishga (masalan tashqi magnit maydon yo'nalishiga) proyeksiyasi

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

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 ya 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:

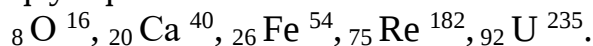
$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_p} = 5,0508 \cdot 10^{-27} \frac{A}{M^2}$$

D.I.Mendeleyev 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

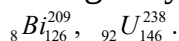
$$\underline{Z + N = A}$$

yadroning massa soni deyiladi.

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:



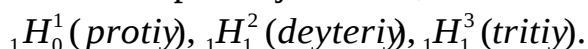
Ba'zi hollarda esa yadrodagi protonlar va neytronlar sonini aks ettirish uchun ximiyaviy simvolning pastki o'ng tomoniga neytronlar soni ham yozib qo'yiladi:



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

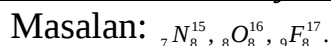
1. Z lari bir xil bo'lgan yadrolar IZOTOPLAR deyiladi.

Masalan vodorodning uchta izotopi mavjud bo'lib,

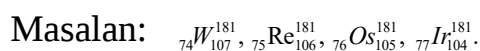


Demak, izotoplar deganda neytronlar soni bilan farqlanuvchi ayni element atomlarining yadrolarini tushunish lozim.

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



3. Z va N lari qar xil, lekin $A=Z+N$ lari bir xil bo'lgan yadrolar IZOBARLAR deyiladi.



Yadrolarning impuls 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 $0, 1, 2, \dots$) ega bo'ladi.
- Nuklonlarning umumiy soni $A=Z+N$ toq sonli qiymatlar bilan aniqlanadigan yadrolar (Z -toq, N -juft, yoki aksincha, bo'lishi lozim) ning spinlari $1/2, 3/2, 5/2$ 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 H^2 (deyteriy) yadrosi ustida mulohaza yuritaylik. H^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 $1/2+1/2=1$), degan xulosaga kelamiz. U holda deyteriyning magnit momenti

$$\mu_H = \mu_p + \mu_n = (2,79 - 1,91\mu_{ya}) = 0,88\mu_{ya}$$

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 qissasi 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 $1/3$ darajasiga proporsional ekanligi aniqlanadi:

$$R_y \approx 1,3 \cdot 10^{-15} A^{1/3} \text{ m.}$$

Yadro moddasining zichligini esa taqribiy ravishda quyidagicha aniqlash mumkin:

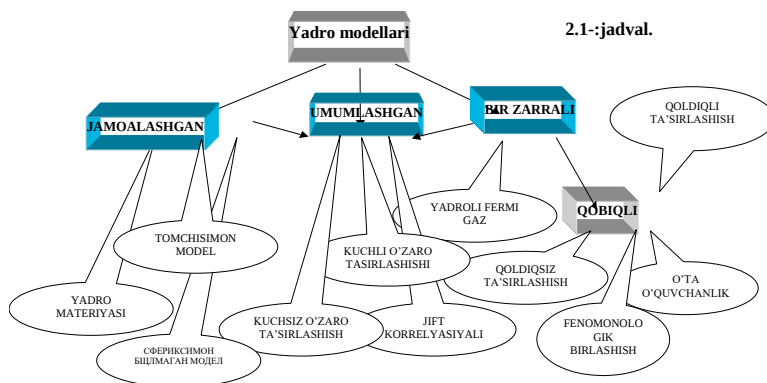
$$\rho_y = \frac{m_y}{V_y} = \frac{A \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\frac{4}{3} \pi R_y^3} \approx 1,8 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad (2.1)$$

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 Yerning massasiga teng bo'lar edi.

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

2. Yadroviy kuchlar. Yadroning fenomenologik modellari.

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



bo'lgan o'zaro itarishish kuchi ta'sir qilishi lozim. Og'ir yadrolarda (bu yadrolarda bir necha o'nlab protonlar mavjud) esa, kulon kuchining miqdori bir necha ming nyutonga etadi. Bunday kuchlar ta'sirida yadrodag protonlar tarqab

ketishi lozim edi. Vaholanki, 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

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

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:

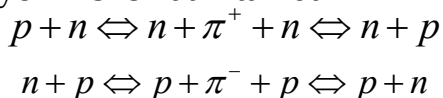
1) nuklonlar orasidagi masofa $r = (1 \div 2) \cdot 10^{-15}$ m bo'lganda yadroviy kuchlar tortishish xarakteriga, $r < 1 \cdot 10^{-15}$ m masofalarda esa itarishish xarakteriga ega bo'ladi. $r > 2 \cdot 10^{-15}$ m masofalarda yadroviy kuchlarning ta'siri deyarli sezilmaydi;

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

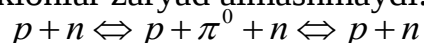
3) yadroviy kuchlar o'zaro ta'sirlashadigan nuklonlar spinlarining yo'nalishiga bog'liq. Bunga ikkita nuklondan tashkil topgan sistema misol bo'la oladi. Neytron va protonning spinlari faqat parallel bo'lgan taqdirdagina sistema bog'liq bo'ladi, ya'ni deyteriy (H^2) hosil bo'ladi. Spinlari antiparalell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

4) yadroviy kuchlar to'yinish xususiyatiga ega, ya'ni xar 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. Uglerodning 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 boqlangan bo'ladi.

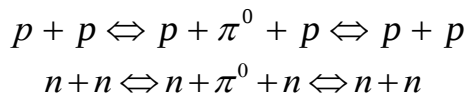
Haqiqatdan, zamonaviy tasavvurlarga asosan, yadrodagi nuklonlar bir biri bilan π - mezonlar almashib turadi. π - mezonlar uch xil bo'ladi: musbat π^+ , manfiy π^- va neytral π^0 . Proton va neytronning o'zaro ta'sirlashishi quyidagicha amalga oshadi: proton π^+ chiqarib o'zi neytronga aylanadi, π^+ -ni neytron yutadi va u protonga aylanadi. Bu jarayonni sxematik tarzda



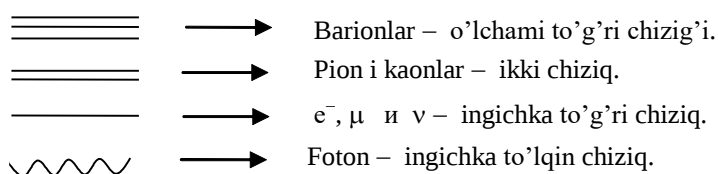
shaklida yozish mumkin. Bunda proton va neytron orasida zaryad almashinishi ro'y beryapti. Proton va neytron orasidagi o'zaro ta'siri π^0 vositasida qam ro'y berishi mumkin, lekin bu holda nuklonlar zaryad almashmaydi:



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



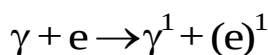
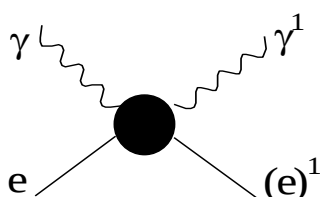
Shunday qilib, nuklonlar doimo mezon chiqarib va yutib turadi, ya'ni ular mezonlar buluti bilan qoplangan bo'ladi. Xususan, neytron o'z umrining ma'lum qismini $p + \pi^-$ holatda (bunday holat virtual holat deyiladi) o'tkaziladi.



orbital harakati tufayli neytron manfiy magnit momentga ($\mu_n = -1,91 \mu_y$ ekanligini eslang) ega bo'ladi. Xuddi shuningdek proton

ma'lum muddat $n + \pi^+$ virtualholatda bo'ladi. Bu vaqt ichida π^+ orbital harakatda qatnashadi. Shuning uchun protonning magnit momenti μ_y ga emas, balki kattaroq qiymatga ya'ni $2,79 \mu_y$ ga teng.

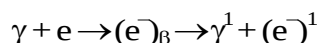
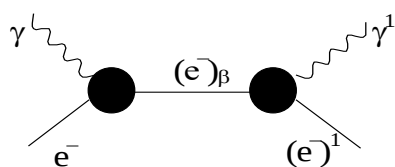
Hozirgi zamon tasavvurida yadroning tuzilishini tushunturish uchun juda



ko'p sonli modellar mavjud. Ulardan: tomchi yoki gidrodinamik model, umumlashtirilgan model, qobiqsimon model, juft korrelyatsiya modeli, statistik

model va hokazo.

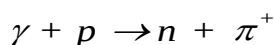
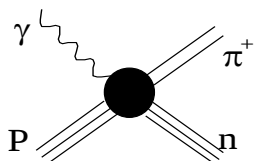
Elementar zarralar o'zaro ta'sirini grafik



usulda tasvirlash Feynman diagrammalari 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 hisobga olgan. Diagrammadagi xar qanday chiziq zarra va uning holatiga mos ravishda to'g'ri keladi. Feynman taklifiga binoan diagramma chapdan-o'nga yoki pastdan yuqoriga qarab o'zgartirilib boradi.

Tushunarli bo'lishligi uchun chiziq yoniga zarraning belgisi ham qo'shib yoziladi.

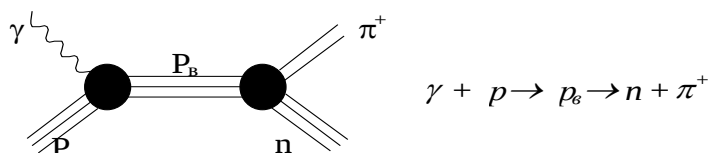


Chap va o'ng tomondan chiziqlarni boshi va oxiri zarra hayoti mavjud ekanligini ko'rsatadi. Zarralarni to'qnashgan

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 haqlidir, lekin asosiy jarayonni tushunish uchun virtual fotonni yutulishi va nurlanishini hisobga olish zarur. Ya'ni, tugunni diagramma uchi deb qam ataladi. Doira bilan murakkab jarayon belgilanadi. Ushbu holda jarayon borishi uchun alohida 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 jarayonni belgilanadi.

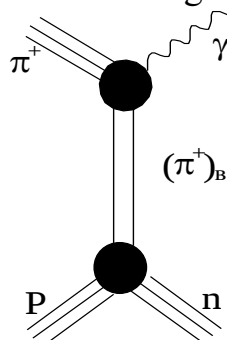
Agar elektron chiziqining bo'sh uchi bo'lmasa, bunday chiziqlar ichki chiziqlar deb ataladi va ko'pincha virtual zarralarga mos keladi. Diagramma tuzish yo'llari bilan tanishib chiqamiz. Misol uchun



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

protonlarda zaryadlangan pionlarni fototugulish yo'li bilan paydo bo'lishini olamiz. Bu jarayonni ehtimolligi bor deb hisoblab, virtual fotonni yutulishi 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



$$P \rightarrow (\pi^+)_B + n$$

$$\gamma + (\pi^+)_B \rightarrow \pi^+$$

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 ta'kidlash 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 yetarlicha aniqlik bilan o'lchanadi. Mass-spektrometrlarning tuzilishi 2.2-rasmda tasvirlangan. Ion manbaida (IM) jism atomlari musbat zaryadlangan ionlarga aylantiriladi. So'ngra D₁ va D₂ tirqishli to'siqlar oraliqida q zaryadli ionlar qU energiyagacha tezlatiladi, ya'ni vakuum kameraga (VK) kirayotgan ionlar uchun

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

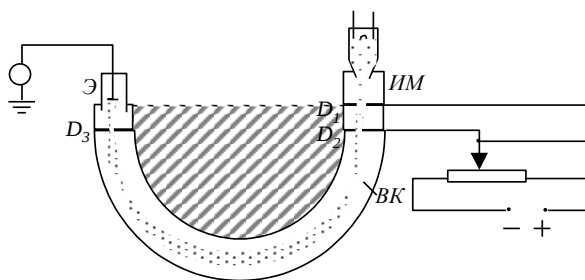
munosabat o'rinli bo'ladi. Bunda m - ionning massasi, V - uning tezligi. Vakuum kamerada ionlarga perpendikulyar yo'nalishdagi bir jinsli magnit maydon ta'sir etadi. Bu maydon ta'cirida ion aylanma taryektoriya bo'yicha harakatlanadi. R radiusli aylana bo'ylab qarakatlanayotgan ionga ta'sir etuvchi markazdan qochma

kuch induksiyasi B bo'lgan magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi Lorens kuchiga teng, ya'ni

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

(2.2) va (2.3) tenglamalarni birga yechsak,

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



17.2-расм.

ifodani hosil qilamiz. Demak, m massa va q zaryad bilan xarakterlanuvchi ionning induksiyasi B bo'lgan bir jinsli maydondagi aylanma trayektoriyasining radiusi U tezlatuvchi potentsial bilan aniqlanadi. Shuning uchun tezlatuvchi potentsialni asta-sekin o'zgartirib, ion orbitasining radiusini kamera radusiga moslashtirish mumkin. Natijada ionlar D_3 to'siqdagi tirqishdan o'tib E

elektrometrغا tushadi, bu esa o'z navbatida elektrometr tokining qiymatini keskin oshishiga sabab bo'ladi. (2.4) 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, He^4 yadrosining massasi 4,001523 m.a.b. ga teng. Bu yadro ikki proton va ikki neytrondan tashkil topgan. Bu nuklonlarning umumiy massasi $2m_p + 2m_n = (2 * 1,007276 + 2 * 1,008665)$ m.a.b. = 4,031882 m.a.b. ga teng. Demak, He^4 yadrosining massasi uning tarkibidagi nuklonlarning umumiy massasidan $\Delta m = (2m_p + 2m_n) - m_{\text{He}^4} = (4,031882 - 4,001523)$ m.a.b. = 0,030359 m.a.b. qadar kichik. Bu muammoni qanday tushunmoq kerakq Mazkur savolga javob berish uchun nisbiylik nazariyasining asosiy xulosalaridan biri bo'lgan energiya va massaning ekvivalentligi haqidagi prinsipga 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 prinsipga asosanib 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 boqlangan real holni sistemaning ikkinchi holati deb hisoblash lozim. Sistemaning bu ikki holatdagi massalarining o'zgarishi m ga teng bo'lyapti.

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

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2$$

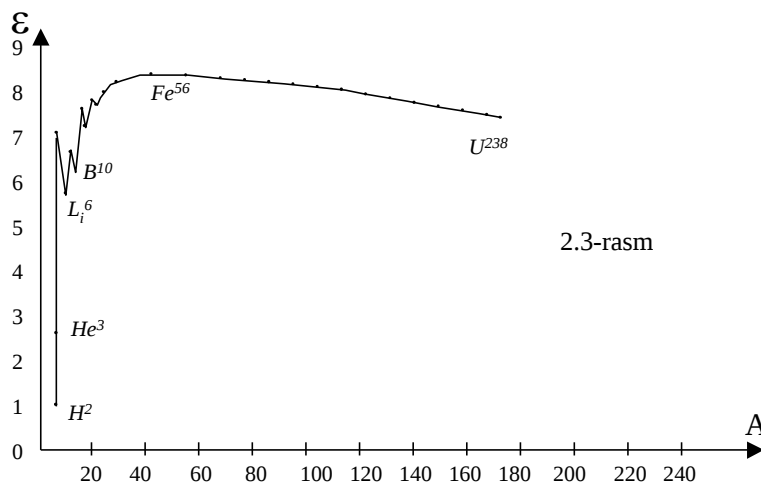
ga o'zgaradi. Boshqacha aytganda, Δm - nuklonlarning bog'lanish energiyasini ifodalovchi kattalik.

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

$$W_b = (Zm_p + Nm_n - m_{ya})c^2. \quad (2.6)$$

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

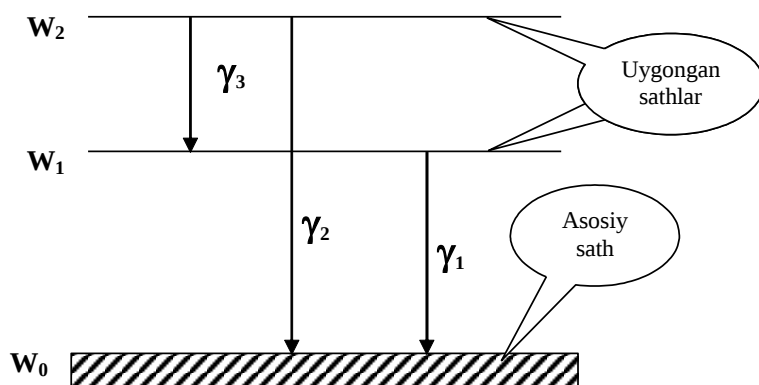
$$\varepsilon = \frac{W_b}{A} \quad (2.7)$$



2.3-rasm

kattalik yadroddagi 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 ing turli yadrolar uchun qiymatlari 17.3-rasmda tasvirlangan. Absissa o'qi bo'ylab

yadrolarning massa soni A joylashtirilgan.



17.4-rasm

Rasmdan ko'rinishicha, $A = 50 \div 60$ da ε ning qiymati maksimumga ($\sim 8,8 \text{ MeV}$) erishadi. Eng kichik qiymat esa H^2 misolida ($\sim 1 \text{ MeV}$) kuzatiladi. Massa soni 3 ga teng bo'lgan H^3 va He^3 yadrolari uchun $\varepsilon \approx 2,5 \text{ MeV}$. Lekin He^4 yadrosida ε ning qiymati 7 MeV ga etadi. Shuning uchun ham He^4 juda mustahkam

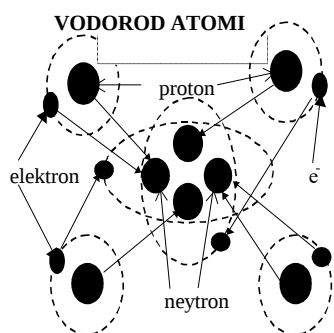
yadro sifatida namoyon bo'ladi. Umuman, Mendeleyev davriy jadvalining o'rta qismidagi elementlar yadrolari, ya'ni $40 < A < 120$ bilan xarakterlanuvchi yadrolarda nuklonlar yadro bilan mustahkam bog'langan. Nuklonlar soni yanada oshgan sari ε ning qiymati kamayib boradi. Masalan, uran uchun ε ning qiymati $7,6 \text{ MeV}$ ga teng. ε ning A ga bog'liqlik grafigidagi $40 < A < 120$ sohani deyarli gorizontall bo'lishini yadroviy kuchlarning to'yinish xususiyati bilan tushuntiriladi, ya'ni yadrodagi 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 yadrodagı barcha nuklonlar bilan ta'sirlashadi. Bu esa o'z navbatida ϵ ning qiymatini yadrodagı nuklonlar soniga deyarli proporsional o'zgarishiga sabab bo'ladi. Grafikning oqir yadrolariga mos sohada pasayishini yadrodagı 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 yadrodagı 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'tqanda 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 quyiroq 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 yemirilish.

Radioaktivlikni tushunush va u haqida tasavvurga ega bo'lish uchun geliy atomini vodorod atomini biriktirish natijasida hosil qilish yo'li bilan ko'rib chiqamiz. Bizga ma'lumki vodorod atomi bitta planetar elektron va yadrodagı protonlardan tashkil topgan. Geliy atomida esa, ikkita planetar elektron va uning yadrosida ikkita proton, ikkita neytronlar mavjuddir. Xullas, geliy atomi to'rt vodorod atomiga ekvivalentdir yoki to'rt atom birliklariga egadir.

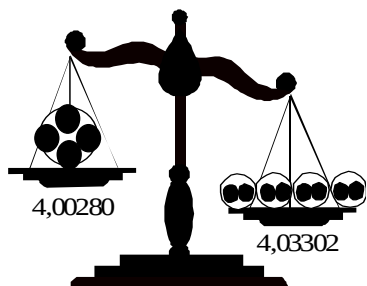


Yuqorida qilingan hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, geliy yadrosi paydo bo'lish jarayonida 0,030359 m.a.b. energiyaga aylanadi. Shu tarzda quyosh o'z energiyasini qayerdan olayotganini tushinish mumkin bo'ladi.

1896 yilda fransuz olimi Bekkerel uran elementidan fotografiya plastinkasiga ta'sir etuvchi noma'lum nurlar chiqishini aniqladi. Keyinchalik bunday nurlarni boshqa elementlar (toriy, radiy, poloniy) ham chiqarishi Pyer

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 xossalari 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 qilmay edi.



Radioaktivlikni qar 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 boqlangan. γ - nurlarning manbai ham yadrodagi o'zgarishlardir. 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 yemirilish 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 yemirilish davri.

Radioaktiv yadrolarning vaqt mobaynida kamayishi

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

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

$$T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.10)$$

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

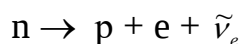
Radioaktivlik turlari	Yadro zaryadi o'zgarishi	A sonining o'zgarishi	JARAYON XARAKTERI
Alfa-yemirilish	$Z - 2$	$A - 4$	α -zarrani chiqishi - ikki proton va ikki neytron sistemasi, ularni o'zaro birikishi
Beta- emirilish	$Z \pm 1$	A	Neytron (1_0n) va protonni (1_1p) yadroda o'zaro o'zgarishi
β^- yemirilish	$Z + 1$	A	${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + ({}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}_e)$
β^+ yemirilish	$Z - 1$	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	$Z - 1/2Z$	$A -$	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 radioaktiv o'zgarishni tashkil etuvchi va energiyani kamayish sabachilaridan biri. Radioaktiv yemirilishni sodir etayotgan yadro "ONA" yadro deb, hosil bo'lgan yadro esa "BOLA" yadro deb ataladi. Bu jarayon o'tayotgan vaqtda foton paydo bo'ladi.

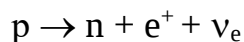
Radioaktiv izotopning yarim emirilish davri T shunday vaqt intervaliki, bu vaqt ichida mavjud radioaktiv yadrolarning yarmi yemiriladi. Bu kattalik o'zgarishi juda katta bo'lib, 10^{18} yildan 10^{-10} sekundan ham kichik bo'lishi mumkin.

Elektron e^- yoki pozitron e^+ orqali yadroni yemirilishi β -yemirilish deb ataladi (elektronli - β^- yemirilish, pozitronli - β^+ yemirilish). β - yemirilishning uch turi mavjud: β^- yemirilish, β^+ - yemirilish, elektron yutish. Elektronli

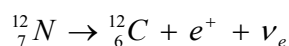
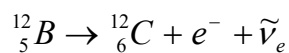
emirilish deb yadroning neytronlaridan birini proton, elektron va antineytrinoga parchalanishiga aytiladi.



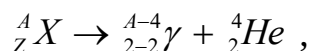
pozitronli β –yemirilish esa, quyidagi sxema bo'yicha boradi



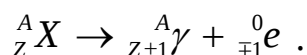
Masalan:



α -yemirilish



β – yemirilish



5. Messbauer effekti.

Yadro uyqotilgan W_1 holatdan asosiy W_0 ga o'tganda energiyasi

$$h\nu = W_1 - W_0$$

bo'lgan γ -kvant chiqaradi. Agar yadro xuddi shu energiyali γ -kvantni yutsa u asosiy holatdan W_1 energiyali uyg'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 impulsga 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 $W_1=129$ keV faqat γ -kvant energiyasi tarzida nurlantirilmaydi. Aksincha, mazkur energiya γ -kvant massalariga teskari proporsional 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 chiziqining tabiiy kengligidan $\approx 10^4$ marta katta. Demak, chiqarilayotgan γ -nurlanishning energiyasi yadroning o'yqonish energiyasidan T_{ya} qadar kichik, ya'ni $W=W_1 - T_{ya}$. Bu γ - kvant nishonga tushganda energiyaning T_{ya} ga teng qismi nishon yadrosiga impuls berishga sarflanadi. Natijada nishon yadrosini uyqotish uchun qolgan energiyaning qiymati W_1-2T_{ya} ga teng bo'ladi. Bu esa W_1 energiya bilan xarakterlanuvchi holatni uyg'otishga yetarli emas. Shuning uchun oddiy tajribada γ - nurlanishining rezonans yutilishi kuzatilmaydi.

1958 yilda yosh fizik R.Messbauer (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 sovutiladi. Bunday past temperaturalarda kristalldagi 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 kvant chiqarilish jarayonida kristallga "tepki" sifatida beriladigan energiyani amalda nolga teng deb qisoblash mumkin. Shuning uchun bunday "muzlatilgan" kristall tarkibidagi yadrolar chiqarayotgan γ - nurlanishlarni deyarli monoxromatik deb hisoblash bo'ladi. Deyarli so'zini ishlatishimizning sababi shundaki, bu nurlanishning energetik tarqoqligi mavjud. Lekin bu tarqoqlik γ -nurlanish chiqarish chiziqlarining tabiiy kengligidan ortmaydi. U nihoyat kichik $G/W = 4 \cdot 10^{11}$. Natijada nishonga tushayotgan γ -nurlanish energiyasi yadroni uyg'otishga yetarli bo'ladi. Shuning uchun Messbauer amalga oshirgan tajribalarda γ -nurlanishning rezonans yutilishi kuzatildi va u Messbauer effekti nomini oldi.

MUSTAHKAMLASH UCHUN SAVOLLAR:

1. Atom yadrosi nima va yadroning proton-neytronli modeli deganda nimani tushunasiz?
2. Proton va neytronning asosiy fizik parametrlarini sanab bering.
3. Yadroning asosiy fizik xarakteristikalarini qisqacha bayon qiling.
4. Yadroviy o'zaro tasir nima? Yadroviy kuchlarning qanday xarakterli xususiyatlarini bilasiz?
5. Yadroning tomchi, fermi-gaz, qobiqli, umumlashgan modellari haqida tushuncha bering.
6. Yadrodagi nuklonlar bog'lanishining o'rtacha energiyasi va uning massa soniga bog'lanishini tushuntiring.
7. Radioaktiv yemirilish qonunini yozing, yemirilish doimiysining fizik manosini aytib bering.
8. Radioaktiv yemirilishning qanday turlarini bilasiz?
9. Messbauer effektining moqiyati nimadan iborat?
10. Messbauer effektining amaliy qo'llanishi haqida nimalarni bilasiz?

ADABIYOTLAR

1. Savelyev I.V. Kurs obùey fiziki TT 3 M., Nauka. 1998 gg.
2. Detlaf A.A., Yavorskiy B.M. Kurs fiziki M.. Vùsshaya shkola.2000
3. Trofimova T.I. Kurs fiziki M.. Vùsshaya shkola. 2000 g.
4. Sivuxin D.V. Obùiy kurs fiziki. TT 5, M.,Nauka 1990 gg.
5. Matveyev A.N. Optika1985g. Atomnaya fizika 1990g.
6. Ahmadjonov O.I. Fizika kursi 3q. T. O'qituvchi. 1989 y.

3-MA'RUZA. YaDROVIY REAKSIYALAR (ZANJIR REAKSIYA)

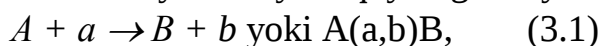
Reja:

1. Yadroviy reaksiyalar va ularning asosiy qonuniyatlari.
2. Yadrolarning bo'linish reaksiyalari.
3. Zanjir reaksiya. Yadroviy reaktor.
4. Termoyadroviy reaksiyalar, yulduzlar energiyasi.
5. Boshqariladigan termoyadro reaksiyalari. Yadroviy energetika istiqbollari.

Tayanch so'zlar va iboralar: yadroviy reaksiyalar, zaryadli zarralar, neytronlar va γ -kvantlar ta'siridagi yadroviy reaksiyalar, oraliq yadro, reaksiya energiyasi, effektiv kesim, tez va sekin neytronlar, oqir yadrolarning bo'linish reaksiyasi, tomchi modeli, zanjiriy reaksiya, ko'payish koeffitsiyenti, kritik massa, yadro reaktori, yadroviy energiya, termoyadro reaksiyalari, vodorod bomba, neytron bomba, quyosh energiyasi, "Tokomak", yadroviy energetika, yadroviy yoqilg'ilar.

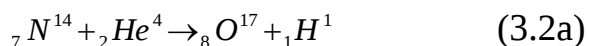
1. Yadroviy reaksiyalar va ularning asosiy qonuniyatlari.

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



bunda A-boshlang'ich yadro, a - reaksiyaga kirishuvchi zarra, b-yadroviy reaksiyada ajralib chiquvchi zarra, B- yadroviy reaksiyada vujudga kelgan yadro, a va b zarralar - neytron, proton, α - zarra, γ - kvant, yengil 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 bo'yicha amalga oshadi. C^* 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 bo'lgan. Yadroviy vaqt deganda energiyasi 1 MeV bo'lgan nuklon ($v \sim 10^7$ m/s ga moc keladi) yadroning diametriga ($\sim 10^{-14}$ m) teng masofani bosib o'tishi uchun ketgan vaqt

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

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 (H^2) ni yadro bilan o'zaro ta'sirlashuvini bayon qilaylik. Yadroga yaqinlashgan deyttonning protonini yadro itarib yuboradi (ikkalasining qam 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 to'liq 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
$N^{14} + \alpha \rightarrow O^{17} + p$	$7 + 2 = 8 + 1$	
$H^2 + H^2 \rightarrow He^3 + n$	$1 + 1 = 2 + 0$	$14 + 4 = 17 + 1$
$Li^7 + p \rightarrow Be^7 + n$		$2 + 2 = 3 + 1$
$S^{32} + n \rightarrow P^{32} + p$	$3 + 1 = 4 + 0$	
$Be^9 + \gamma \rightarrow 2He^4 + n$		$7 + 1 = 7 + 1$

3. Yadroviy reaksiyalarda massaning saqlanish qonuni (va energiyaning saqlanish qonuni ham) bajariladi. Bu ikki qonunni birgalikda bayon qilmoqchiligimizning sababi massa va energiya o'zaro $W = mc^2$ munosabat bilan bog'langanligidir. 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:

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

Mos hadlarni gruppalasak, bu ifoda quyidagi

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

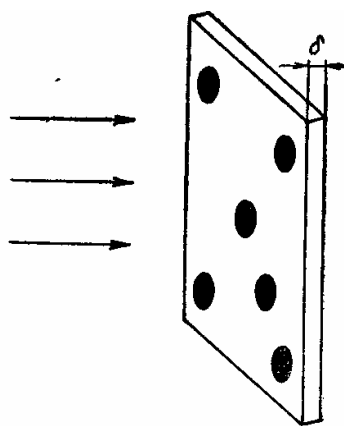
ko'rinishga keladi. Bu tenglikning o'ng tomoni reaksiya natijasida vujudga keladigan energiya o'zgarishini ifodalaydi. Yadroviy reaksiyada ajralib chiqadigan yoki yutiladigan energiyani reaksiya energiyasi deb ataladi va odatda, Q qarfi bilan belgilanadi. U holda

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

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 $(T_A + T_a)$ 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) yengishga yetarli bo'lishi kerak, albatta.

Agar $Q < 0$ bo'lsa, endoenergetik reaksiya sodir bo'ladi. Bunda zarralar kinetik energiyasining kamayuvi qisobiga ularning tinchlikdagi massalari ortadi. Shuning uchun reaksiyaga kirishayotgan zarralar kinetik energiyalari yetarlicha katta bo'lishi, ya'ni $(T_A + T_a) = |Q| + (T_B + T_b)$ shart bajarilishi kerak.

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



3.1-rasm.

uchun quyidagi xayoliy tajriba ustida mulohaza yuritaylik. Nishon sifatida qo'llanilayotgan bir jinsli jism tarkibidagi yadrolar konsentratsiyasi, ya'ni birlik hajmdagi yadrolar soni n bo'lsin. Nishonning qalinligi δ shunday bo'lsinki, (3.1-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 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 $n\delta$ ga, bu yadrolar kesimlarining umumiy yuzi esa $\sigma' n \delta$ 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

$$\Delta N = N \sigma' n \delta$$

ifoda bilan aniqlanadi. Agar $N = 1$ (ya'ni nishonning birlik yuziga birlik vaqtda bitta zarra tushmoqda) va $n \delta = 1$ (ya'ni nishonning birlik yuziga mos keluvchi hajmda bittagina yadro mavjud) bo'lsa, $\Delta N = \sigma'$ 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'liq. Bundan tashqari yadroviy reaksiyani qattiq 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 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.

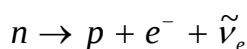
1932 yilda D.Chedvik α -zarralar ta'sirida vujudga keladigan "berilliy nurlanishi" massasi proton massasiga yaqin bo'lgan elektroneytral zarralardan iborat, degan fikrni ilgari surdi. Bu fikrga asoslanib Chedvik mavjud tajriba natijalarini miqdoriy jihatdan ham izohlab berdi. Neytronlar deb nomlangan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



shaklda yozamiz. Bu reaksiyadan qanuzgacha 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. 1g poloniy aralashtirilgan (Po-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



reaksiya 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. Yemirilish quyidagi



sxema bo'yicha sodir bo'ladi.

Neytronlar biror muhitdan o'tayotganda, muhit atom va molekulalarining elektron qobiqlari 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:

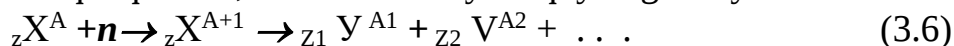
1) de-Broyl to'lqin uzunliklari ($\lambda = h/m_n v$) yadro radiusi r dan kichik bulgan neytronlar [bunga (0,1, 4, 50) MeV energiyalar mos keladi] tez neytronlar deb ataladi;

2) neytronlarning de-Broyl to'lqin 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 (Fransiya), O. Gan va F. Shtrassman (Germaniya), O. Frish va L. Maytner (Avstriya) lar ning tajribalari va nazariy izlanishlari tufayli neytronlar bilan bombardimon qilingan og'ir yadrolar (masalan, uran) ni ikki qismga bo'linishi aniqlandi. Bundan tashqari neytronlar, elektronlar va γ - nurlanishlarning qam vujudga kelishi kuzatildi. Bu hodisa yadro bo'linishi deb nom oldi. Bo'linish jarayonida vujudga kelgan (Mendeleyev davriy jadvalining o'rtarog'idagi elementlariga taalluqli) yadrolarni esa bo'linish parchalari deb ataldi.

Bu hodisani yadro fizikasiga oid bilimlarimiz asosida talqin qilib ko'raylik. Neytron ${}_0^1X$ yadroga kirgach, uning nuklonlari orasida o'ralashib qoladi. Natijada yangi ${}_Z^{A+1}X$ yadro hosil bo'ladi, u esa ikki yadroga, ya'ni, ${}_{Z_1}^{A_1}Y$ va ${}_{Z_2}^{A_2}V$ yadrolarga bo'linadi. Bo'linish natijasida vujudga kelishi mumkin bo'lgan boshqa zarralar bilan qiziqmasak, mazkur reaksiyani quyidagicha yoza olamiz:

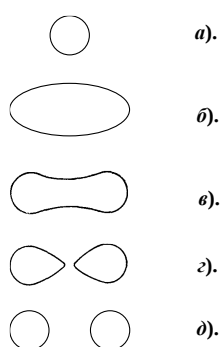


X yadroni Y va V yadrolarga ajralish imkoniyati energetik nuqtai nazardan

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

ifodaning ishorasiga bog'liq. (3.7) da ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ lar mos ravishda bo'linish parchalari - Y va V qamda X yadrolardagi bitta nuklonga to'qri 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 oqir yadrolarniki (ya'ni ϵ) ga nisbatan $\sim 0,8$ MeV katta. Shuning uchun Q ning ishorasi musbat bo'ladi. Bundan tashqari X yadroning nuklonlari Y va V yadrolar orasida taqsimlanganligi uchun

$$Z_1 + Z_2 = Z \text{ ba } A_1 + A_2 = A + 1 \approx A \quad (3.8)$$



3.2-расм.

deb hisoblash mumkin. Natijada og'ir yadro (masalan, U^{235}) ikki o'rtacharoq yadroga ajralganda $Q \approx A * 0,8 \text{ MeV}$ energiya ajralishi lozim, degan xulosaga kelamiz. Qizig'i shundaki, (3.7) ifoda asosida hisoblashlar 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 holda nima uchun spontan bo'linish faqat og'ir yadrolarda kuzatiladi? Haqiqatan, 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 yemirilish davri nihoyat katta. Masalan, uran uchun $0,8 \cdot 10^{16}$ yilga teng. Demak, yuqoridagi 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 mulohazalarga 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 yetarlicha 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 boshlanqich holatga qaytadi. Tebranish energiyasi esa γ -kvant tarzida nurlantiriladi. Agar neytronning energiyasi yadroga 3.2-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 yetarli darajada deformatsiyalay oladigan energiyaning qiymati bo'linishning kritik energiyasi W_{kr} (yoki *aktivlash energiyasi*) deb ataladi. Yadro bo'linish hodisasining 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 sohasiga siljiganimiz sari bu nisbatning qiymati kattalashib boradi. Masalan, O^{16} , Ag^{108} , Ba^{137} , U^{238} yadrolari uchun N/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 $N/Z = 1,6$ 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 parchalarning tarkibida ortiqcha neytronlar mavjud bo'ladi. Shuning uchun bo'linish parchalari β -yemirilishga moyil bo'ladi, ya'ni elektron va antineytron chiqarib neytron protonga aylanadi. Natijada parcha-yadroning zaryadi 1 ga ortadi, neytronlarning soni esa 1ga kamayadi. Lekin bu yadroda ham neytronlar ortiqcha bo'lishi mumkin. U holda bu yadroda yana β - yemirilish sodir bo'ladi. Faqat oxirgi yadrodagi N/Z nisbat barqarorlik (stabillik) shartiga javob beradigan shartni qanoatlantirgandagina β -yemirilishlar zanjiri to'xtaydi. Masalan, uranning bo'linishi tufayli hosil bo'lgan bo'linish parchalaridan biri - Xe^{140} ning β - yemirilish zanjiri quyidagicha:

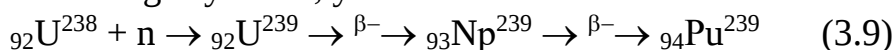


Yuqorida Xe^{140} yadrosini uran yadrosining bo'linishi tufayli vujudga keladigan parchalardan biri deb atadik. Bunday deyishimizning sababi shundaki, uranning 60 ga yaqin bo'linishi kuzatiladi. Ular ichida bo'linish parchalarining massa sonlari nisbati A_1/A_2 ning $2/3$ ga yaqin bo'lganlari esa katta ehtimollik bilan amalga oshadi.

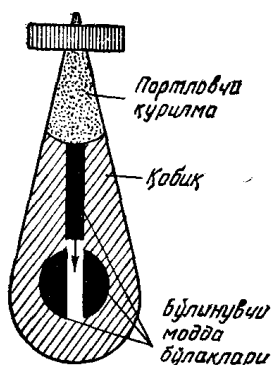
3. Zanjir reaksiya. Yadroviy reaktor

U^{230} yadrosi bo'linishi tufayli ajraladigan energiyaning taxminan $82 \div 84\%$ i bo'linish parchalarining energiyasi tarzida, qolgan qismi esa neytronlar ($2 \div 3\%$), - nurlanish ($5 \div 6\%$), elektronlar ($3 \div 4\%$) va neytrinolar ($5-6\%$) ning energiyasi snfatida namoyon bo'ladi. Har bir yadro bo'linganda, taxminan 200 MeV energiya ajraladi. Solishtirish maqsadida oddiy ximiyaviy reaksiyalarda (masalan, yonish protsessida) ajraladigan energiyaning har 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 hodisasi 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 bo'linganda ajralib chiqqan 2-3 neytronning har 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 hokazo. Shu tariqa bo'linayotgan yadrolar va buning natijasida vujudga keladigan neytronlar soni nihoyatda tez ortib boradi. Bayon etilgan tarzda rivojlanadigan protsess - zanjir reaksiyadir. Hisoblarning ko'rsatishicha, birinchi yadro bo'lingandan keyin $7,5 \cdot 10^{-7}$ s vaqt o'tgach $10^{24} \div 10^{25}$ yadro (shuncha yadro taxminan 1 kg uran tarkibida bo'ladi) reaksiyada qatnashgan

bo'ladi. Reaksiyaning 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 qisobda bittadan ortig'i yangi bo'linishni vujudga keltirishi shart. Umuman, zanjir reaksiyaning rivojlanish tezligi *ko'payish koeffitsiyenti* 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. $K_k = 1$ bo'lganda reaksiya bir me'yorda davom etadi. Shuning uchun ko'payish koeffitsiyentining 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 -yemirilish natijasida Np^{239} ga, u esa Pu^{239} ga aylanadi, ya'ni



Pu^{239} ham, xuddi U^{235} kabi sekin neytronlar ta'sirida bo'linadi. Bundan tashqari U^{235} va Pu^{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 Pu^{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) qanchalik 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 oshirish uchun yetarli sharoit yaratilgan bo'ladi. Bunday hajmdagi bo'linuvchi moddaning massasini *kritik massa* (m_{kr}) deb ataladi. Masalan, sof U^{235} dan tashkil topgan bo'linuvchi modda uchun $m_{kr} \sim 9$ kg.

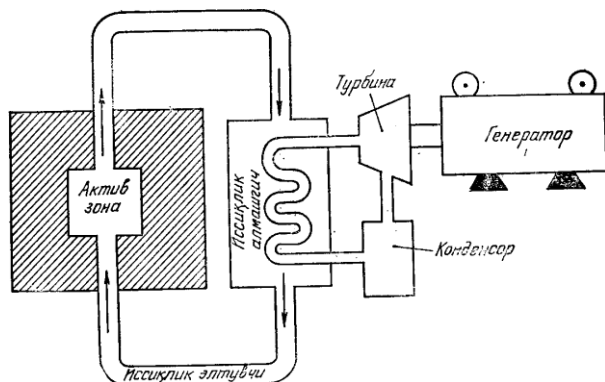


3.3-расм.

Shunday qilib, bo'linuvchi modda massasining qiymati $m < m_{kr}$ bo'lgan holda neytronlarning ko'payish koeffitsiyenti $K_k < 1$ 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 boshqarilmaydigan tarzda amalga oshirish atom bombaning portlash jarayonida sodir bo'ladi. Atom bombaning tuzilishi sxematik tarzda 3.3-rasmda tasvirlangan. Unda bo'linuvchi modda ikki yoki ko'proq bo'laklar tarzida tayyorlanadi. Bu bo'laklarning umumiy massasi kritik massasidan katta, lekin har bo'lakning

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 niqoyatda 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'yektlarni yemiradi 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 koeffitsiyenti K_k ning 1 dan ozgina katta qiymatlarida zanjir reaksiyani boshlash imkoniyati mavjud bo'lishi kerak. U holda aktiv zonadagi neytronlar konsentratsiyasi va reaktorning quvvati orta boshlaydi. Kerakli quvvatga erishilganda K_k ning qiymatini aynan 1 ga teng qilib turish imkoniyati bo'lishi kerak. Bu holda zanjir reaksiya o'zgarmas 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. 3.4-rasmda reaktor aktiv zonasining soddalashtirilgan sxemasi tasvirlangan. Reaktorning aktiv zonasi sekinlatkich modda bilan to'ldirilgan. 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 kadmий) 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 prinsipi bilan tanishaylik. Zanjir bo'linish reaksiyasida ajralayotgan energiya aktiv zonani aylanib yuradigan (3.5-rasm) issiqlik eltuvchiga o'tadi. Issiqlik eltuvchi bu energiyani issiqlik almashgichdagi suvga beradi, natijada suv buqqa aylanadi. Bug' esa o'z navbatida generatorning tarkibiy qismi bo'lgai turbinani qarakatga keltiradi.



3.5-rasm.

Turbinadan o'tgach bug' kondensorda suvga aylanib, yana issiqlik almashgichga boradi. Shu tarzda yadroviy energiya elektr energiyaga aylantiriladi.

4. Termoyadroviy reaksiyalar

Yadro bog'lanish energiyasining bir nuklonga mos keluvchi qiymati ε ning massa soni A ga bog'liqligini xarakterlovchi grafik (3.2-rasm) ga nazar tashlasak, faqat og'ir yadrolarning

bo'linish tufayligina emas, balki juda yengil yadrolarni birlashtirish (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 (18.3) munosabatga asoslanib hisoblaylik:

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

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

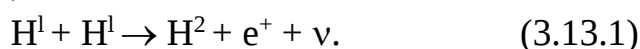
Yadrolar sintezi amalga oshishi uchun ular bir-biri bilan yadroviy kuchlarning ta'siri seziladigan masofa ($r \sim 10^{-15} \text{ m}$) gacha yaqinlashishi kerak. Lekin yadrolarning bu darajada yaqinlashishiga kulon itarishish kuchlari tufayli ular orasida vujudga keladigan potentsial to'siq qarshilik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

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-15}} J \approx 0,7 \text{ MeV} \quad (3.12)$$

energiyaga ega bo'lishi kerak. Demak, to'qnashayotgan yadrolarning har birini kinetik energiyasi $\sim 0,35 \text{ MeV}$ bo'lsa, yadroviy sintez reaksiyasi amalga oshadi. U holda yadrolar sintezi issiqlik harakatning energiyasi (ya'ni $3kT/2$) tufayli sodir bo'lishi uchun yadrolarni qanday temperaturagacha qizdirish lozim? degan savolga javob topaylik. Hisoblardan ko'rinishicha bu temperatura $2 \cdot 10^9 \text{ K}$ bo'lishi kerak. Mazkur temperaturani amalda hosil qilib bo'lmaydi. Lekin bunchalik yuqori temperaturaga hojat ham bo'lmasa kerak. Bu fikr quyidagi ikki sababga asoslanadi: 1) ixtiyoriy T temperaturadagi gaz molekulalari tezliklarining qiymati Maksvell taqsimotiga bo'ysunadi. Shu sababli Maksvell taqsimotini xarakterlovchi

grafikning "dumi" ga mos keluvchi tezliklar bilan xarakterlanadigan yadrolar issiqlik qarakat energiyasining qiymatlari $3kT/2$ dan ancha katta bo'ladi;

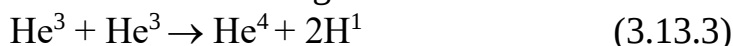
2) tunnel effekt tufayli yadrolar birikishi uchun lozim bo'ladigan kinetik energiyaning qiymati kulon to'sig'i balandligidan kichik ham bo'lishi mumkin. Shuning uchun H^2 va H^3 yadrolarining $\sim 10^7$ K temperaturada ham yetarlicha intensiv birikishi kuzatiladi. *Yadrolar sintezi yuqori temperaturalarda sodir bo'lganligi 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 ($\sim 1\%$ 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) siklidir. Mazkur sikldagi birinchi reaksiyada ikki proton birikib, deytonni hosil qiladi:



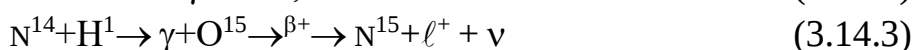
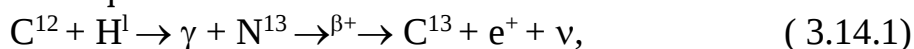
Ikkinchi bosqichda



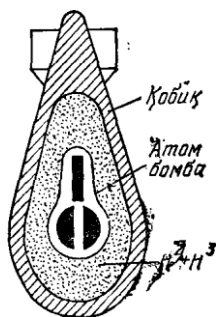
reaksiya amalga oshadi. Shundan so'ng



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



Bu siklda ham geliy yadrosi hosil bo'ladi. Bundan tashqari siklning birinchi bosqichidagi C^{12} yadrosi ham vujudga keladi. U yana yangi siklni boshlaydi. Boshqacha aytganda, C^{12} yadrosi uglerod siklida "yadroviy katalizator" vazifasini o'taydi. Shuni ham qayd qilmoq lozimki, uglerod sikli pp-siklga nisbatan yuqoriroq temperaturalarda o'tadi. Zamonaviy tasavvurlarga asosan, quyosh energiyasining manbai asosan pp-sikldir.



3.6-rasm.

Olimlar sun'iy ravishda termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish usulini topdilar. Buning uchun termoyadroviy reaksiyada qatnashishi lozim bo'lgan modda (masalan, H^2 va H^3 aralashmasi) ichida atom bomba (3.6-rasm) portlatilsa bas. Atom bomba portlaganda qoyat qisqa vaqt ichida temperatura $\sim 10^7$ K ga yetib, deyteriy va tritiy birikadi, bunda energiya ajralib chiqishi yanada kuchliroq portlash tarzida namoyon bo'ladi. Portlashda vodorod izotoplari qatnashganligidan bayon etilgan printsipda 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 yo'li bilan emas, balki boshqa usullar yordamida vujudga keltiriladi. Neytron bombani xarakterlovchi kriteriy sifatida termoyadroviylik koeffitsiyenti K_T dan foydalaniladi. K_T - yadroviy sintez reaksiyasida ajraladigan energiyaning portlash vaqtida ajraladigan umumiy energiyaga nisbatidir. Neytron bombada $K_T \sim 0,90 \div 0,95$. Yadroviy sintez reaksiyasida ajralib chiqadigan energiyaning asosiy qismi ($\sim 80\%$) 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 muhit atomlarining elektron qobiqlari bilan bevosita ta'sirlashmaydi. Lekin muhit 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 hazm qilish yo'li va jinsiy a'zolarining hujayralari 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 meqnatdan ular mutlaqo charchamagan. So'ngra maymunlarga neytron - gamma nurlanish bilan ta'sir etilgan. Nurlanishning ekvivalent dozasi 46 zivert ($1Zv=1\text{ J/kg}$) 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 halok 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 yerda joylashgan odamlarga xuddi yuqorida bayon etilgan tajribadagidek nurlanish ekvivalent dozasi ta'sir etadi.

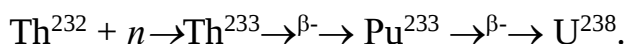
5. Boshqariladigan termoyadro reaksiyalari.

Yadroviy energetika istiqbollari. Yadroviy sintez reaksiyasi, hozircha, boshqarilmaydigan tarzda amalga oshirilishi mumkin. Boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish uchun, asosan ikki qiyinchilikni yengish kerak. Birinchidan "termoyadroviy yoqilg'i" ning temperaturasini $\sim 10^8\text{ K}$ gacha qizdirish, ya'ni quyosh temperaturasidan taxminai 10 marta yuqori temperaturalarini 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 yoqilqi" 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 tuqiladi. 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 hisobiga olinmoqda. Borgan sari oshib borayotgan energiya ehtiyojlarini qisobga 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 hal qilishda yadroviy energetikaga muhim rol ajratilgan. Hozirgi vaqtda AES larning reaktorlarida, asosan, U^{235} dan foydalanilmokda. Lekin U^{238} dan tez neytronlar ta'sirida Pu^{239} hosil qilish (3.9 ga q.) 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 Pu^{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 "yoqilqi" 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.

MUSTAHKAMLASH UCHUN SAVOLLAR:

1. Yadroviy reaksiya deb nimaga aytiladi?
2. Qanday turdagi yadro reaksiyalarini bilasiz?
3. Yadro reaksiyalari qanday saqlanish qonunlariga bo'ysunadi?
4. Yadroviy reaksiyaning effektiv kesimini tushuntirib bering.
5. Neytronlar ta'siridagi yadro reaksiyasining o'ziga xos tomonlarini bayon qiling.
6. Og'ir yadrolarning bo'linish reaksiyasi qanday kechadi?
7. Zanjiriy reaksiya va uning ko'payish, kritik massa tushunchalarining mohiyatlarini tushuntiring.
8. Yadro reaktorining asosiy qisimlarini aytib bering.
9. Termoyadro reaksiyasining o'ziga xos tomonlari nimalardan iborat?
10. Boshqariladigan termoyadro reaksiyasini amalga oshirish muammolari va istiqbollari aytib bering.

ADABIYOTLAR

1. Savelyev I.V. Kus obshey fiziki TT 3 M., Nauka. 1998 gg.
2. Detlaf A.A., Yavoskiy B.M. Kus fiziki M.. Visshaya shkola.2000
3. Tofimova T.I. Kurs fiziki M.. Visshaya shkola. 2000 g.
4. Sivuxin D.V. Obshiy kus fiziki. TT 5, M.,Nauka 1990 gg.
5. Matveyev A.N. Optika1985g. Atomnaya fizika 1990g.
6. Axmadjonov O.I. Fizika kursi 3k. T. O'qituvchi 1989 y

4-MA'RUZA. OLAMNING hozirgi ZAMON FIZIK TASAVVURI (Elementar zarralar fizikasi elementlari)

Reja:

1. Modda va maydon. Moddaning atom-molekulyar tuzilishi, atom yadrosi, kvarklar.
2. Elementar zarralar (maydon kvantlari, leptonlar, adronlar) va ularning bir-biriga aylanishi.
3. Kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlar.
4. Bosqichma-bosqich o'zaro ta'sirlashish. Materiyaning yagona nazariyasi haqida.
5. Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida.

Tayanch so'z va iboralar: tabiat, materiya, modda, fizik maydon, molekula, atom, elektron, atom yadrosi, proton, neytron, nuklon, kvarklar, elementar zarralar: maydon kvantlari, leptonlar, adronlar; mezonlar, barionlar, giperonlar; fundamental zarralar, fundamental o'zaro ta'sirlar: kuchli, elektromagnit, kuchsiz, gravitatsion; antizarralar, annigilyatsiya, rezonanslar, elektrokuchsiz, buyuk birlashuv, kengaytirilgan supergravitatsion o'zaro ta'sirlar.

1. Modda va maydon. Moddaning atom - molekulyar tuzilishi, atom yadrosi, kvarklar.

Oliy texnika o'quv yurtlarida "Fizika kursi"ni o'qitishning eng muhim vazifalaridan biri bo'lg'usi injener, mexanik va boshqa ixtisos bakalavrlarida olamning hozirgi zamon fizik manzarasini shakllantirishdir.

Bizni o'rab olgan moddiy olam - tabiat bizning ongimizga bog'liq bo'lmagan ob'yektiv borliq, real mavjudot - materiyadan tashkil topgan. Materiya ikki turda - modda va maydon ko'rinishlarida yashaydi. Modda tinchlikdagi massaga ega bo'lgan materiya turi bo'lib, oxir-oqibatda tinchlikdagi massasi nolga teng bo'lmagan elementar zarralar (elektron, proton va neytronlar) yig'indisiga keltiriladi. Fizik maydonlar materiyaning maxsus shakli bo'lib, erkinlik daraja soni cheksiz fizik sistemadir. Tabiatda to'rt xil fizik maydon mavjud: gravitatsion, elektromagnit, yadroviy va kuchsiz o'zaro ta'sir maydonlari. Maydonlar zarralar o'zaro ta'sirini uzatuvchi fazoning maxsus uyg'ongan holatigina bo'lib qolmasdan, ularni vujudga keltirgan zarralardan mustaqil holda ham mavjud bo'la oladi (masalan, elektromagnit to'lqinlar). Tajribalar ko'rsatadiki, maydon energiyasi va impulsi diskret o'zgaradi, ya'ni har bir fizik maydonga ma'lum elementar zarralar - maydon kvantlari mos keladi (masalan, elektromagnit maydonga - fotonlar, yadroviy maydonga - π , K- mezonlar va glyuonlar, gravitatsion maydonga - gravitonlar, kuchsiz o'zaro ta'sir maydoniga - $W^{\pm}$ va Z^0 oraliq bozonlar).

Modda atom va molekulalardan tashkil topgan. Ular mikrodunyoning (xarakterli chegarasi $10^{-18} \text{ m} < R < 10^{-10} \text{ m}$) eng yirik vakillaridir. Atomlar yanada maydaroq ob'ektlar-elektronlar ($R_e \sim 10^{-18} \text{ m}$) va atom yadrolari ($R_{ya} \sim 10^{-14} \text{ m}$) dan tashkil topgan. Atom yadrolari o'z navbatida protonlar va neytronlar (nuklonlar) dan tuzilgan. Nuklonlar qam tarkibiy qismi murakkab bo'lgan elementar zarralar bo'lib, kvarklar deb ataluvchi "haqiqiy elementar" zarralardan

qurilgan. Elektronlar va kvarklar boshqa yanada maydaroq va elementarroq ob'yektga keltirilmaydigan "fundamental zarralar" dir (19.1-Jadval).

Kvarklar "xushbo'ylik" kvant soni bo'yicha farqlanuvchi 6 turga bo'linadi va ular 3 ta dubletni tashkil etadi: (u, d), (c, s), (t, b). qar bir turdagi kvarklar "rang" kvant soniga ko'ra yana 3 xil navga bo'linadi. Shunday qilib, kvarklarning umumiy soni 18 ga etadi. Bundan tashqari 18 ta "antikvarklar" qam mavjud - jami bunday zarralar soni 36 ta. Barcha adronlar (mezonlar va barionlar) kvarklardan qurilgan. har bir M mezon bitta kvark q va bitta antikvark $\bar{q}$, har bir barion B esa 3 ta kvark q dan tashkil topgan:

$$M = q\bar{q}, \quad V = qqq. \quad (4.1)$$

Kvarklar "kvant bo'yalgan" ("qizil", "yashil", "havo rang") mikroob'yektlar, ularning elektr zaryadi $\pm \frac{1}{3}e, \pm \frac{2}{3}e$ (e-elektron zaryadi), spini esa $\frac{\hbar}{2}$ (ya'ni fermion) bo'lib, erkin holatda mavjud emas, balki "kvantoviy rangsiz" zarralar - adronlar tarkibiga kiradi. Yuqori energiyali elektronlar bilan proton va neytronlarni bombardimon qilish ("partonlar"-kvarklar aniqlandi) hamda elektronlar va pozitronlar dastalarining ro'paradan to'qnashish tajribalari "kvarklar modeli" ni bevosita tasdiqladi.

Hozirgi kunda fiziklarga 400 ga yaqin asosan turqun bo'lmagan elementar zarralar ma'lum. Ular qatnashadigan barcha jarayonlarda asosan uch turdagi fundamental o'zaro ta'sir (va demak ularga mos maydonlar) namoyon bo'ladi. Kuchli o'zaro ta'sir kvarklardan tashkil topgan murakkab elementar zarralar - adronlar (mezonlar, barionlar, giperonlar) o'rtasida amalga oshadi. Uni ko'pincha yadroviy o'zaro ta'sir deb ham yuritiladi. Yadroviy kuchlar atom yadrolarining mustahkam turqunligini ta'minlaydi. Elektromagnit o'zaro ta'sir barcha elektr jiqatdan zaryadlangan zarralarga (elektron, proton, pionlar va boshqalar) xarakterli bo'lib, xususan, atom va molekulalarni shakllanishiga olib keladi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir barcha elementar zarralarga xos va, masalan, ularning ko'pchiligini parchalanishiga – turg'unsizligiga sabab bo'ladi. To'rtinchi tur fundamental o'zaro ta'sir - gravitatsion o'zaro ta'sir har qanday zarralar va jismlar o'rtasida mavjud bo'lsada, biroq elementar zarralar uchun gravitatsion kuchlar shu darajada kichikki, ularni odatda hisobga olmaydilar.

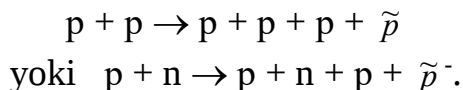
Fundamental o'zaro ta'sirlarning hammasi almashinuv xarakteriga ega. Buning ma'nosi shuki, har qanday ixtiyoriy ikki zarraning o'zaro ta'sirlashuv elementar akti ular o'rtasida o'zaro ta'sir tashuvchisi (maydon kvanti) bo'lgan uchinchi bir zarrani almashinish tufayli yuzaga chiqadi. O'zaro ta'sir maydonlarining kvantlari "haqiqiy elementar" - fundamental zarralardir (glyuonlar, foton, oraliq bozonlar va graviton).

Shunday qilib, materiyaning har ikki ko'rinishi ham - modda va maydon diskret (kvantlashgan) strukturaga egadir.

2. Elementar zarralar (maydon kvantlari, leptonlar, adronlar) va ularning bir-biriga aylanishi.

Zamonaviy tezlatkichlarda zarralarni yuqori energiyalargacha tezlatish imkoniyati elementar zarralarni o'rganishga keng sharoitlar yaratib berdi. Xususan, antiproton va antineytronlarni kashf etilishi sinxrofazotonda yuqori energiyali

protonlar oqimini hosil qilish bilan bog'liq. Umuman, 1932 yilda elektronning antizarrasi pozitron kuzatilgandan so'ng, barcha elementar zarralarning antizarralari ham bo'lishi lozim, degan fikr fizikada mustahkam o'rin oldi. Lekin antiproton 23 yildan so'ng, ya'ni 1955 yilda Chamberlen, Segre, Vigand va Ipsilantis amalga oshirgan tajribada qayd qilindi. Ular 6,3 GeV gacha tezlatilgan protonlar bilan mis nishonni nurlatdilar. Bunda yuqori energiyali proton mis yadrosining tarkibidagi biror nuklon bilan ta'sirlashadi va quyidagi reaksiyalardan biri amalga oshadi:



Antiprotonning elektr zaryadi manfiy, xususiy magnit momenti mexanik momentga teskari yo'nalgan. Xuddi elektron va pozitron kabi proton va antiproton o'zaro annigilyatsiyalanadi. Antiproton neytron bilan to'qnashganda ham annigilyatsiyalanishi mumkin.

Bir yildan so'ng, ya'ni 1956 yilda (Kork va Lambertson) antineytron kashf qilindi. Antineytronning xususiy magnit momentining yo'nalishi mexanik momentning yo'nalishi bilan bir xil. U proton yoki neytron bilan to'qnashganda annigilyatsiyalanishi mumkin.

Keyinchalik (1965-1966 y.) eng oddiy yadrolar deuteriy va tritiylarning antiyadrolari antideuteriy va antitritiyalar kuzatildi.

Hozirgi vaqtda deyarli barcha zarralarning (foton, π^0 , η - mezonlar, I/Ψ - va T-zarralardan tashqari) antizarralari mavjudligi aniqlangan. Antizarrani belgilash uchun zarraning belgisidan foydalaniladi, faqat belgi tepasiga to'lqinli chiziqcha qo'yiladi. 4.1-jadvalda elementar zarralar va ularning antizarralari keltirilgan.

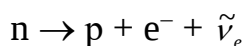
Jadvaldan ko'rinishicha, barcha zarralar to'rt grupp shaklida joylashtirilgan. Birinchi gruppaga o'zining xususiyatlari bilan boshqa zarralardan ajralib turadigan maydon kvantlari - glyuonlar, foton, oraliq bazonlar va gravitonlar kiradi. Leptonlar gruppasi massalari 207 elektron massasidan kichik bo'lgan yengil zarralardan tashkil topgan. Mezonlar gruppasiga kirgan zarralarning massalari esa leptonlardan og'irroq, lekin barionlar gruppasidagi zarralardan yengilroq. Shuning uchun ularni o'rta massali zarralar gruppasi desa ham bo'ladi. Mezonlar va barionlar birgalikda umumiy nom bilan adronlar (kuchli ta'sirlashuvchi zarralar) deb nomlanadi.

Zarralarni gruppalariga ajratishda ularning faqat massalari emas, balki boshqa xususiyatlari ham e'tiborga olingan. Masalan, leptonlar va barionlarning spinlari 1/2 ga (omega - giperonning spini 3/2 ga teng), mezonlarniki 0 ga, fotonniki esa 1 ga teng. Zarralar yana bir xususiyati bilan bir-biridan farqlanadi. Bu xususiyat - zarralar orasidagi ta'sir xarakteridir. O'zaro ta'sirning to'rt turi mavjudligini yuqorida ko'rsatib o'tdik.

Barionlar va mezonlar gruppalariga oid zarralarda kuchli o'zaro ta'sir namoyon bo'ladi. Ba'zi zarralar bir vaqtning o'zida bir necha o'zaro ta'sirda qatnashish qobiliyatiga ega. Masalan, proton boshqa zarralar bilan kuchli, elektromagnit, kuchsiz o'zaro ta'sirlarda bo'la oladi.

Keyingi yillarda kuchli o'zaro ta'sirda qatnashadigan zarralar oilasi rezonanslar deb ataladigan zarralarning katta gruppasi bilan to'ldi. Rezonanslarning yashash davomiyligi ($10^{22} \div 10^{23}$) s chamasida. Birinchi marta rezonanslarni 1952 yilda E. Fermi pi-mezonlarning protonlarda sochilishini tekshirish jarayonida kuzatgan. Mazkur tajribada π - mezonlarning sochilish ehtimolligini ularning energiyasiga bog'liqligini ifodalovchi grafikda keskin maksimum kuzatildi. Bu maksimum xuddi mayatnikning majburiy tebranishida yuz beradigan rezonans hodisasidagi maksimumga o'xshaydi. Kashf etilgan zarrani rezonans deb atalishi ana shundan kelib chiqqan. Umuman, rezonansni zarra yoki pi - mezonning nuklonga "yopishgan" holati deb talqin qilish hozircha hal qilinmagan. Balki, nihoyat qisqa vaqtlar davomiyligida (rezonans uchun $\tau \approx 10^{22} \div 10^{23}$ s) zarra va pi- mezonning nuklonga "yopishgan" holati tushunchalarining farqi yo'qdir.

Biroq kashf qilingan rezonanslar soni anchagina bo'lib qoldi va ularni qo'shib hisoblaganda elementar zarralar soni uch yuz ellikdan ortib ketdi. Hozirgi zamon tasavvurlariga asosan, ma'lum bo'lgan boshqa zarralardan tashkil topmagan zarrani elementar deb atash mumkin, xolos. Masalan, vodorod atomi proton va elektrondan iborat. Shuning uchun uni elementar zarra deb bo'lmaydi. Balki vodorod atomi elementar zarralardan tashkil topgan sistemadir. Neytron-chi? Neytron



sxema bo'yicha yemiriladi, lekin u proton, elektron va antineytrinodan iborat sistema emas, bu zarralar neytron yemirilayotgan lahzada vujudga keladi (xuddi yadroning uyg'ongan holatidan asosiy holatga o'tishida foton hosil bo'lganidek). Shuning uchun hozirgi tasavvurlarga asosan neytron elementar zarradir. Biroq shunga qaramay, olimlar ma'um elementar zarralardan ham elementarroq zarralar mavjud emasmikan? degan savolga javob qidirmoqdalar. Ba'zi nazariyotchi fiziklarning fikricha, tabiatda hali kashf qilinmagan zarralar mavjudki, bu zarralardan hozircha elementar deb atalayotgan zarralar tashkil topgandir.

Har bir elementar zarra uning o'ziga xos o'zaro ta'sirlardan tashqari bir qator fizik xarakteristikalariga ega bo'lib, ularga mos fizik kattaliklarning qiymatlari diskret-kvantlashgandir (saqlanish qonunlari mavjud):

- a) umumiy xarakteristikalar: massa m , yashash vaqti τ , spin S_z , elektr zaryad q ;
- b) "ichki kvant sonlar": lepton zaryad L , barion zaryad B , "g'alatilik" S , "maftunkorlik" C , "go'zallik" b , izotopik spin I , ichki juftlik P .

Elementar zarralarning eng muhim xususiyatlaridan biri shuki, ular tug'ilishi va yo'qolishi hamda bir-birlariga aylanishlari mumkin. Shuni alohida ta'kidlash joizki, yangi hosil bo'ladigan zarrachalar dastlabki zarrachalar tarkibida mavjud bo'lmasdan, balki ularning bevosita to'qnashish (sochilish) yoki yemirilish jarayonlarida tug'iladi.

Masalan,

- "annigilyatsiya" - $e^- + e^+ \rightarrow 2 \gamma$,
- "qayta zaryadlanish" - $\tilde{p} + p \rightarrow \tilde{n} + n$,
- "yemirilish" -

$$\begin{aligned}\mu^- &\rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu, & \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu \quad (\tau \sim 10^{-6} \text{ s}), \\ \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, & \pi^- &\rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu \quad (\tau \sim 10^{-8} \text{ s})\end{aligned}$$

Elementar zarralarning aynan bir-birlariga aylanish jarayonlarida ilgari ma'lum bo'lmagan zarrachalarning ochilish ehtimolligi eng yuqoridir. Buning uchun oldindan ma'lum turqun zarralarni mumkin qadar yuqori energiyada bir-birlari bilan to'qnashtiradilar. So'ngra bunda kechadigan reaksiya maqsulotlari va hosil bo'lgan yangi zarrachalarni yemirilish fragmentlari tadqiq etiladi. Masalan,

$$\begin{aligned}\pi^- + p &\rightarrow K^+ + \Sigma^-, \\ \pi^- + p &\rightarrow K^+ + \Sigma^-, \end{aligned}$$

reaksiyalarda "g'alati" zarralar: K^+ - mezon, Σ^- va Λ^0 - giperonlar kashf qilingan.

3. Kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlar

Yuqorida qayd qilinganidek, tabiatda prinsipial farqlanadigan 4 xil fundamental o'zaro ta'sirlar mavjud: kuchli (S), elektromagnit (E), kuchsiz (W) va gravitatsion (G). Ular bir-biridan o'zaro ta'sir intensivlik (doimiylik) lari α_i , ta'sir radiuslari R_i va xarakterli vaqtlari τ_i hamda simmetriya xossalari bilan farqlanadilar.

Tajribalar ko'rsatadiki,

$$\alpha_S \sim 1, \quad \alpha_E \sim 10^{-2}, \quad \alpha_W \sim 10^{-10}, \quad \alpha_G \sim 10^{-38}, \quad (4.2)$$

$$R_S \sim 10^{-15} \text{ m}, \quad R_E = \infty, \quad R_W \sim 10^{-18} \text{ m}, \quad R_G = \infty, \quad (4.3)$$

$$\tau_S \sim 10^{-23} \text{ c}, \quad \tau_E \sim 10^{-20}, \quad \tau_W \sim 10^{-13} \text{ c}, \quad \tau_G = ?. \quad (4.4)$$

Kuchli o'zaro ta'sir. Elementar zarralarning kuchli o'zaro ta'siri o'ziga xos o'lchamsiz doimiy bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_S = \frac{g^2}{4\pi\hbar c} \approx 15 \quad (4.5)$$

bunda g - kuchli o'zaro ta'sir "zaryadi" (mezon zaryadi). Kuchli ta'sirning asosiy xossalari:

- a) ta'sir radiusi juda kichik
- b) yadrolar barqarorligini ta'minlaydi
- v) universal emas
- g) eng yuqori simmetriyaga ega
- d) yadroda nuklonlar π^0 , $\pi^\pm$, $K^\pm$ kabi mezonlar almashinish tufayli bog'lanadi, kvarklar esa glyuonlarga almashinadi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir. Elektromagnit kuchlar nisbatan yaxshiroq o'rganilgan. Zarralarning o'zaro elektromagnit ta'sirlashuv kuchi kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda ancha ojiz, boshqa kuchlarga nisbatan esa o'ta kuchlidir. Elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasi 10^{-12} sm dan tortib kosmik masofalargacha davom etadi. Ko'pchilik fizikaviy hodisalar: atomlar va molekulalar tuzilishi, kristallar, ximiyaviy reaksiyalar, jismlarning termik va mexanikaviy xususiyatlari, radioto'lqinlar, quyosh va yulduzlarning nurlanishi va hokazo hodisalar elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasiga kiradilar.

Elektromagnit o'zaro ta'sir har xil zarralarda har xil shiddat bilan namoyon bo'ladi. Elektr zaryadiga ega bo'lgan zarralarda eng katta elektromagnit o'zaro ta'sir kuchlari vujudga keladi. Massasi va spini nolga teng bo'lmagan zaryadsiz zarralar

o'zaro kuchsizroq elektromagnit ta'sirda bo'ladilar. Eng kuchsiz elektromagnit o'zaro ta'sirga neytral, spinsiz zarralar, masalan neytral pi-mezon egadir. Zarralardan neytrino elektromagnit ta'sirni deyarli sezmaydi.

Elektromagnit o'zaro ta'sirni nozik tuzilish doimiysi deb ataluvchi o'lchamsiz kattalik xarakterlaydi:

$$\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137} \quad (4.6)$$

Elektromagnit o'zaro ta'sir zarralarning o'zidan foton chiqarib va yutib turishi jarayonida hosil bo'ladi deb tushuntiriladi. Bunday jarayon ham virtual, ya'ni kuzatib bo'lmaydigan jarayondir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir. Agar tabiatda kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino bo'lmas edi. Yadrolar, atomlar, molekulalar, kristallar mavjud bo'laverardi. Faqat barqaror zarralar soni va binobarin, atomlar va materiyaning tuzilish shakllari ancha ko'p bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning mavjudligi ba'zi bir zarralarni va natijada jismlarning ba'zi tuzilish shakllarini barqaror qiladi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sir ko'proq zarralarning parchalanishi bo'yicha "mutaxassisdir". Masalan, myu-mezonlar, zaryadli pi-mezonlar, neytron va boshqa bir guruq oqir zarralarning parchalanishi faqat kuchsiz o'zaro ta'sir orqaligina ro'y beradi. Kuchsiz o'zaro ta'sir jarayonlarining bunchalik xilma-xilligiga qaramasdan ularning hammasi uchun doimiy bitta:

$$\left(\frac{G}{\hbar c}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-14}, \quad (4.7)$$

$\frac{\hbar}{mc}$ - parchalanuvchi zarraning kompton to'lqin uzunligi, G - parchalanish jarayoni uchun bog'lanish doimiysi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir doirasining radiusi eng qisqa bo'lib, taxminan 10^{-16} sm ga teng. Kuchsiz o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralar $W^\pm$ va Z^0 oraliq bozonlardir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirlarga qaraganda kamroq simmetriyaga ega, ya'ni kuchsiz o'zaro ta'sirlarda saqlanish qonunlari ko'proq buziladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sir. Gravitatsion o'zaro ta'sir ko'rib o'tilgan o'zaro ta'sirlar ichida eng zaifidir. Tabiatda mavjud to'rtta o'zaro ta'sirlar ichida zarralarning o'zaro gravitatsiya ta'siri uni xarakterlovchi vaqtning juda kattaligi ($\sim 10^{17}$ sek) va unga xos ta'sir kuchining juda kichikligi (10^{-38}) sababli hozirgacha elementar zarralar nazariyasida deyarli e'tiborga olinmaydi.

Gravitatsion o'zaro ta'sir o'zining uchta muhim xususiyati - cheksiz katta ta'sir doirasiga egaligi, absolyut universalligi va har qanday ikki massa o'rtasidagi ta'sir kuchi ishorasining bir xilligiga asosan butun Koinotda, astronomik masshtablarda asosiy rol o'ynaydi. Uchinchi xususiyatiga asosan gravitatsion o'zaro ta'sir kuchi shu ta'sirdagi jismlarning massalari ortishi bilan tez ortadi.

Shu sababli elementar zarralar nazariyasining oxirgi yutuqlari gravitatsion o'zaro ta'sir katta energiyalik zarralar olamida munosib o'ringa ega bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi. Haqiqatdan yuqori energiyagacha tezlatilgan zarralarning relyativistik massasi ortishi bilan gravitatsion o'zaro ta'sir sezilarli bo'ladi.

Elektromagnit maydonga qiyos qilib gravitatsion o'zaro ta'sir gravitonlar deb ataluvchi zarralar vositasida vujudga keladi deb hisoblanadi. Har qanday jism, zarralar o'zidan gravitonlar chiqarib turadi. Gravitonning harakatsiz holdagi massasi $10^{-39} - 10^{-42}$ MeV ga, ya'ni deyarli nolga teng, harakat tezligi yorug'lik tezligidan biroz kam, spini ikkiga teng. Gravitonning to'lqin uzunligi 10^{28} sm. Bu kattalik koinotning radiusiga teng keladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sirni xarakterlovchi vaqtning va gravitonlar to'lqin uzunligining cheksiz kattaligi bu ta'sirning butun Olam bo'ylab deyarli so'nmasdan tarqalishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib gravitatsiya maydoni bilan o'zaro ta'sirda bo'ladigan har qanday zarra uchun gravitonlar har doim realdir. Real gravitonsiz qech qanday holatning bo'lishi mumkin emas. Bu fikr har qanday o'zaro ta'sirda ham ishirok qiluvchi gravitatsiya maydoni universal ekanligini ko'rsatadi.

4. Bosqichma-bosqich o'zaro ta'sirlashish. Materiyaning yagona nazariyasi haqida.

Barcha fundamental o'zaro ta'sirlar mexanizmlarining (almashinuv xarakteri) umumiyliги materiya tuzilishining yagona nazariyasini qurishga intilishlarni keltirib chiqardi. Bunday harakatga mashhur A.Eynshteyn o'zining oxirgi sal kam 50 yillik umrini, V.Geyzenberg esa oxirgi 20 yil faoliyatini bag'ishladi.

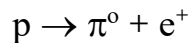
Hozirgi zamon fizikasining rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, fundamental o'zaro ta'sir doimiylari α_i qat'iy aniq qiymatga ega bo'lmasdan, balki o'zaro ta'sirlashuvchi zarrachalar orasidagi masofaga (r) yoki, baribir, ularning energiyasiga (E) hamda almashinuv zarralarining massa (energiya)siga bog'liqdir. Elementar zarralar orasidagi masofa kamayib (yoki ularning energiyalari) ortib borishi bilan ketma-ket (bosqichma-bosqich) ravishda to'rtala fundamental o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qola boradi va shu yo'l bilan yuqorida ko'rib chiqilgan 4 ta fundamental o'zaro ta'sirni yagona o'zaro ta'sirga birlashtirish masalasi tug'iladi.

S.Vaynberg, Sh.Gleshou va A.Salam (1979)larning nazariy ravishda ko'rsatishicha, leptonlar va kvarklar $\lambda_w \sim \frac{\hbar}{m_w c} \sim 10^{-18}$ m masofagacha

yaqinlashganda ular energiyasi $E_w \sim m_w c^2 \sim 10^{11}$ eV bo'lgan oraliq bozonlar almashinib ta'sirlasha boshlaydi. $E \gg E_w$ energiyalarda ($\lambda \ll \lambda_w$) oraliq bozonlarning tinchlikdagi massasini hisobga olmasa ham bo'ladi va bu holda ularning fotonlardan farqi qolmaydi, ya'ni elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qoladi. Shunday qilib, 1-bosqich birlashuv sodir bo'ladi: elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sir kuchlari elektrokuchsiz o'zaro ta'sir kuchining xususiy ko'rinishlari bo'lib qoladi. Vaynberg, Gleshou va Salamlarning elektrokuchsiz o'zaro ta'sir nazariyasida bashorat qilingan $W^\pm$, Z^0 oraliq bozonlar 1984 yili K.Rubbia va S.Van der Meyerlar tomonidan eksperimental kashf etildi.

Hozirgi kunlarda fiziklar lokal kalibrli invariantlik va simmetriyaning spontan buzilishi nazariyalari asosida elementar zarralarning yanada umumiyroq nazariyasini ishlab chiqishga kirishganlar: kuchsiz, elektromagnit va kuchli o'zaro ta'sirlarning yagona nazariyasi qurilgan. Unga ko'ra bu uchchala o'zaro ta'sir elektroyadroviy o'zaro ta'sir ("Buyuk birlashuv kuchi")ning xususiy hollari deb

qaraladi. $R \sim 10^{-32}$ m masofalarda ($\sim 10^{15}$ GeV energiyalarda) bozonlar va glyuonlar o'rtasida farq yo'qoladi (2-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" nazariyasiga muvofiq juda yuqori energiyalarda leptonlar va kvarklar $m_{\text{xc}} c^2 \sim 10^{15}$ GeV energiyali kvantlar almashinib, bir-birlariga aylana oladilar. Boshqacha aytganda elektroyadroviy o'zaro ta'sirga nisbatan barion zaryad B va lepton zaryad L larning saqlanish qonunlari buziladi. Bu nazariyaga muvofiq protonning o'rtacha yashash davri $\tau_p^{\text{nas}} \approx 10^{30 \pm 3}$ yil bo'lib,



sxema bo'yicha parchalanishi mumkin. Biroq bunday jarayon haligacha kuzatilgan emas. 10^{15} GeV energiyali zarralar hatto kosmik nurlar tarkibida ham topilmagan. Shunga qaramasdan gravitatsion o'zaro ta'sirni ham xususiy hol sifatida hisobga olib, barcha 4 ta turdagi o'zaro ta'sirlarning (materiyaning) yagona nazariyasini qurish ustida qizg'in nazariy ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Maydon kvantining energiyasi "Plank massasi" deb ataluvchi $m_p c^2 \sim 10^{19}$ GeV qiymatga etganda gravitatsion o'zaro ta'sirni ham kvant nazariyasi bilan ifodalash zarurati tug'iladi. Bunday sharoitda foton, oraliq bozonlar, glyuonlar va graviton o'rtasida farq yo'qoladi va to'rtala o'zaro ta'sir "kengaytirilgan supergravitatsiya" deb ataluvchi yagona o'zaro ta'sirga birlashadi (3-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" va "kengaytirilgan supergravitatsion" o'zaro ta'sirlar Koinot evolyutsiyasining dastlabki paytlarida ro'y bergan bo'lishi mumkin deb taxmin qilinadi.

5. Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida

Olam shunchalik turli-tumanki, barcha jismlar birgina navli zarralardan tuzilmaganligiga hech qanday shubqa yo'q. Biroq ajablanadigan joyi shundaki, yulduzlarning moddasi xuddi Yerning moddasi singaridir. Koinotdagi barcha jismlarni hosil qiluvchi atomlar mutlaqo bir xil tuzilishga ega. Jonli organizmlar ham xuddi jonsiz organizmlar tuzilgan atomlardan iborat.

Elementar zarralar va ularning aylanishlari kashf etilgandan keyin materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Bu birlikning zamirida barcha elementar zarralarning moddiyligi yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

Olamning fizik manzarasi haqidagi klassik tasavvurlarning revolyutsion o'zgarishi materiyaning kvant xossalari kashf etilgandan so'ng ro'y berdi. Mikrozarralarning qarakatini tavsiflovchi kvant fizikasi paydo bo'lgandan so'ng olamning yagona fizik manzarasida yangi elementlar ko'zga tashlana boshladi.

Materiyani uzlukli tuzilishiga ega bo'lgan moddaga va uzluksiz maydonga bo'linishi o'zining absolyut ma'nosini yo'qotdi. Har bir maydonga shu maydonning o'z zarralari (kvantlari) mos keladi: elektromagnit maydonning zarrasi fotonlar, yadro maydonining zarrasi π -mezonlar yanada chuqurroq sathda esa glyuonlar va qokazo.

O'z navbatida barcha zarralar to'lqin xossalarga ega. Korpuskulyar-to'lqin dualizmi materiyaning barcha shakllariga xos.

Kvant nazariyasining prinsiplari mutloqo umumiy bo'lib, barcha zarralarni, ular orasidagi o'zaro ta'sirlarni va ularning o'zaro aylanishlarini tavsiflash uchun qo'llanilaveradi.

Shunday qilib, hozirgi zamon fizikasi tabiat birligining ko'p tomonlarini yaqqol namoyish qilmoqda. Biroq olam birligining ko'p tomonlarini, ehtimol, hatto bu birlikning fizik moqiyatini bilib olishga hali muvaffaq bo'lingani yo'qdir. Nima uchun shunchalik ko'p elementar zarralar mavjudligi noma'lum. Nima uchun ularning muayyan massalari, zaryadlari va boshqa xarakteristikalar mavjudq hozirgacha barcha bu kattaliklar eksperimental aniqlab kelindi.

Fizikada aniqlanadigan fundamental qonunlar o'zlarining murakkabligi va umumiyliigi bilan har qanday qodisalarni o'rganish asoslanadigan dalillardan ancha ustun turadi. Biroq, ular ham bevosita kuzatiladigan sodda hodisalar haqidagi bilimlar kabi to'g'ri va shu darajada obyektivdir. Bu qonunlar hech qachon, har qanday sharoitlarda ham buzilmaydi.

Fizika fanining taraqqiyoti falsafiy qarashlarda tub burilishlarga olib keldi va bir qator muammolarni keltirib chiqardi. Masalan, kvarklarni nazariy kashf etilishi va ularni erkin holda kuzatish printsiptial mumkin emasligi "narsa o'zida" tezisini qayta anglashga olib keldi. Fizikaning rivojlanishi va materiyaning yagona nazariyasini qurilishi yagona olamning fizik manzarasini yaratish imkonini berdi, dunyoni bilishning ilmiy asosini vujudga keltirdi. Dialektik materializmning "materiya shakllari va xususiyatlari cheksizdir" degan tezisi tasdiqlanib bormoqda.

MUSTAHLKAMLASH UChUN SAVOLLAR:

1. Materiya va modda tushunchalarini izoqlab bering.
2. Fizik maydonlarning turlari, tabiati, asosiy xususiyatlarini bayon qilib bering.
3. Elementar zarra deganda nimani tushunasiz?
4. Lepton va adronlarning farqi nimada?
5. Kvarklar turlari va xarakterli xususiyatlarini tushuntiring.
6. Fundamental o'zaro ta'sirlar haqida nima bilasiz?
7. Bosqichma-bosqich o'zaro ta'cirashishni qanday tushunasiz?
8. S.Vaynberg, Sh.Gleshou va A.Salamlar qaysi ilmiy tadqiqoti uchun Nobel mukofotiga sazovor bo'lgan?
9. Oraliq bazonlar va gravitonlar haqida tushuncha bering?
10. Olamning yagona fizik tasavvuri nimalardan iborat?

ADABIYOTLAR

1. A.A.Detlaf, B.M.Yavorskiy. Kurs fiziki. M.: Visshaya shkola", 2000, gl. 46.
2. A.I.Naumov. Fizika atomnogo yadra i elementarnix chastits. M.: Prosveùeniya 1984, gl. VIII.
3. Fundamentalnaya struktura materii. M.: "Mir", 1984. 173-204.
4. I.V.Savelev. Kurs obshey fiziki, kniga 5. Kvantovaya optika, atomnaya fizika, fizika tverdogo tela, fizika atomnogo yadra i elementarnix chastits. 1998.
5. O.Axmadjonov. Fizika kursi. IIIq. T.1989,
6. R.Bekjonov. Yadro fizikasi. T. "O'qituvchi", 1975. IX bob, 213-260 b.

