

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA‘LIM FAN VA  
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI**

**FIZIKA KAFEDRASI**

**ATOM YADROSI VA ZARRALAR FIZIKASI**

**Bakalavriat talabalari uchun elektron majmua**

**60530900- Fizika bakalavriat ta‘lim yo‘nalishi uchun**

**GULISTON – 2024**

Mazkur elektron qo‘llanma “Fizika” kafedrasining 2024-yil 29-avgustdagi yig‘ilishida muhokama qilinib, tasdiqlash uchun tavsiya etilgan. (1-sonli bayonnoma).

Mazkur elektron qo‘llanma “Axborot texnologiyalari va fizika-matematika” fakulteti Kengashining 2024-yil 29-avgustdagi yig‘ilishida muhokama qilinib, tasdiqlash uchun tavsiya etilgan. (1-sonli bayonnoma).

Mazkur elektron qo‘llanma Guliston davlat universiteti o‘quv-metodik Kengash yig‘ilishiining 2024-yil 29-avgustdagi 1-sonli bayonnoma bilan tasdiqlangan.

Tuzuvchi:

V.T.Raxmanov

GulDU “Fizika” kafedrasida pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

Taqrizchi:

Sh.A.Ashirov

GulDU “Fizika” kafedrasida dotsenti, pedagogika fanlari nomzodi

**“Fizika” kafedrasida mudiri**

**K.Tursunmaxatov**

**Axborot texnologiyalari va fizika-matematika fakultetida dekani**

**O.J. Murodov**

Elektron qo'llanmada Atom yadrosining asosiy xususiyatlari, yadro kuchlari, yadro modellari, radioaktiv parchalanishning asosiy qonunlari, yadro reaksiyalari, yadro nurlanishlarning modda bilan o'zaro ta'siri, elementar zarralar klassifikatsiyasi, elementar zarralar va saqlanish qonunlari bayon etilgan. Ushbu o'quv qo'llanma atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi sohasidagi mutaxassislar, doktorantlar hamda oliy o'quv yurtlari bakalavrlari va magistrantlari uchun mo'ljallangan. taraqqiyot bosqichlari haqida ma'lumotlar berilgan.

Yadroning ichki sirlarini o'rganish uchun yuqori energiyali tezlatkichlar qurila boshlandi. Shu maqsadda Van-de-Graf tomonidan elektrostatik generator E.Lourens tomonidan esa siklotron yaratildi. 1932-yilda D.Chedvik (1891-1974) zaryadsiz, massasi protonnikiga yaqin boigan  $m_n = 1838,6m_e$  massali neytral zarra-neytronni kashf etdi. Neytron kashf etilgach, D.D.Ivanenko va Geyzenberg atom yadrosining proton-neytron modelini tavsiya etishdi. Bu modelga ko'ra, atom yadrolari proton va neytronlardan tashkil topgan deb qaraladi. Hozirgi kungacha ham shunday tasavur saqlanib kelmoqda. D.Kokroft va E.Uolton sun'iy tezlashtirilgan protonlar bilan birinchi yadro reaksiyasini amalga oshirdi. K.Anderson kosmik nurlar tarkibida pozitron ( $e^+$ ) ni kashf etdi. Kosmik nurlar va yadro nurlanishlami o'rganish uchun Vilson kamerasi va fotoemulsiya usullari yaratildi. Yadro tarkibini o'rganish bilan bir vaqtdayadro kuchlarning xususiyatlarini aniqlashga jiddiy e'tibor qaratildi. LE.Tamm (1895-1971), D.D.Ivanenko (1907-1981) va keyinchalik 1935-yildayapon olimi X.Yukava yadro kuchlar oraliq mezon zarralar yordamida amalga oshadi deb qarab, o'zlarining mezon nazariyasini ishlab chiqishdi. 1934-yilda LKyuri va F.Jolio-Kyuri sun'iy radioaktivlik hodisasini, E.Fermi  $\beta$  -yemirilish nazariyasini yaratdi. 1937-yilda K.Anderson va S.Nedermeyer tomonidan kosmik nurlar tarkibida  $\mu$  -mezon zarralar mavjudligi ochildi. Bu vaqtga kelib kocplab elementar zarralar va bu zarralarning bir-birlariga o'tishliklari o'rganila boshlandi. 1939-1945-yillarda og'ir yadrolarning neytronlar ta'sirida bo'linishi, bunda katta energiya ajralishi aniqlandi, ya'ni yadro zanjir reaksiyalari amalga oshirildi. Yadro boiinish nazariyasini 1939-yil Ya.I.Frenkel, N.Bor va J.Uylerlar tomchi modeliga asosan

ishlab chiqishdi. E.Fermi boshchiligida AQSHda 1942-yil 2-dekabrda atom reaktori ishga tushdi. 1944 - 1945-yillarda V.I.Veksler va E.Mak-Millan zaryadli zarra tezlatgichlariga avtofazirovka prinsipini ishlab chiqdilar, bu esa o‘z navbatida tezlatgichlar energiyasini bir necha o‘n marta oshirish imkoniyatini berdi.

Elektron qo‘llanma oliy o‘quv yurtlarining 60530900- Fizika bakalavriat ta‘lim yo‘nalishi uchun o‘qitilayotgan “Atom yadrosi va zarralar fizikasi” fanining o‘quv dasturiga muvofiq yaratilgan. Undan bakalavriat ta‘lim yo‘nalishi talabalari, magistrantlar hamda mazkur qo‘llanmani fizika sohasi bo‘yicha izlanishlar olib borayotgan tadqiqotchilar foydalanishi mumkin.

### **Taqrizchilar**

**Maxkaboy Xalilloev**, Urganch davlat universiteti Fizika kafedrası dotsenti, fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

**Kaxramon Tursunmaxatov**, Guliston davlat universiteti Fizika kafedrası mudiri v.b dotsenti, fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

## Kirish

Yadro fizikasi - atom yadrosining tuzilishi, xususiyatlari va yadro ichida yuz beradigan jarayonlarni o'rganuvchi fandır. XIX asr oxirlariga qadar atom tuzilishi haqida hech narsa ma'lum emas edi. 1896-yilda A.Bekkerel radioaktivlikni kashf etdi. Radioaktiv nurlanishlarning fotoplastinkaga ta'sir etishini va ionlashish xususiyatlarini aniqladi. Ikki yildan so'ng P. Kyuri va M. Skladovskaya Kyurilar uran tuzlarining ham radioaktivlik xususiyatiga ega ekanligini aniqladilar. Radioaktivlik yemirilish vaqtida uch xil ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) nurlanish vujudga kelishi va nurlanish intensivligi tashqi ta'sirlarga (temperatura, elektromagnit maydon ta'siri, deformatsiya) bog'liq emasligini aniqladilar. 1900-yili Kyuri, E.Rezerford, F.Soddilar radioaktiv namunalardan chiquvchi  $\alpha$  -nur ikki marta ionlashgan geliy atomi,  $\beta$  -nur tez elektronlar oqimi,  $\gamma$  -esa qisqa elektromagnit to'lqin ekanligini aniqladilar. Bu radioaktivlik hodisalarini atom, molekulalarda bo'ladigan jarayonlar deb tushuntirib bo'lmaydi, balki yangi bir soha - yadroda deyishlikni taqozo etadi. J.J.Tomson 1897-yil 29-aprelda elektronni kashf etdi. 1904-yilda esa o'zining atom modelini tavsiya etdi.

Elektron qo'llanma 60530900- Fizika ta'lim yo'nalishi bakalavriat bosqichi uchun Namunaviy o'quv dasturi asosida tayyorlangan bo'lib, unda hozirgi fizika atom va yadro sohasida hamda bu tizimning rivojlanish bosqichlari va bir necha oliy ta'lim universitetlarning professor-o'qituvchilari tomonidan yaratilgan darslik va o'quv qo'llanmalar asosida yoritildi.

Elektron qo'llanmaning tayyorlanishida fizika sohasidagi bir necha yil izlanish va nodir ilmiy va o'quv manbalaridagi materiallar, daliliy misollardan keng foydalanildi. Ayrim mavzularning yoritilishida chet el adabiyotlarga murojaat qilindi.

Mualliflar majmuani mukammallashtirishga ko'maklashadigan barcha fikr-mulohazalarni mamnuniyat bilan qabul qiladilar.

Guliston shahri, 4-mavze, GulDU bosh binosi, "Fizika" kafedrası.

# MA'RUZA MASHG'ULOTLARI

## ATOM YADROSINING ASOSIY XUSUSIYATLARI

### Ajratilgan soat 2

#### Reja

1. Yadroni tashkil etuvchi proton va neytronlar xususiyatlari.
2. Atom yadrosining asosiy xususiyatlari.
3. Massa soni, atom yadrosining zaryadi va massasi
4. Yadro massasi
5. Yadrolarning o'lchami va zichligi
6. Bog'lanish energiyasi

#### 1.Yadroni tashkil etuvchi proton va neytronlar xususiyatlari

Atom yadrosi ikki xil elementar zarralar – proton va neytronlardan iboratdir.

Proton massasi ( $m_p$ ) taxminan neytron massasi ( $m_n$ ) ga teng, elektron massasi ( $m_e$ ) dan ~2000 marta katta:

$$m_p=1836,15 m_e=1,67265 \cdot 10^{-24} \text{ gr.}$$

$$m_n=1838,68 m_e=1,67495 \cdot 10^{-24} \text{ gr.}$$

Proton musbat zaryadli, zaryad miqdori elektron zaryadiga teng ishorasi qarama-qarshi. Neytron zaryadsiz neytral zarra. Proton va neytronlar xususiyy momentga, spinga ega ( $S=1/2$ ) bo'lgan Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunuvchi fermionlardir. Atom fizikasidan ma'lumki, zaryadli, massali elektron mexanik momentga ega bo'lishi bilan bir vaqtda magnit momentga ham ega bo'lishi kerak.

Protonning zaryadi, spini elektron zaryadi va spiniga teng, massasi esa katta bo'lgani uchun magnit momenti Bor magnetonidan kichik bo'lishi kerak.

$$\mu_B = \frac{eh}{2m_e c} = 9,27 \cdot 10^{-21} \text{ erg / grs} \quad (\text{Bor magnetoni})$$

**Proton magnit momenti qiymat jihatdan yadro magnetoniga teng**

**bo'lishi kerak.**

$$\mu_{ym} = \frac{eh}{2m_p c} = 5,05 \cdot 10^{-24} \text{ erg / grs}$$

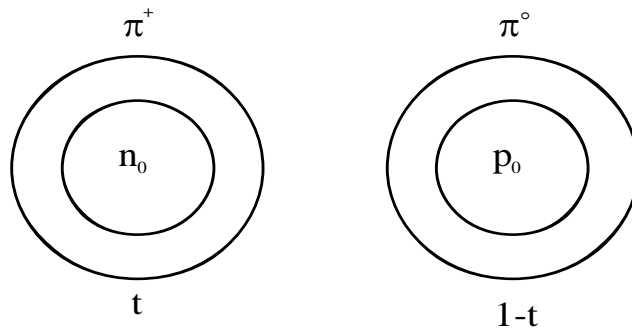
$$\mu_B = 1836,1 \mu_{ym}$$

Lekin proton magnit momenti kutilgan qiymatdan ( $1\mu_{ym}$ ) dan katta  $2,79\mu_{ym}$  ekanligini ko'rsatadi.

Neytron ham neytral zarra bo'lishiga qaramasdan magnit momentga ega ekan. Neytron magnit momenti  $\mu_n = -1,91\mu_{ym}$ . Magnit momentining ishorasi manfiyligi spin yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda ekanligini bildiradi.

Proton va neytronlarning magnit momentlarining boshqacha bo'lishligi bu zarralarning murakkab to'zilishga ega ekanligini ko'rsatadi.

Proton va neytronlarning magnit momentlarini proton va neytronlar markazlarida yalong'och proton (neytron) va atrofida mezon buluti bor, bular bir-birlariga uzviy almashinib turadilar deyilsa tushunarli bo'ladi. Masalan, proton magnit momentini tushuntirish uchun: markazida yalong'och neytron  $n_0$  atrofida  $\pi^+$ - mezon holatida  $t$  vaqt tursa,  $(1-t)$  vaqtda markazida yalong'och proton  $p_0$  atrofida  $\pi^0$ - mezon holatida (1-rasm) bo'lsin, u holda o'rtacha magnit momenti

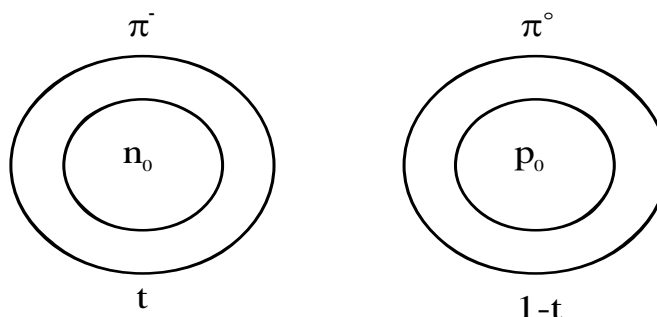


**1-rasm**

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_p &= (\mu_{n_0} + \mu_{\pi^+})t + (\mu_{p_0} + \mu_{\pi^0})(1-t) = \mu_{\pi^+}t + \mu_{p_0} - \mu_{p_0}t = \\ &= (6,6\mu_{ym} + \mu_{ym} - \mu_{ym})t > \mu_{ym} \end{aligned} \quad (1)$$

Bunda yalang'och proton  $p_0$  magnit momenti  $\mu_p = 1\mu_{ym}$ ,  $\pi^+$ - mezon massasi proton massasidan 6,6 marta kichik bo'lgani uchun magnit momenti  $6,6\mu_{ym}$  teng.  $n_0$ ,  $\pi^0$ -mezonlar magnit momentlari nolga teng. (1) formuladan ko'rinib turibdiki,

proton o'rtacha magnit momenti yadro magnetonidan katta. Xuddi shuningdek neytron magnit momentini ham  $t$  vakt ichida yalang'och  $n_0$  va  $\pi^0$  – mezon buluti va  $(1-t)$  vaqtda yalang'och  $p_0$  va  $\pi^-$  mezon bulutidan iborat deb qarash mumkin (2-rasm).



2 - rasm.

### Neytronning o'rtacha magnit momenti

$$\bar{\mu}_n = (\mu_{p_0} + \mu_{\pi^-})t + (\mu_{n_0} + \mu_{\pi^0})(1-t) = (\mu_{\text{яМ}} - 6,6\mu_{\text{яМ}})t < 0 \quad (2)$$

Demak, neytron magnit momenti nol bo'lmasdan manfiy ( $-1,91\mu_{\text{ym}}$ ) bo'lishligi, protonning magnit momenti,  $1\mu_{\text{ym}}$  bo'lmasdan  $2,79\mu_{\text{ym}}$  bo'lishligi tushinarli.

Erkin holatda  $p$ - barqaror,  $n$ - esa radioaktiv  $\sim 12$  minutdan keyin  $n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$  yemiriladi. Yadro ichida neytron, protonlar bir-birlariga o'tib turishadilar. Proton va neytronlar spinlari teng, massalari deyarli teng, bir-birlariga uzviy almashinib turadi, yadro kuchlari ham bir xil zarralar hisoblanadi, bir so'z bilan nuklon deb ataladi. Nuklonlar uchun yadro kuchlari bir xil bo'lgan faqat elektromagnit maydonga nisbatan ikkita erkinlik darajasiga ega bo'lgan aynan bir xil (zaryadli proton, zaryadsiz neytron) zarralardir.

Yadro kuchlari ta'sirida proton va neytronlar birikib turli yadrolarni hosil qiladilar.

**2. Atom yadrosining asosiy xususiyatlari.** Atom yadrosi turg'un (barqaror), yoki radioaktiv bo'lishi mumkin. Bu yadrolar massa soni  $A$ , elektr zaryadi  $Z$ , massasi  $M$ , massasiga bog'lik to'la bog'lanish energiyasi  $E_b$ , radiusi (o'lchami)  $R$ , spini  $I$ , magnit momenti  $\mu$ , elektr kvadrupol momenti  $Q$ , izotopik spini  $T$  va shu yadroning to'liq funktsiyasiga xos bo'lgan juftligi  $R$  bilan xarakterlanadi.



Radioaktiv yadrolar yana emirilish turi, yarim emirilish davri, emirilish natijasida hosil bo'lgan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  nurlarning energiyasi bilan ham xarakterlanadi.

Atom yadrolari yana o'zlarining energetik holatlari bilan xarakterlanib, eng kichik energiyali holatiga yadroning asosiy holati va undan yuqori energiyaga ega bo'lgan holatlarga uyg'ongan holatlar deb ataladi. Yuqorida sanab o'tilgan yadro xususiyatlarining deyarli hammasi yadroning asosiy ham uyg'ongan holatlari uchun xosdir. Massa soni  $A$  va zaryadi  $Z$  dan tashqari hamma xususiyatlari holat energiyasi o'zgarganda o'zgarishi mumkin. Uyg'ongan holatdagi yadro xususiyatlariga yana yadroning bir energetik holatdan ikkinchisiga o'tish usuli, yadroviy reaksiyalar ko'rilganda zarraning yadro bilan yoki yadrolarning o'zaro ta'sirlashish kesimi va yadroviy reaksiyalarda ajralgan energiya, ikkilamchi zarralarning burchak taqsimoti va boshqa kattaliklar bilan xarakterlanadi.

**3.Massa soni, atom yadrosining zaryadi va massasi.** Atom yadrosi proton va neytrondan tashkil topganligi aniqlangach, protonlar soni  $Z$  va neytronlar soni  $N$  birgalikda massa soni  $A$  deb atala boshlandi.  $A=Z+N$ . Barcha yadroviy reaksiyalarda massa soni saqlanadi. Bunga nuklonlar yoki barion soni saqlanishi deb ham ataladi. Yadroni belgilashda ximiyaviy belgisi quyidagicha ifodalanadi:

${}^A_Z X$  -  $X$  - kimyoviy belgisi,

$A$  - massa soni,

$Z$  - yadro zaryadi

Masalan,  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , bunda geliyda massa soni 4, zaryadi 2, neytronlari 2. Kislorodda massa soni 16, zaryadi 8, neytronlari 8. Uranda massa soni 235, zaryadi 92, neytronlari 143 ta.

Massa soni, massa atom birligida hisoblangan yadro massasidan  $\sim 1\%$  largacha farq qilishi mumkin.

Atom yadrosining yana muhim xususiyati zaryaddir. Yadro zaryadi yadroni tashkil etgan zarralar zaryadlari yig'indisiga teng bo'lihi kerak.

Yadro proton va neytronlardan iborat ekan, neytron zaryadsiz – neytral zarra. U xolda yadro zaryadi protonlar zaryadlari yig'indisiga teng bo'ladi. Proton zaryadi

musbat miqdor jihatdan elektron zaryadiga teng:  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Cl. Shunday qilib, tartib nomeri  $Z$  bo‘lgan biror element atomining yadrosi  $Ze$  zaryadga ega.

Masalan:  ${}^1_1H$  - vodorod yadrosi uchun  $Z=1$  zaryad miqdori  $+e$ ;

${}^4_2He$  - geliy yadrosi uchun  $Z=2$  zaryad miqdori  $+2e$ ;

${}^{16}_8O$  - kislorod yadrosi uchun  $Z=8$  zaryad miqdori  $+8e$ ;

${}^{235}_{92}U$  - uran yadrosi uchun  $Z=92$  zaryad miqdori  $+92e$ .

Yadro zaryadi yadroda protonlar sonini xarakterlaydi, lekin yadroda zaryad taksimotini anglatmaydi.

Yadro zaryadi yadrodagi protonlar soniga o‘z navbatida atom qobig‘idagi elektron soniga (atom har doim neytral bo‘lgani uchun) yoki Mendeleevning elementlar davriy sistemasidagi tartib raqamiga teng.

Yadro zaryadini aniqlashning ko‘pgina usullari mavjud:

1. 1913 yilda kashf etilgan ingliz olimi Mozli qonuniga ko‘ra. Bunda yadro zaryadi bu yadro atomi qobig‘idan chiqayotgan xarakteristik rentgen nurlar chastotasi  $\nu$  ga ko‘ra

$$\sqrt{\nu} = AZ - B.$$

Xarakteristik rentgen nurlanishi atomning ichki (masalan,  $K, L, M$  va h.k.) qobiqlarida hosil bo‘lgan bo‘sh o‘rinlarni yuqori qobiqdagi elektronlar egallaganda hosil bo‘lar edi. Nurlanish seriyalardan iborat bo‘lib, berilgan nurlanish seriyasi uchun  $A$  va  $V$  o‘zgarmas koeffitsientlar element turiga bog‘lik emas. Demak,  $A$  va  $V$  koeffitsientlar ma’lum bo‘lsa, xarakteristik rentgen nurlanish chastotasini ( $\nu$ ) tajribada o‘lchab, elementning tartib nomeri  $Z$  ni aniqlash mumkin.

2. Atom yadrosining zaryadini 1920 yilda Chadvik ko‘llagan usuli bilan ham aniqlash mumkin. Bunda  $\alpha$ -zarralarning yupka metal yaproqcha (plyonka)lardan sochilishi uchun Rezerford keltirib chiqargan formuladan foydalaniladi:

$$\frac{dN}{N_0} = nd \left( \frac{Ze^2}{m_\alpha g} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

bunda:  $dN - \theta$  burchak yo'nalishidagi  $d\Omega$  fazoviy burchak ichida sochilgan  $\alpha$  - zarralar soni.

$N_0$  - zarralarning dastlabki soni,

$n$  - muhitning hajm birligidagi yadrolar soni,

$d$  - muhit qalinligi.

Berilgan radioaktiv preparat uchun  $\alpha$ -zarralarning tezligi  $\mathcal{G}$  ma'lum. Rezerford tajribasi (2) yordamida sochilgan  $\alpha$ -zarrachalarni hisoblab, sochuvchi yadro zaryadini topish mumkin.

3. Elektr zaryadining miqdori barcha yadro jarayonlarida saqlanadi. Bunga elektr zaryadining saqlanish qonuni deb ataladi. Shunga ko'ra yadro reaksiyalari va emirilishlarida zaryad balansiga ko'ra aniqlash mumkin.

**4.Yadro massasi.** Massa moddiy ob'ektning eng muhim xususiyatlardan biri bo'lib, jismning inertsiya, gravitatsiya va energiya o'lchamlari bo'lib xizmat qiladi. Yadro massasi atom massasi birligida o'lchanadi. Ma'lumki, atom neytral holatda bo'ladilar. Bir massa atom birligi  ${}^{12}S$  massasining 1/12 qismi olingan.

$$1m.a.b. = \frac{1}{12} {}^{12}C = \frac{1}{12} \frac{12}{N_A} = \frac{1}{6,025 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ gr.}$$

Eynshteyn qarashiga ko'ra massa bilan energiya orasidagi bog'lanish qonuniga asosan har qanday  $M$  massali ob'ektga shu massaga mos  $E=mc^2$  energiya va aksincha,  $E$  energiyaga  $M=E/c^2$  tenglik bilan ifodalanuvchi massa to'g'ri keladi.

1 m.a.b.ga mos keluvchi energiya

$$E = mc^2 = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ gr} \cdot 9 \cdot 10^{20} \frac{\text{sm}^2}{\text{s}^2} = 14,94 \cdot 10^{-4} \text{ erg} = 931,5 \text{ MeV}$$

Yadro fizikasida massa va energiya  $eV$  (elektronvolt) larda o'lchaniladi.

$$1eV = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE} \frac{1}{300} V = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg} = 1,6 \cdot 10^{-19} J :$$

ёки

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cl} \cdot 1 V = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

**1 eV dan katta birliklari keV, MeV, GeV va h.k.**

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

1 MeV=10<sup>6</sup> eV

1 GeV=10<sup>9</sup> eV mavjud.

Nisbiylik nazariyasiga asosan massa bilan tezlik orasidagi bog‘lanish.

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{C^2}}} \quad (4)$$

Bu yerda  $M$  va  $M_0$  –  $g$  tezlik bilan harakat qilayotgan va tinch holatdagi jismlar massasi.

Relyativistik mexanikaga asosan  $g$  tezlik bilan harakat qilayotgan jismning to‘la energiyasi

$$E = M_0 C^2 + T \quad (5)$$

bo‘ladi, bunda  $M_0 C^2$  jismning tinch holatdagi energiyasi,  $T$  - uning kinetik energiyasi.

Ikkinchi tomondan  $E = MC^2 = \frac{M_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{C^2}}}$  bo‘lgani uchun harakatdagi jismning

kinetik energiyasi.

$$T = \frac{M_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{C^2}}} - M_0 C^2 = M_0 C^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (6)$$

**Yadro fizikasida yana quyidagi formula ham ishlatiladi.**

$$E = \sqrt{M_0^2 C^4 + P^2 C^2} \quad (7)$$

Bu formulada

$$P = M g = \frac{M_0 \beta C}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$M$  - massali jismning relyativistik impulsidir uni  $E = MC^2$  dan keltirib chiqarish mumkin.

Haqiqatan

$$E^2 = M^2 C^4 = \frac{M_0^2 C^4}{1 - \beta^2} = \frac{M_0^2 C^4 + M_0^2 \beta^2 C^4 - M_0^2 \beta^2 C^4}{1 - \beta^2} = \frac{M_0^2 C^4 (1 - \beta^2) + M_0^2 \beta^2 C^4}{1 - \beta^2} = M_0^2 C^4 + P^2 C^2.$$

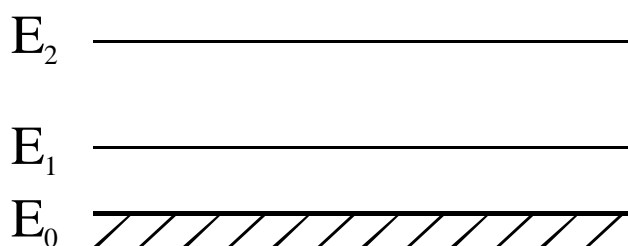
**Relyativistik holat uchun kinetik energiya  $T$  va impulsi  $R$  orasidagi bog'lanishni (4), (6) formulalarga ko'ra keltirib chiqarish mumkin.**

$$M_0 C^2 + T = \sqrt{M_0^2 C^4 + P^2 C^2}$$

kvadratga ko'tarsak

$$T(2M_0 C^2 + T) = P^2 C^2 \quad (8)$$

Atom yadrosi nuklonlardan iborat murakkab sistema bo'lgani uchun uning energiyasi nuklonlar ichki harakat energiyasi bilan belgilanadi. Nuklonlar ichki harakat energiyasi qancha katta bo'lsa, shuncha tinch holat massasi  $M_0 = E/C^2$  katta bo'ladi. Yadro asosiy holatiga tinch holat massaning va energiyaning eng minimal qiymati mos keladi. Ya'ni nuklonlar harakatining minimum harakati (chastotasi) asosiy holat deyiladi. Yadro tashqaridan energiya qabul qilsa, energiyasi oshadi natijada yadro diskret uyg'ongan  $E_1, E_2, \dots$  holatlarga o'tadi mos ravishda massasi ham  $\Delta M = \frac{E_1}{C^2}$  ga oshadi (3-rasm).



**3-rasm. Yadroning asosiy va uyg'ongan holatlari.**

3-rasmda energiya (0) yadro asosiy holati,  $E_1, E_2$  lar uyg'ongan holat energiyalari. Har bir yadro o'ziga xos uyg'onish energiyalariga ega bo'ladilar, yadroning uyg'onish energiyasi qanday yo'l bilan uyg'onishiga bog'lik emas.

Barcha yadro jarayonlari energiya saqlanishlik bilan ro'y beradi.

Atom massalarining aniq qiymati mass-spektrometrik texnika yordamida tajribada aniqlanadi. Mass-spektrometrlarning har xil turlari mavjud. Odatda

musbat zaryadlangan ionlar zaryadining ularning massasiga bo'lgan nisbati  $e/m$ , magnit va elektr maydonlarning umumiy ta'siri natijasida ionlar dastasining og'ish kattaligi orqali aniqlanadilar.

Hozirgi zamon mass-spektrometrlari vodoroddan tortib hamma elementlarning massalarini millionning 0,02 ulushi qadar aniqlikda o'lchash imkonini beradi.

Atom yadrolari massasini boshqa usullarda ham yuqori aniqlikda o'lchash mumkin. Masalan, yadroviy reaksiyalar, radioaktiv emirilishlarda energiya balansini tahlil qilishlik va radiospektroskopik, mikroto'lkin va boshqa usullar.

Yadrodagi nuklonlar miqdorlariga qarab izotop, izobar, izoton, ko'zguli yadrolar deb ataladilar.

Bir xil zaryadga ( $Ze$ ) ya'ni bir xil sonli protonga, ammo har xil massa soniga  $A$  ega bo'lgan yadrolarga izotoplar deb ataladi.

Masalan,  $^{16}_8O, ^{17}_8O, ^{18}_8O$  protonlar soni bir xil, neytronlar soni turlicha, bu yadrolar elementlar davriy sistemasida bir joyda joylashadilar. Izotoplar bir xil ximiyaviy va optik xususiyatlarga egadirlar. Lekin fizik xususiyatlari massa soni, toq-juftliklari va hokazo turlichadir.

Massa soni  $A$  bir xil zaryadlari har xil yadrolarga izobar yadrolar deb ataladi.

Masalan:  $^{10}_4Be, ^{10}_5B, ^{10}_6C$ .

Izobarlar ximiyaviy xususiyatlari turlicha, fizik xususiyatlar, nuklon soni bir xil bo'ladi. Lekin massa sonlari bir xil bo'lganda ham izobar yadrolar massalari birmuncha farq qiladilar.

Birinchi yadroning protonlari ikkinchi yadroning neytronlariga, ikkinchi yadroning protonlari birinchi yadroni neytronlariga teng bo'lsa ko'zguli yadrolar deb ataladi.

Masalan:  $^1_0n \rightarrow ^1_1P, ^3_1H_2 \rightarrow ^3_2He_1, ^7_4Be_3 \rightarrow ^7_3Li_4$

Ko'zguli yadrolardan biri radioaktiv bo'ladi. Har qanday o'zgarishlardan so'ng bir-biriga o'tishadilar.

Bu yadro xususiyatlari bir-birlariga ancha yaqin. Ko'zgili yadrolar, yadro kuchlar tabiatini va yadro kuchlariga elektromagnit maydonining hissasini aniqlashda keng qo'llaniladi. Neytronlari bir xil bo'lgan yadrolarga izotonlar deb ataladi.

Masalan:  ${}^{15}_7\text{N}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{F}$

**5.Yadrolarning o'lchami va zichligi** Yadro o'lchami – yadroning mavjudlik sohasi yoki yadro kuchlarining ta'sir sferasidir.

Yadro o'lchami (radiusi)  $R \sim 10^{-15}\text{m}$  bo'lib atom radiusidan  $10^5$  marotabalar kichikdir.

Yadro o'lchamini tajribada aniqlashning ko'pgina usullari bor. Masalan, elektron va neytronlarning atom yadrosidan sochilishiga ko'ra, undan tashqari yadro radiusini «ko'zgu» yadrolarga, protonlarning elektrostatik ta'sir energiyasini o'rganish,  $\mu$ -mezonlar rentgen nurlanishni o'rganish va alfa radioaktiv yadrolarning emirilish qonunini o'rganish yo'li bilan ham aniqlash mumkin. Yuqorida sanab o'tilgan usullar yadroviy kuchning o'zaro ta'sir sohasini yo elektromagnit o'zaro ta'sir sohasini aniqlashga asoslangan. Turli usullar yadro taxminan shar shaklida ekanligi va aniq chegaraga ega ekanligini hamda radiusi massa soniga

$$R=R_0A^{1/3} \quad (9)$$

bog'liq ravishda oshib borishligini ko'rsatadi. Bu erda  $R_0$  - doimiy kattalik. Uning qiymati yadro radiusini turli usullarda aniqlashga ko'ra,  $R_0=(1,2\div 1,4)$  F ga teng (1Fermi= $10^{-13}\text{sm}$ ).

Tez neytronlarning sochilishiga oid tajribalardan  $R_0=1,4$  F,  $\alpha$  parchalanish natijalaridan  $R_0=1,3$  F, zaryadli zarralar ta'sirida bo'ladigan yadro reaksiyalari natijalariga ko'ra  $R_0=1,6$  F.

Yadroni shar shaklida deb qarab, (1.3.1) ifodadan hajm birligidagi zarralar sonini topamiz.

$$n = \frac{A}{V} = \frac{A}{4/3\pi R_0^3 A} = \frac{3}{4\pi R_0^3} = \frac{3}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-39} \text{sm}^3} \approx 10^{38} \frac{\text{nuklon}}{\text{sm}^3}$$

Yadro zichligi – hajm birligidagi nuklonlar sonining massasi  $m_N$  ga ko‘paytmasiga teng

$$\rho = nm_N = 10^{38} \frac{\text{nuklon}}{\text{sm}^3} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ gr} = 10^{14} \frac{\text{gr}}{\text{sm}^3} = 100 \cdot 10^6 \frac{\text{t}}{\text{sm}^3}$$

Hajm birligidagi nuklonlar sonini bilgan holda ular orasidagi masofa quyidagicha hisoblaniladi:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{V}{A}} = \sqrt[3]{\frac{4\pi R^3}{3A}} = \sqrt[3]{\frac{4\pi R_0^3 A}{3A}} = \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}} \cdot R_0 = 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ sm}$$

Ko‘rinib turibdiki, yadro hajm birligidagi nuklonlar soni, yadro zichligi, nuklonlar orasidagi masofa ham o‘zgarmas, yadro turiga bog‘lik emas.

Demak, yadro nuklonlar orasidagi masofa barcha yadrolar uchun o‘zgarmas ekan, yadro siqilmaydi, massa soni ortishi bilan hajmi oshib boradi. Yadro kuchlari qisqa masofada katta kuch bilan ta‘sir etadi.

**6. Bog‘lanish energiyasi.** Yadro bog‘lanish kuchlari tufayli  $A$  nuklondan, ya‘ni  $Z$ -proton va  $N=A-Z$  neytrondan tashkil topgan sistemadan iborat. Agar yadroni uni tashkil qiluvchi nuklonlarga ajratmoqchi bo‘lsak, bog‘lanish kuchining ta‘siriga qarshi ish bajarish kerak. Bu ishning kattaligi bog‘lanish energiyasi yoki yadro barqarorligining o‘lchamidir.

Bog‘lanish energiyasi-nuklonlarga kinetik energiya bermasdan nuklonlar orasidagi bog‘lanishni (o‘zaro aloqani) o‘zish uchun kerak bo‘lgan energiyaga aytiladi.

Bu energiyani yadrodagi nuklonlarning o‘zaro ta‘sir (yadro kuchlar) qonuniyati hozircha noma‘lum bo‘lsa ham, energiyaning saqlanish qonuni va nisbiylik nazariyasining massa bilan energiya orasidagi bog‘lanish ifodasi  $E=mc^2$  dan foydalanib topish mumkin.

Agar yadroning massasi  $M(A,Z)$  ni, uni tashkil qilgan nuklonlar massa soniga tug‘ri keluvchi massalari yig‘indisi  $[Zm_p + Nm_n]$  ga solishtirsak, birinchi massa ikkinchisidan bir oz  $\Delta m$ ga kichik ekanligini ko‘ramiz. Bu massalarning farqi massa defekti deb ataladi.



$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n - M(A, Z)]$$

Bu yerda  $Zm_p$  – protonlar massasi,  $(A - Z)m_n$  – neytronlar massasi,  $M(A, Z)$  – yadroning massasi.

Massa defektiga to‘g‘ri keluvchi energiya nuklonlarni birlashtirib yadro hosil qilishga mos keluvchi energiyani, ya’ni bog‘lanish energiyasini ifodalaydi.

$$E_{bog'la} = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - M(A, Z)]c^2$$

Hozirgi vaqtda yadro massasini yuqori aniqlikda o‘lchashlik defekt massani ya’ni yadro bog‘lanish energiyasini katta aniqlikda hisoblash imkoniyatini yaratdi.

Bog‘lanish energiyasi formulasini neytral atomlar massalari orqali ifodalash kulaydir, chunki odatda jadvallarda atom massalari keltiriladi. Buning uchun proton massasini o‘sha yadro atomining massasi bilan almashtiriladi va atomdagi tegishli elektronlarning massasi hisobga olinadi:

$$\begin{aligned} E_{bog'l} &= \{ZM_{at}({}^1_1H) - Zm_e + (A - Z)m_n - [M_{at}(A, Z) - Zm_e]\}c^2 = \\ &= [ZM_{at}({}^1_1H) + (A - Z)m_n - M_{at}(A, Z)]c^2 \end{aligned}$$

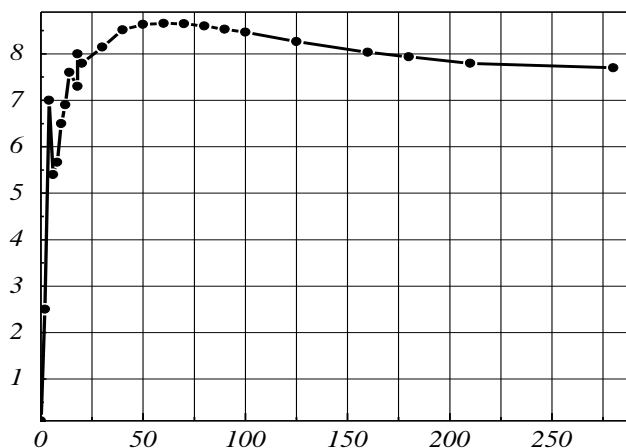
Yadro bog‘lanish energiyasining bitta nuklonga tug‘ri keluvchi qiymati solishtirma bog‘lanish energiyasi deb ataladi.

$$\varepsilon = \frac{E_{bog'l}}{A}$$

Yadroning mustahkamligini xarakterlashda bog‘lanish energiyasidan tashqari zichlashish koeffitsienti ishlatiladi. Har bir nuklonga to‘g‘ri keluvchi defekt massaga zichlashish (upakovka) koeffitsienti deb ataladi.

$$f = \frac{\Delta m}{A}$$

Mavjud yadrolar solishtirma bog‘lanish energiyasining massa soniga bog‘liklik grafigi 4-rasmda keltirilgan.



#### 4-rasm. Solishtirma bog‘lanish energiyasining massa soni orasidagi bog‘liqlik.

Solishtirma bog‘lanish energiyasi juda engil elementlardan tashqari barcha elementlar uchun taxminan bir xildir. Massa soni  $A > 11$  bo‘lgan yadrolarda o‘rtacha solishtirma bog‘lanish energiyasi 7,4 dan 8,8  $MeV$ . Eng katta qiymat ( $\sim 8,8$   $MeV$ ) massa sonlari  $A=60$  (temir va nikel)ga yaqin sohasiga to‘g‘ri keladi. Argon  $A=40$  dan kalay  $A=120$  gacha bo‘lgan oralikda  $E=8,6$   $MeV$  deyarli o‘zgarmaydi. Og‘ir elementlar tomoniga borgan sari egrilikning maksimumdan pasayishi ancha sekin sodir bo‘ladi. Nihoyat, eng og‘ir yadrolarda bir nuklonga to‘g‘ri keladigan o‘rtacha solishtirma bog‘lanish energiyasi taxminan 7,5  $MeV$  ni tashkil etadi. Ancha engil elementlar tomon pasayishi  $A$  ning kamayib borishi bilan tezrok sodir bo‘ladi. Solishtirma bog‘lanish energiyasi yadrodagi nuklonlarning (proton va neytronlarning) toq yoki juftligiga bog‘lik ekan. Odatda juft-juft yadrolarning bog‘lanish energiyasi toq-toq yadrolarning  $E_{bog'l}$  energiyasidan sezilarli katta bo‘ladi. Juft-toq yoki toq-juft yadrolarning  $E_{bog'l}$  energiyasi ham juft-juft va toq-toq yadrolar bog‘lanish energiyalaridan farq qiladi. Eng katta bog‘lanish juft-juft yadrolarga, eng kuchsiz bog‘lanish toq-toq yadrolarga to‘g‘ri keladi.

Haqiqatdan, har xil element izotoplarining barqarorligi  $Z$  va  $N$  larning juft yoki toqligiga bog‘lik. Masalan, turgun izotoplarning ko‘pchiligida  $A$  juft buladi. Juft-toq va toq-juft yadrolarning turg‘unligi juft-juft yadrolarnikiga nisbatan kamroq. Toq-toq yadrolarning ko‘pchiligi beqarordir. Tabiatda fakat 4 ta turg‘un toq-toq yadrolar uchraydi  ${}^2_1H, {}^6_3Li, {}^{10}_5B, {}^{14}_7N$ . Proton va neytronlar soni “sehrli” (magik) sonlar deb nom olgan 2, 8, 20, 50, 82, 126 sonlarga teng bo‘lganda

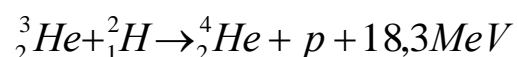
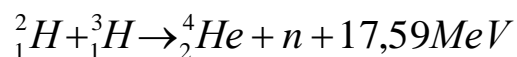
yadrolar, ayniqsa, katta turg'unlikka ega bo'lib, tabiatda keng tarqalgan. Protonlar va neytronlar soni "sehrli" songa teng bo'lsa, yadrolar, ayniqsa, juda katta turg'unlikka ega bo'lib, ular ikki qarra "sehrli" yadrolar deb ataladi. Tajribada aniqlangan yadro bog'lanish energiyasini tahlil qilishlik ko'pgina yadro xususiyatlari to'g'risida xulosalar chiqarish imkoniyatini beradi.

1. O'rtacha solishtirma bog'lanish energiyasi ko'pgina yadrolar uchun 8  $MeV$ /nuklonga teng. Bu elektronning atomda bog'lanish energiyasidan juda katta. Masalan, vodorod atomida elektronning bog'lanish energiyasi (ionizatsiya potentsiali) 13,6  $eV$ . Eng og'ir element atomlarida ham  $K$ -elektronning bog'lanish energiyasi 0,1  $MeV$  dan oshmaydi. Demak, yadro kuchi ta'siri tufayli nuklonlar yadroda bir-birlari bilan juda qattiq bog'langan. Shuning uchun ham tabiatda uchraydigan gravitatsiya, elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlardan farqli ravishda yadroviiy kuch kuchli o'zaro ta'sir etuvchi kuch deb ataladi.

2. Solishtirma bog'lanish energiyasining o'rtacha qiymatining (8  $MeV$ /nuklon) o'zgarmas bo'lishligi yadro kuchlari qisqa masofada ta'sirlashuv xarakteriga ega deyishlikka asos bo'ladi. Ta'sir sferasi nuklonlar o'lchamidan hatto, undan ham kichik, yadroda har bir nuklon o'ziga yaqin turgan nuklonlar bilangina ta'sirlasha oladi deb karaladi. Haqiqatdan ham yadrodagi  $A$  nuklon qolgan  $(A-1)$  nuklonlar bilan ta'sirlashganda bog'lanish energiyasi  $E \sim A(A-1)$  massa sonini  $A^2$  – bog'lik bo'lgan bo'lar edi. Aslida bog'lanish energiyasi  $E = \epsilon A$  – massa sonining  $A^1$  – birinchi darajasiga bog'lik, demak, yadro kuchlari to'yinish xarakteriga ham ega ekan.

3. Yadro energiyasi qaysi jarayonlarda vujudga kelishligi qancha energiya ajratishligini bilish mumkin. Engil yadrolar ko'shib (sintez) og'irroq yadrolar hosil qilishsa solishtirma bog'lanish energiyalari farqiga to'g'ri keluvchi energiya ajraladi – termoyadro reaksiyasi.

Masalan:



Bundan tashkari og'ir yadrolar bo'linishidan o'rta yadrolar hosil bo'lishsa ham, yadro energiyalari ajralishligi mumkin ekanligi aniqlandi.

### **Nazorat uchun savollar**

1. Nuklonlarning xususiyatlari. Nuklonlar magnit momentlarining kutilgan qiymatidan boshqacha chiqishligini qanday tushuntiriladi?

2. Yadro massasi, zaryadi, o'lchami va o'lchov birliklari, o'lchash usullarini ayting.

3. Bog'lanish energiyasi, solishtirma bog'lanish energiyasi, zichlashish koeffitsienti va ulaming ma'nosi, tajribada aniqlash usullari hamda nazariy hisoblash formulasini tushuntiring.

4. Yadro energiyasi qayerga yashiringan?

5. Yadro kuchlarining qisqa masofada katta kuch bilan ta'sirlashuvi, to'yinish xarakteri qayerda ko'rinadi? Yadro spinga ega ekanligini ko'rsatuvchi dalillarini ayting.

6. Spektral chiziqlaming o'ta nozik strukturasi qanday hosil bo'ladi?

7. Yadroning spini nuklonlar soniga bog'liqmi? Spin o'lchov birligi va tajribada aniqlash usullarini aytib bering

8. Yadro magnit momentiga ega ekanligini ko'rsatuvchi dalillar nimalardan iborat?

9. Shmidt modeli, qo'llanilishi va kamchiligi nimadan iborat?

10. Yadro magnit momentining o'lchov birligi va aniqlash usullari. Yadro dipol momenti nima?

11. Elektr kvadrupol momenti nima? O'lchov birligi qanday? Yadro shaklining o'zgarishi qayerda ko'rinadi?

12. Kvadrupol moment yadrodagi nuklonlar soniga bog'liqmi?

13. Juftlik nima? U qaysi ta'sirlashuvlarda saqlanadi?

14. Sistema juftligi qanday aniqlanadi? Foton yoki massasiz relyativistik zarralarning ichki juftligi qanday aniqlanadi?

15. Statistika nima? Nechta statistika mavjud? Ulaming bir-biridan farqi nimadan iborat?

### **Foydalanilgan adabiyotlar.**

- 1 Muminov T.M., Xoliqov A.V., Xolmurodov Sh.X. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. -T.: O‘zbekiston faylasuflar jamiyati, 2009.
- 2 Muxin K.H. Eksperimentalnaya yadernaya fizika: Uchebnik. V 3-x tt. II Fizika atomnogo yadra. 7-e izd., ster. - SPb.: Izd-vo «Lan», 2009. - 384
- 3 T.W. Donnelly, J.A. Formaggio, B.R. Holstein, R.G. Milner, B. Surrow, Foundation of Nuclear and Particle Physics, Cambridge University Press, 2017
- 4 B.R. Martin, Nuclear and Particle Physics, Cambridge University Press, (2nd edn Wiley 2009)
- 5 K.I.Tursunmaxatov, Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi fanidan masalalar to‘plami, o‘quv qo‘llanma. Gulistan, 2022. -147 b.
- 6 Bekjonov R.D. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. -T.:O‘qituvchi. 1994, 576 b.
- 7 Ситенко А.Г., Тартаковский В.Н. Лекции по теории ядра, М., 1972
- 8 D.J. Griffiths, Introduction to Elementary Particle Physics, (2nd edn Wiley 2009)
- 9 Shirokov Yu.M., Yudin N.P. Yadernaya fizika. -M.: Nauka. 1980. 728 s.
- 10 Teshaboev Q.T.- Yadro va elementar zarralar fizikasi. -T.:O‘qituvchi. 1992.
- 11 P. A. Эрамжян, Структура атомных ядер, Из-во МГУ
- 12 Irodov I. E. Sbornik zadach po atomnoy i yadernoy fizike, uch. pos. -M.: Atomizdat. 1971. - 216 s.
- 13 D.H. Perkins, Introduction to High Energy Physics, 4<sup>th</sup> edition, Cambridge University Press (2000)

### **Axborot manbalari**

1. <http://www.physicon.ru>
2. <http://www.phvsics-online.ru>
3. <http://www.en.edu.ru/>

4. <http://cdfc.sinp.msu.ru> (MDU yadro ma'lumotlar markazi, Rossiya)
5. <http://www.inp.uz> (O'zFA Yadro fizikasi instituti)
6. <http://www.phys.msu.ru> (MDU fizika fakulteti sayti, Rossiya)
7. [www.Academy.uz](http://www.Academy.uz) (O'z Fanlar akademiyasi sayti)