

Лекция №4 Радиациялық немесе иондаушы сәулеленудің түрлері және олардың қатты денемен әсерлесу кезіндегі жүретін үрдістер мен эффектілер

Лекцияның мақсаты: Иондаушы сәулеленудің негізгі түрлерін, олардың физикалық табиғатын және қатты денемен әсерлесу кезіндегі процестер мен эффектілерді түсіндіру. Радиациялық әсерлесу нәтижесінде туындайтын иондану, қозу және энергия тасымалдау механизмдерін талдау.

Негізгі сұрақтар

1. Иондаушы сәулеленудің жалпы сипаттамасы.
2. Сәулеленудің негізгі түрлері: ультракүлгін, рентген, гамма, электрондық, ауыр зарядталған бөлшектер, нейтрондық және космостық сәулелену.
3. Сәулеленудің қатты денемен әсерлесу ерекшеліктері.
4. Фотоэффект, Комптон эффектісі және жұптардың пайда болу процесі.

Қысқаша мазмұны:

Иондаушы сәулелер деп қатты денемен әсерлесе отырып атомдардың *ионизация* процесін туғызатын сәулеленуді айтамыз. Жалпы сәулеленудің келесі түрлері болады:

- Ультракүлгін;
- рентген;
- гамма;
- электрон ағыны;
- ауыр зарядталған бөлшектер;
- нейтрондар;
- космостық сәулелену.

Иондаушы сәулелену қатты денемен әсерлескенде байқалатын негізгі процестер.

Фотоэффект – гамма кванттың электронмен жұтылуы, гамма квант атоммен әсерлесе отырып, өзінің барлық энергиясын электронға береді (төмендегі сурет).

Комптон эффект – гамма кванттарының еркін электрондарда шашырауы. Гамма кванттың энергиясы электронның байланыс энергиясынан әлдеқайда көп болған кезде байқалады. Гамма кванттың жарты энергиясы электронға жартысы шашырап шыққан фотонға кетеді. Энергиясы 1Мэв асатын фотондар немесе атом ішіндегі байланыс энергиясынан жоғары энергиялы фотондар үшін жұптардың пайда болуы процесі жүреді. Суретте көрсетілгендей фотон жұтылып электрон және позитрон жұбы пайда болады. Гамма сәулесі затпен әсерлескенде энергиясы толық немесе жартылай жоғалатын болғандықтан ол экспоненциал заңмен әлсірейді.

Электрондар қатты денемен әсерлесе отырып рентген және гамма сәулесінің пайда болуына себепші болады, сонымен қатар ионизация процесін туғызады. Ұшып келе жатқан жоғары энергиялы электрондар кинетикалық энергиясын атом ядросына беріп, атомды орнынан ығыстыруы мүмкін. Электрондардың энергиясының көп бөлігі (99% аса) электрондық жүйеге беріледі, тек аз жағдайларда энергияның жарты бөлігі атомның орын ығыстыруына жұмсалады. Ұшып келе жатқан электрондар өз энергиясын ядроға және атом электрондарына электростатикалық әсерлесу арқылы береді. Қатты денеде электрондардың тығыздығы жоғары болғандықтан электрондардың затқа ену қалыңдығы аз.

Бақылау сұрақтары

1. Иондаушы сәулеленудің негізгі түрлерін атаңыз.
2. Ультракүлгін және рентген сәулелерінің айырмашылығын түсіндіріңіз.
3. Фотоэффект, Комптон эффектісі және жұп түзілу процесінің мәнін сипаттаңыз.
4. Электрондар мен ауыр зарядталған бөлшектердің затпен әсерлесу ерекшеліктері қандай?

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті. Қатты дене физикасы және жаңа материалдар технологиясы кафедрасы. Физика техникалық факультеті.
Радиациялық материалтану пәні. Мархабаева А.А.

5. Нейтрондық сәулелену кезінде қандай процестер жүреді?
6. Космостық сәулеленудің құрамы мен әсерін түсіндіріңіз.

Ұсынылатын әдебиеттер

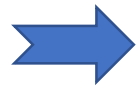
Мукашев К.М, Мархабаева А.А. Яр Мухамедова Г.Ш. Радиационное материаловедение. Алматы. Қазақ университеті. 2016 ж;
Асабина Е.А. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Новгород, 2012;
Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах. 2011;
2.Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 2003. -272 с;
3.Ахиезер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова Думка, 2001. - 142 ;

Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Физика техникалық факультеті
Материалтану және жаңа материалдар технологиясы

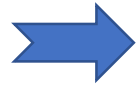
Лекция 1: Радиациялық немесе иондаушы сәулеленудің түрлері және олардың қатты денемен әсерлесу кезіндегі жүретін үрдістер мен эффектілер

Мархабаева А.А

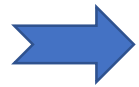
- **Иондаушы сәулелер** деп қатты денемен әсерлесе отырып атомдардың ионизация¹ процесін туғызатын сәулеленуді айтамыз. Жалпы сәулеленудің келесі түрлері болады: ультракүлгін, рентген, гамма, электрон ағыны, ауыр зарядталған бөлшектер, нейтрондар, космостық сәулелену.



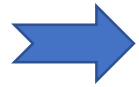
- **Ультракүлгін сәулеленуі**



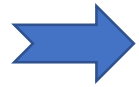
- **Рентген сәулеленуі**



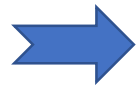
- **Гамма сәулеленуі**



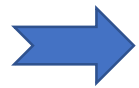
- **Нейтрондар**



- **Ауыр зарядталған бөлшектер**



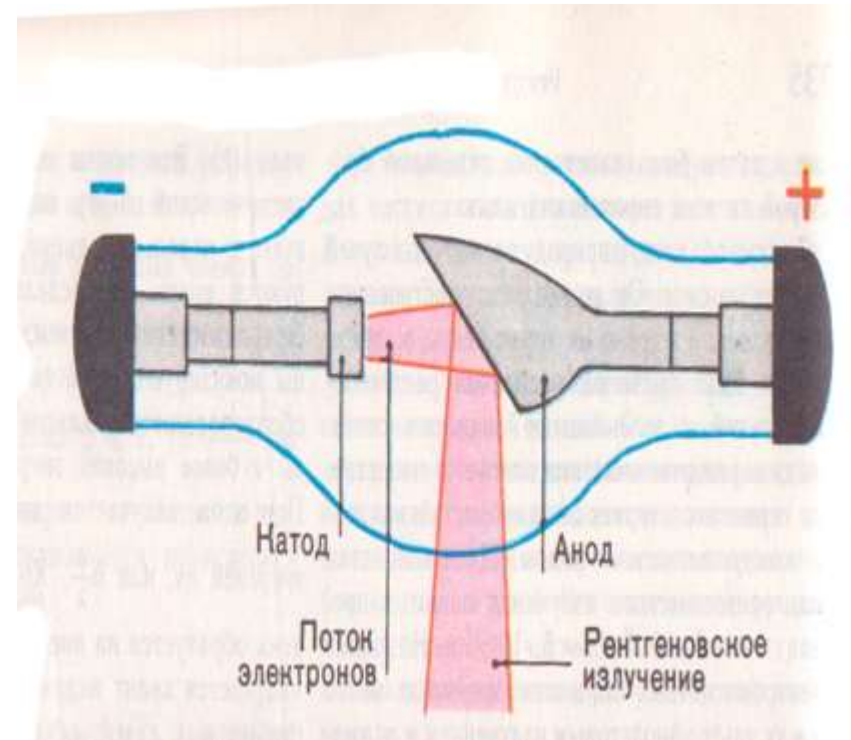
- **Электрондар ағыны**



- **Космостық сәулелену**

Рентген сәулеленуі

- **Рентгендік сәулелену** электрондардың жоғарғы қабаттан төменгі қабатқа өту нәтижесінде пайда болады. Рентген сәулелерінің көзі ретінде электрондармен үдетілген металдық орталарды пайдаланады. Жалпы рентген сәулесін рентген түтікшесінде алады. Рентген сәулесінің қатты денемен әсерлесуі кезінде ионизация және атомның қозуы болады. Алайда ультракүлгін сәулелерден айырмашылығы ол тек валентті электрондарды ғана емес ішкі электрондарды да ұшырып шығара алады. Рентген сәулелерінің қатты денеге ену қалыңдығы квант энергиясына байланысты бірнеше миллиметрден ондаған сантиметрге өзгереді.



Гамма сәулеленуі

- **Гамма сәулесі** ядроның ыдырауы немесе элементар бөлшектердің ядромен әсерлесуі кезінде пайда болатын, спектр бойынша энергиясы жоғары электромагниттік толқын. Затпен әсерлесуі рентген сәулесіне ұқсас, алайда гамма сәулесіне заттың атомдарына энергиясын бере алады, ядролық реакциялар туғызады. Рентген сәулелерімен салыстырғанда қатты денеге ену қалыңдығы жоғары.
- Гамма сәулесінің затпен әсерлесуі кезінде 3 эффект болады:



Фотоэффект



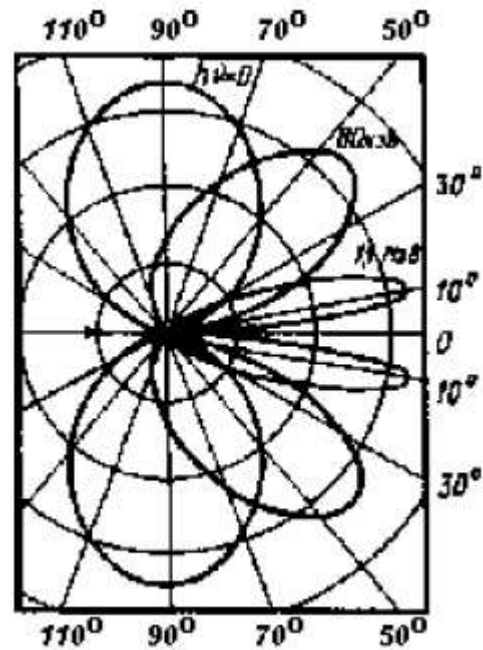
Комптон эффект



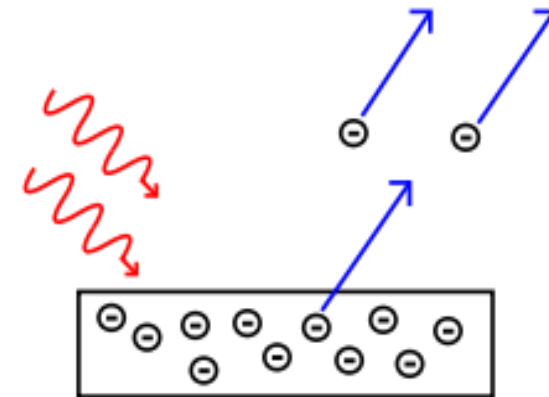
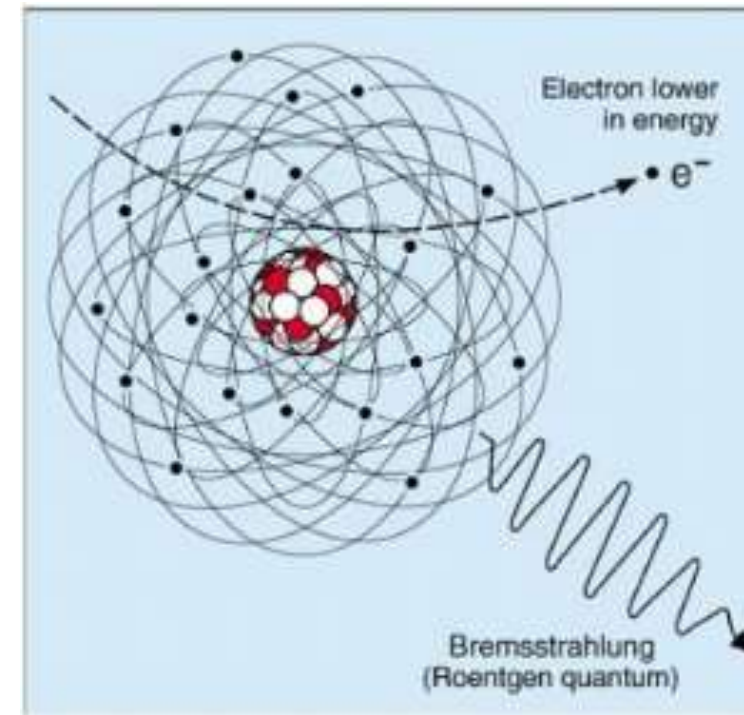
Жұптардың
Пайда болуы

Фотоэффект

- **Фотоэффект** — гамма кванттың электронмен жұтылуы, гамма квант атоммен әсерлесе отырып, өзінің барлық энергиясын электронға береді.



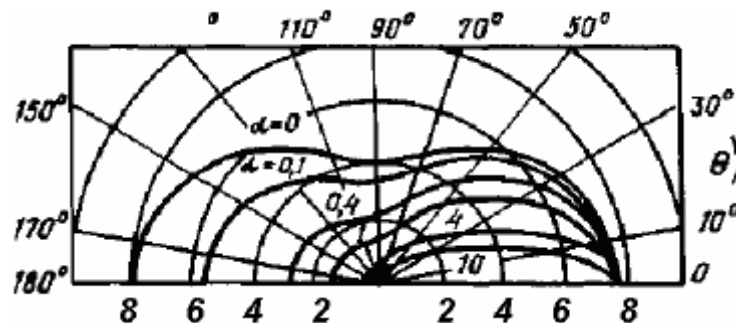
- фотоэлектронның шашырау бұрыштары таралу графигі. Электрон түскен сәулеленудің электр векторының бағытымен ұшып шығады.



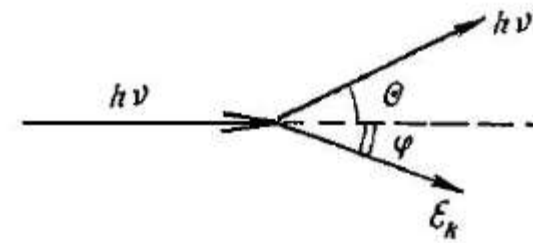
$$E_{\phi} = h\nu - I$$

Комптон эффект

Комптон эффект – гамма кванттарының еркін электрондарда шашырауы. Гамма кванттың энергиясы электронның байланыс энергиясынан әлдеқайда көп болған кезде байқалады. Гамма кванттың жарты энергиясы электронға жартысы шашырап шыққан фотонға кетеді.



- Гамма квантарының шашырау бұрыштарының таралу графигі



$$h\nu = h\nu' + E_K,$$

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} + p_K.$$

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + p_K \cos \varphi,$$

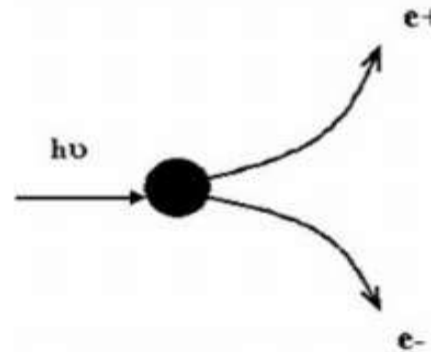
Электрон –позитрон жұптарының пайда болуы

Энергиясы 1Мэв асатын фотондар немесе атом ішіндегі байланыс энергиясынан жоғары энергиялы фотондар үшін

$$E_- + E_+ = h\nu + 2m_e c^2,$$

$$n = n_0 \exp(-\mu x),$$

$$\mu = \frac{N_A}{A} \rho (\sigma_{\Phi}^a + Z\sigma_K^e + \sigma_{\Pi}^a).$$



$$\sigma^a = Z\sigma^e,$$

$$\mu = \frac{N_A \rho \sigma^a}{A},$$

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{N_A \sigma^a}{A}.$$

Гамма сәулесі затпен әсерлескенде энергиясы толық немесе жартылай жоғалатын болғандықтан ол экспоненциал заңмен әлсірейді

Гамма квантының толық жұтылуы

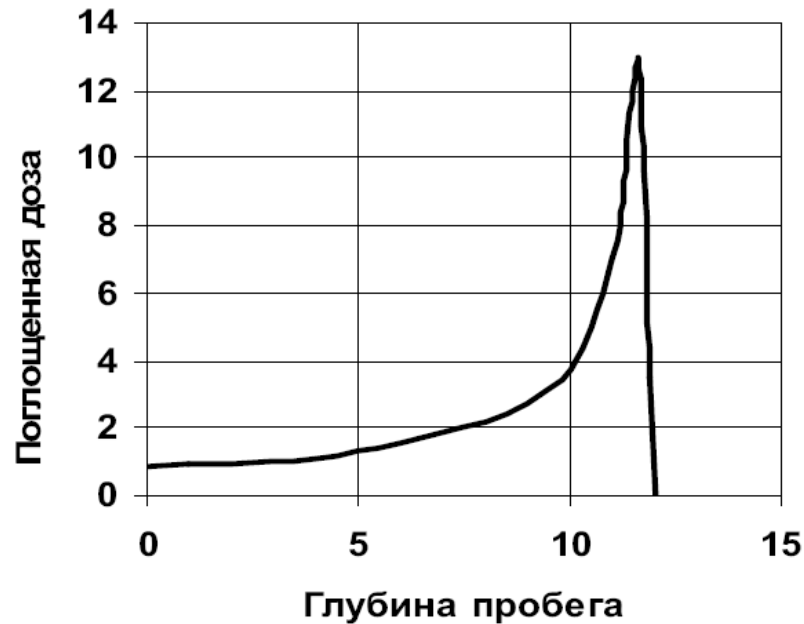
Гамма квантының затпен әсерлесуі келесі түрде болады:

- Электронмен әсерлесу қимасы σ_a см²/электрон
- Атоммен әсерлесу қимасы σ_E см²/атом
- 1см 3 затпен әсерлесу қимасы μ см⁻¹
- 1 г затпен әсерлесу қимасы μ/ρ см²/г

макроскопиялық
қима
Жұқтылу коэффициенті



Ауыр зарядталған бөлшектердің зат арқылы өткендегі дозалық таралуы



Ауыр зарядталған бөлшектердің трекке кеткен энергиясы

$$\frac{dE}{dR} = m4\pi e^4 Z^2 / E$$

Бөлшектердің жүрген жолы келесі формуламен анықталады:

$$R = 10^{-4} a E^{3/2} / \rho Z^{2/3} \text{ см,}$$

Нейтрондардың затпен әсерлесуі



Серпімсіз соқтығысу

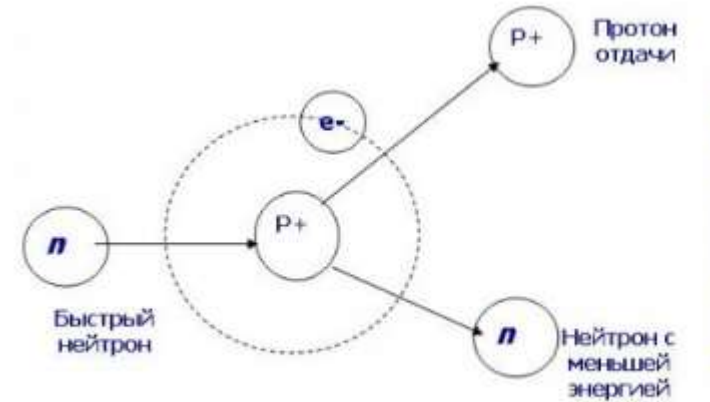
- Серпімсіз соқтығысу кезінде соқтығысқан бөлшектердің табиғаты өзгереді. Келесі реакциялар жүреді: (n, p) , $(n, 2n)$, (n, α) , (n, γ) . Осы реакциялардың болу ықтималдығы микроскопиялық қимамен сипатталады. Микроскопиялық қиманы ядроның жанындағы сфера ретінде қарастыруға болады, осы сфераны қия өтіп, нейтрон ядромен байланысады. Толық эффективтілік қима келесі түрде

$$\sigma_n = 2\pi R^2.$$

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_n}{2\pi}}.$$



Серпімді соқтығысу



- Нейтронның серпімді соқтығысуы
- Нейтрондар атомның ядросымен соқтығыса отырып, энергиясы нейтрон мен “беру ядросына” бөлінеді. Ядроның массасы кіші болған сайын энергияны соншалықты көп алады.

Нейтрондардың затпен әсерлесуі

- Микроскопиялық қиманы 1см^3 заттағы ядроның санына көбейте отырып, макроскопиялық қиманы аламыз.

$$\Sigma = \sigma n_A .$$

- Нейтрондар энергиясы бойынша келесі түрге бөлінеді:
- Ультрасалқын нейтрондар – энергиясы 10^{-7}эВ аз
- Өте салқын нейтрондар – энергиясы $10^{-7} - 10^{-4}$
- Салқын нейтрондар – $10^{-4} - 0.025$
- Жылулық нейтрондар – $0,025-0,1$ эВ
- Жылулық аса нейтрондар – $0,1-0,5$ кэВ
- Аралық нейтрондар – $0,5\text{кэВ}-0,2\text{МэВ}$
- Жылдам нейтрондар – $0,2-20$ МэВ
- Өте жылдам нейтрондар – 20 МэВ аса

Нейтрондардың затпен әсерлесуі

- **Нейтрондар** затпен әсерлесе отырып, энергиясын қозуға және электрондармен магниттік әсерлесу арқылы ионизацияға жұмсайды. Мұндай әсерлесу қимасы (сечения взаимодействия) электростатикалық әсерлесуге қарағанда аз, сондықтан нейтрондардың затқа ену қалыңдығы жоғары. Нейтрондардың ядромен әсерлесу ықтималдығы жоғары, сондықтан затпен әсерлесе отырып, ядролық реакцияға және атомның ығысуына себепші болады. Нейтрондардың затпен әсерлесуі нәтижесінде жалпы келесі реакциялар болуы мүмкін:

Радикациялық қармау

Потенциалдық шашырау

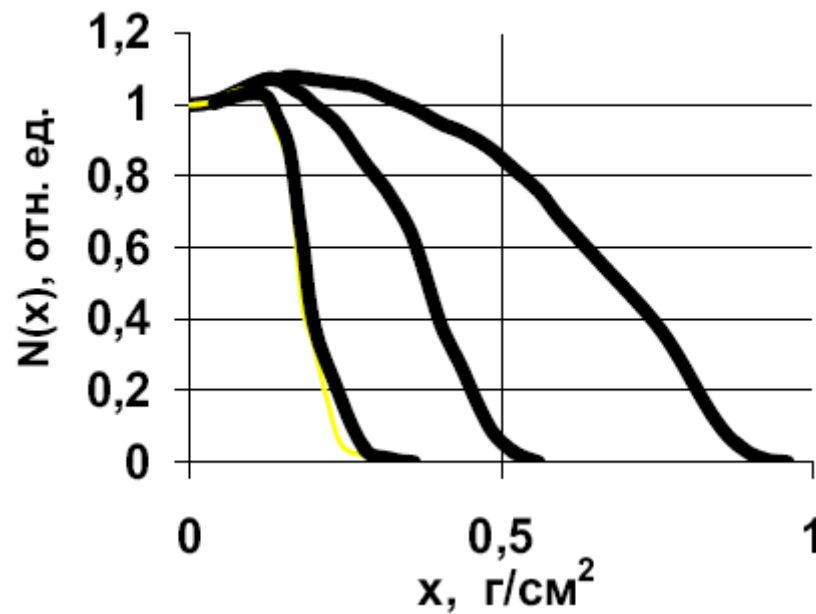
Серпімді шашырау

Серпімсіз шашырау

- **Электрондар** қатты денемен әсерлесе отырып рентген және гамма сәулесінің пайда болуына себепші болады, сонымен қатар ионизация процесін туғызады. Ұшып келе жатқан жоғары энергиялы электрондар кинетикалық энергиясын атом ядросына беріп, атомды орнынан ығыстыруы мүмкін. Электрондардың энергиясының көп бөлігі (99% аса) электрондық жүйеге беріледі, тек аз жағдайларда энергияның жарты бөлігі атомның орын ығыстыруына жұмсалады. Ұшып келе жатқан электрондар өз энергиясын ядроға және атом электрондарына электростатикалық әсерлесу арқылы береді. Қатты денеде электрондардың тығыздығы жоғары болғандықтан электрондардың затқа ену қалыңдығы аз.

$$\left(- \frac{dE}{dx} \right)_{\text{ион}}^e = \frac{4 \pi e^4}{m_e v^2} nZ \left[\ln \frac{m_e v^2}{2 I_{\text{ион}}} - \frac{1}{2} \ln 2 + \frac{1}{2} \right],$$

Энергиясы 0,4, 1, 1,7МэВ жұтылған электрондар таралуының зат қалыңдығына тәуелділігі



- Ауыр зарядталған бөлшектер ағыны (протондар, альфа бөлшектер, ядроның бөліну жарқыншақтары). Зарядталған ауыр бөлшектерінің затпен әсерлесуі электрондардың әсерлесуіне ұқсас. Зарядталған ауыр бөлшектер энергиясының көп бөлігі қозған электрондардың пайда болуына жұмсалады. Энергияның бір процентінен азы атомның орын ығыстыруына жұмсалады.

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{упр}} = \frac{4\pi z^2 e^4}{M_A v^2 \left(1 + \frac{m}{M_A}\right)} n Z^2 \ln \frac{2}{\theta_{\text{мин}}},$$

- **Космостық сәулелену** жер атмосферасының шекарасында протондардан (90%), альфа бөлшектерден (7%), ауыр ядролардан (~1%), электрондар мен позитрондар, (~1%), ультракүлгін және гамма сәулесінен тұрады. Сәулеленудің көп бөлігі жер атмосферасында жұтылады, сондықтан жерде көбіне екінші ретті сәулелену болады. Екінші ретті сәулеленуде жұмсақ бөлігі – позитрондар мен электрондардан және қатты бөлігі –мюондар ағынынан тұрады. Космостық сәулелену жоғарыдығы сәулелену түрлерінен қуаты бойынша аз, алайда ол ылғы әсер етеді.

Ультракулгін сәулеленуі

- **Ультракулгін сәулеленуі** спектрдің қысқа аумағындағы электромагниттік толқын квантының ағыны болып табылады. Ол көрінетін жарықтың кулгін шекарасы мен рентген сәулесінің арасында жатыр. Квант энергиясы төменгі жағында атомдардың ионизациясы болады, мұндағы сәулелену энергиясы бірнеше электрон вольт, ал жоғары энергиялы бірнеше мыңдаған болады. Жоғары энергиялық ультракулгін сәулелену мен рентген сәулелерін алу жолдарымен ғана ажыратуға болады. Ультракулгін сәулесінің көзі болып қыздырылған дене, газдық разряд плазмасы, синхротон, лазерлер және қкейбір қозған күйдегі қатты денелер табылады.