

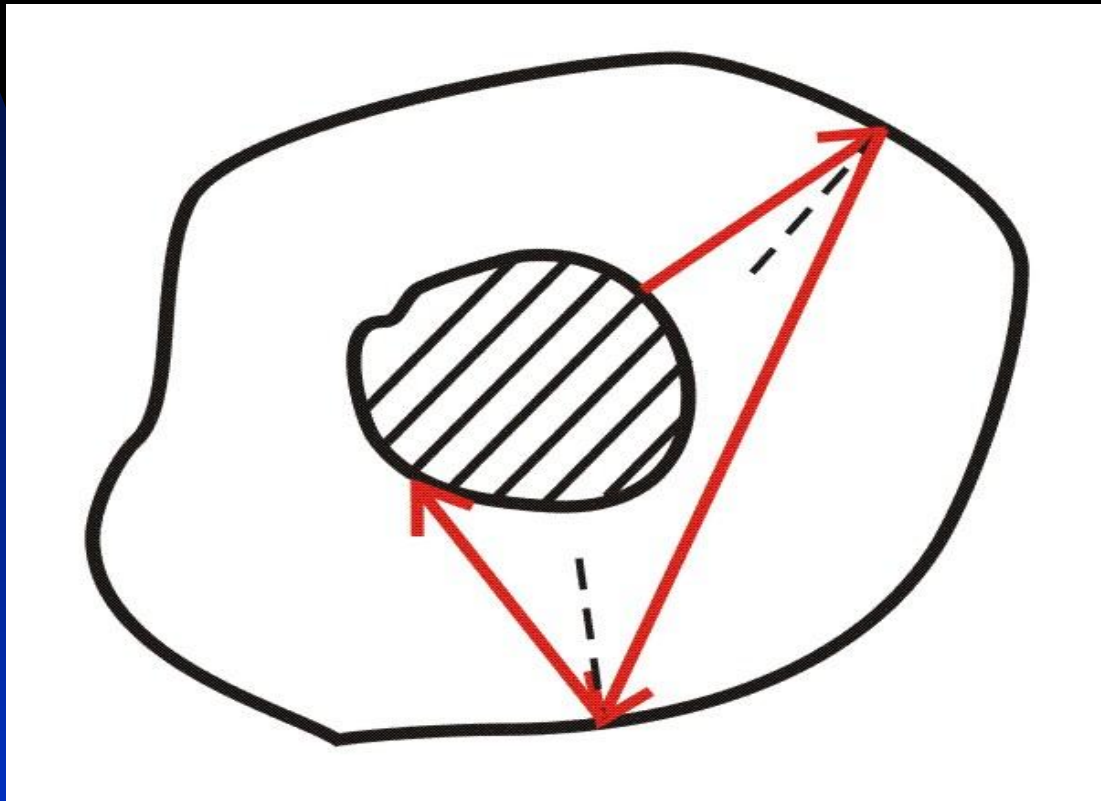
Қарағанды Мемлекеттік Техникалық Университет

Кванттық физика

Дәріс жоспары

- **Жылулық сәуле шығару**
- **Кирхгоф заңы.**
- **Стефан – Больцман заңы.**
- **Виннің ығысу заңы**
- **Планк өрнегі. Рэлея-Джинс формуласы**
- **Фотондар**
- **Жарық кванттарының энергиясы және импульсі**

Жылулық сәуле шығару — дененің ішкі энергиясы есебінен электромагниттік толқындардың таралуы.



Сәуле шығарудың тепе-теңдігі – бірлік уақыт ішінде жұтылатын және шағылатын энергиялар өзара тең.

Энергия ағыны:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}$$

Энергетикалық жарықталыну:

$$R = \frac{dW}{dS dt}$$

Сәуле шығару әр түрлі жиіліктегі ω (немесе әр түрлі ұзындықтағы λ) толқындардан құралады.

$$\omega = 2\pi\nu, \quad \lambda = cT = \frac{c}{\nu} = \frac{2\pi c}{\omega}$$

$$dR_{\omega} - d\omega(\omega, \omega + d\omega)$$

$$dR_{\lambda} - d\lambda(\lambda, \lambda + d\lambda)$$

$$dR_{\nu} - d\nu(\nu, \nu + d\nu)$$

Сәуле шығарғыштық қабілеті:

$$r_{\omega T} = \frac{dR_{\omega}}{d\omega}$$

Сәуле шығарғыштық қабілеті – дененің бірлік ауданының бірлік уақытта бірлік жиілік интервалында шығаратын энергиясы.

$$r_{\lambda T} = \frac{dR_{\lambda}}{d\lambda}$$

$$R = \int dR_{\omega} = \int dR_{\lambda} = \int r_{\omega T} d\omega = \int r_{\lambda T} d\lambda$$

Жұтқыштық қабілеті:
$$a_{\omega T} = \frac{d\Phi'_{\omega}}{d\Phi_{\omega}}$$

$d\Phi_{\omega}$ — денеге келетін энергия ағыны,

$d\Phi'_{\omega}$ — дене жұтатын энергия ағыны.

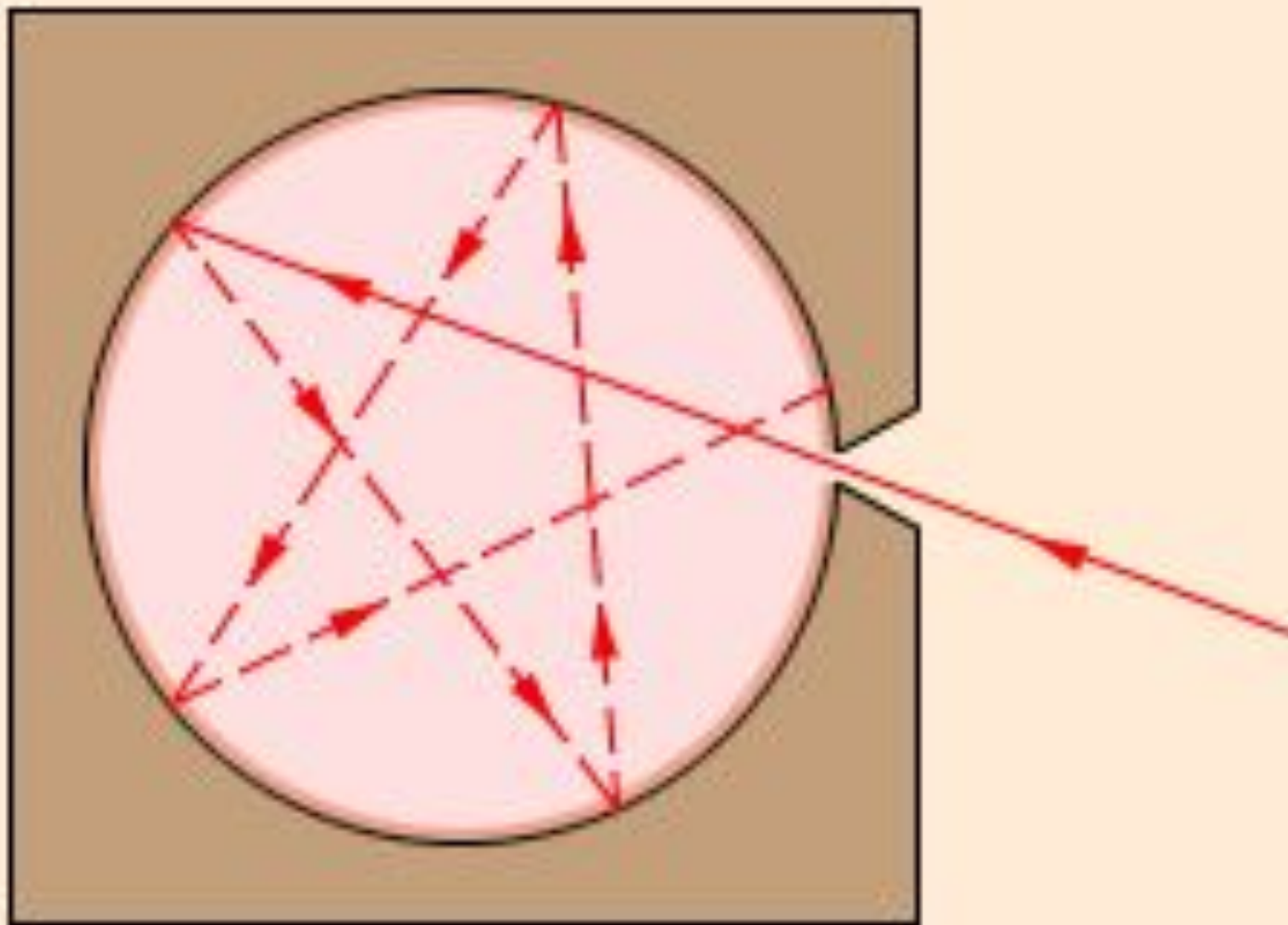
Барлық жиіліктегі жарықты толығымен жұтатын дене - абсолют қара дене.

Абсолют қара дене: $A_{\omega T} = 1$

Сұр дененің жұту қабілеті барлық жиілік үшін бірдей, тек дененің температурасы мен материалына тәуелді, және 1-ден кем.

$$A_T = A_T = \text{const} < 1$$

Абсолют қара дененің моделі.



Кирхгоф заңы.

$$\left(\frac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}} \right)_2 = \dots = f(\omega, T) = (r_{\omega T})_{\text{acht}}.$$

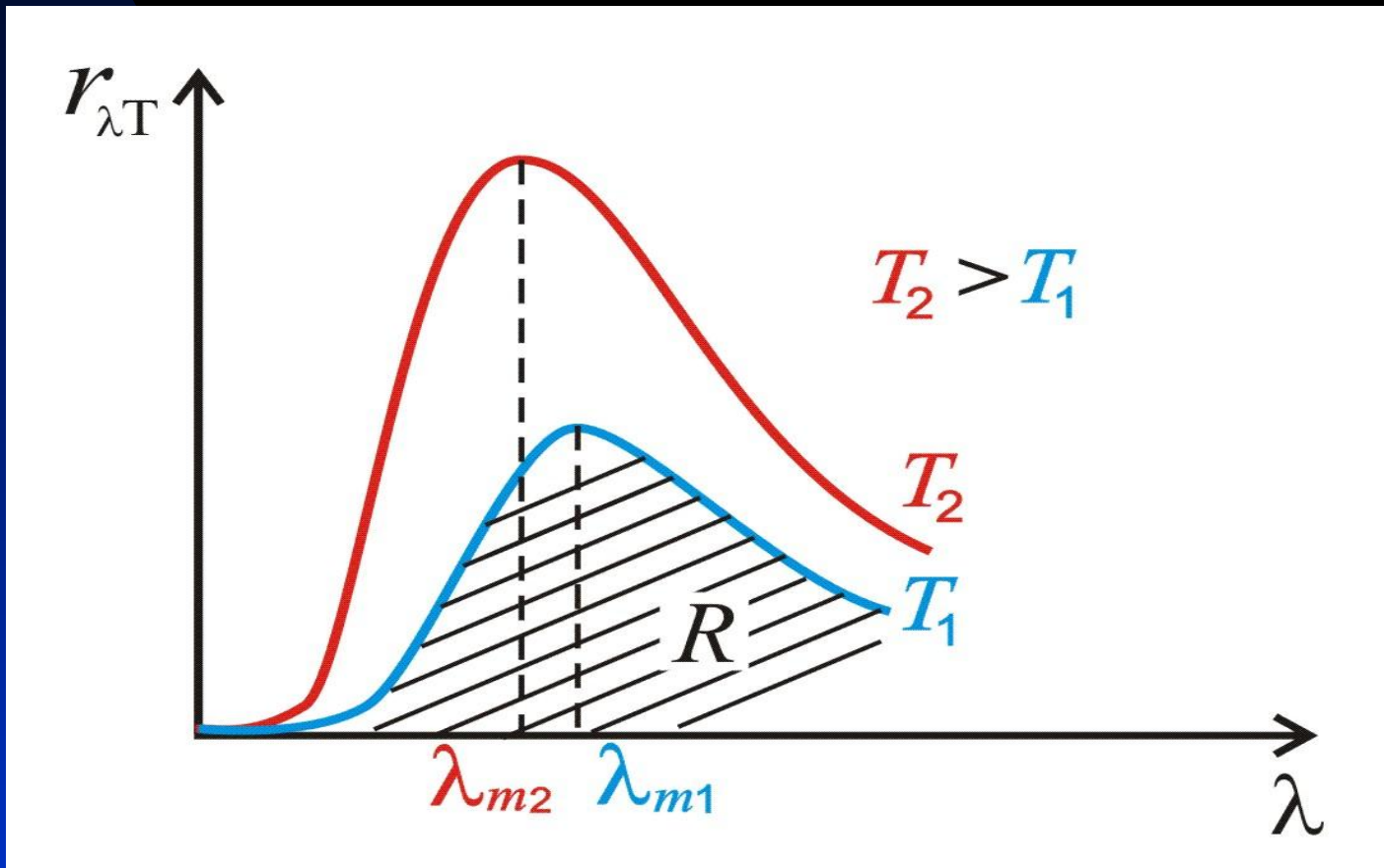
Сәуле шығарғыштық қабілетінің, жұтқыштық қабілетіне қатынасы, дененің табиғатына тәуелді емес, ол барлық дене үшін жиілік пен температураның функциясы болып табылады және абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілетіне тең.

Стефан – Больцман заңы.

$$R = \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 K^4}$$

А.қ.д-нің энергетикалық жарқырауы 4-ші дәрежелі термодинамикалық температураға тура пропорционал.

А.Қ.Д-нің сәуле шығарғыштық қабілетінің
толқын ұзындығына тәуелділігі.

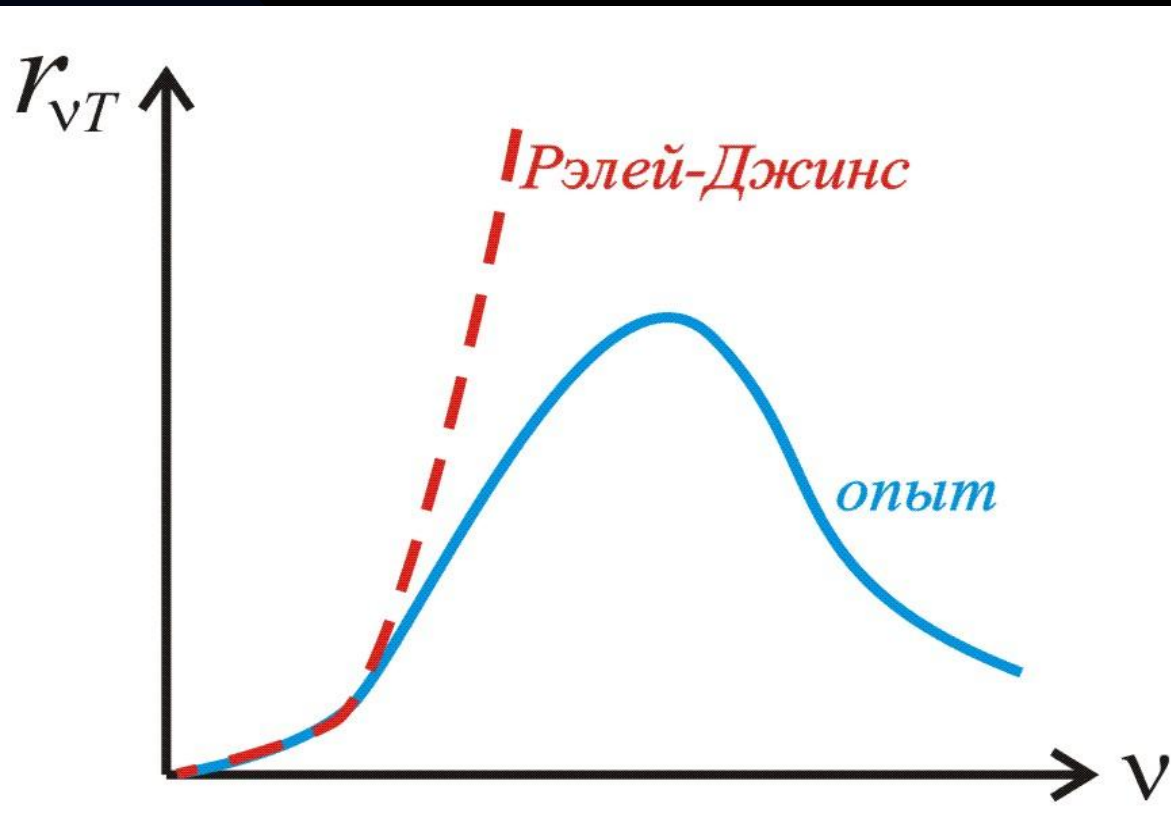


Виннің ығысу заңы.

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

А.қ.д-нің сәуле шығарғыштық қабілетінің максимумына сәйкес **ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫ** λ_m оның температурасына кері пропорционал

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеті үшін Рэлей-Джинс формуласы.



$$r_{\nu T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$

Рэля-Джинс формуласы тәжірибемен тек **төмен жиілікте** сәйкес келеді.

Классикалық физикада кез-келген жүйенің энергиясы **үздіксіз** өзгереді.

Планктың кванттық гипотезасына сәйкес электромагниттік сәуле шығару **үздіксіз** атомдар түрінде емес, **энергиялық (кванттық) жеке порциялар** түрінде болады.

$$\varepsilon_0 = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = h\frac{\omega}{2\pi} = \hbar\omega, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Планк тұрақтысы:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Сәуле шығару энергиясы:

$$\varepsilon_n = n\varepsilon_0 = nh\nu \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Планк формуласы:

$$r_{\nu T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

Эйнштейн гипотезасы бойынша жарық кеңістікте шашырайды, таралады және денелер оны жеке энергиялық(кванттық) порциялар түрінде жұтады. Электрмагниттік сәуле шығарудың кванты **фотондар** деп аталады.

$$\varepsilon = h\nu = mc^2$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

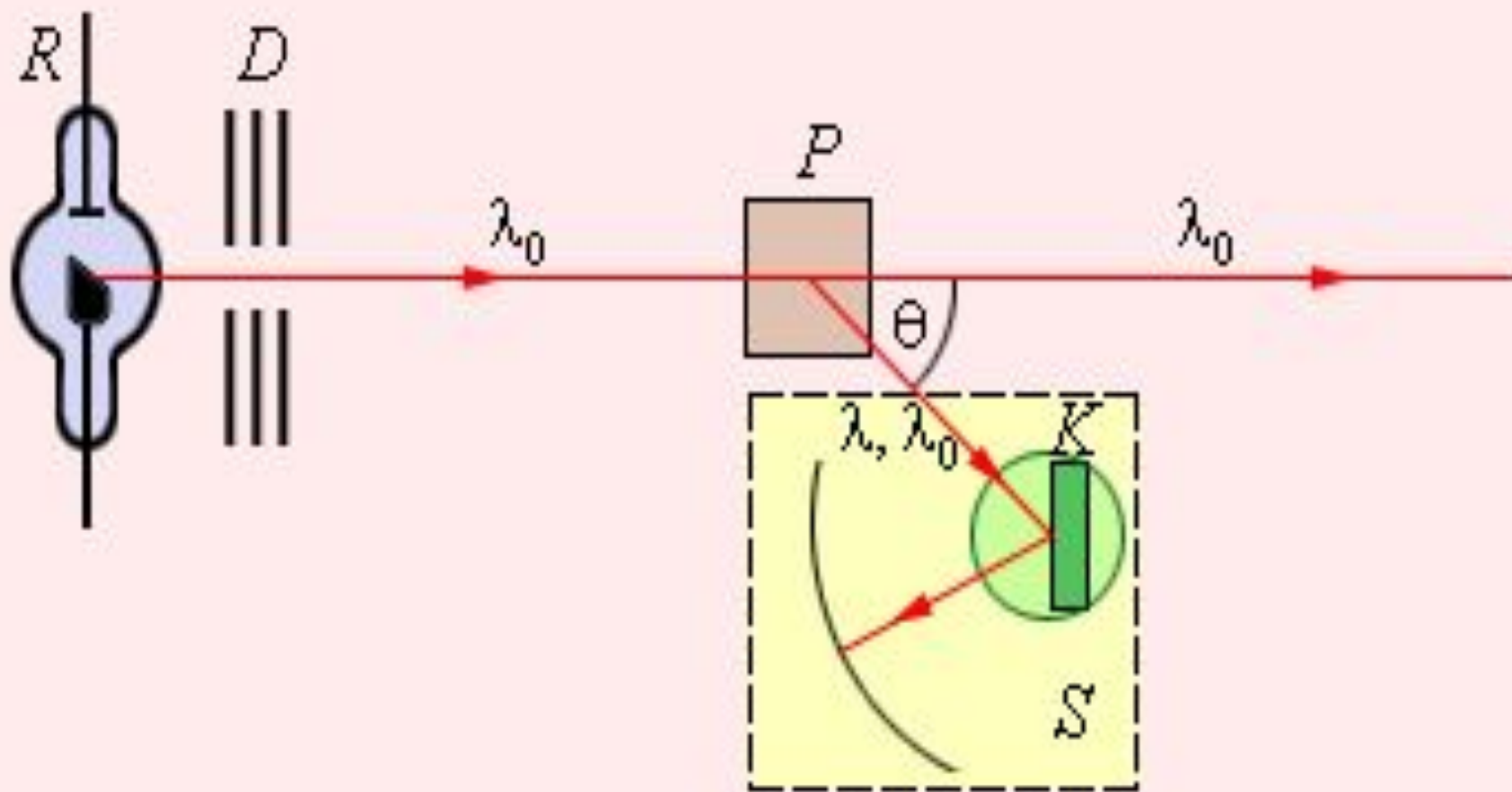
Фотон массасы:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

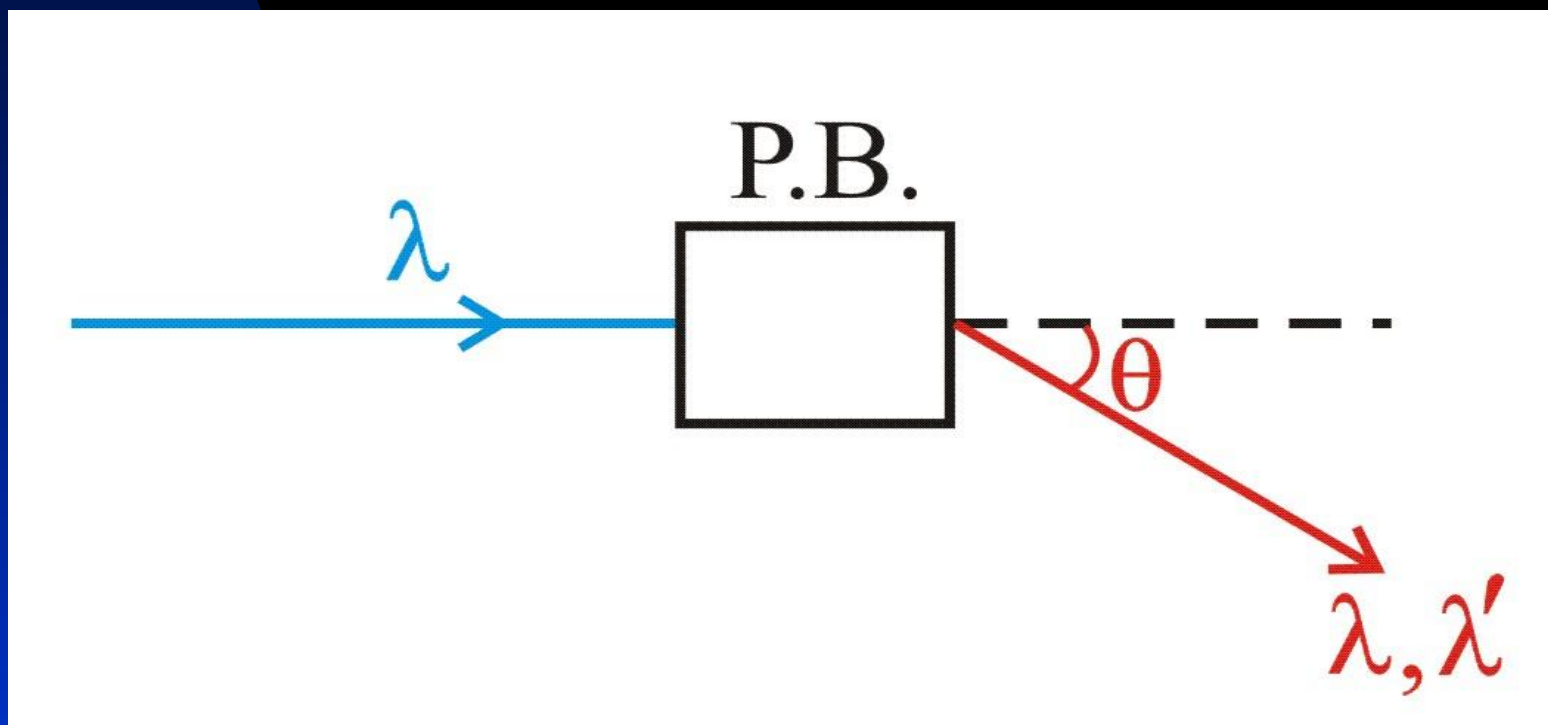
Фотон импульсі:

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

Рентгендік сәулелер жылдам электрондарды затпен тежегенде электронның кинетикалық энергиясының сәуле шығару энергиясына айналуы нәтижесінде пайда болады.



Комптон эффектісі — рентген сәулелерін кез-келген затпен шашыратқанда, шашыраған сәулелерде бастапқы ұзындықтағы λ сәуле шығарумен қатар үлкен ұзындықтағы λ' толқындар кездеседі.



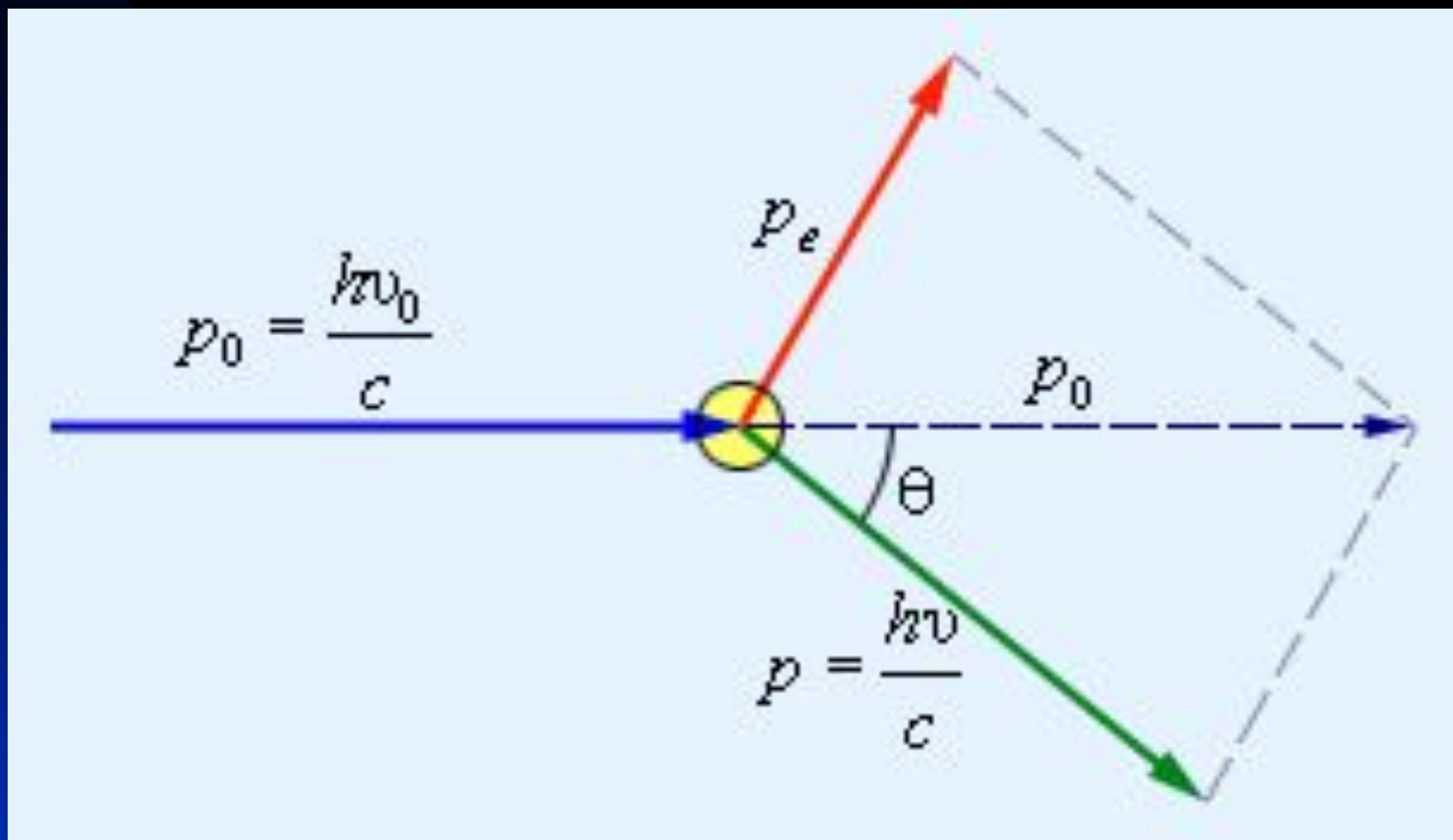
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_K(1 - \cos\theta)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_K \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

θ — шашырау бұрышы,

λ_K — КОМПТОНДЫҚ ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫ .

Рентгендік фотонның тыныштықтағы электрон арқылы серпімді шашырауы.



Түсуші фотонның импульсі және энергиясы :

$$m_0 = 0, m_0^2 c^2 = 0 \quad \varepsilon_0 = h\nu_0, \quad p_0 = \frac{h\nu_0}{c}$$

Электронның соқтығысуға дейінгі энергиясы және импульсі:

$$W_{e0} = m_0 c^2, \quad p_{e0} = 0$$

Шашыраған фотонның энергиясы мен импульсі:

$$\varepsilon = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c}$$

Соқтығысудан кейінгі электрон энергиясы және импульсі:

$$W_e = mc^2, \quad p_e = m\upsilon$$

Импульс және энергияның сақталу заңы:

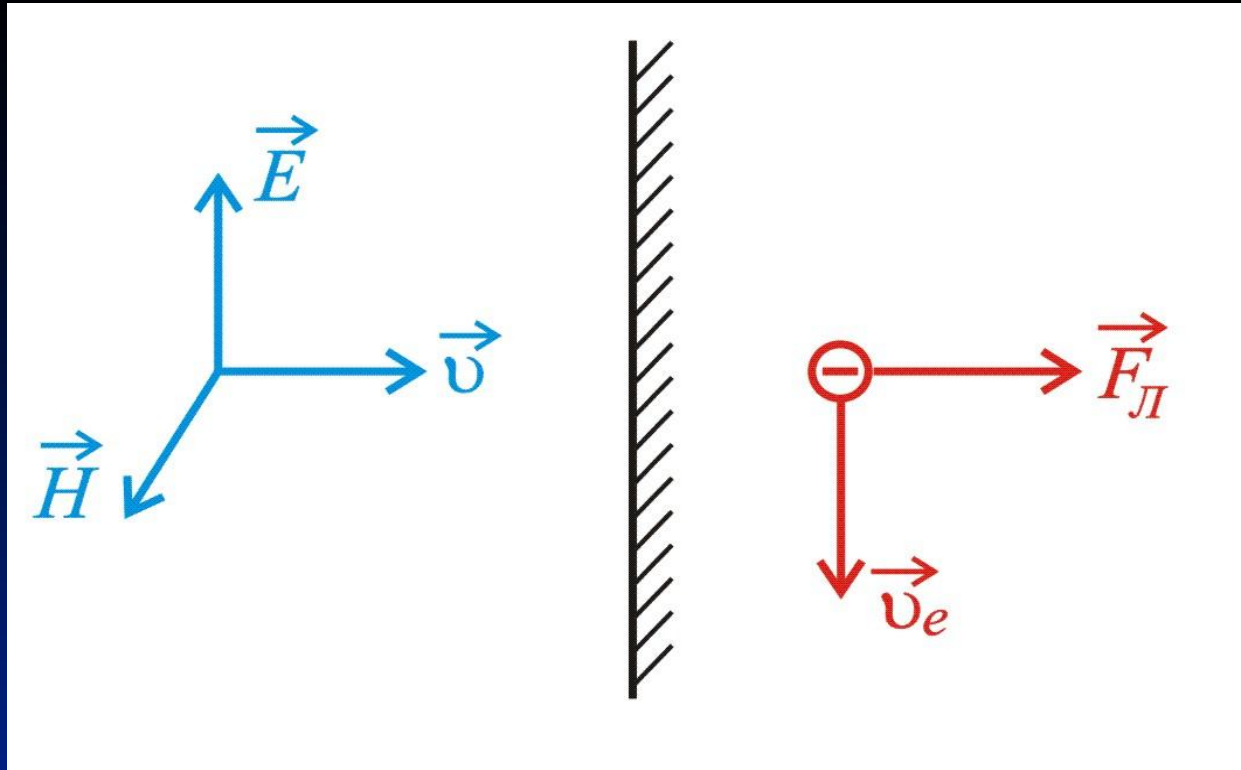
$$\begin{cases} \vec{p}_0 + \vec{p}_{e0} = \vec{p} + \vec{p}_e \\ \varepsilon_0 + W_{e0} = \varepsilon + W_e \end{cases}$$

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

Электронның Комптондық толқын ұзындығы:

$$\lambda_K = \frac{h}{m_0c} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Жарық қысымы.



$$\vec{F}_L = -q[\vec{v} \times \vec{B}]$$

Жарықтың металл бетіне түсіретін қысымы Лоренц күшінің бетке перпендикуляр металл ішіне бағытталуымен түсіндіріледі.

Кванттық теория бойынша жарықтың бетке түсіретін қысымы фотонның соқтығуы кезінде өз импульсін беруімен түсіндіріледі.

$$P = pN = \frac{E}{c} N \quad P = 2 \frac{E}{c} N$$

ρ — шағылу коэффициенті $(1 - \rho)$

$$P = 2 \frac{E}{c} N \rho + \frac{E}{c} N (1 - \rho) = 2 \frac{E}{c} N \rho + \frac{E}{c} N - \frac{E}{c} N \rho =$$

$$= \frac{E}{c} N \rho + \frac{E}{c} N = \frac{E}{c} N (1 + \rho) = (1 + \rho) \frac{h\nu}{c} N$$

$$\frac{E}{c} = \omega$$

$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho)$$

E – бірлік уақыт ішінде бірлік ауданға түсетін барлық фотондардың энергиясы.

ρ – шағылу коэффициенті,

w – энергияның көлемдік тығыздығы.

Сутегі атомының спектрлық сериялары

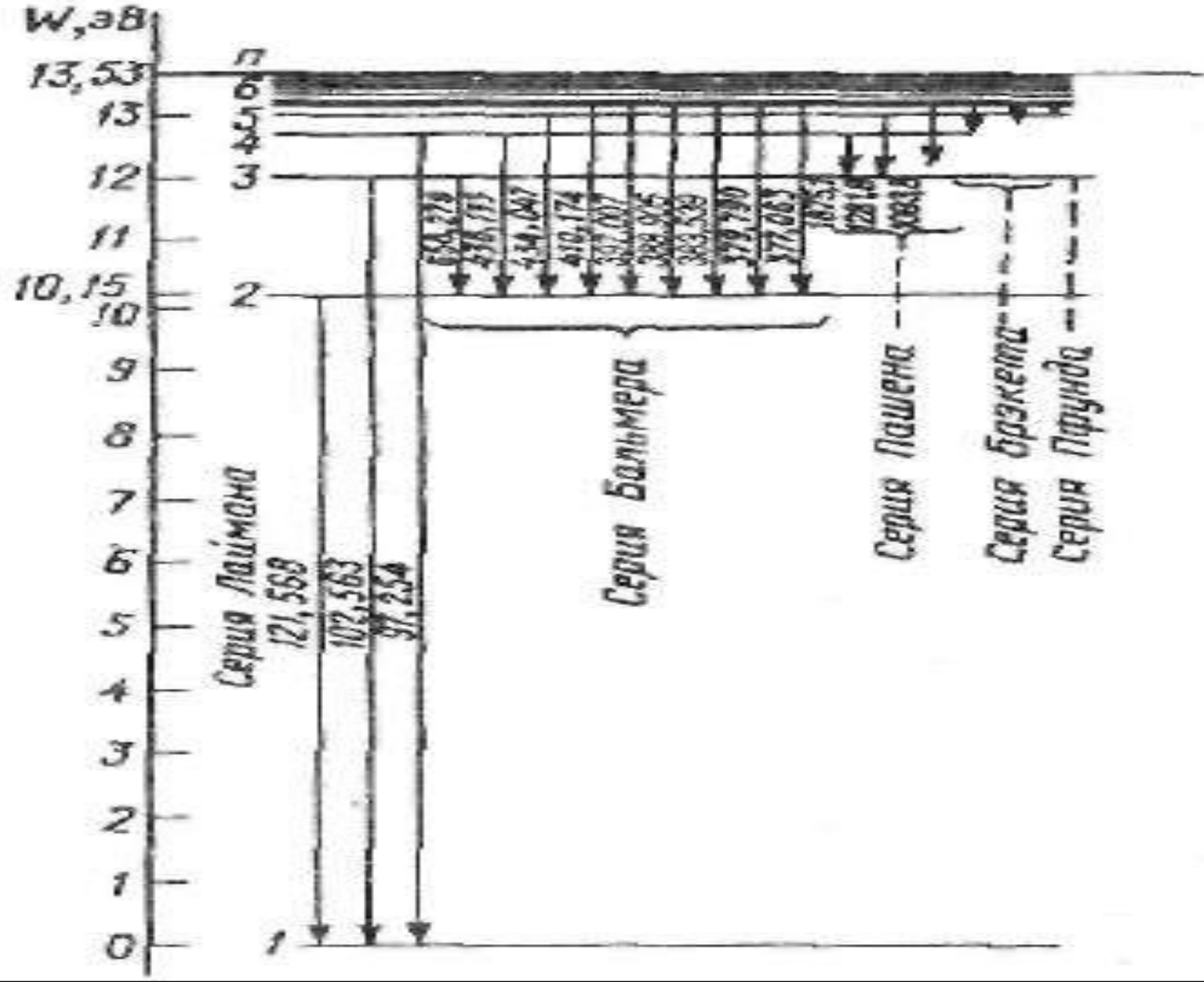
$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad - \quad \text{Бальмер сериясы}$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad - \quad \text{Лайман сериясы}$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad - \quad \text{Пашен сериясы}$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad - \quad \text{Брэкет сериясы}$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad - \quad \text{Пфунд сериясы}$$



$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad m = 1, 2, 3, 4, \dots$$

$$n = m + 1$$

$$mvr = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$\hbar = h/2\pi$$

$$h\nu = E_n - E_m$$

$$v = \frac{E_n}{h} - \frac{E_m}{h}$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2}$$

$$r_n = \frac{\hbar^2}{Zme^2} n^2 \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$$

$$\hbar \omega = E_n - E_m = -\frac{me^4}{2h} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$v = \frac{me^4}{4\pi h^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad R = 3,29 \ 1016 \ \text{c}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

$$\Delta y \Delta p \geq h$$

$$\Delta z \Delta p \geq h$$

$$\Delta E \Delta t \geq h$$

$$\psi(x, y, z, t)$$

$$W \sim |\psi(x, y, z, t)|^2$$

$$|\psi|^2 = \psi \psi^*$$

$$dW = |\psi|^2 dV$$

$$|\psi|^2 = \frac{dW}{dV}$$

$$W = \int dW = \int_V |\psi|^2 dV$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dV = 1$$