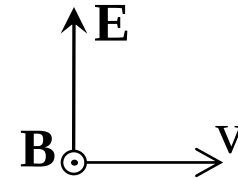
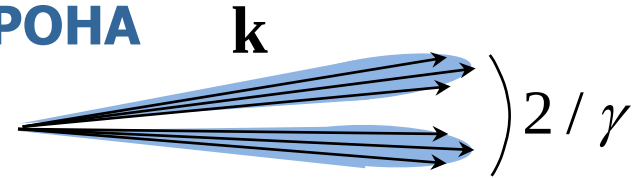
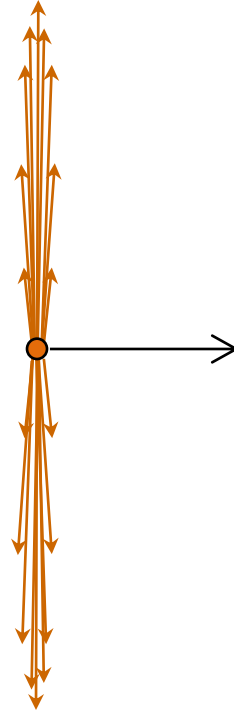
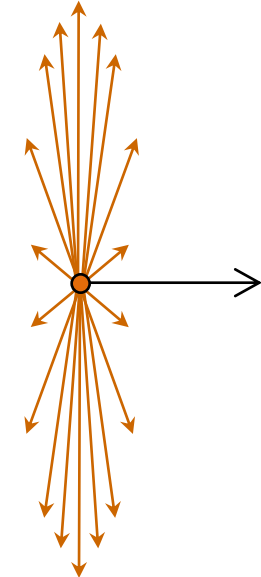
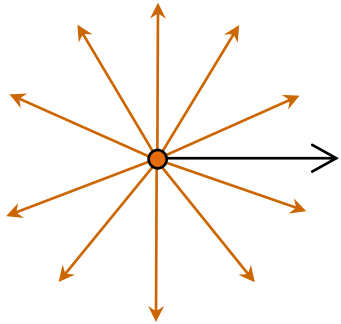


КУЛОНІВСЬКЕ ПОЛЕ ЕЛЕКТРОНА

$(\gamma \gg 1)$:

$v \sim c$:

$v \ll c$:



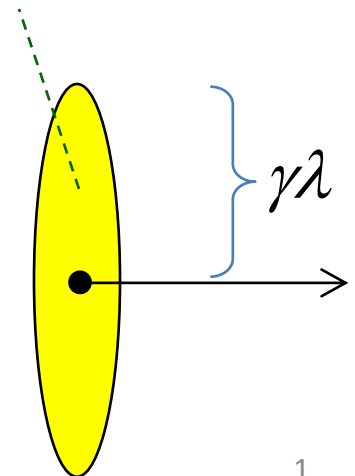
Кулонівське поле
ультррелятивістського
електрона подібне до плоскої
електромагнітної хвилі

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega \int d^3k \underbrace{\mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega) e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)}}_{\text{плоска монохроматична хвиля («віртуальний фотон»)}}$$

плоска монохроматична хвиля
(«віртуальний фотон»)

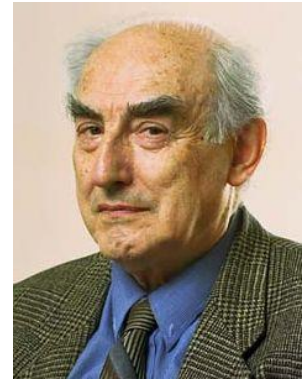
плоскі хвилі з довжиною хвилі λ (тобто з частотою
 $\omega = 2\pi c / \lambda$) зосереджені в межах відстані
від траєкторії електрона $\rho \sim \gamma \lambda$

частина
кулонівського поля
з довжиною хвилі λ



ПЕРЕХІДНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

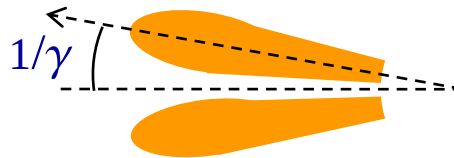
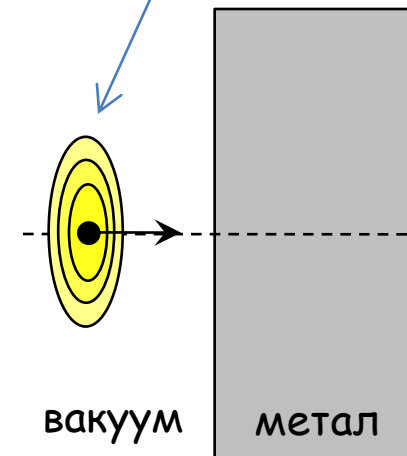
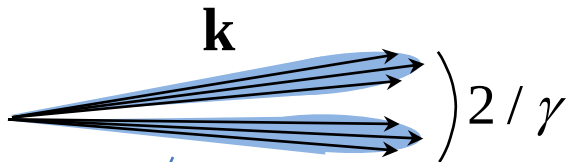
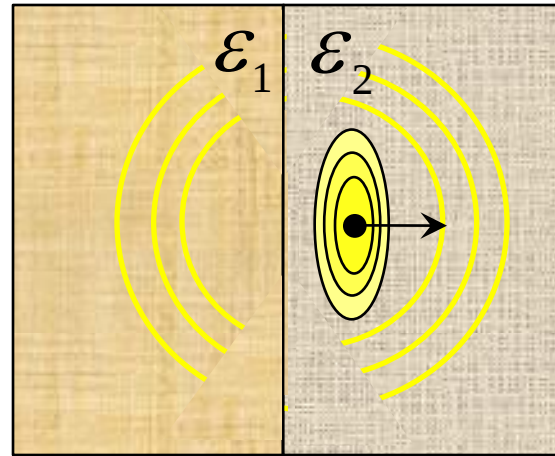
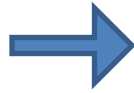
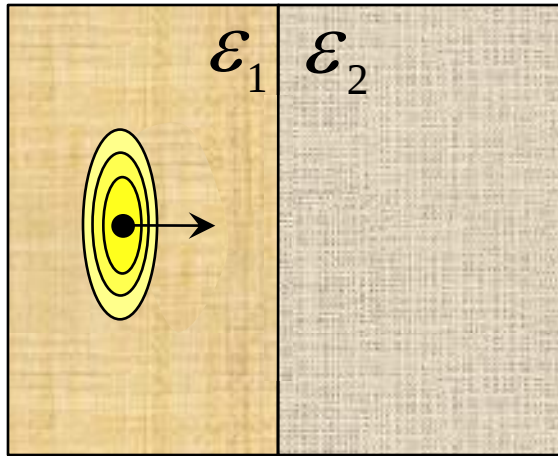
В.Л. Гинзбург, И.М. Франк // ЖЭТФ, 1946



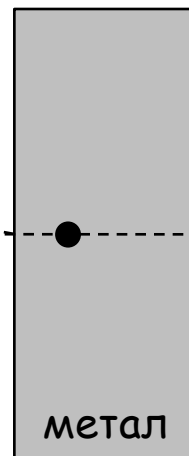
В.Л. Гінзбург



І.М. Франк

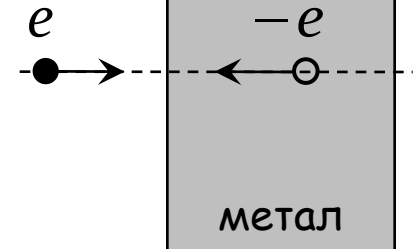


вакуум



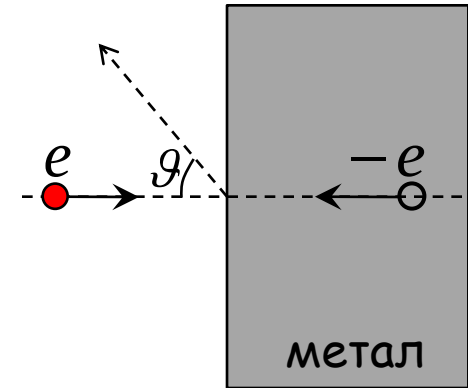
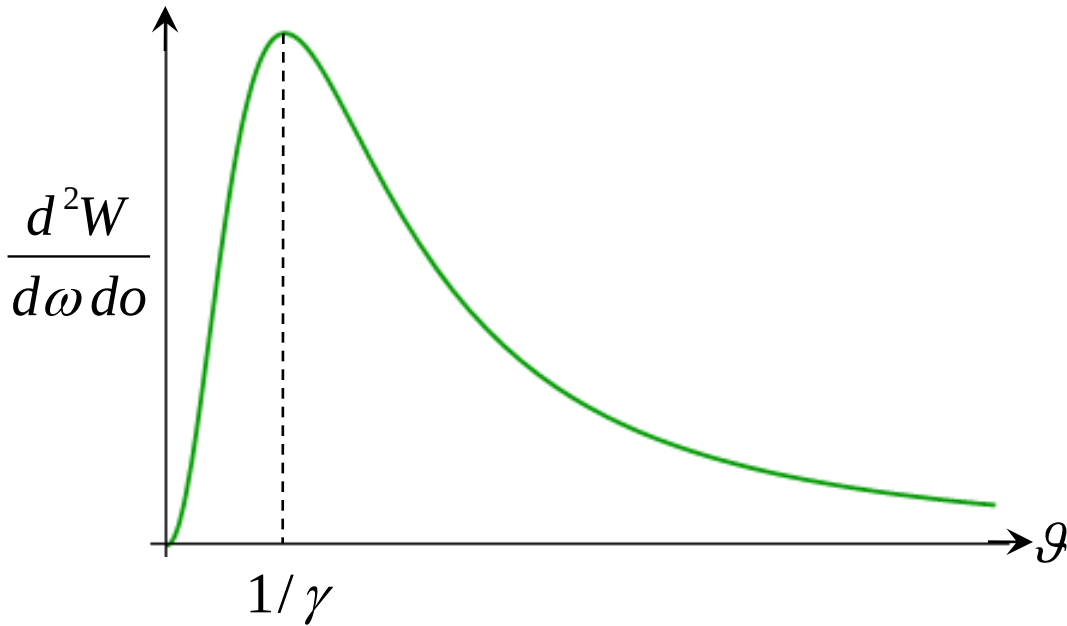
метал

альтернативна
трактовка



метал

ПЕРЕХІДНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ (Transition radiation)

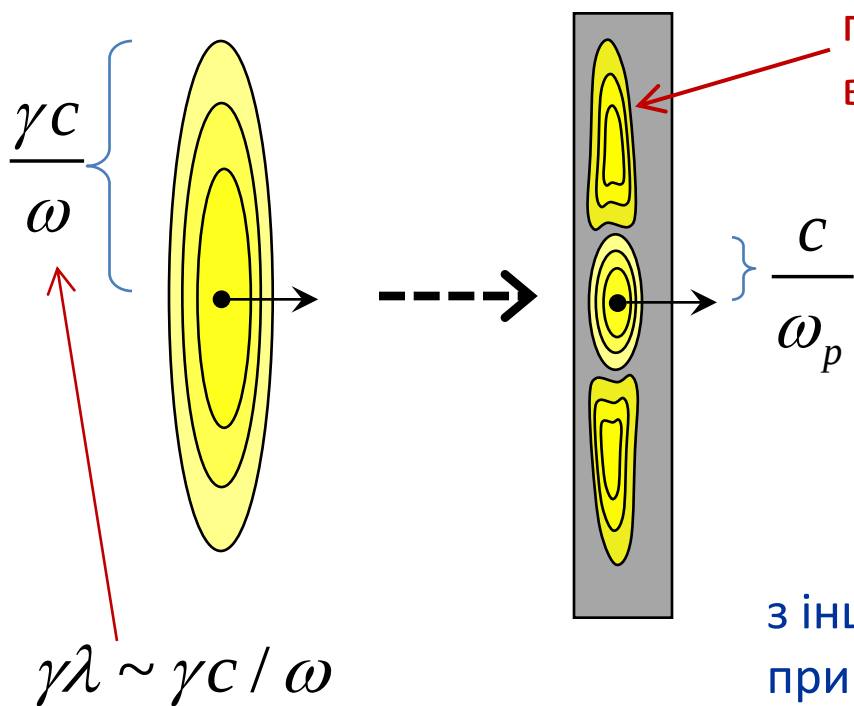


При $\gamma \gg 1$:

$$\frac{d^2W}{d\omega d\theta} = \frac{e^2}{\pi^2 c} \frac{\theta^2}{(\gamma^{-2} + \theta^2)^2}$$

Можливість використання перехідного випромінювання в **міліметровому** та **оптичному** діапазонах для діагностики релятивістських пучків заряджених частинок: вимірювання поздовжнього і поперечного розмірів банча, форми профілю пучка

РЕНТГЕНІВСЬКЕ ПЕРЕХІДНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ



перехідне
випромінювання

випромінювання виникає
при:

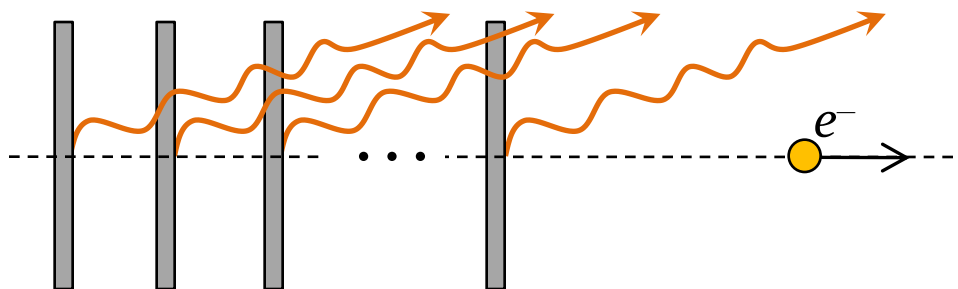
$$\frac{\gamma c}{\omega} > \frac{c}{\omega_p}$$



$$\omega < \gamma \omega_p \sim 30 \gamma \text{ эВ}$$

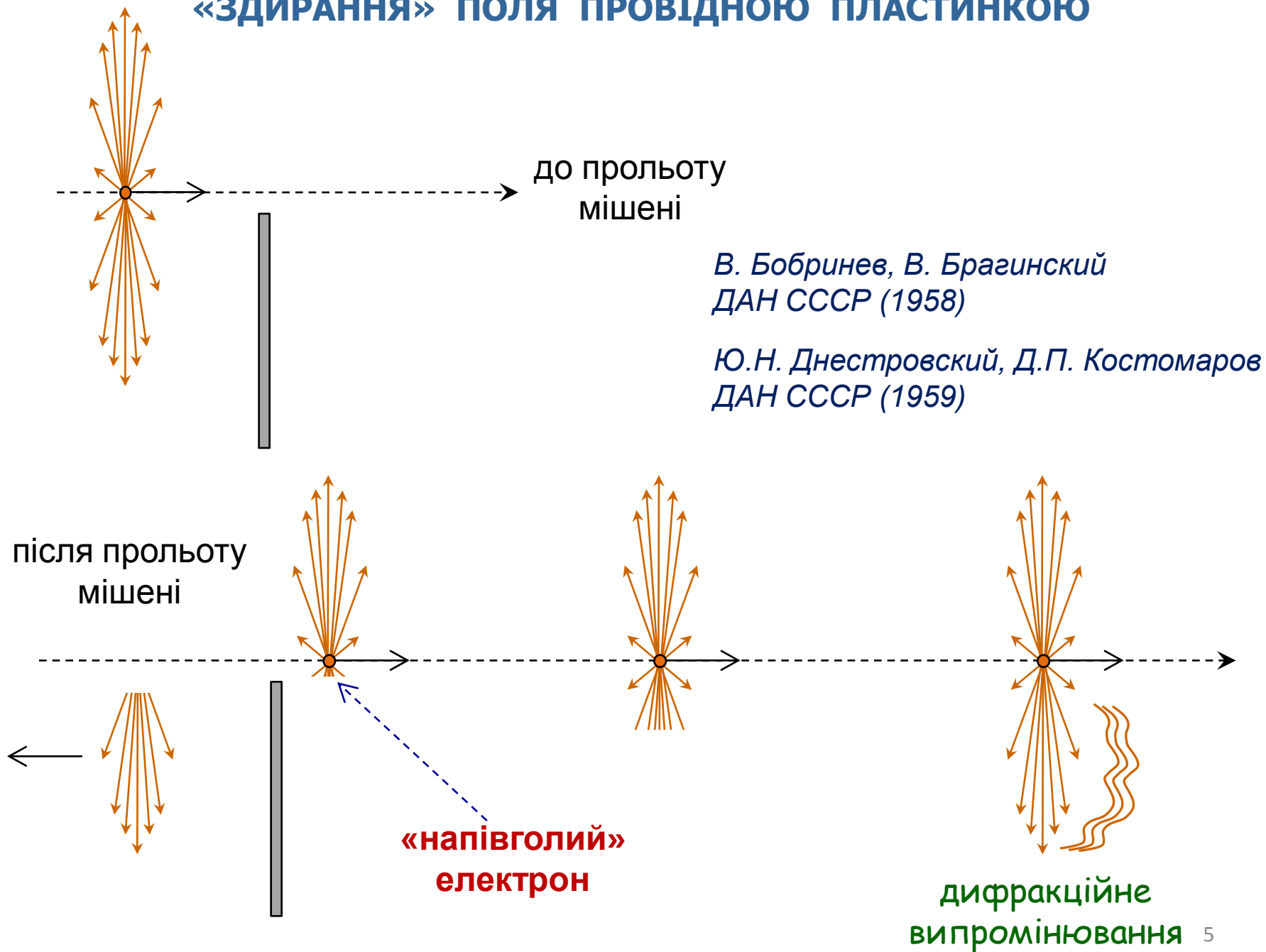
з іншого боку, випромінювання виникає
при $\gamma > \omega / \omega_p \rightarrow$ РПВ має пороговий
характер $\rightarrow$ можливість ідентифікації
частинок

Перехідне випромінювання у багат шаровій мішені:

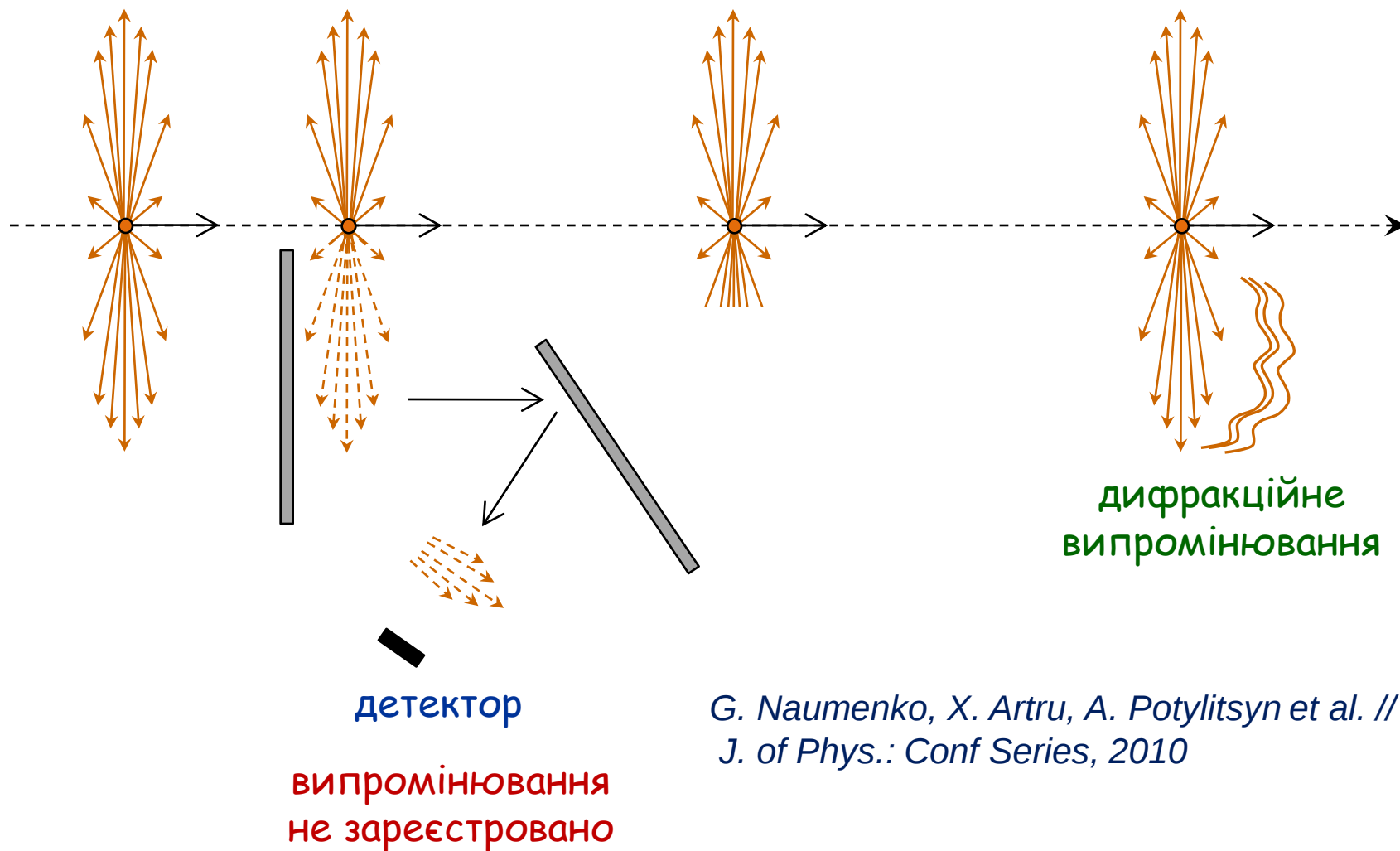


- джерело рентгенівських фотонів
- детектори заряджених частинок

«ЗДИРАННЯ» ПОЛЯ ПРОВІДНОЮ ПЛАСТИНКОЮ

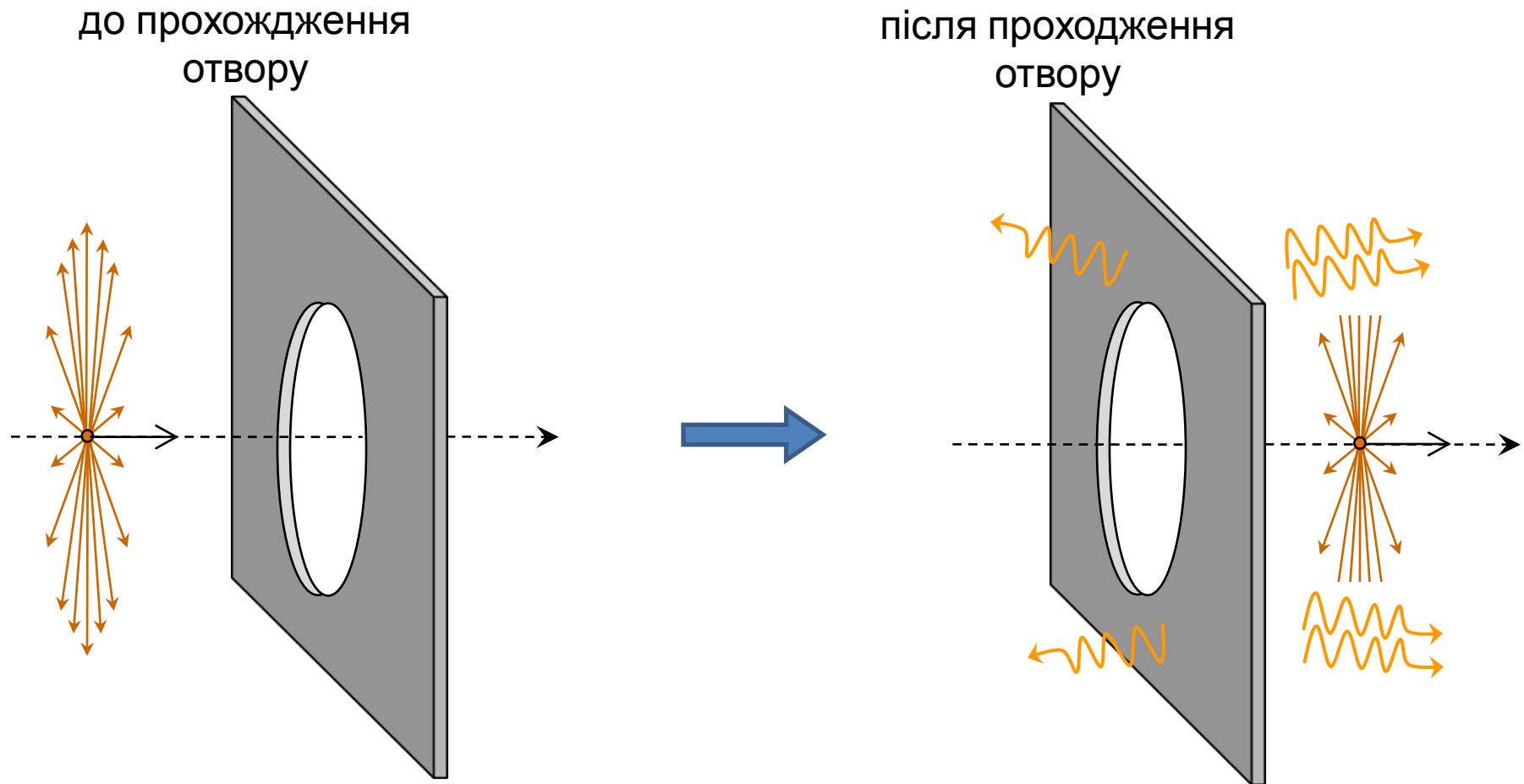


«ЗДИРАННЯ» ПОЛЯ ПРОВІДНОЮ ПЛАСТИНКОЮ (ЕФЕКТ ТІНІ)



G. Naumenko, X. Artru, A. Potylitsyn et al. // *J. of Phys.: Conf Series*, 2010

ДИФРАКЦІЙНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ (*Diffraction radiation*)

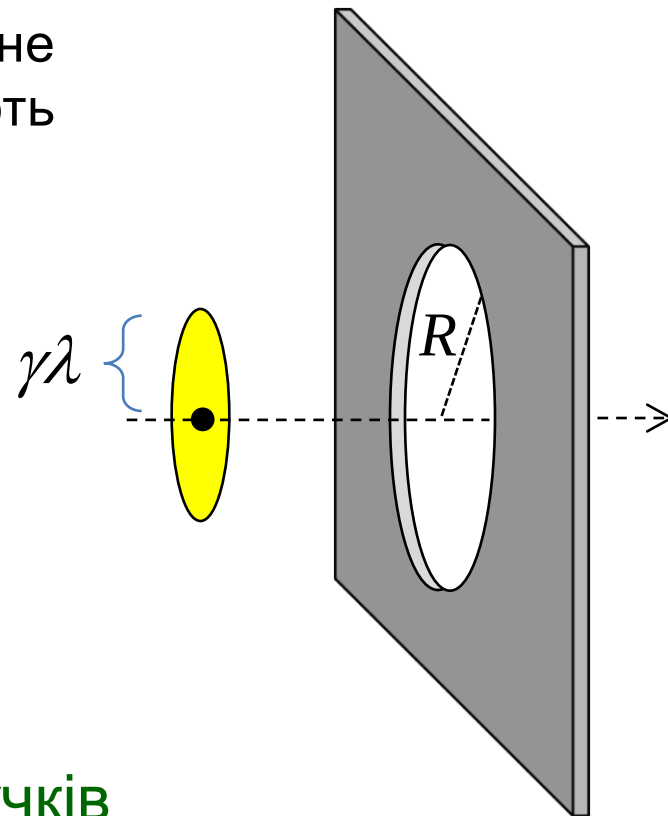


ДИФРАКЦІЙНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Якщо $\gamma\lambda < R$, то такі віртуальні фотони в кулонівському полі електрона «не відчують» пластинку і не дифрагують

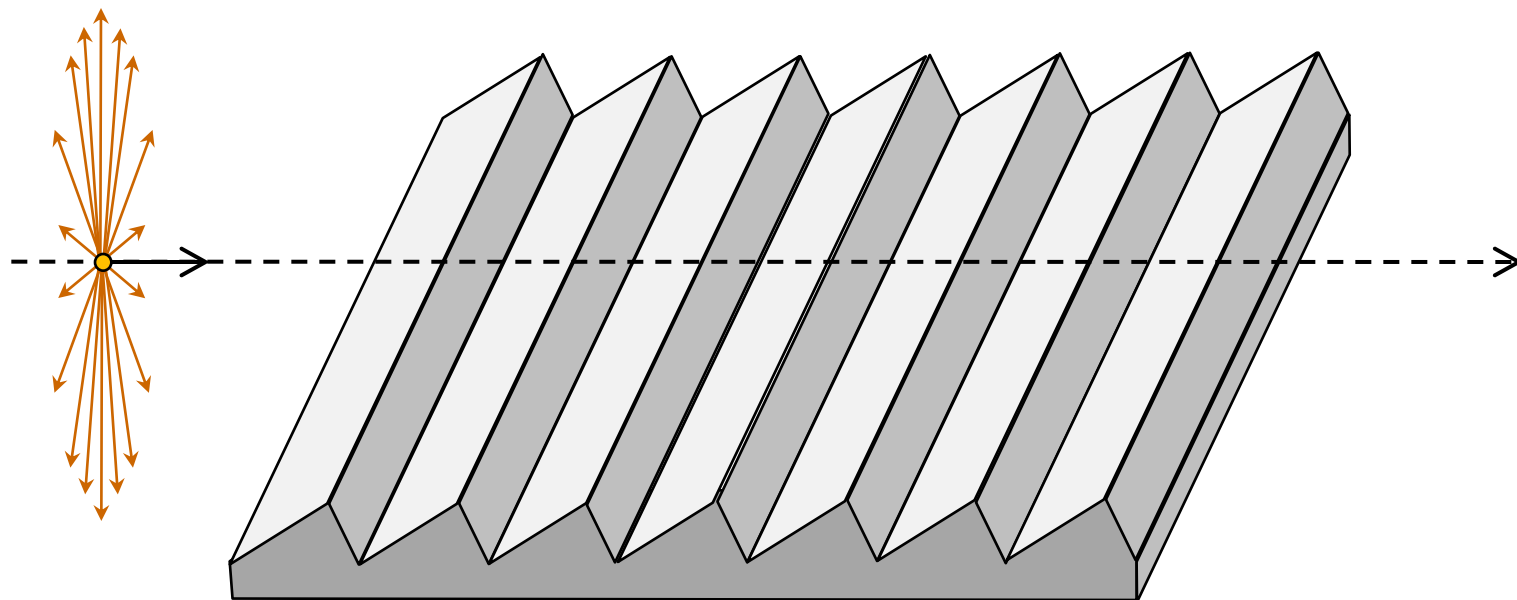
$$\Rightarrow \lambda_{min} \sim R / \gamma ,$$

$$\omega_{max} \sim 2\pi c\gamma / R$$

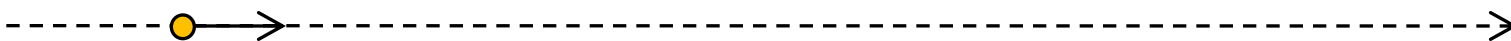


дифракційне випромінювання –
неруйнівний метод діагностики пучків

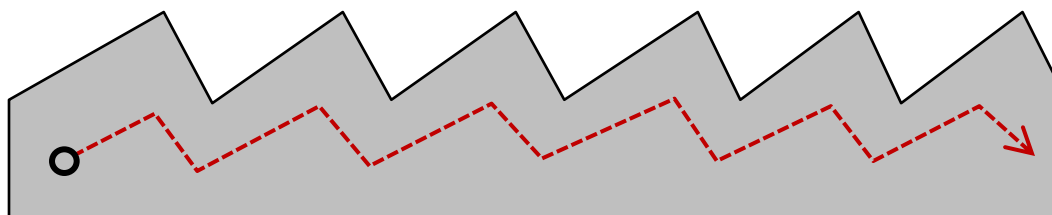
ВИПРОМІНЮВАННЯ СМІТА-ПАРСЕЛЛА (*Smith-Purcell radiation*)



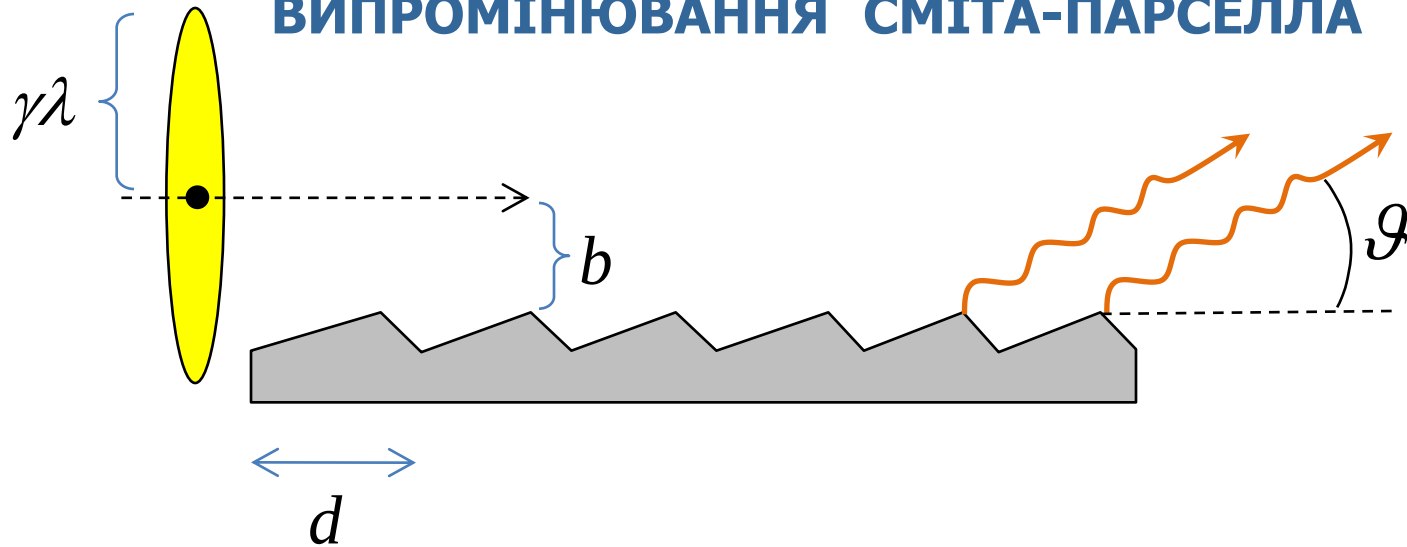
електрон



зображення



ВИПРОМІНЮВАННЯ СМІТА-ПАРСЕЛЛА



В експерименті Сміта і Парселла:

$$E = 300 \text{ keV}$$

$$d = 1.67 \text{ } \mu\text{m}$$

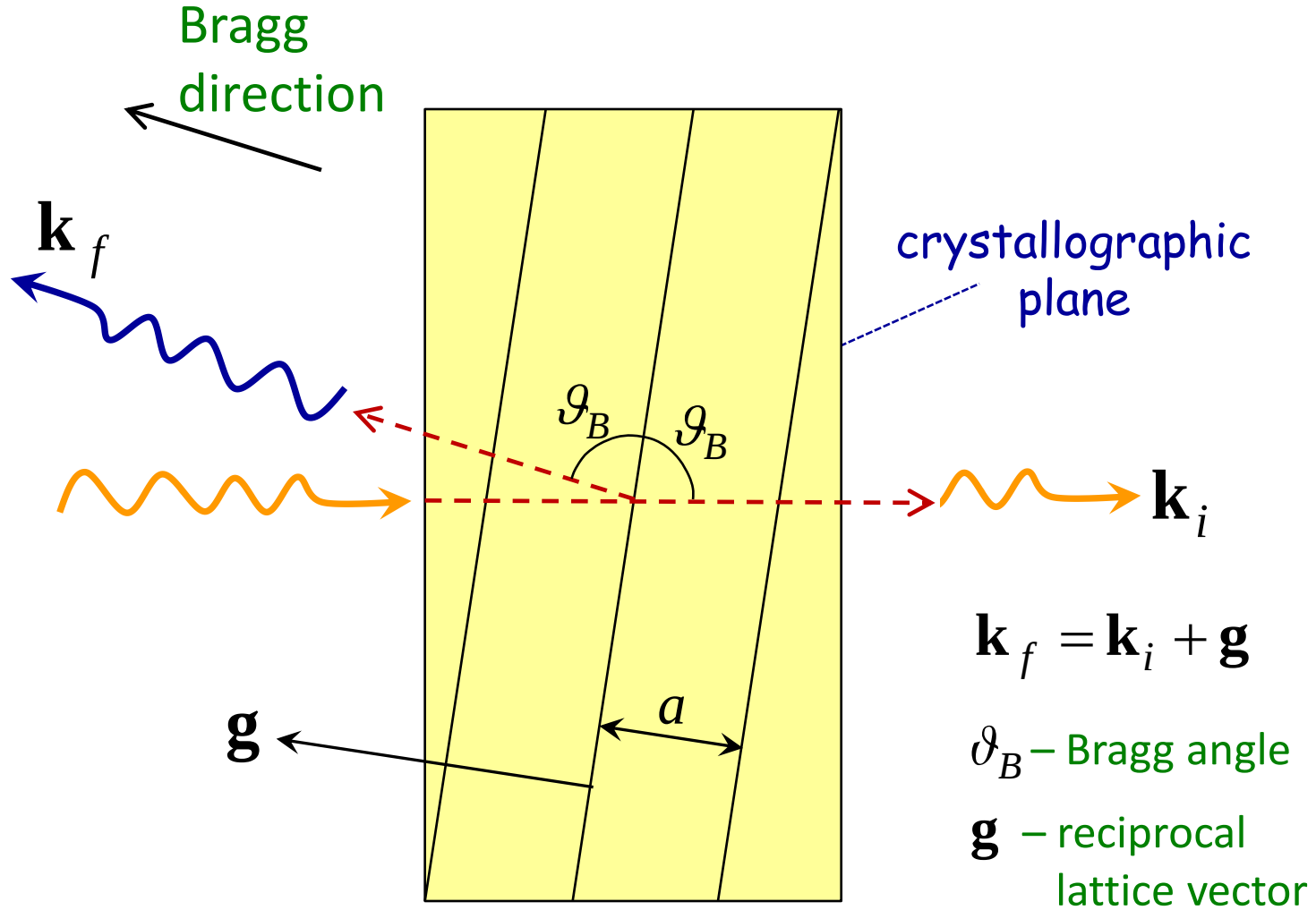
$$\vartheta = 20^\circ$$

спостерігалось яскраве світло з
довжиною хвилі:

$$\lambda = 0.56 \text{ } \mu\text{m}$$

Розроблюються ЛВЕ на основі ефекту Сміта-Парселла

X-RAY DIFFRACTION IN CRYSTALS



$$\mathbf{k}_f = \mathbf{k}_i + \mathbf{g}$$

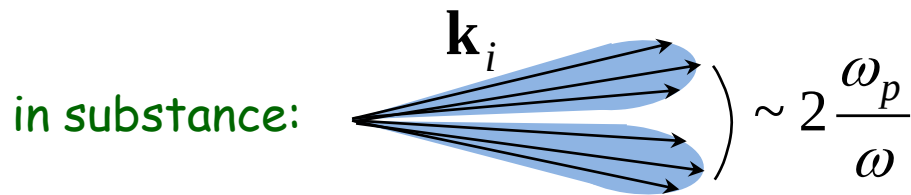
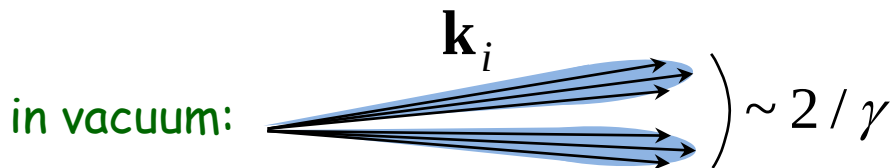
ϑ_B – Bragg angle

$\mathbf{g}$ – reciprocal
lattice vector

$$|\mathbf{g}| = \frac{2\pi}{a}$$

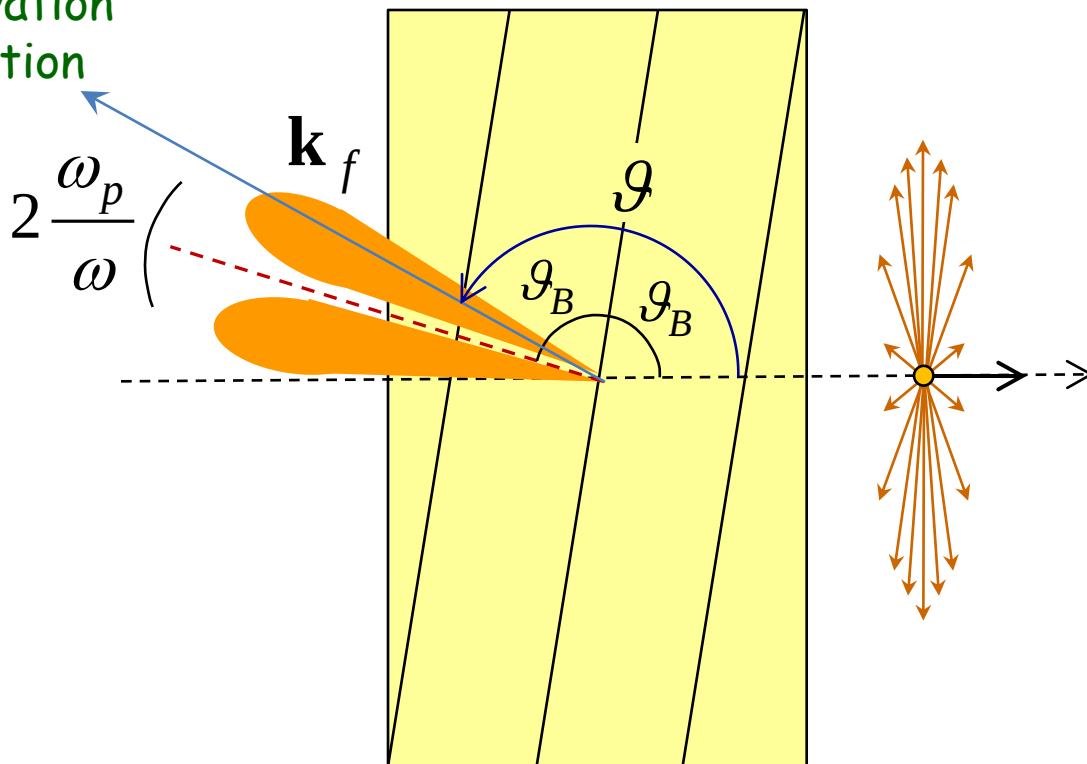
PARAMETRIC X-RAY RADIATION (PXR) at $\gamma \gg \omega / \omega_p$

M.L. Ter-Mikaelyan, *High-energy electromagnetic processes in media* (1969)

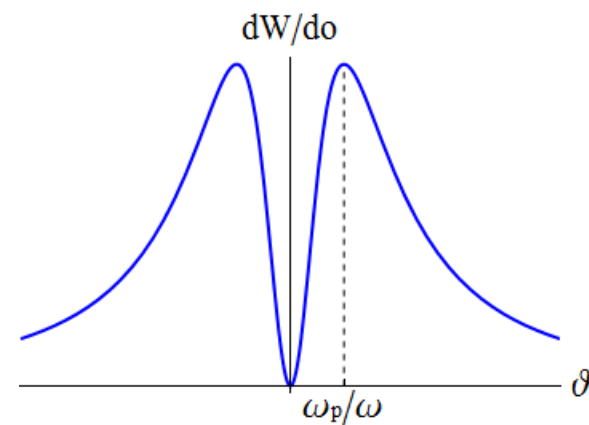


М.Л. Тер-Микаелян

observation
direction



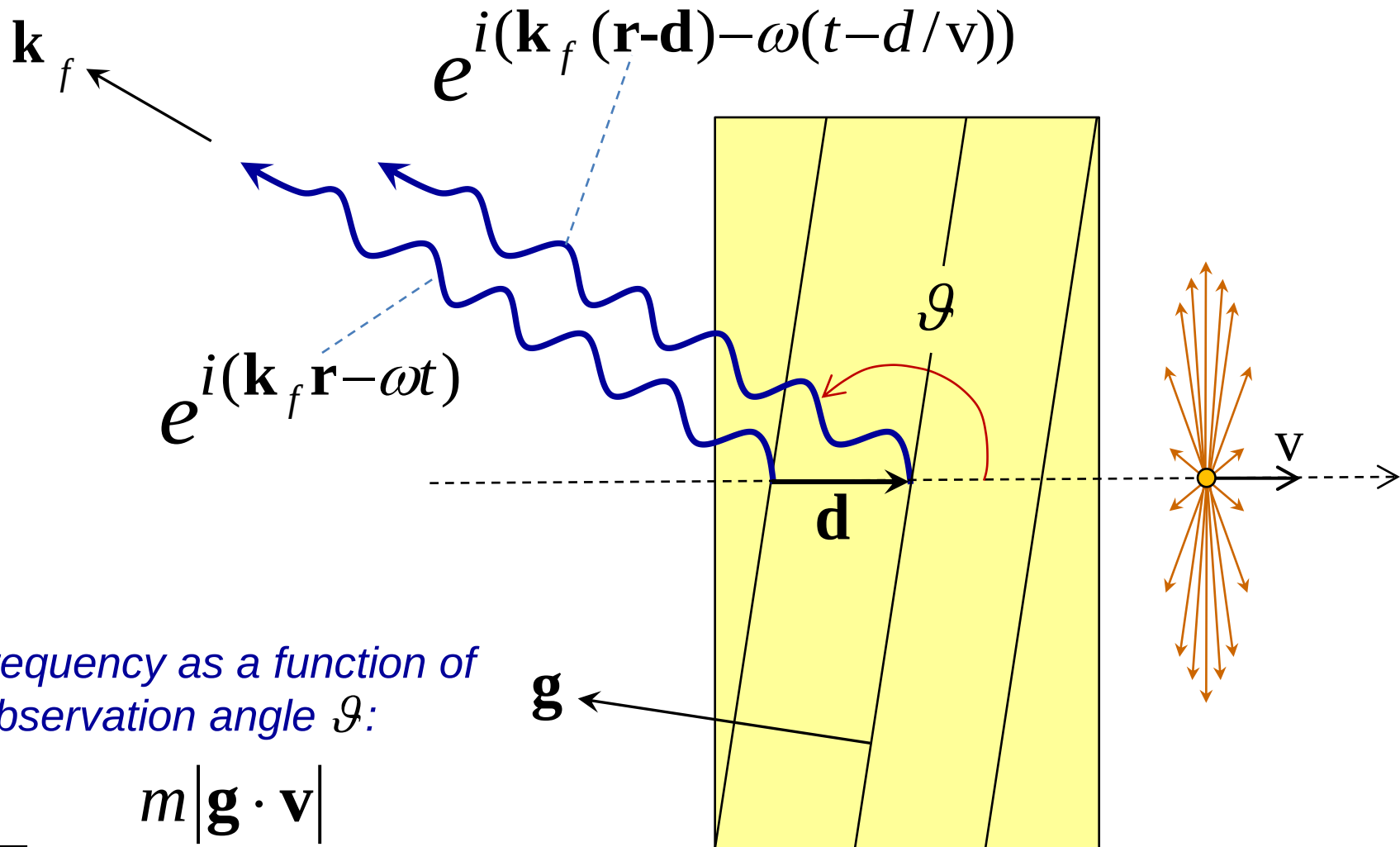
PXR angular distribution:



at $\omega = 10 \text{ keV}$:

$$\omega_p / \omega \sim 0.002 \sim 0.1^\circ$$

PARAMETRIC X-RAY RADIATION (PXR)

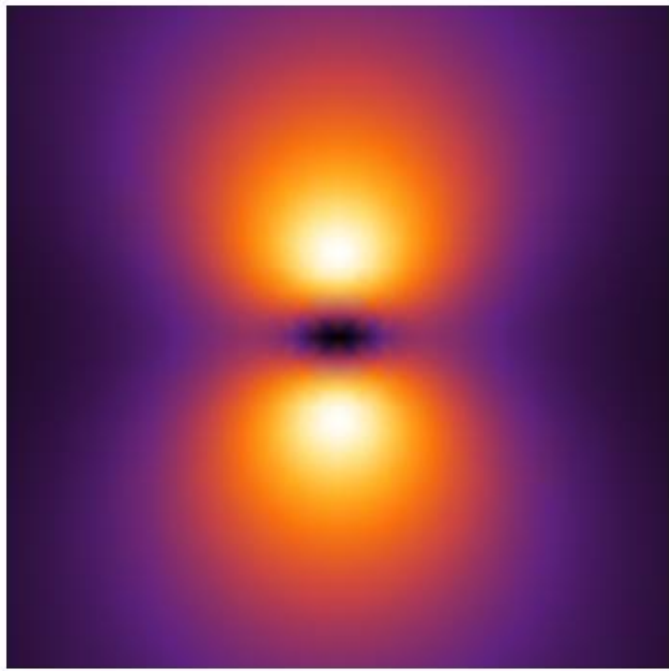


PXR frequency as a function of observation angle ϑ :

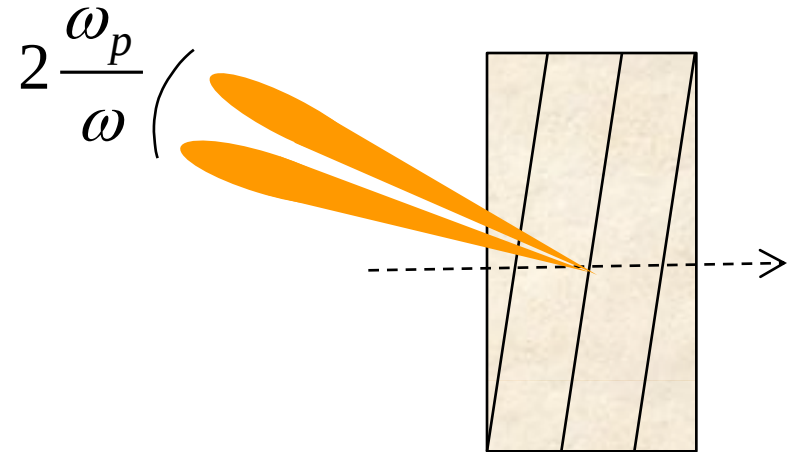
$$\omega_m = \frac{m |\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}|}{1 - \frac{v}{c} \sqrt{\epsilon} \cos \vartheta}$$

$$m = 1, 2, 3, \dots$$

ПАРАМЕТРИЧНЕ РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ (ПРВ)



$$\left. \vphantom{\frac{\omega_p}{\omega}} \right\} 2 \frac{\omega_p}{\omega}$$



Спектр ПРВ електрона з енергією 100 МеВ у кремнії (видно чотири гармоніки: $m=1,3,4,5$; випромінювання при $m=2$ заборонено правилами відбору)

$$\omega_m = \frac{m |\mathbf{g} \cdot \mathbf{v}|}{1 - (v \sqrt{\epsilon} / c) \cos \vartheta}$$

