

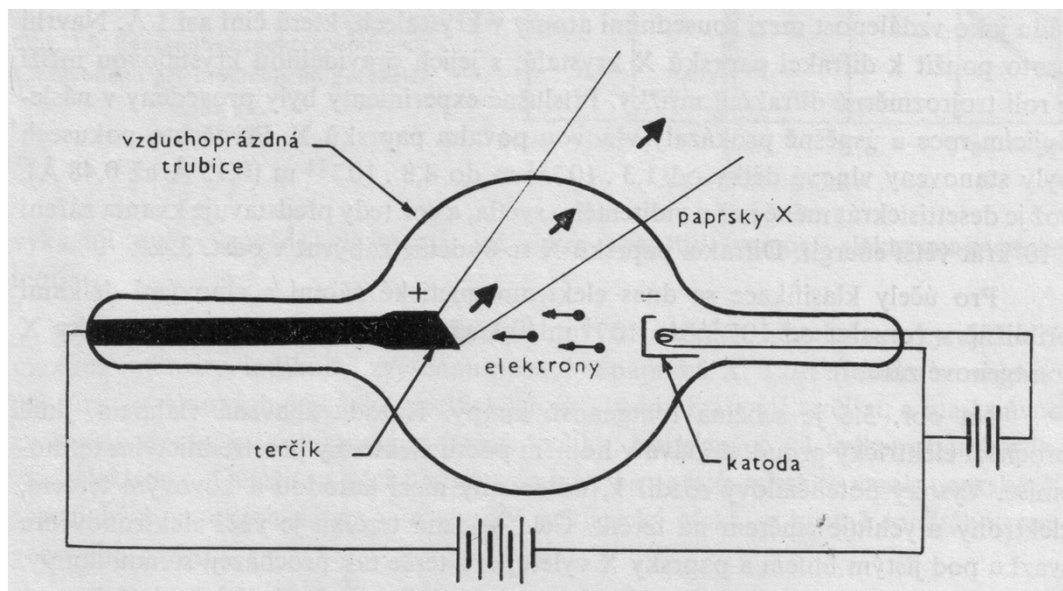
Rtg X
obrácený fotoefekt
Potvrzení fotonové hypotézy

RTG

Obrácený fotoefekt - kinetická energie elektronů se mění na záření fotonů

1895 Wilhelm Roentgen – při nárazu rychlých e na látku vzniká **pronikavé záření neznámé podstaty**

X



Vlastnosti :

- pronikavé – šíří se přes neprůhledné materiály
- není ovlivnitelné el. a mag. polem
- působí na fluoresenční a fotografické materiály
- čím jsou rychlejší e, tím je pronikavější X žiarenie,
- s počtem e se zvyšuje intenzita záření

PODEZŘENÍ: X představují elektromagnet. vlny s malou λ

Vlastnosti částočně vysvetlitelné el.mag. teorií :

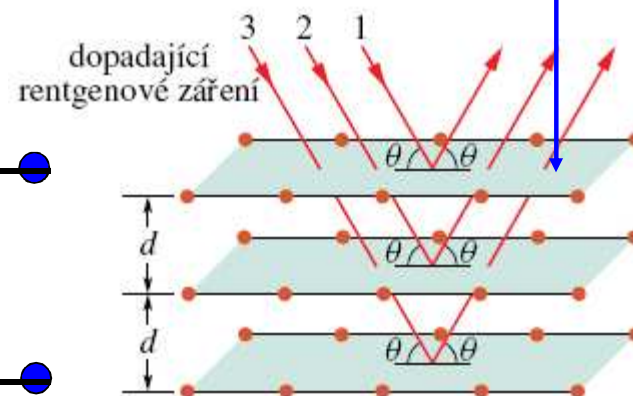
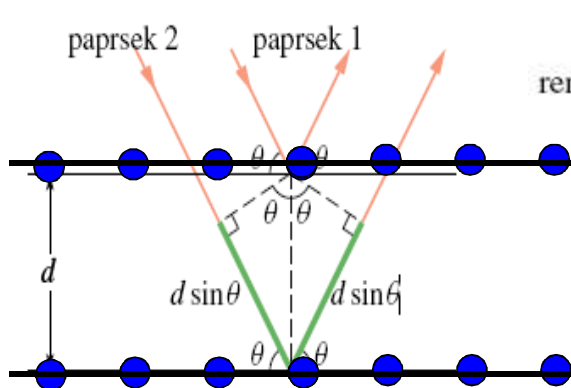
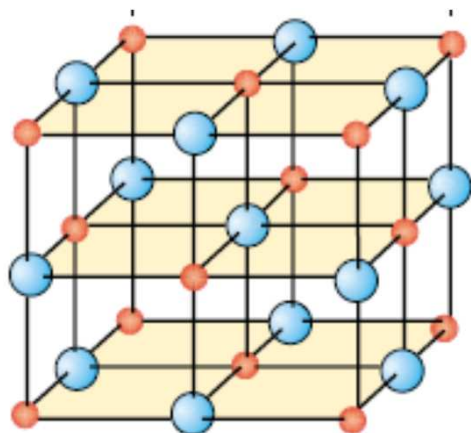
brzdné záření

1912 **difrakce** na krystalech - **krátkovlnné (0,1-100Å)**

Difrakce X

mřížka - prostorová

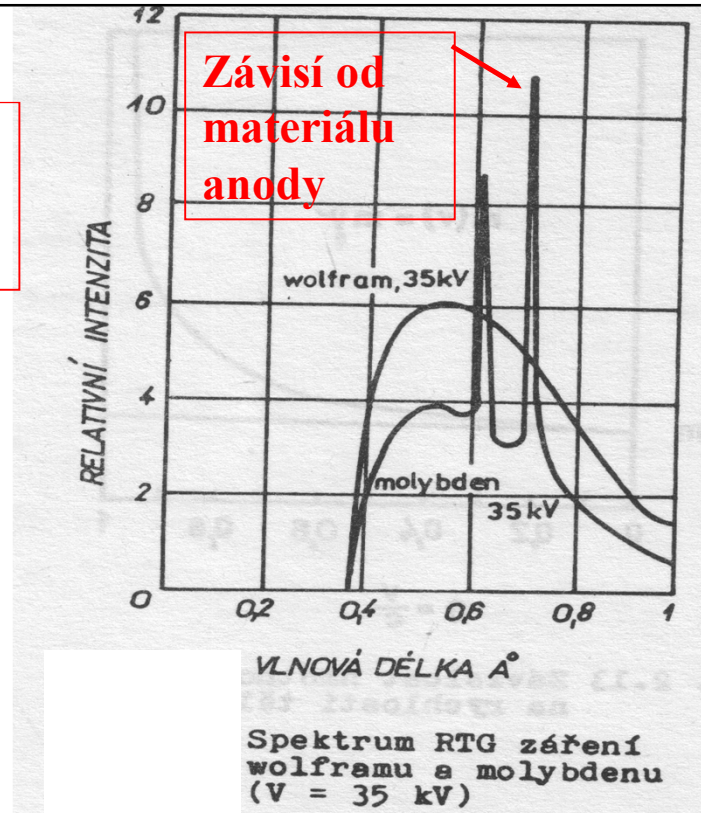
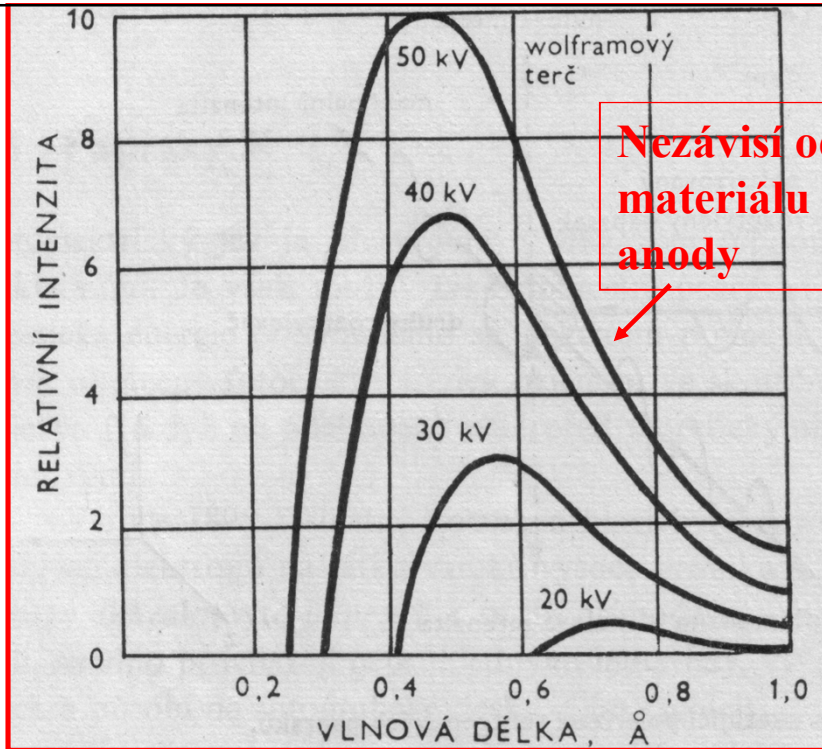
Pravidelně uspořádané atomy tvoří systém rovnoběžných (Braggových) rovin



Konstruktivní interference nastane v směrech, kde je splněna Braggova podmínka:

**Braggova podmínka
pro rozptyl:**

$$2d \sin \theta = m\lambda$$



El.mag. teorií nelze vysvětlit:

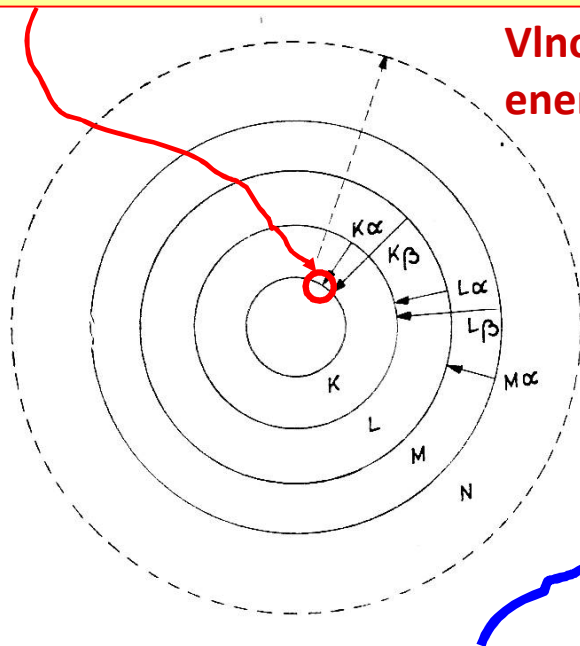
- 1, **ostrá maxima intenzit** (pri různých vln.délkách specifických pro každý materiál terčíku).
- 2, X produkované pro dané urychlující potenciály, mají různé vln. délky, ale žádná není kratší než jistá hodnota **hraniční λ**

$$\lambda_{\min} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} Vm}{U}$$

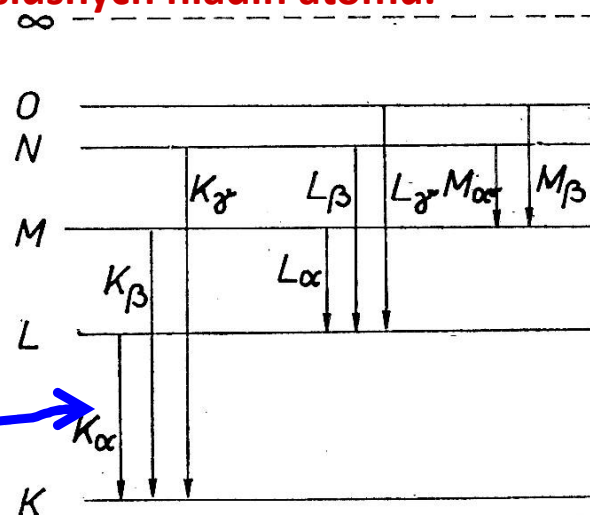
Duane a Hunt

Vznik charakteristických čar v RTG. spektru

místo sa uvolní nárazem energetického elektronu (ionizace)



Vlnovou délku emitovaného X určuje rozdíl energií příslušných hladin atomu.



série – čáry, které vznikli přechodem e z vyšší hladiny do dané K, L

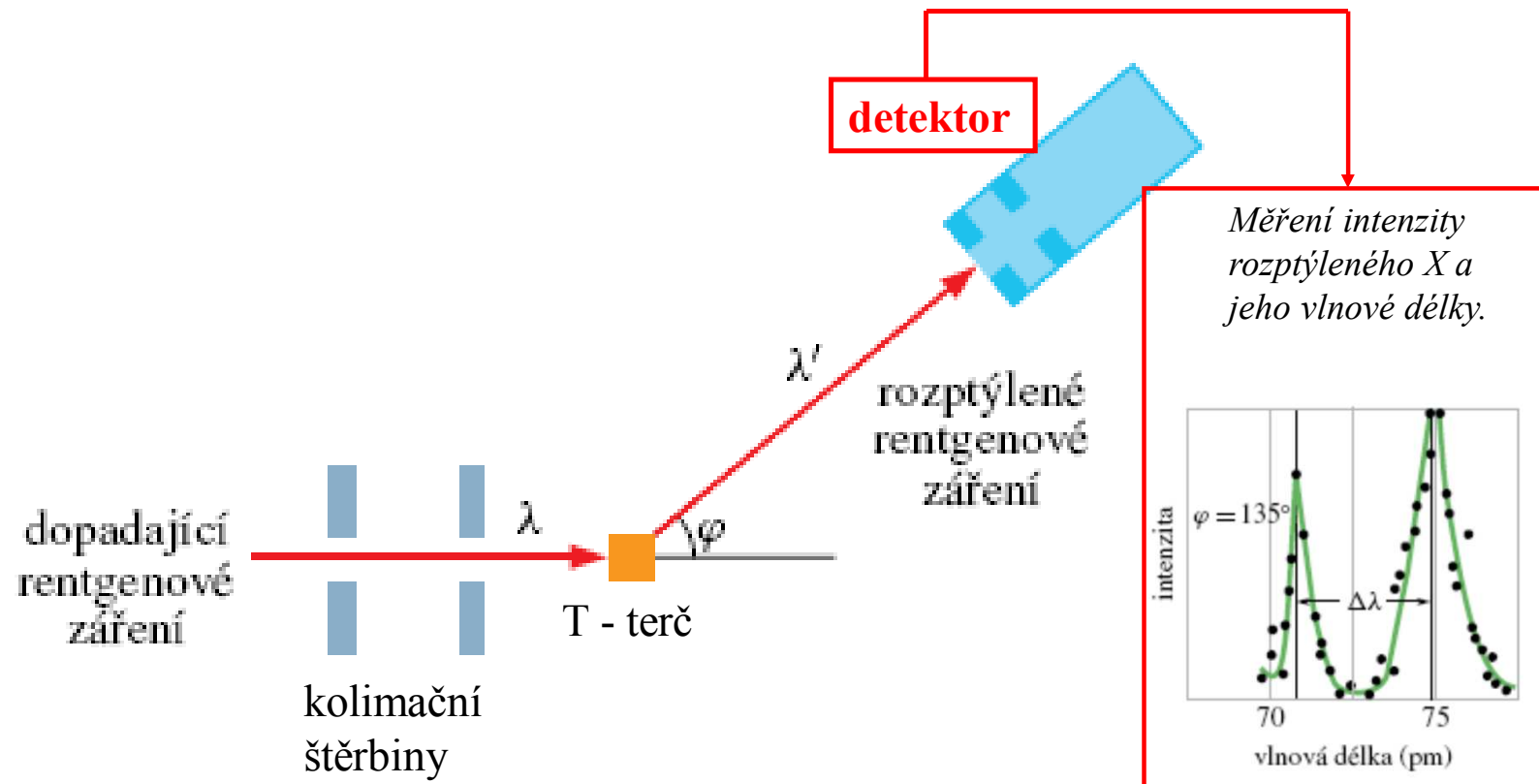
Určení minimální vln. délky v spektru X

Zákon zachování energie pro energeticky nej-efektivnější přenos energie mezi elektronem a X

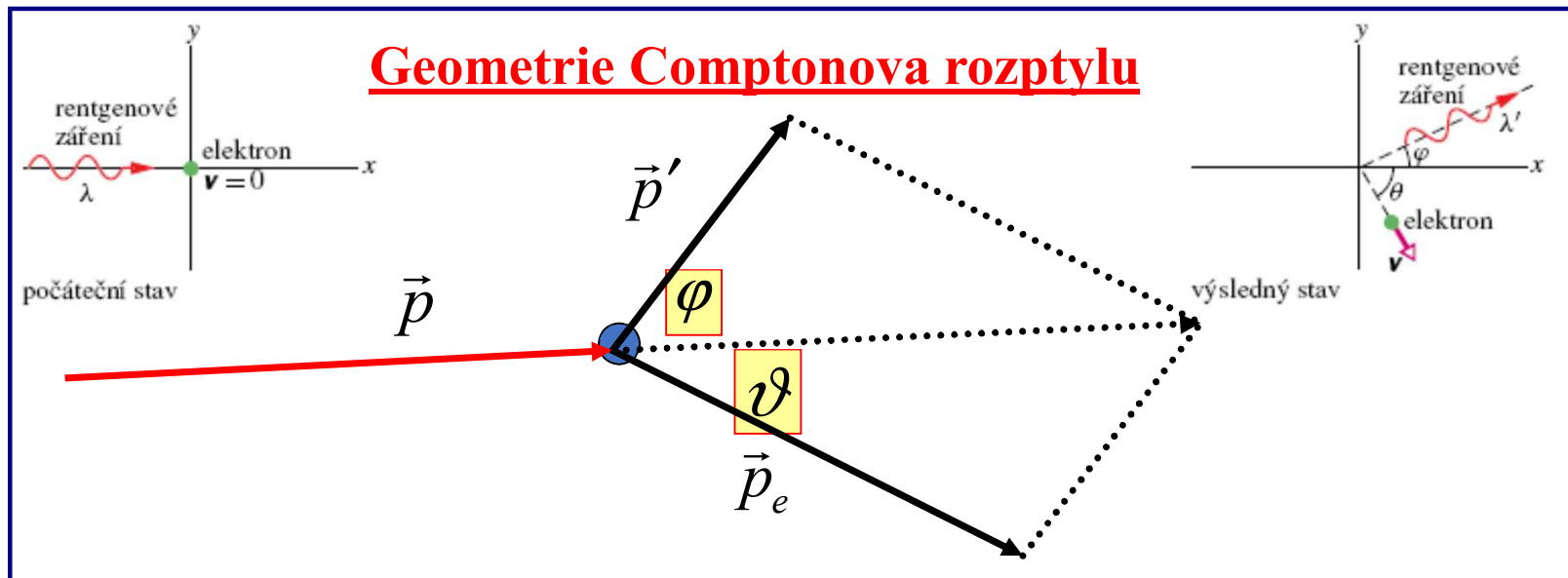
$$eU = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

Comptonův jev



Comptonov jav



Zákony zachování energie a hybnosti

$$\hbar\omega + m_0c^2 = \hbar\omega' + \sqrt{m_0^2c^4 + p_e^2c^2}$$

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

Použití ZZE a ZZH

$$\hbar\omega + m_0c^2 = \hbar\omega' + \sqrt{m_0^2c^4 + p_e^2c^2}$$

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

$$\hbar[\omega - \omega']mc^2 = \hbar\omega\hbar\omega'[1 - \cos\varphi]$$

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_0c^2}(1 - \cos\varphi)}$$

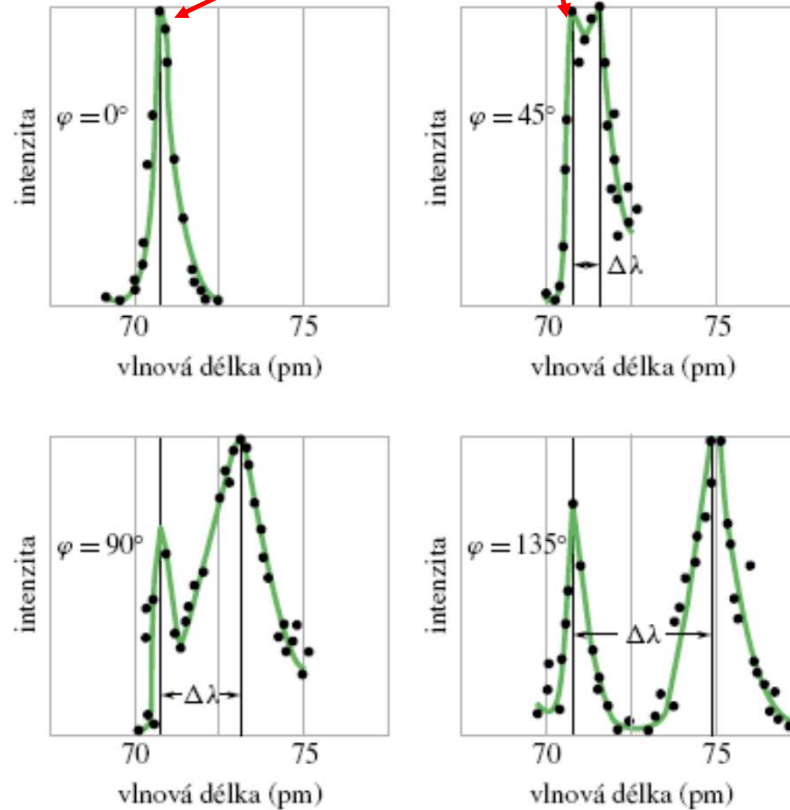
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi)$$

Comptonova vln. délka

$$\frac{h}{m_0c} = 0,024 \text{ \AA}$$

Najvětší změna vln. délky nastane při zpětném rozptylu fotonu

- Interakce s celým atomem (s rostoucím Z roste počet e se silnou vazbou)



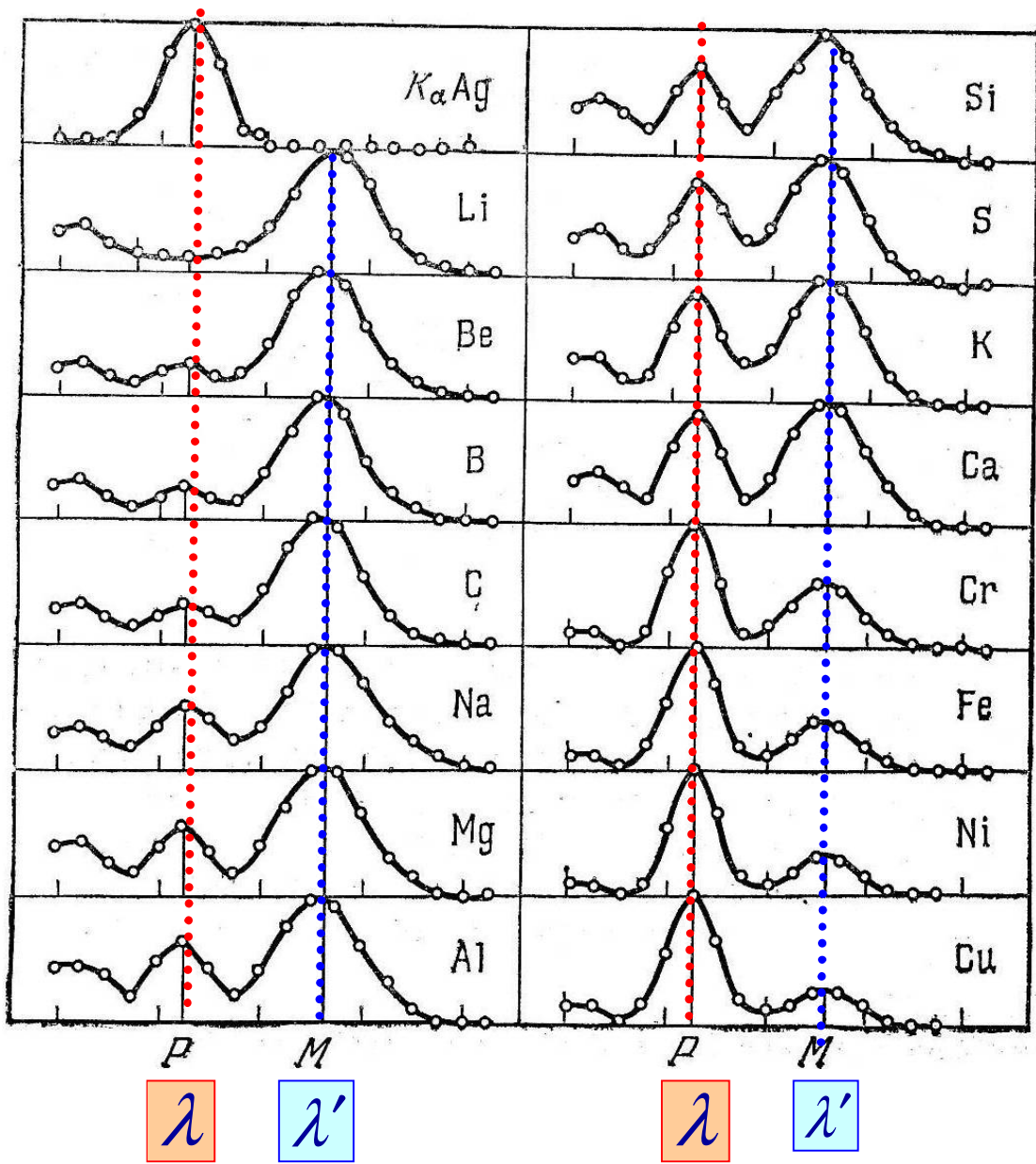
Hodnota $\Delta\lambda$ roste s úhlem rozptylu φ

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi)$$

Nezávisí od od vlnové délce zarení ani na kvalitě látky

Comptonové elektrony na detekci gama zářenia

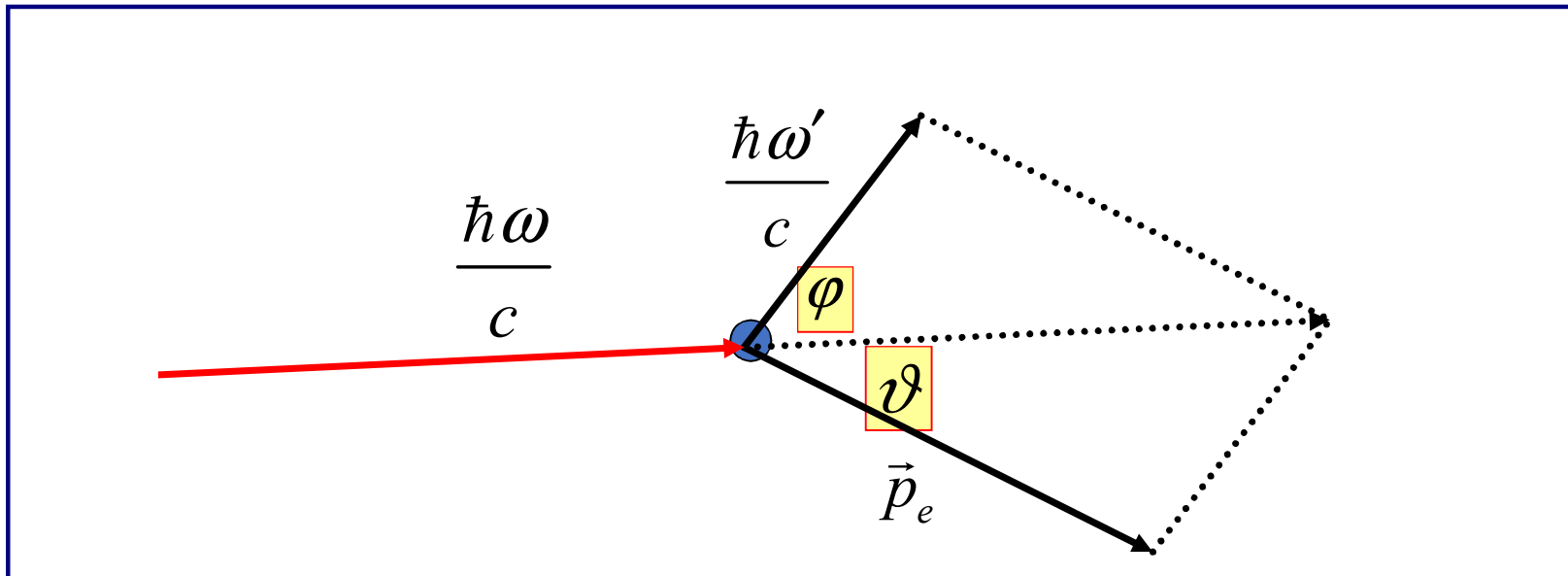
Posun $\Delta\lambda$ pro **viditelné světlo** ($\lambda \sim 5000\text{\AA}$) je menší než **0.01 %**
 Posun $\Delta\lambda$ pro **X** ($\lambda \sim 1\text{\AA}$) je řádu **%**



S růstem Z
 protonového čísla sa
 zvětšuje relativní
 zastoupení počtu
elektronů se silnější
vazbou k atomu, to
 sa projevuje
 oslabením intenzity
 čáry s λ'

ZZH ve složkách

Geometrie Comptona rozptylu



$$\frac{\hbar\omega}{c} = \frac{\hbar\omega'}{c} \cos \varphi + p_e \cos \vartheta$$
$$\frac{\hbar\omega'}{c} \sin \varphi = p_e \sin \vartheta$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\sin \varphi}{[1 - \cos \varphi] \left[1 + \frac{E}{m_0 c^2} \right]} = \frac{\cot g \frac{\varphi}{2}}{1 + \frac{h\nu}{m_0 c^2}}$$

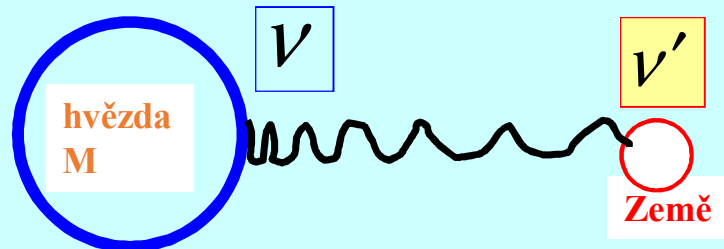
Gravitační červený posun

posun spektrální čáry ELM. záření vysílaného hvězdami způsobuje ho **gravitační působení hvězd na světlo**.

setrvačná hmotnost fotonu:

foton – chová se jako částice se setrvačnou hmotností m

$$m = \frac{hv}{c^2}$$



$$hv - \frac{GM}{R} \frac{hv}{c^2} = hv'$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{v - v'}{v} = \frac{GM}{c^2 R} \quad \frac{G}{c^2} = 7.41 \cdot 10^{-28} \text{ m / kg}$$

Slunce :

$$M = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$R = 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta v}{v} = 2.12 \cdot 10^{-6}$$

Sirius B :

$$M = 1.2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$R = 9 \cdot 10^6 \text{ m}$$

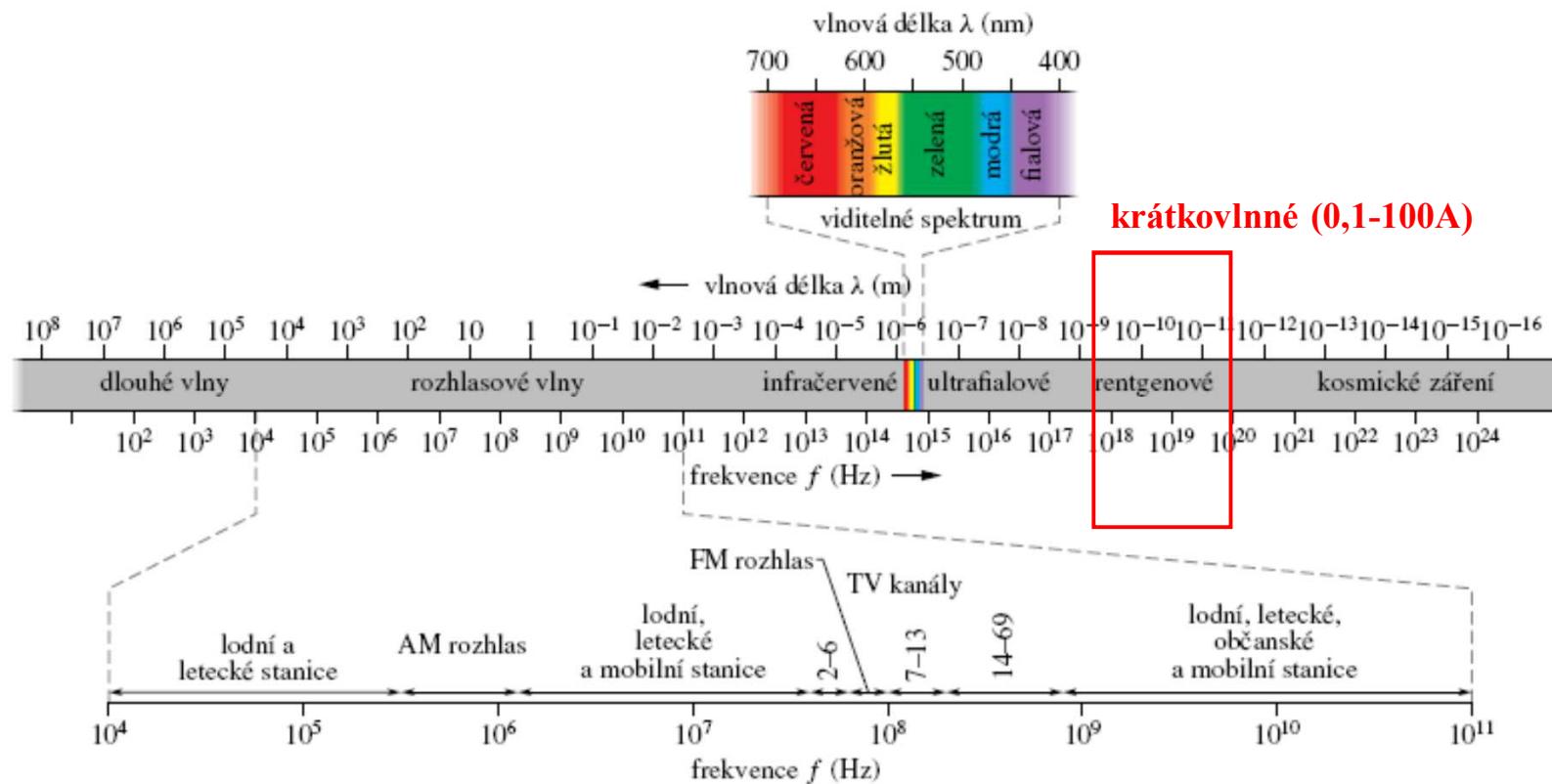
$$\frac{\Delta v}{v} = 10^{-4}$$

Laboratorní pokusy –
pád gama záření z jisté
výšky h

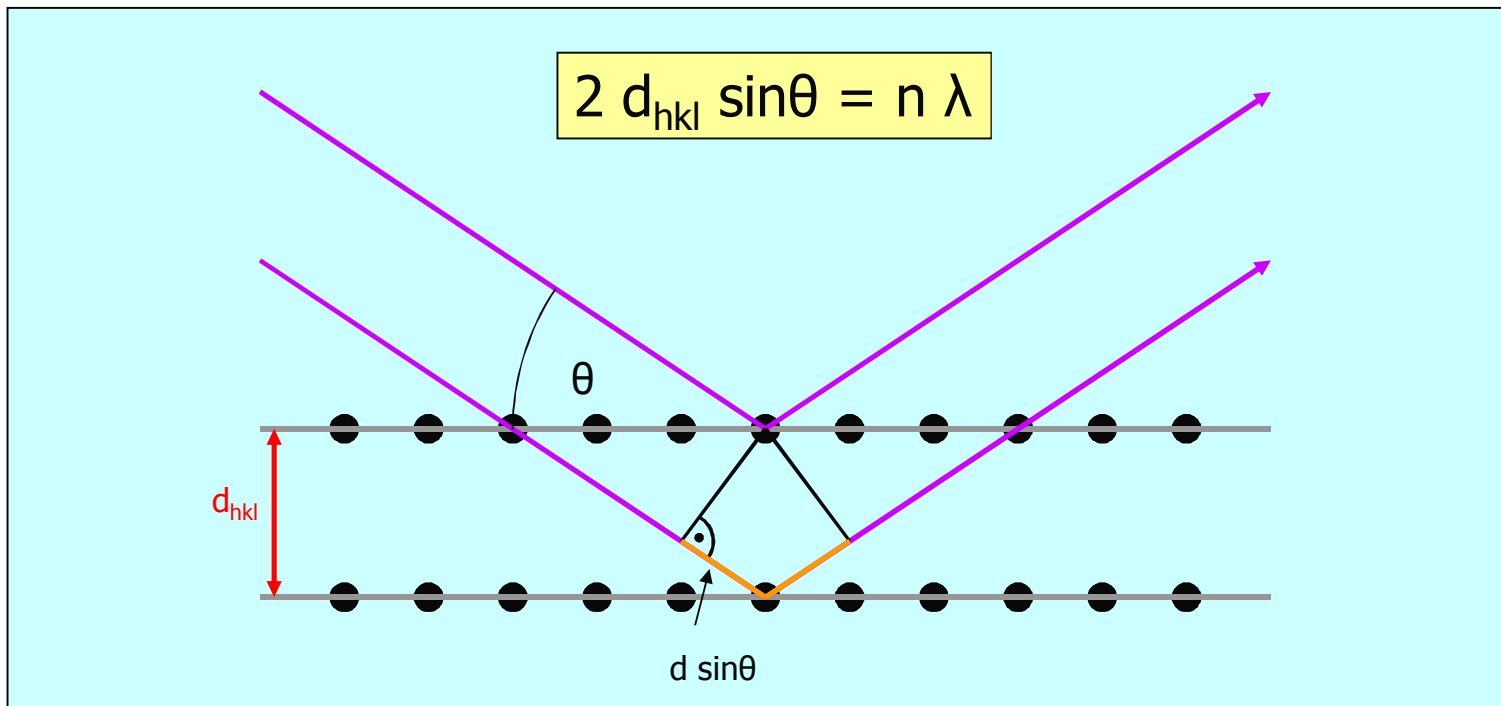
$$hv' = hv + mgh$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{gh}{c^2} = 2.2 \cdot 10^{-15} \quad h = 20 \text{ m}$$

Spektrum ELM



Braggův zákon

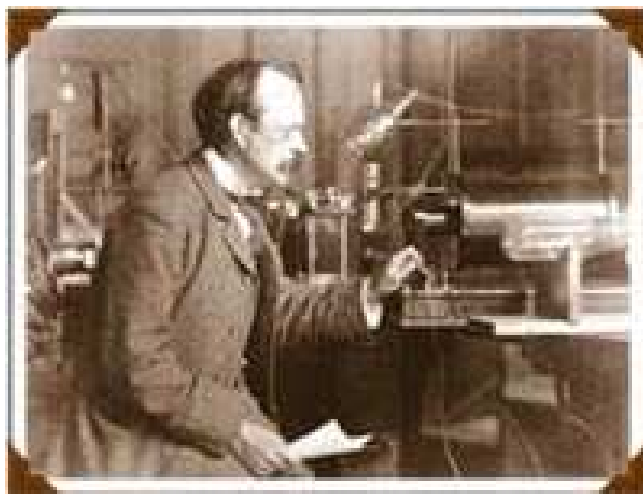


Braggův zákon -podmínka pro vznik interference – dráhový rozdíl dvou paprsků je celočíselným násobkem vlnové délky λ .

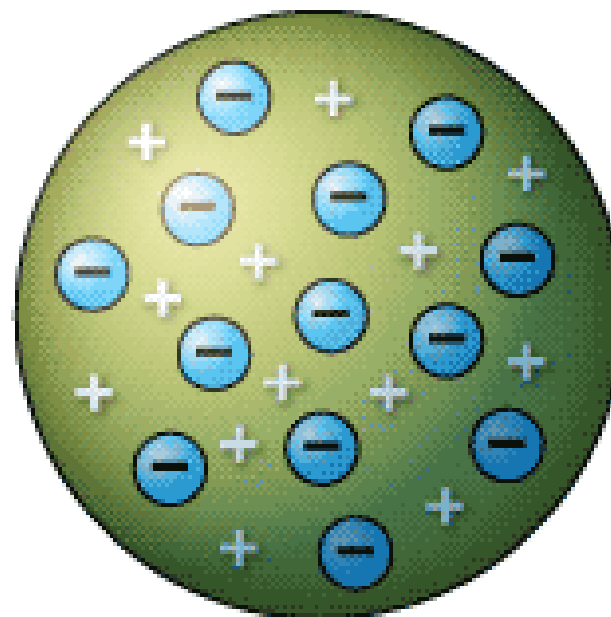
Uhel dopadu θ , při kterém je splněná podmínka interference - Braggův uhel.

První modely atomu

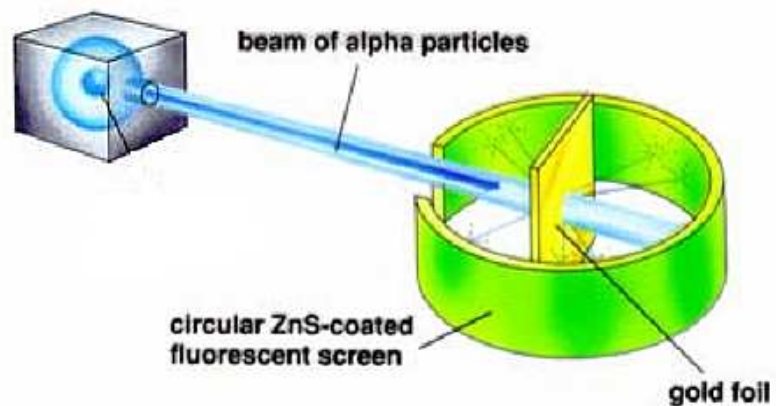
- 1898 – pudinkový model atomu: J. J. Thomson



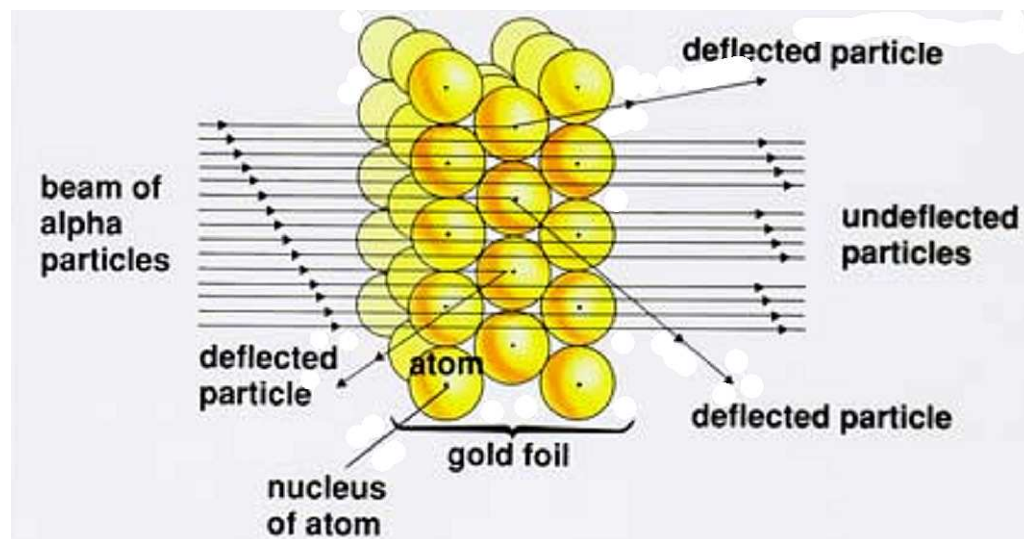
J. J. Thomson (1856-1940)



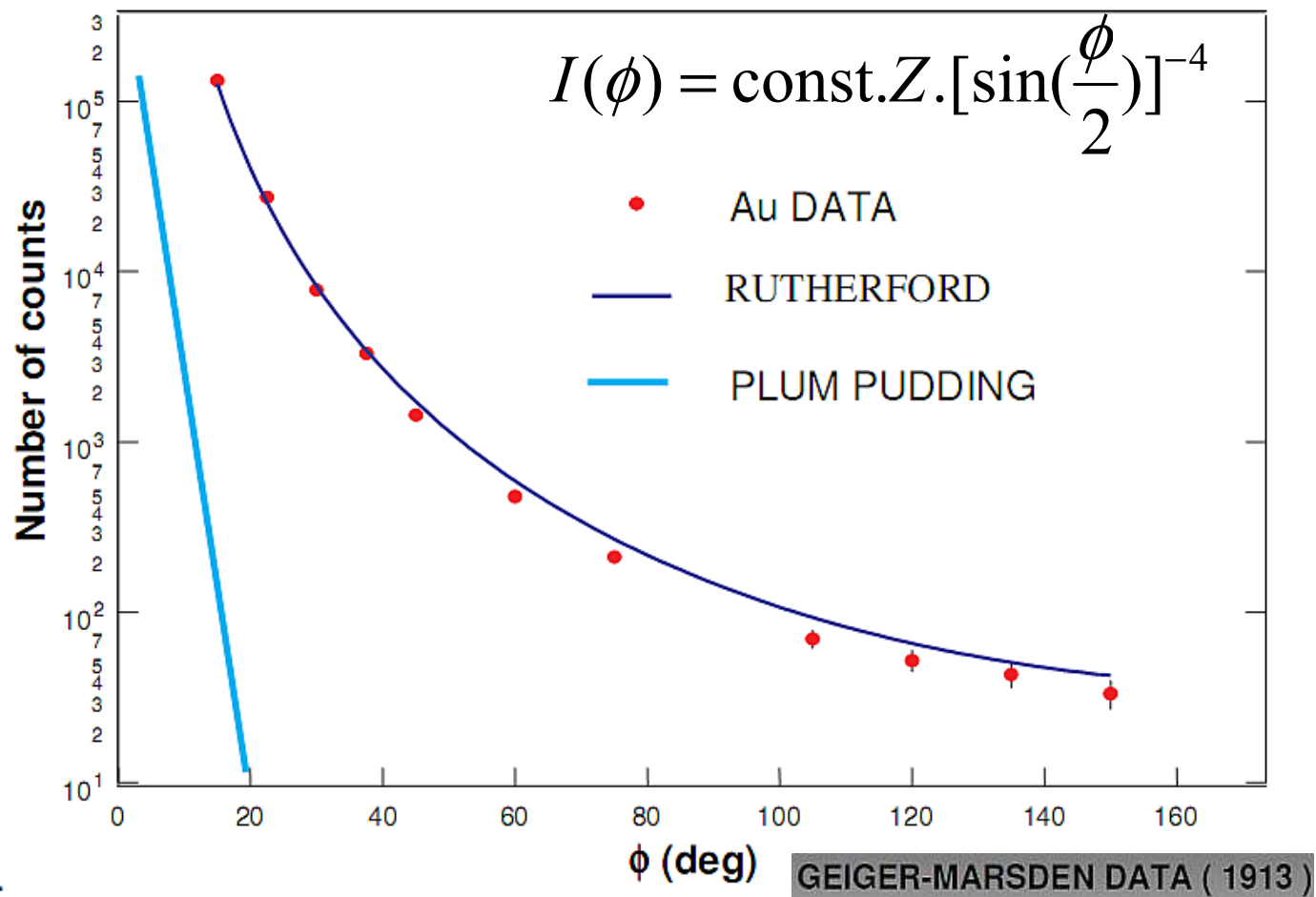
Rutherfordův rozptyl α -částic na atomových jádrech



https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_en.html width="800" height="600" scrolling="no" allowfullscreen



Tok rozptýlených částic závisí na úhlu rozptylu ϕ jako



$$R \leq 2.9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

```
<iframe src="https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_en.html" width="800" height="600" scrolling="no" allowfullscreen></iframe>
```

```
<div style="position: relative; width: 300px; height: 200px;">  
<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_en.html" style="text-decoration: none;"><div style="position: absolute; width: 200px; height: 80px; left: 50px; top: 60px; background-color: #FFF; opacity: 0.6; filter: alpha(opacity = 60);"></div><table  
style="position: absolute; width: 200px; height: 80px; left: 50px; top: 60px;"><tr><td  
style="text-align: center; color: #000; font-size: 24px; font-family: Arial,sans-serif;">Klikni  
pro spuštění</td></tr></table></a></div>
```

