

Opakování



spektrální hustota energie B

energie vyzářená jednotkou plochy za jednotku času v intervalu: $\lambda, \lambda + d\lambda$

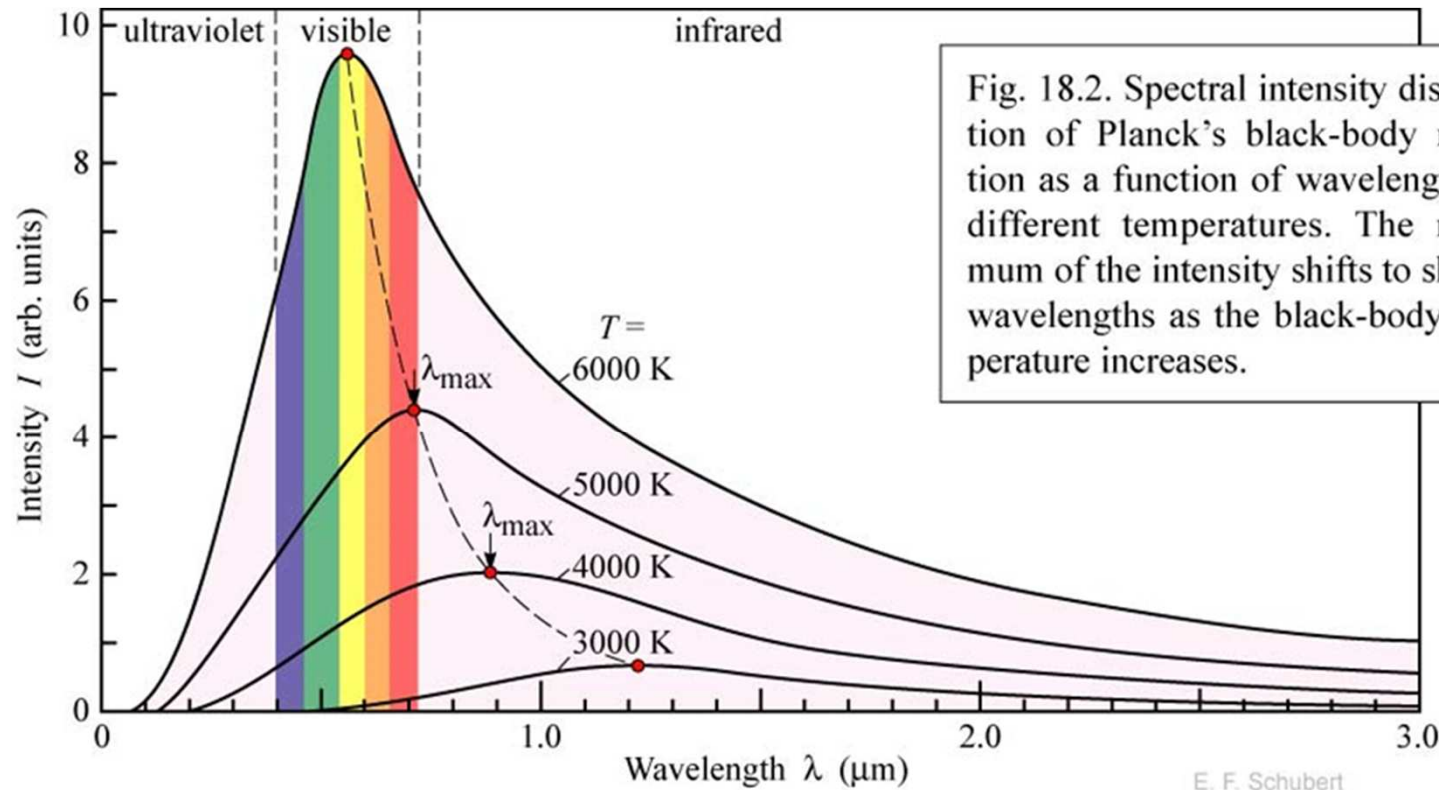


Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.

Popis vyzařování absolutně černého tělesa pro nízké (vysoké) frekvence

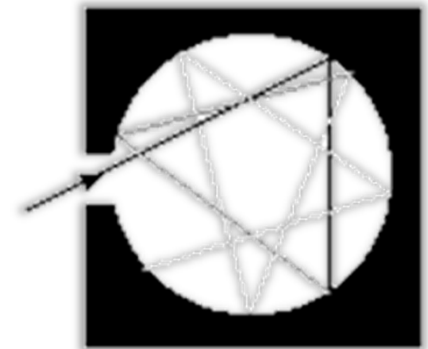
Rayleigh a Jeans a jejich popis pro malé frekvence záření

Wien popsal záření pro vysoké frekvence

Planck intuitivně odvodil vzorec, kterým popsal celé elmg. spektrum

$$B_\nu(f, T) = \frac{2hf^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1}$$

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$



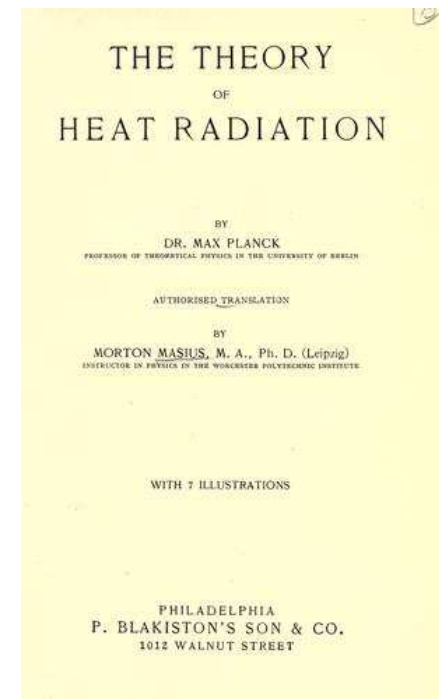
Zákon lze vyjádřit i v jiných tvarech jako počet fotonů emitovaných na dané vlnové délce nebo jako hustotu energie zářícího objemu.

Jednotky SI B_ν $\mathbf{W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}}$,

B_λ $\mathbf{W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}}$.

Kvantová hypotéza

- závislost spektrální hustoty intenzity vyzařování H na frekvenci elmag. záření odpovídající celému spektru vyzařovanému absolutně černým tělesem odvodil německý fyzik **Max Karl Ernst Ludwig Planck**
- O svém úspěchu podal zprávu 14. 12. 1900 a tento den je pokládán za den vzniku kvantové fyziky.



Kvantová hypotéza



- vzdal se spojitého šíření záření
záření se šíří ve **kvantech**
- energie takového kvanta záření je úměrná jeho frekvenci,
příčemž konstantou úměrnosti je tzv. Planckova konstanta:

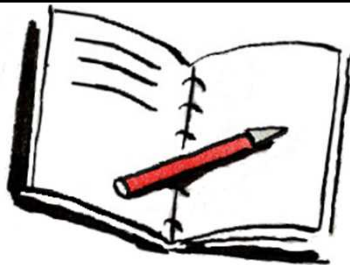
$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

- pro energii jednoho kvanta platí:

$$E = hf$$

- Kvantová hypotéza říká, že energie elektromagnetického záření nemůže být libovolně malá, neboť je kvantována a její kvantum závisí na frekvenci záření.
- Z klasické fyziky neplyne žádný důvod pro takové tvrzení a sám Planck je zpočátku považoval jen za vhodný matematický požadavek při odvozování svého vzorce, aniž by mu přikládal hlubší fyzikální význam.

Úloha



Jaká je energie (eV) kvanta rádiové vlny o vlnové délce $\lambda_1 = 500$ m,
mikrovlny $\lambda_2 = 10$ cm,
žlutého světla $\lambda_3 = 580$ nm,
ultrafialového záření $\lambda_4 = 100$ nm,
rentgenového záření $\lambda_5 = 1$ nm,
záření gama $\lambda_6 = 1$ pm?

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$E_1 = 3,976 \cdot 10^{-28} \text{ J} = 2,48 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$$

$$E_2 = 1,988 \cdot 10^{-24} \text{ J} = 1,24 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$$

$$E_3 = 3,427 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,14 \text{ eV}$$

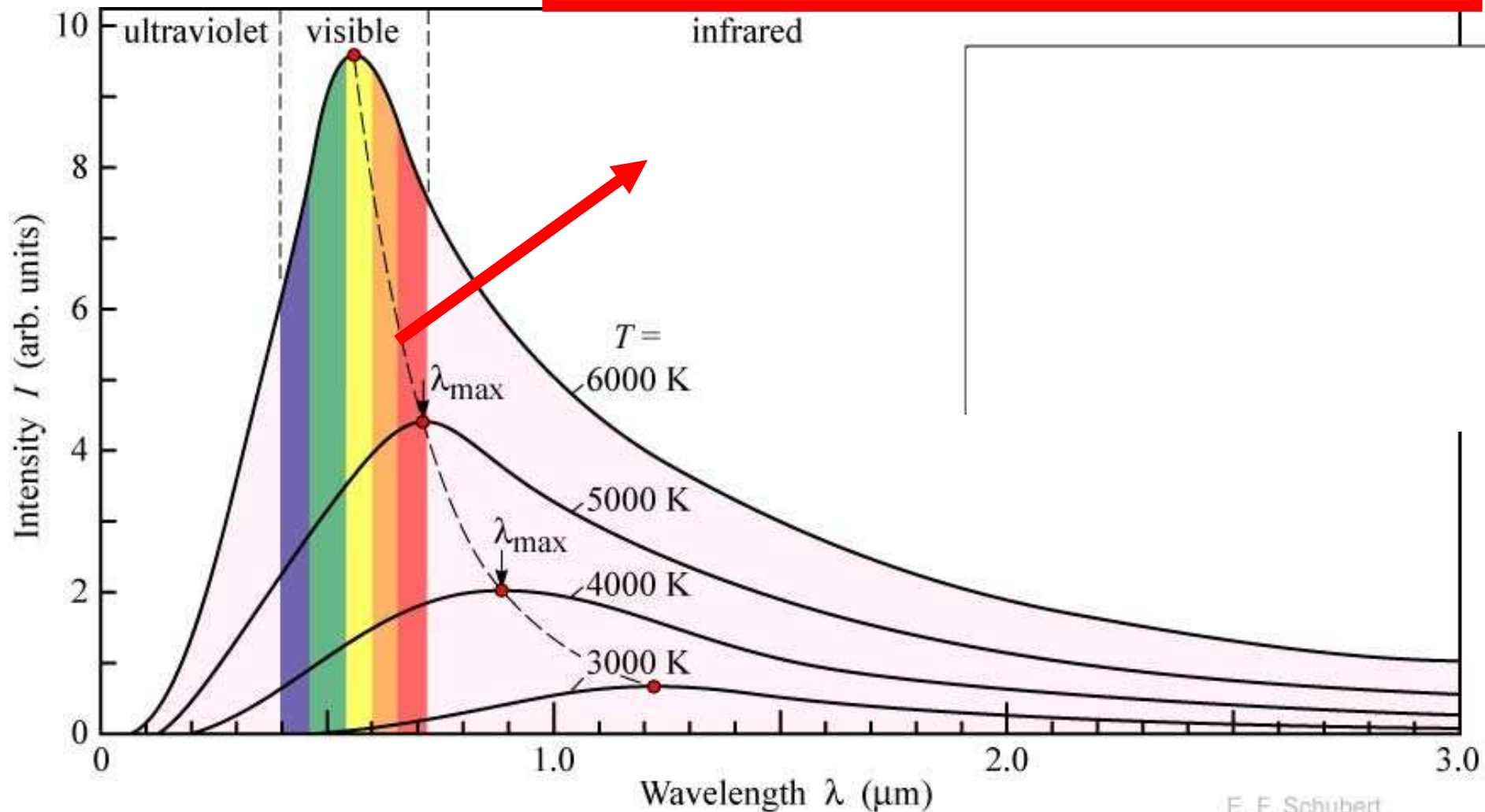
$$E_4 = 1,988 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 12,41 \text{ eV}$$

$$E_5 = 1,988 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 1241 \text{ eV}$$

$$E_6 = 1,988 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1240949 \text{ eV}$$

Wienův posunovací zákon

$$\lambda_{\max} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m K} = b$$



Stefan-Boltzmannův zákon

Energie AČT:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{[\exp(hc/kT\lambda) - 1]}$$

$$\int_0^{\infty} u(\lambda, T) d\lambda = aT^4$$

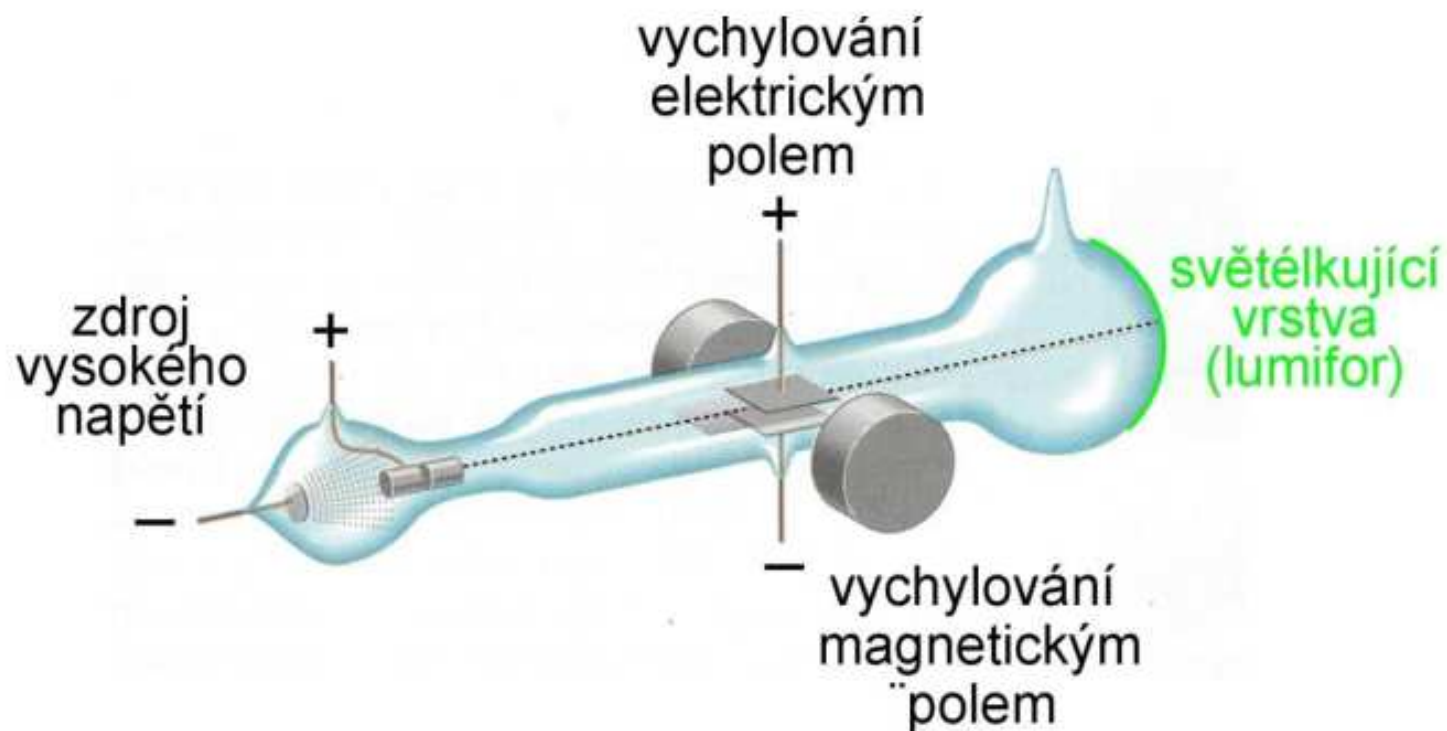
Energie vyzářená AČT za jednotku času jednotkou plochy:

$$e = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

Atomy mají strukturu

Teorii o nedělitelných atomech však v roce 1897 vyvrátil J. J. Thomson, jenž při studiu katodového záření (viz aparatura na obrázku) objevil elektron - první subatomární částici.



Thomsonův model
Rutherfordův model

Thomsonův model atomu

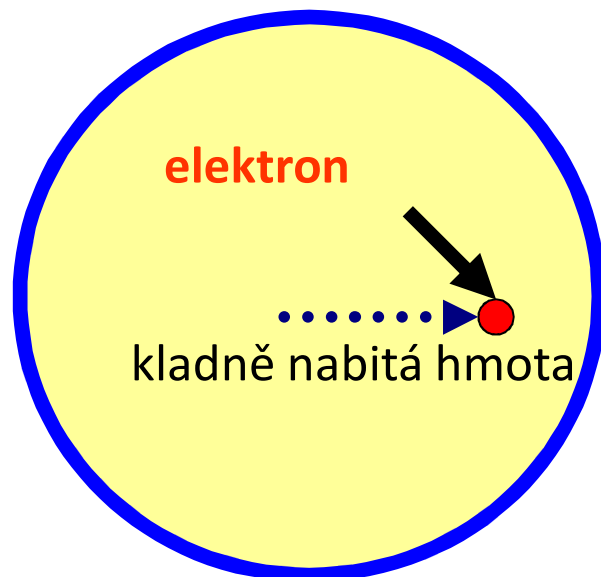
Poznatky:

- chemické prvky jsou složeny z atomů
- objev (lehkého, záporného) elektronu
- spektrum vodíku

Důsledky:

- kladná nabitá hmota (neutralizace e)
- kladná hmota dodává atomu „hmotnost“

Atom vodíka

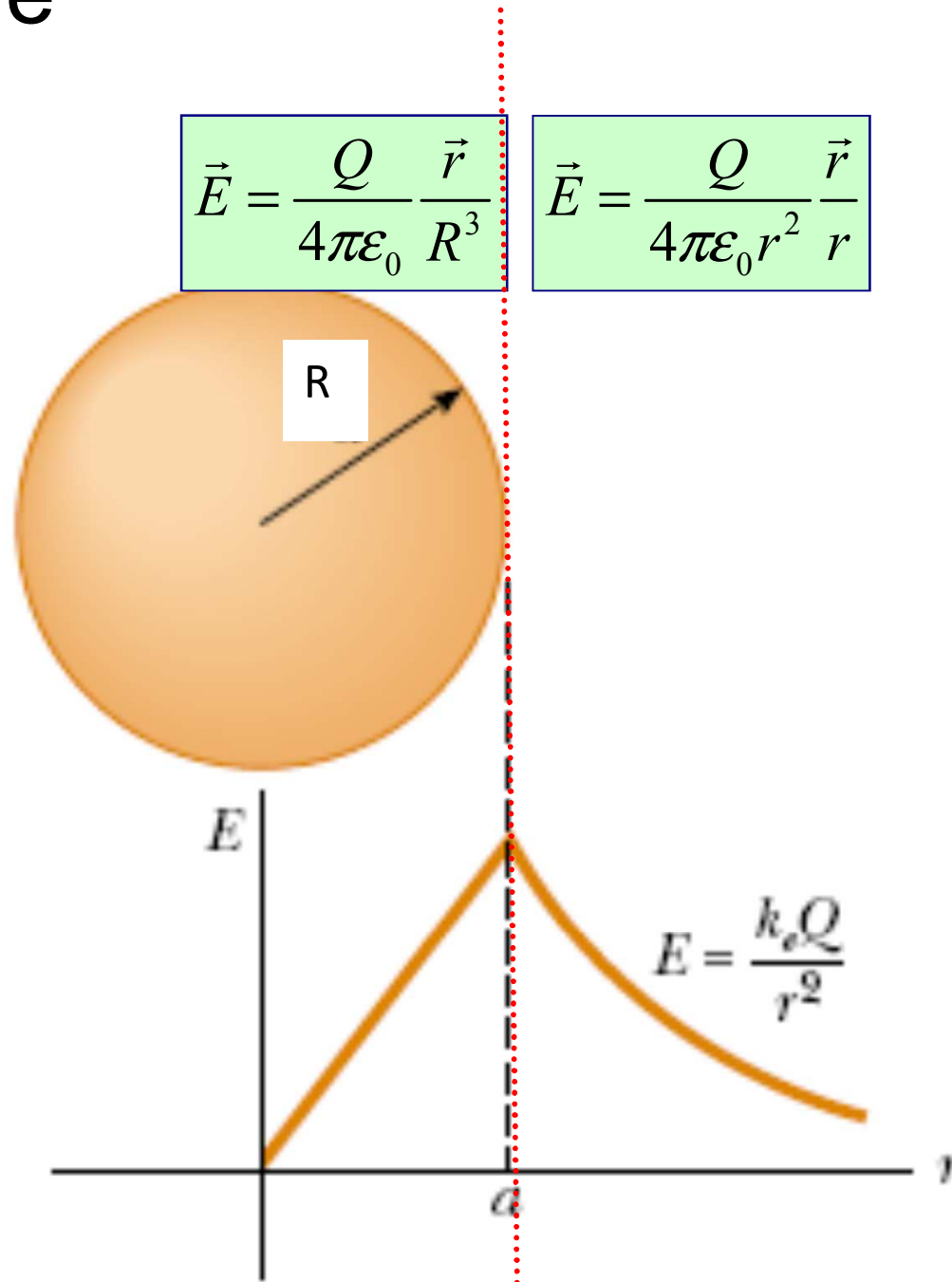


$$\lambda = 6000 \text{ \AA} \Rightarrow \omega \approx 3 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1} \quad R = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m \omega^2} \right)^{1/3}$$

$$R \approx 3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

Poloměr R řádově odpovídá rozměru atomu

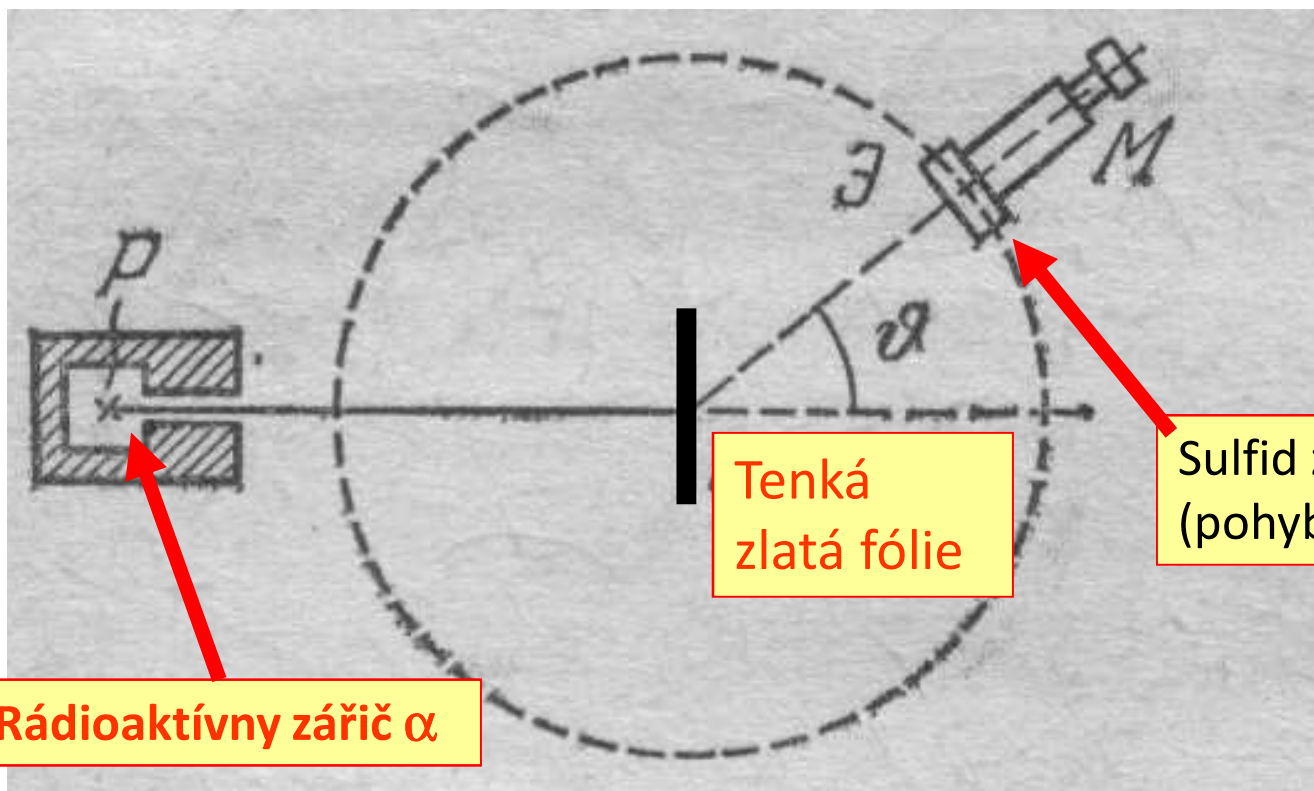
Intenzita elektrostatičkého pole homogéně nabitě koule



Rozptyl alfa částic verifikace Thomsonova modelu

EXPERIMENT:

Sondování struktury atomu α částicemi \rightarrow ze změny trajektorie sa usuzuje na charakter silového pole zkoumané struktury



Experiment a Thomsonův model

Pravděpodobnost rozptylu částice alfa o více než 90 stupňů :

Teorie : $1 / 10^{3500}$

Experiment : $1 / 8000$

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{R^3}$$

Velké jádro:

$$E = 10^{13} V / m$$

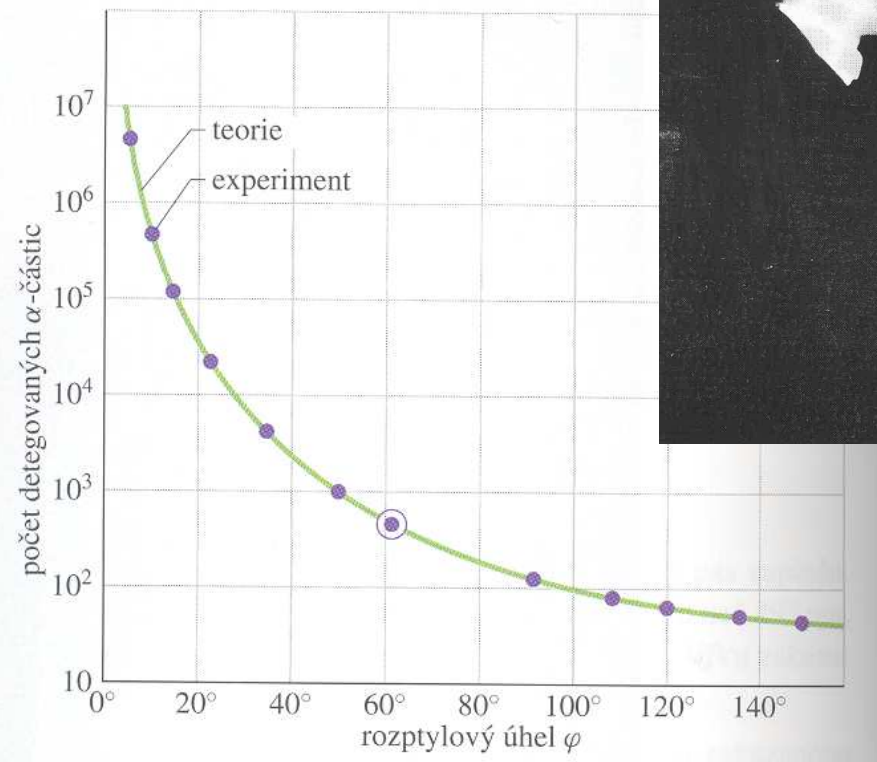
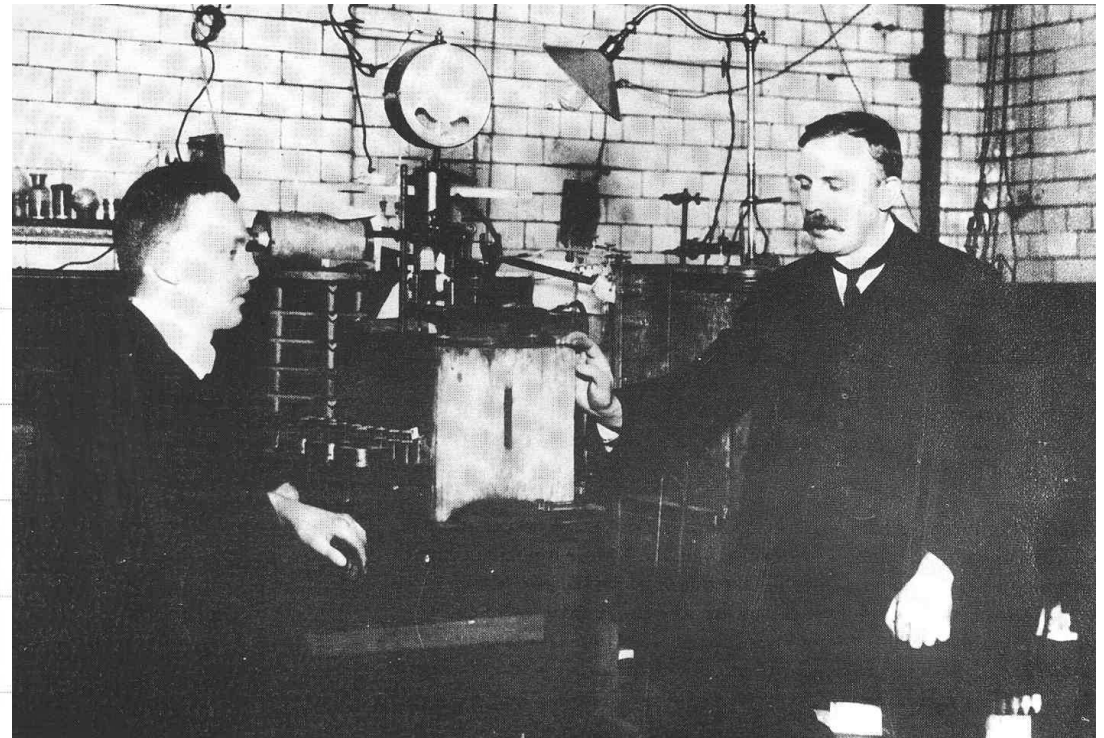
Malé jádro:

$$E = 10^{21} V / m$$

Rutherford: atom - téměř **prázdný prostor** ale v oblasti jádra silné elektrické pole rozptýlí alfa částice do velkých uhlů.

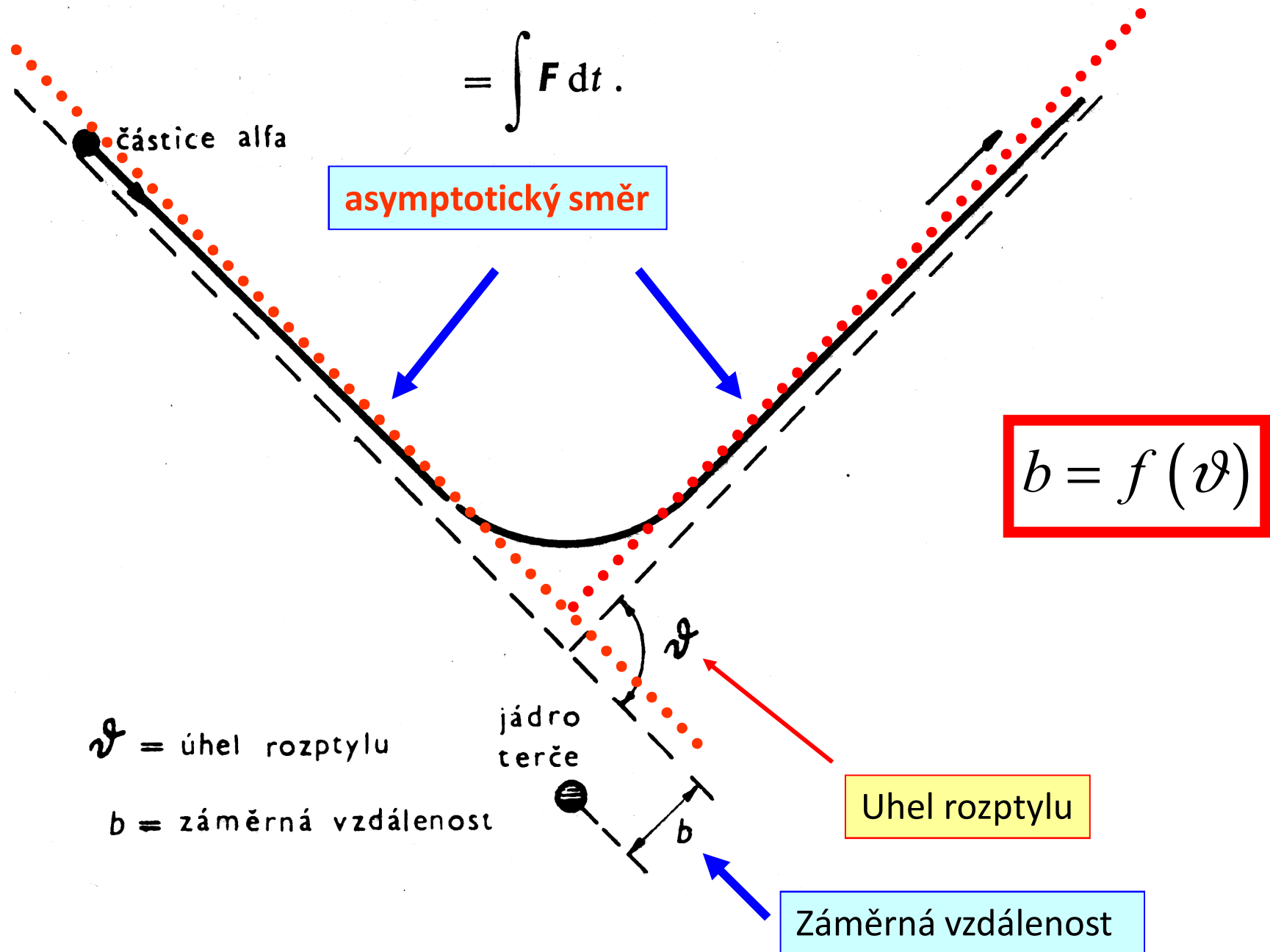
Objev atomového jádra

Hans Geiger
Ernest Marsden



POPIS ÚLOHY

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 = \int \mathbf{F} dt .$$



Predpoklady odvodenia Rutherford. vzťahu pro rozptyl

1. Částici alfa a jádro považujeme za **bodové** s elektrickým nábojem
2. Mezi oběma částicemi působia jen odpudivé elektrostatické síly dané **Coulomb.**zákonem
- 3. Jádro** je během interakce **v klidu**

Zákony: ZZE, ZZMH

Opakování mechaniky

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

$$\text{je-li } \vec{M} = \vec{0} \Rightarrow \vec{L} = \vec{c}$$

$$L = J\omega = mr^2 \frac{d\varphi}{dt}$$

Centrální pohyb --- zachovává moment hybnosti

$$\vec{M} = \vec{0}$$

$$mr^2 \frac{d\varphi}{dt} = mvb \Rightarrow \frac{dt}{d\varphi} = \frac{r^2}{vb}$$

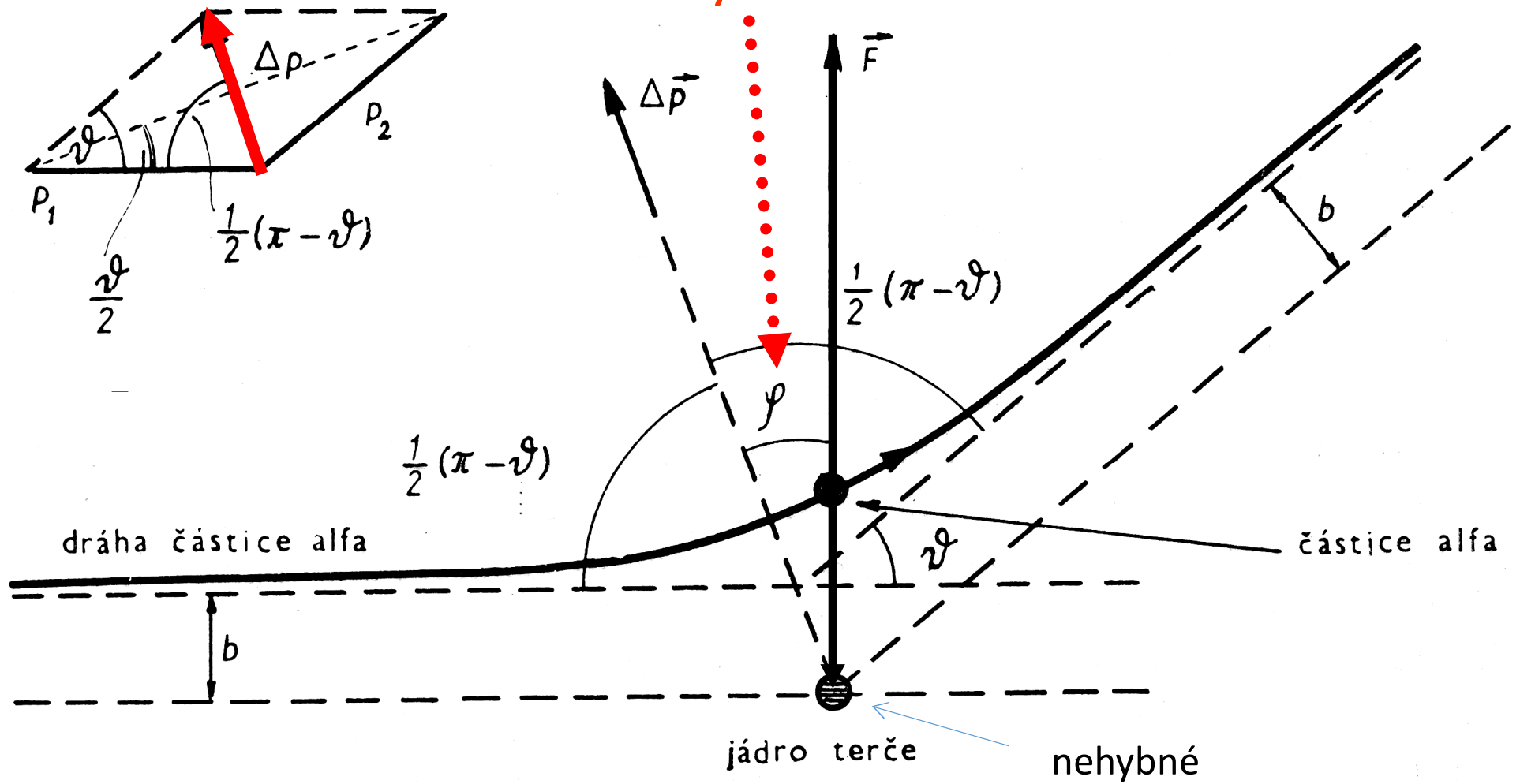
Rozptyl alfa částic

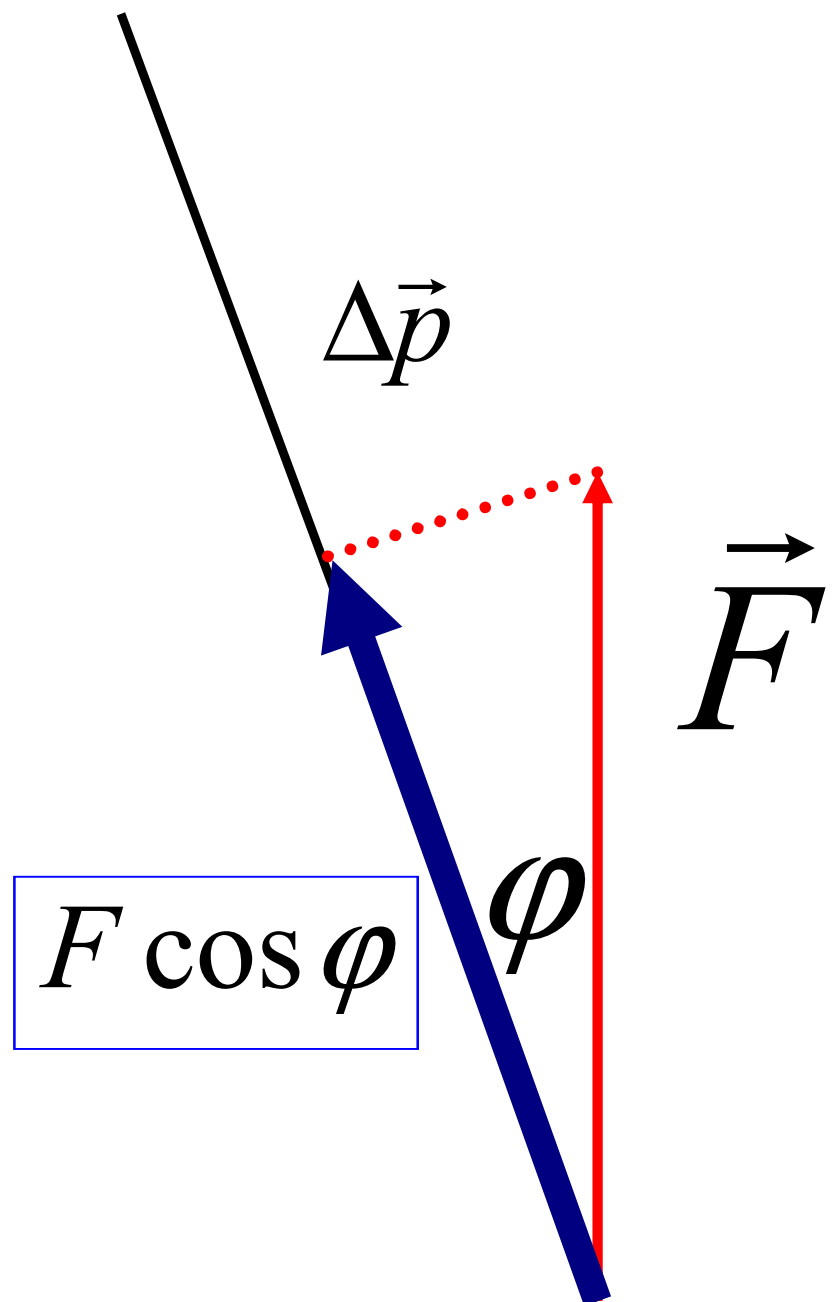
$$\Delta p = 2mv \sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right)$$

$$\Delta \vec{p} = \int \vec{F} dt$$

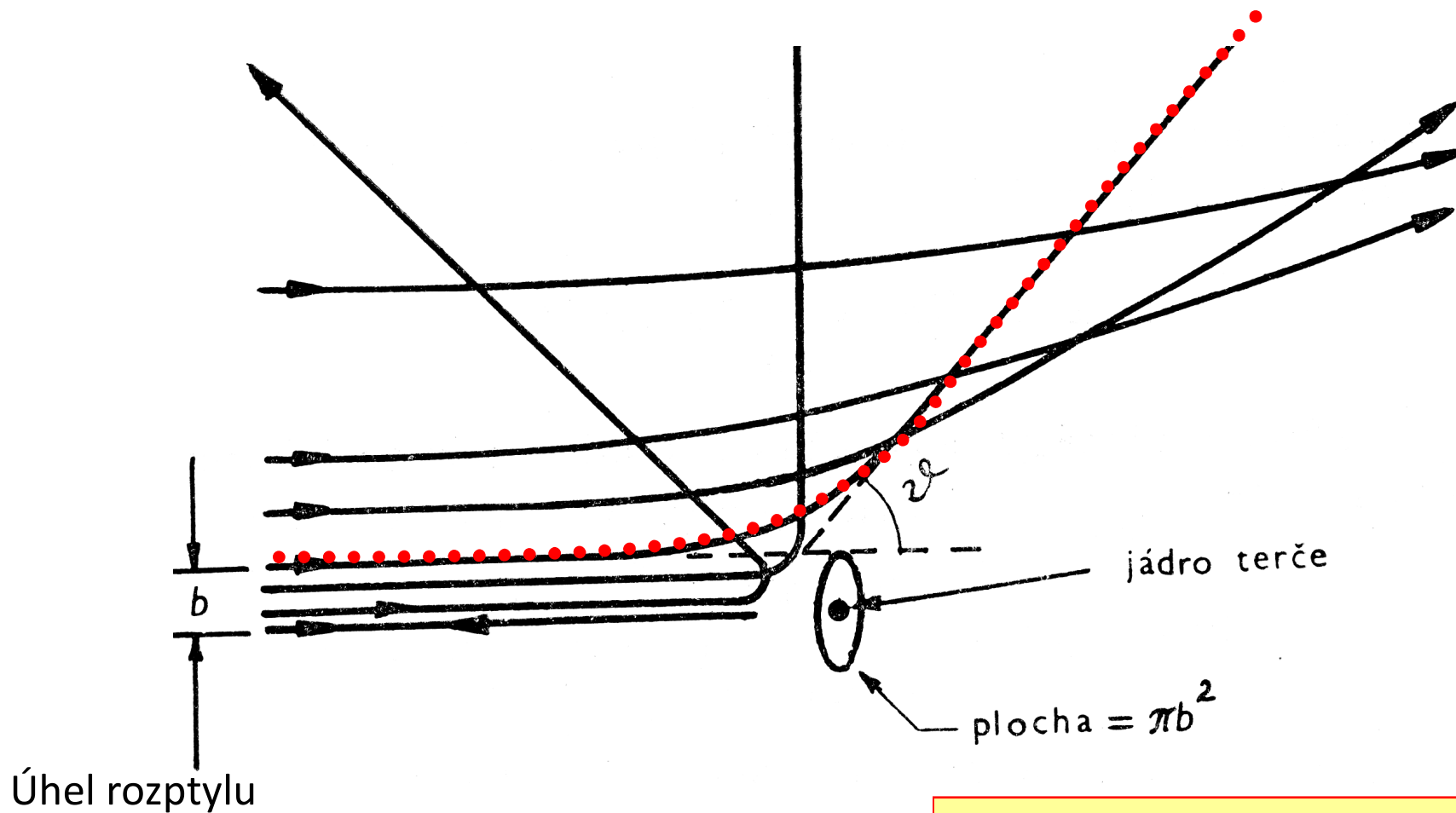
$$\Delta p = \int_{-\frac{1}{2}(\pi-\vartheta)}^{\frac{1}{2}(\pi-\vartheta)} F \cos \varphi \frac{dt}{d\varphi} d\varphi = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{vb} 2 \cos \frac{\vartheta}{2}$$

okamžitý úhel





Částice, blížící se k jádru na záměrnou vzdálenost $(0, b)$ sa rozptýlí o uhel ϑ a více.



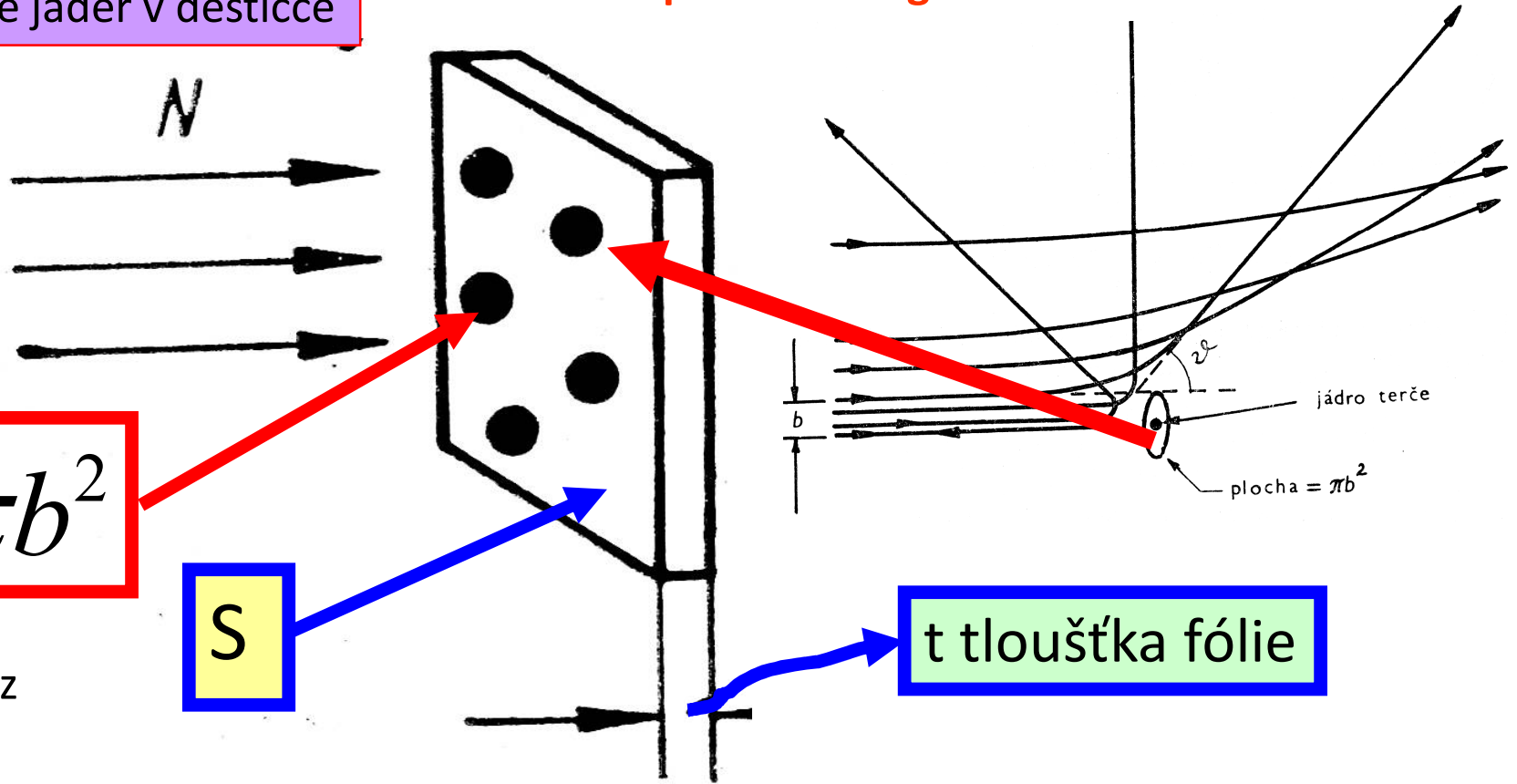
$$\cot g\left(\frac{1}{2}\vartheta\right) = \frac{4\pi\varepsilon_0 T}{Ze^2} b$$

Experimentálně neověřitelné !!!
(problém s b)

K podstatným odchylkám je třeba blízkého průletu

n-koncentrace jader v destičce

Nepřímá strategie ověřování



$$\sigma = \pi b^2$$

Účinný průřez

S

t tloušťka fólie

$$\cot g\left(\frac{1}{2}\vartheta\right) = \frac{4\pi\epsilon_0 T}{Ze^2} b$$

$$f = nt\pi b^2$$

$$f = \pi nt \left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 T} \right)^2 \cot^2 g\left(\frac{1}{2}\vartheta\right)$$

Příklad

Aká časť zo zväzku častíc alfa s energiou 7.7 MeV sa rozptuľuje o uhol väčší ako 45 stupňov pri dopade na zlatú fóliu s hrúbkou $3 \cdot 10^{-7}$ m ?

$$M = 197 \text{ kg / kmol} \quad Z = 79$$

Koncentrácia jadier :

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = 5,91 \cdot 10^{28} \text{ atomov / m}^3$$

$$f = 7 \cdot 10^{-5}$$

Fólie tejto hrúbky sú pre alfa častice úplne priehľadné

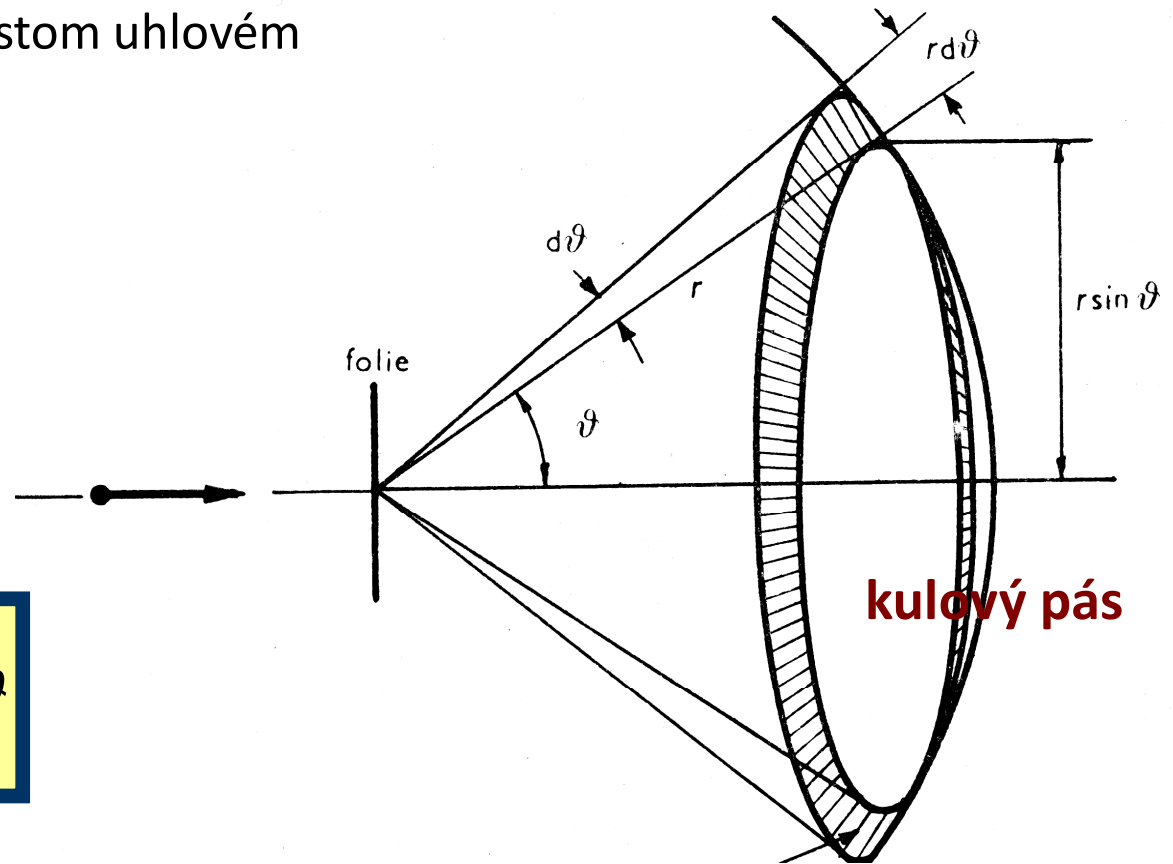
Rutherfordov vzorec

skutečný experiment: měří rozptyly v jistém uhlovém intervalu

$$f(\vartheta + d\vartheta) - f(\vartheta) \approx df$$

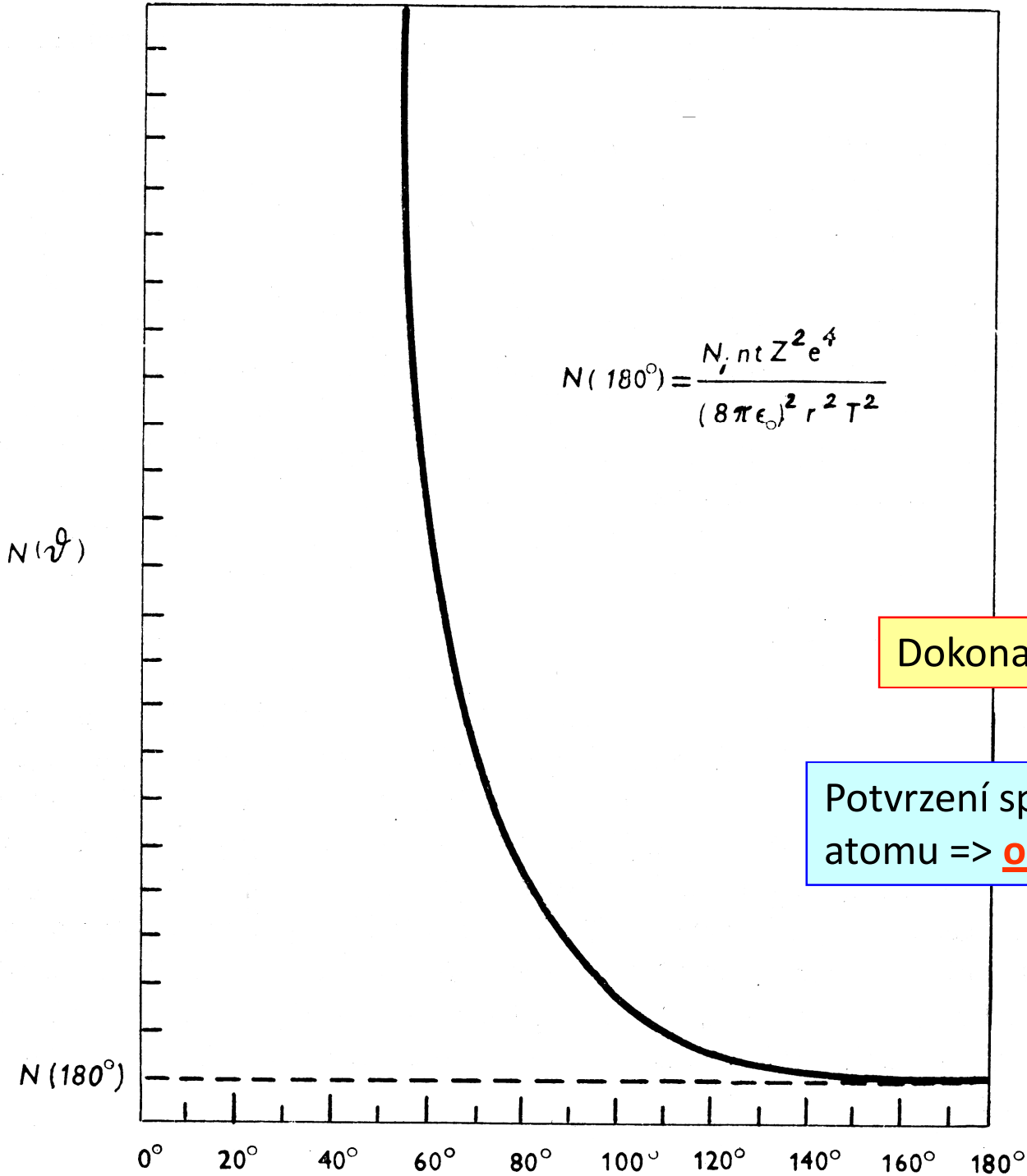
$$f = \pi n t \left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 T} \right)^2 \cot^2 \left(\frac{1}{2} \vartheta \right)$$

$$dS = 4\pi r^2 \sin\left(\frac{1}{2}\vartheta\right) \cos\left(\frac{1}{2}\vartheta\right) d\vartheta$$



Počet částic dopadajících na jednotkovou plochu stínítka pod úhlem ϑ

$$N(\vartheta) = \frac{N_i |df|}{dS} = \frac{N_i n t Z^2 e^4}{(8\pi\epsilon_0)^2 r^2 T^2 \sin^4\left(\frac{1}{2}\vartheta\right)}$$




Dokonalý souhlas s experimentem

Potvrzení správnosti předpokladu o stavbě atomu => **objev jádra**

Rozměry jádra

- nejtěsnější přiblížení – horní hranice pro rozměru jádra

Čelní srážka


$$T = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ze^2}{r_0}$$

$T=7.7$ MeV, $Z=79$

$$r_0 = 3,0 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

problém stability modelu

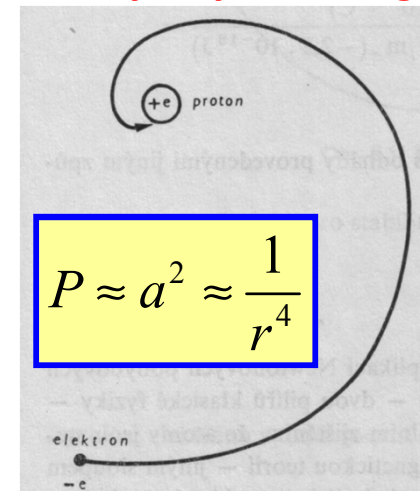
Elektrony v Rutherfordovom modelu **nemohou být v klidu**

$$E = T + U = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \Rightarrow r$$

Z pokusov je známa ionizační energia **vodíku** $E=13,6$ eV

$$r \approx 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Neúspěch klasické fyziky



Rozměry jádra

$$r_J \approx 10^{-14} \text{ m}$$

Dráha elektronů

$$r_E \approx 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Rychlost vyzařování částice pohybující se zrychleně a nesoucí náboj e

$$P = \frac{e^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

Pro vodíkový atom (ztráta energie).....

$$P \approx 2,9 \cdot 10^{10} \text{ eV / s}$$

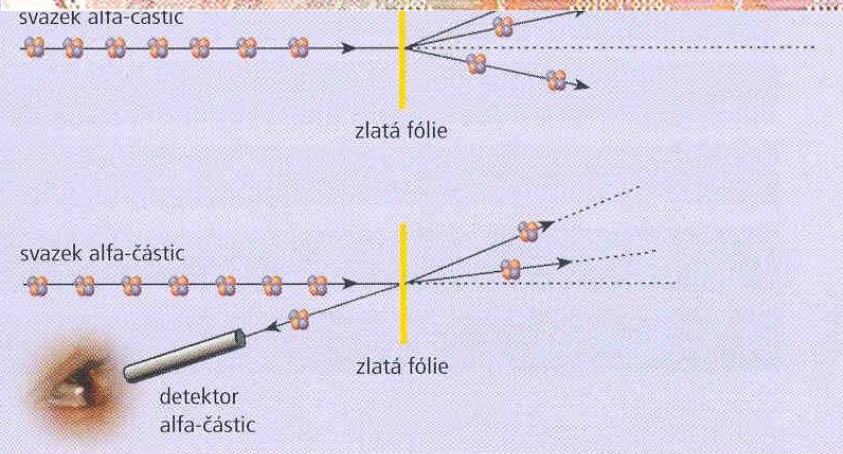
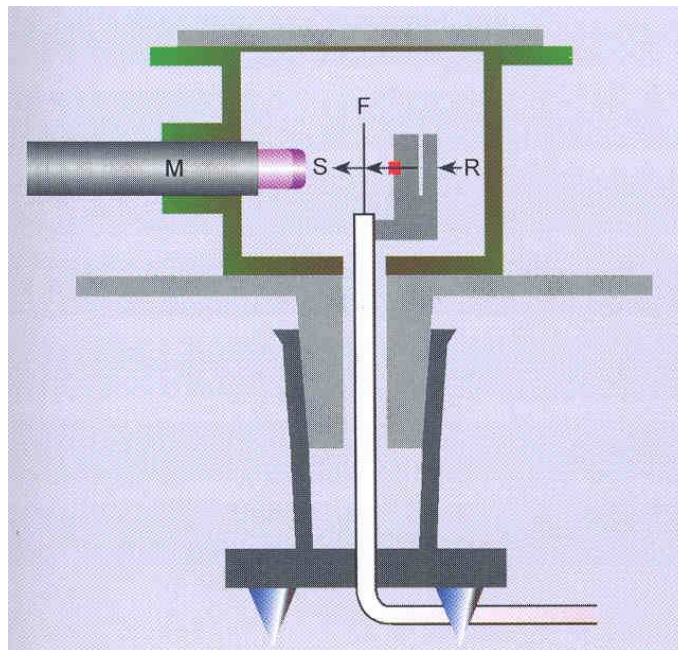
Atom se zřítí za

$$t \approx 10^{-16} \text{ s}$$

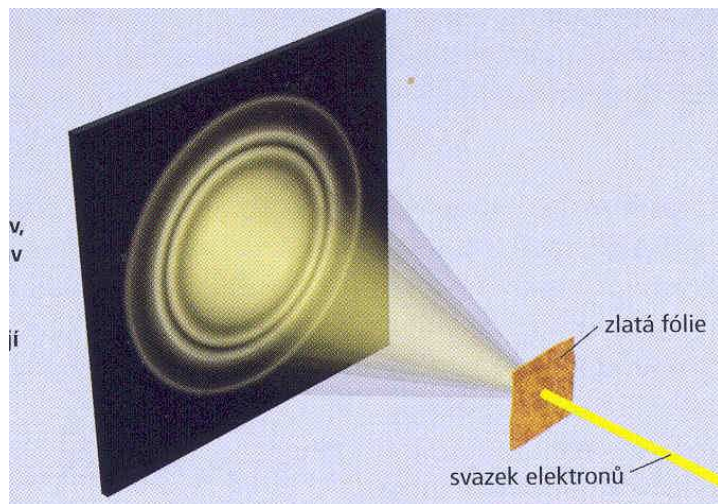
Na úrovni atomu v mikrosvětě přestávají platit některé fyzikální zákony

Objev atomového jádra

V roce 1911 **Rutherford Ernest (1871-1937)** navrhl nový model atomu, ve kterém se atom skládá z jádra (10-14 m) a kolem rozdělených elektronů.



Měření rozměru jader



Robert Hofstadter
(1915-1990)
Studium jader pomocí
rozptylu elektronu



MEGA-MIKROSKOPY

