

# グリフィス

## 1.1 - 1.3

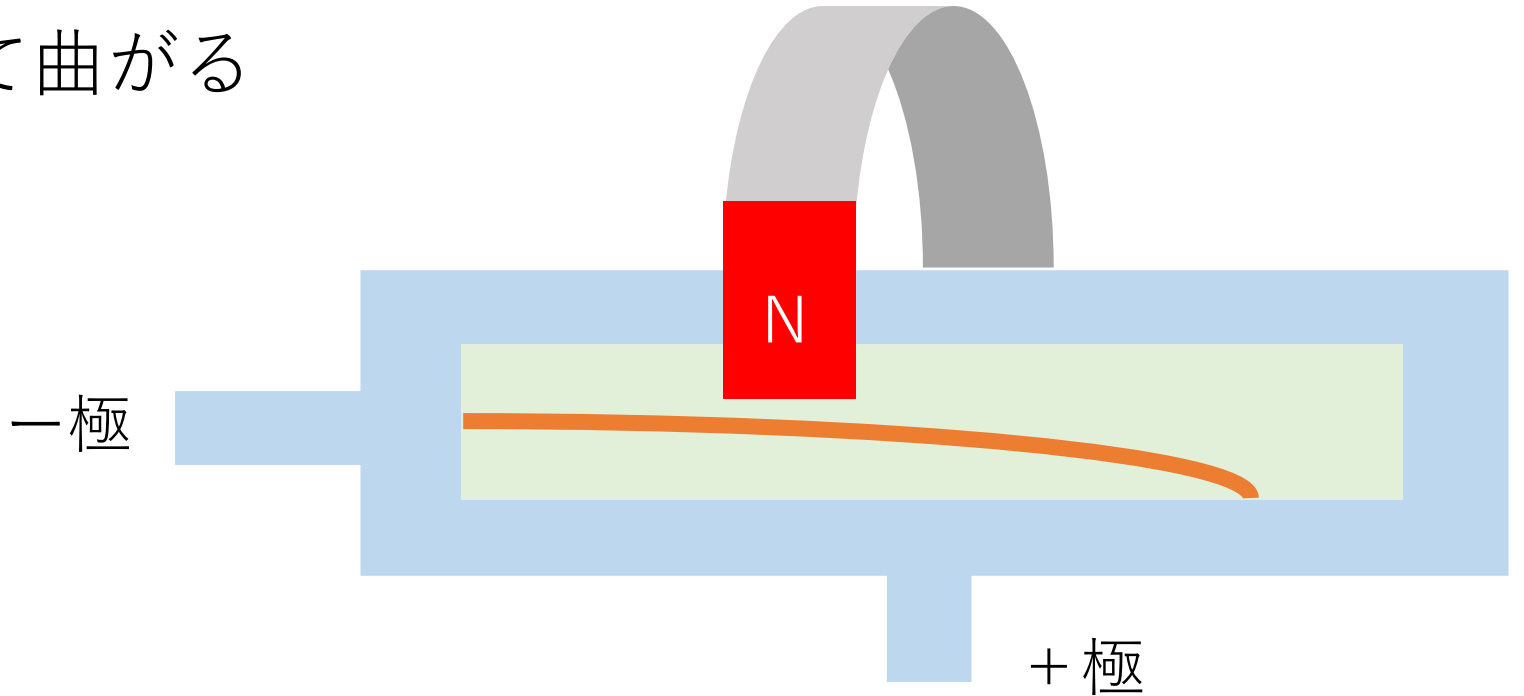
浅野 有香

2020, 4, 24

## 1.1 古典時代(1897~1932年)

# 1897年：J・J・トムソンが電子を発見

- 陰極線が磁石によって曲がる  
→負の電荷を持つ



- トムソン「陰極線は粒子の流れ？」→実験を行う

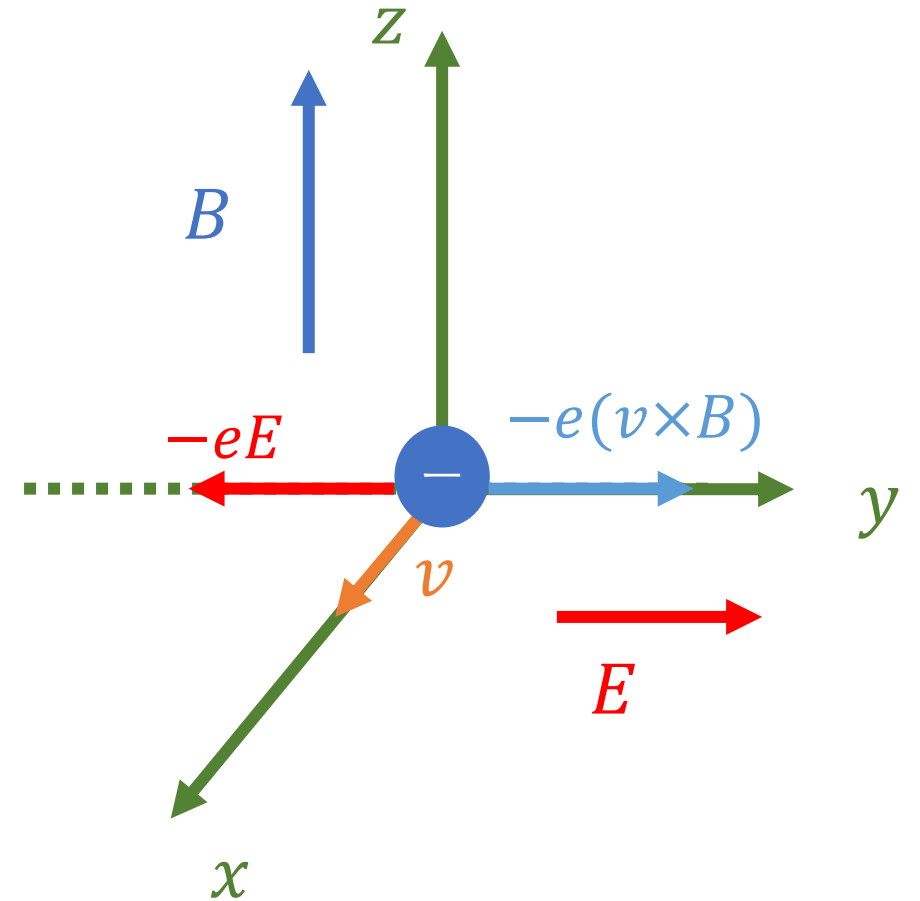
# トムソンの測定

$$\vec{f} = -e\vec{E} - e(\vec{v} \times \vec{B}) = 0 \text{ とすると}$$
$$v = E/B$$

$$E = 0 \text{、軌道半径 } R \text{ のとき } \omega = \frac{eB}{m}$$

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{\omega}{B} = \frac{v}{RB}$$

- 粒子の速度と電荷質量比を測定

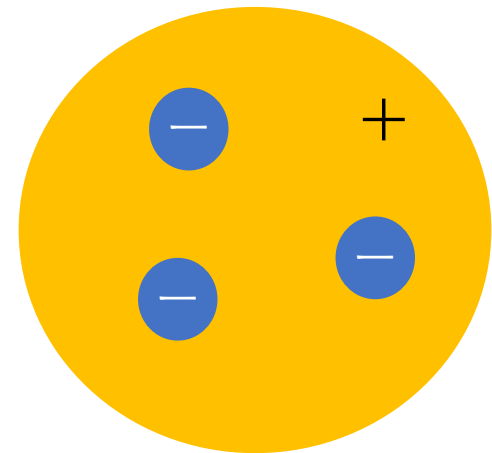


トムソンの測定結果…速度は光速の約1/10,  
 $e/m$ はイオンよりはるかに大きな値  
(電子…0.51MeV、陽子…938MeV)

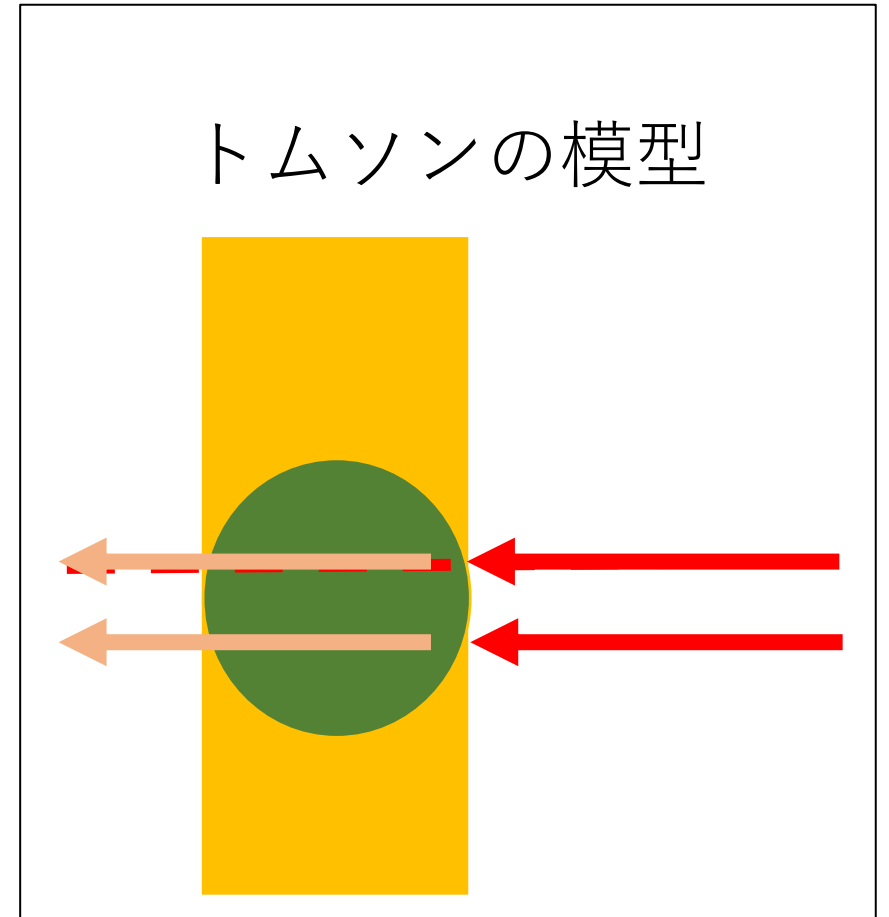
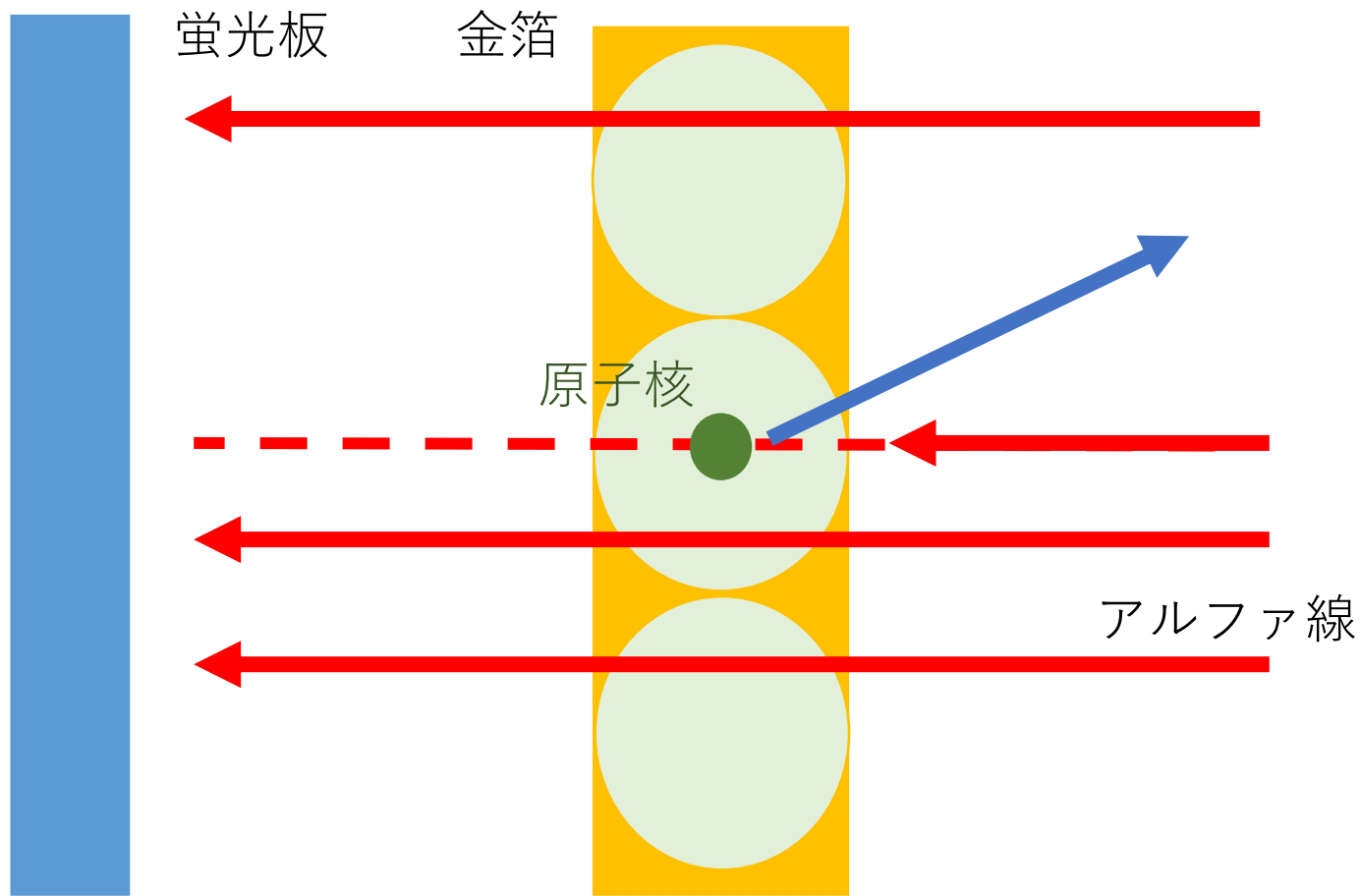
→電荷が大きい or 質量が小さい

- 間接的な証拠…質量が非常に小さい  
→1891年に電荷の最小単位としての「電子」  
後に粒子そのものを指すように

- トムソンの疑問…原子は電氣的に中性だが  
構造は？



# ラザフォードの散乱実験



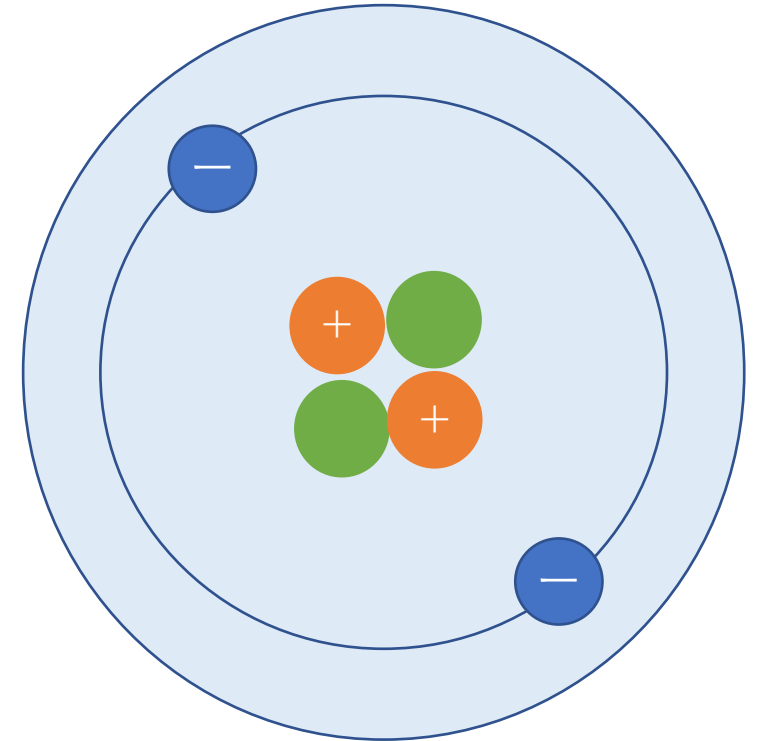
散乱された  $\alpha$  線を蛍光板で観測 → 原子核の存在

# 原子の構造

- 水素の原子核→「陽子」
- ボーアが水素模型を提案

$$E_n = -\frac{e^2}{2a_B n^2} \quad a_B: \text{ボーア半径}$$

- 1932年：チャドウィックが中性子発見  
→原子の構造明らかに



## 1.2 光子(1900~1924年)



# 1900年：プランクが光子発見

- 黒体輻射の問題：輻射エネルギーが無限大  
レイリー・ジーンズの式より

$$\frac{U}{V} = \int_0^{\infty} u(\nu) d\nu = \int_0^{\infty} \frac{8\pi k_B T}{c^3} \nu^2 d\nu$$

- プランクがエネルギーを量子化  $E = h\nu$

$$u(\nu) = \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$$

$h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ ergs} \rightarrow$  実験値を再現

# 1905年：アインシュタインの光電効果

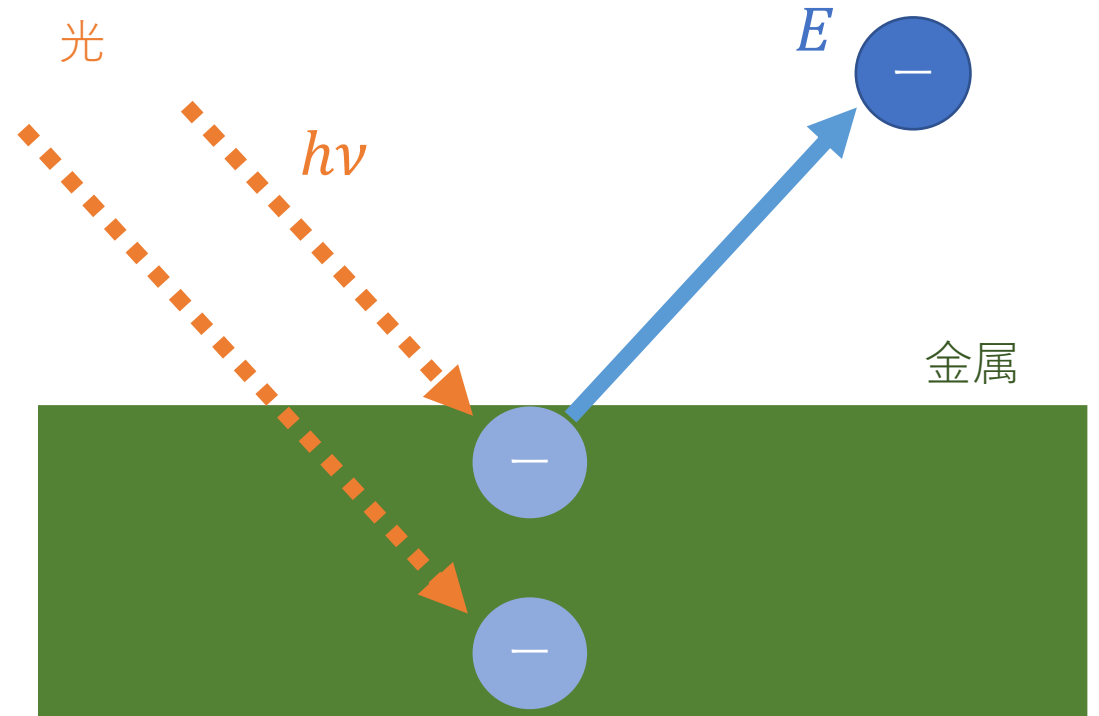
- 量子化は電磁場の特性  
→ 光電効果

電子： $E \leq h\nu - w$

$w$ ：仕事関数

光の強度と無関係

- すぐには受け入れられず



# 1923年：コンプトン散乱

電子のエネルギー  $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$

- 運動量保存

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + p \cos \phi$$

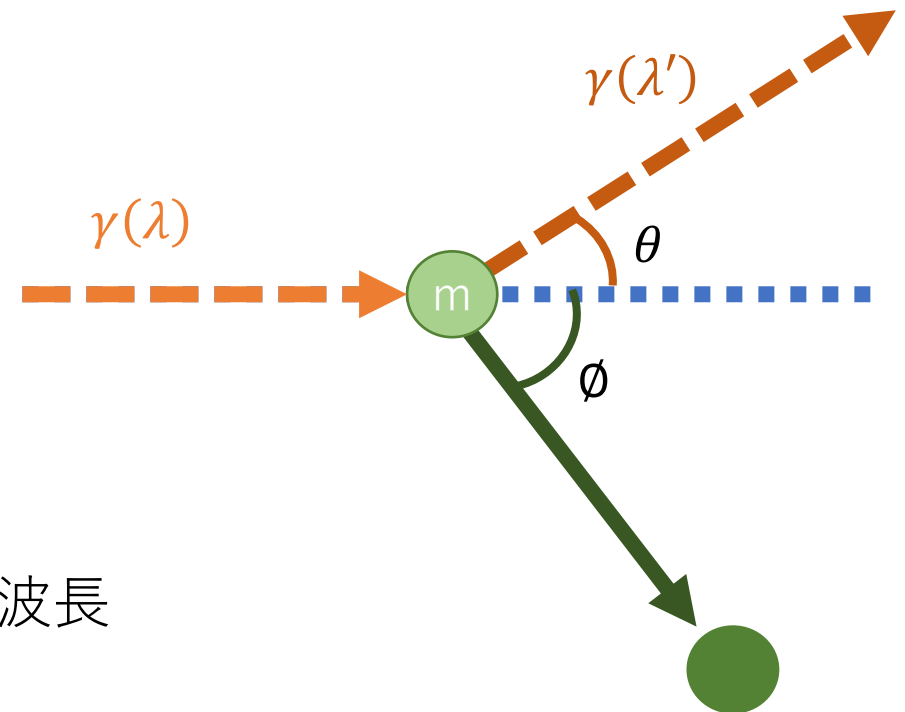
$$0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - p \sin \phi$$

- エネルギー保存

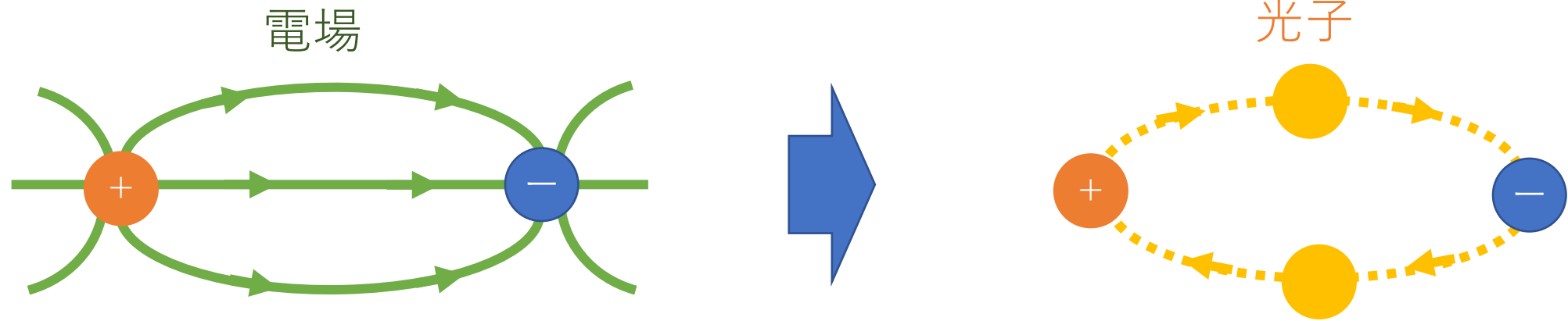
$$\frac{hc}{\lambda} + mc^2 = \frac{hc}{\lambda'} + E$$

$$\rightarrow \lambda' = \lambda + \lambda_c (1 - \cos \theta) \quad \lambda_c = \frac{h}{mc} : \text{コンプトン波長}$$

- 原子の大きさ以下のスケールで、光は粒子( $\gamma$ )



# 電磁相互作用

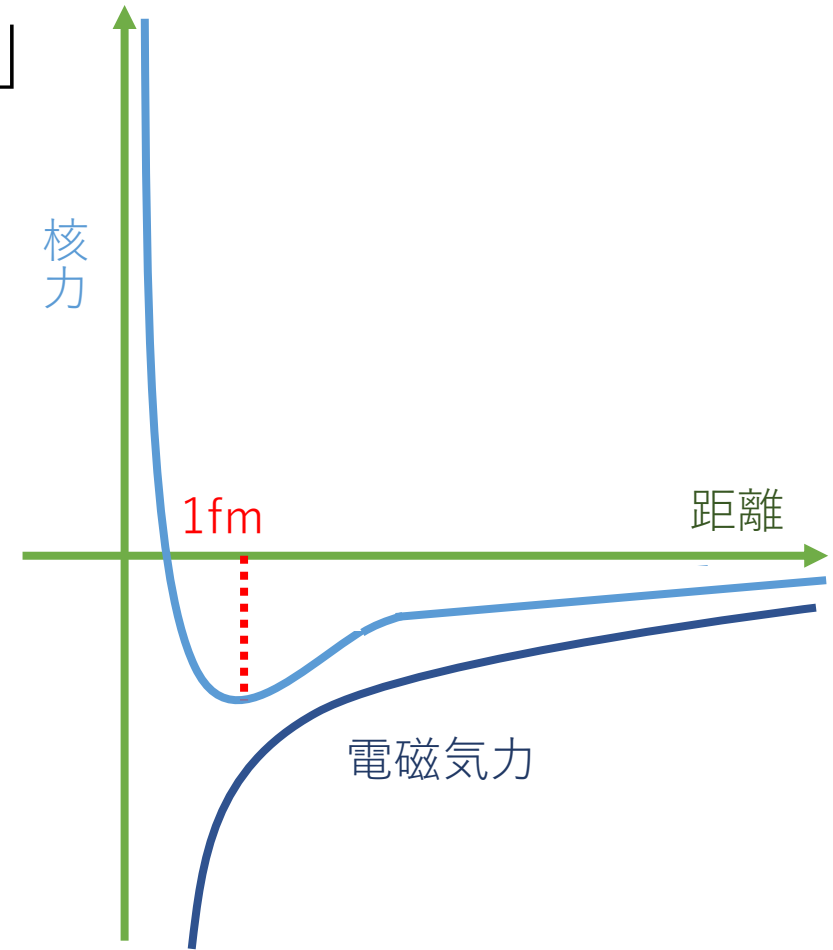


- 電磁相互作用…古典→電場  
量子→光子の交換によって媒介
- 原子物理のレベルでは電場の量子化の効果は小さく無視できる
- 個々の光子が反応→量子化を無視できない

## 1.3 中間子(1934~1947年)

# 1934年：湯川による中間子の提案

- 原子核中の陽子と中性子をつなぐ「強い力」  
→相互作用の到達距離が短い
- 強い力を媒介…中間子  
(質量が電子の約300倍、  
陽子の約1/6)
- 電子(0.5MeV) …レプトン (軽量)
- 陽子(938MeV)と中性子(939MeV)  
…バリオン (重量)



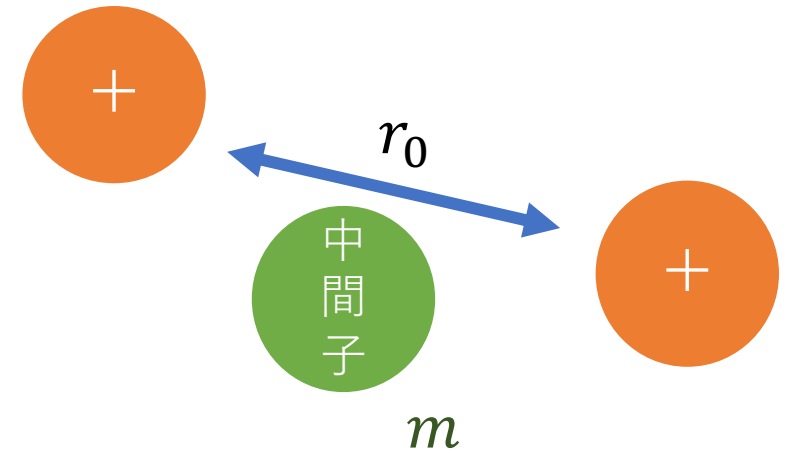
# 問題1.2

- 不確定性原理  $\Delta E \Delta t = \frac{\hbar}{2}$
- $\Delta E = mc^2$ 、 $\Delta t = \frac{r_0}{c}$  より

$$m = \frac{\hbar}{2r_0c} = \frac{6.62 \times 10^{-34} / 2\pi}{2 \times 10^{-15} \times 3.0 \times 10^8} [\text{kg}]$$
$$\sim 1.7 \times 10^{-28} [\text{kg}]$$
$$\sim 10^2 [\text{MeV}]$$

$\pi^+$  中間子...139MeV

$\mu$  粒子...105MeV



# 宇宙線中の粒子

- 1937年：湯川の提案した描像に近い粒子を発見
  - 2,3秒に1回降り注ぐ

## その後の実験

- 湯川の予言より寿命が長く、軽い
  - 1946年に、原子核との相互作用が非常に弱いと示された
- 1947年、これは  $\mu$  粒子と呼ばれる



# 1947年： $\pi$ 中間子と $\mu$ 粒子

- 宇宙線中には  $\pi$  中間子と  $\mu$  粒子が存在
- $\pi$  中間子…大気上層で生成し、地上到達前に崩壊(図1.3)  
(湯川の予言した中間子)
$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$
- $\mu$  粒子…  $\pi$  中間子が崩壊して出てくる  
重い電子として振る舞う