

# 「くりこみ理論」のお話

物理学科 藤田丈久

## 1. 力とは何か？

人に押されると力を受ける  $\Leftarrow$  接触による力

↓

作用反作用の法則

しかし、地球の重力は何処にいても、真空中でも受ける

質量があると力を受ける  $\Rightarrow$  必ず引力

重力そのものは良くわからない

但し、力の形は実験的に良くわかっている

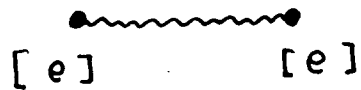
$$\mathbf{F} = -G \frac{Mm}{r^3} \mathbf{r}$$

しかし、重力の量子論がまだ無い

Einstein の一般相対性理論が恐らくは不十分

## 2. 電荷の間の力

2つの電荷の間には、力が働く ⇒ クーロン力



電荷には符号がある → 重力との本質的な相違点

同符号の電荷間は斥力、異符号の電荷間は引力

電荷とは何か？

これは難しくて、ここではきちんとした説明は出来ない

電荷は粒子の持っている性質である

電荷という物質があるわけではない



電子とイオンが電荷を運ぶ

### 3. 電荷の間に 何故 力が働くか？

2つの電荷間の クーロン力

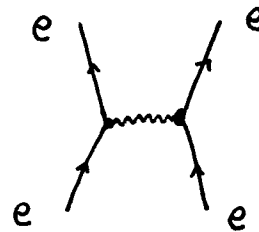
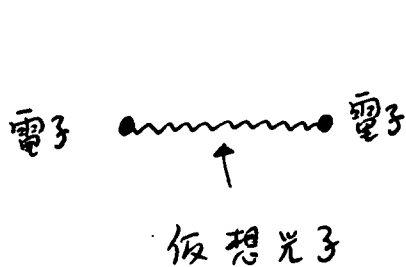


何か媒介してる



**仮想光子**

**クーロン力は 仮想光子 のキャッチボールによる**



[ Feynman 図 ]

仮想光子 のことを大雑把に理解することは、物理学科に来て  
大学院修士1年まで一生懸命勉強すると可能である

#### 4. 自己エネルギー

自分自身に力は働くか？



[Feynman 図]

自分自身で 仮想光子 をキャッチボール

↓

そのエネルギーは？

↓

無限大

**自己エネルギーは無限大**

電子の自己エネルギーは無限大

しかし、この無限大は  $\ln(\Lambda/m)$  程度の無限大

(注:  $\ln x = \log_e x$  のこと)

数学的には  $\Lambda \rightarrow \infty$  で  $\ln(\Lambda/m) \rightarrow \infty$  しかし  
 $m$  を電子の質量 ( $m \sim \frac{1}{2000}M$ ,  $M$  は陽子の質量)  
 $\Lambda$  を宇宙全体の質量

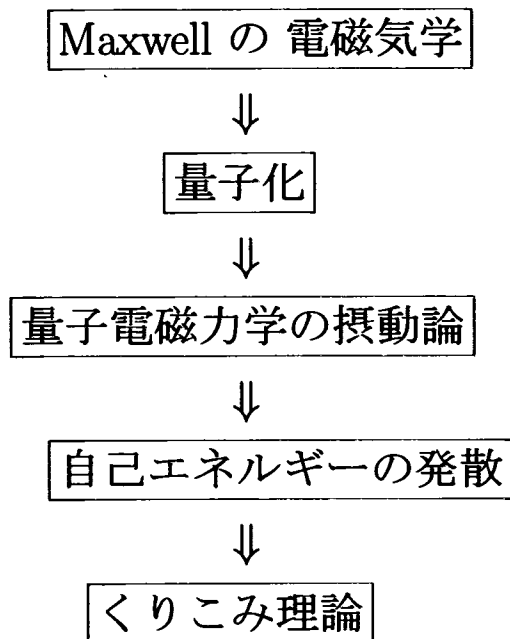
$$\Lambda \sim 2 \times 10^{33} \times 6 \times 10^{23} \times 10^{11} \times 10^{12} M$$

としても  $\ln(\Lambda/m) \sim 192$  であり、単なる数である

## 5. くりこみ理論 (1)

朝永、Feynman, Schwinger 等

くりこみ理論は 朝永達 により発展させられた



$$\bullet + \text{自己エネルギー} = \bullet$$

電子の質量                      電子の質量

「くりこみ理論」とは、電子の発散する  
自己エネルギー  $\delta m$  を質量、電荷等に繰り込む操作の事

## 6. くりこみ理論 (2)

### くりこみ理論

電子の発散する自己エネルギー  $\delta m$  を  
新しく質量を再定義する事により除去する事

$$m = m_0 + \delta m$$

ここで

$m_0$ : 理論の中に **最初からあった質量**

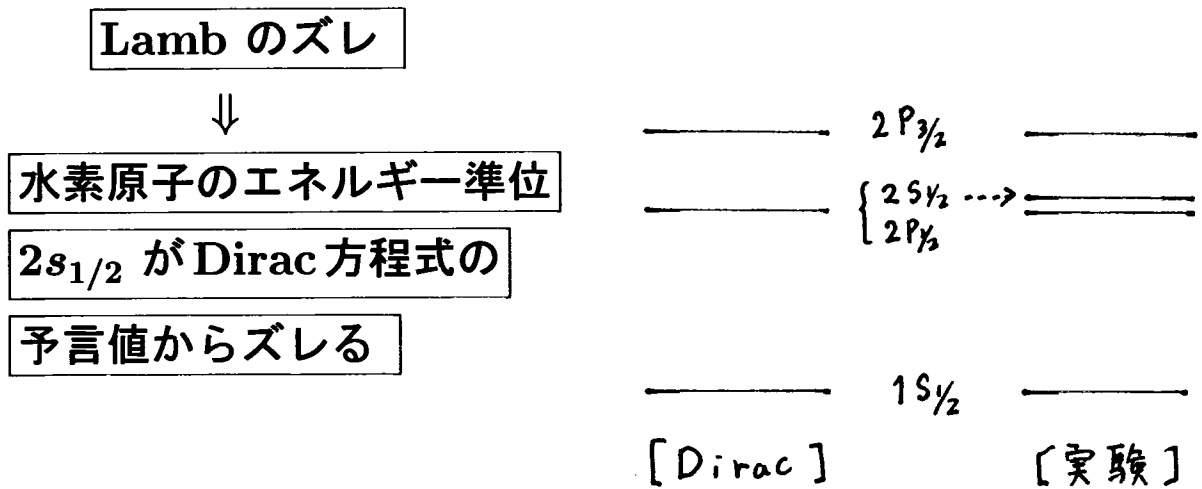
$m$  を **観測されてる電子の質量** で置き換える

これから先は、 **$m$**  を使う

もはや、**無限大** は出てこない!

## 7. Lamb のズレ

くりこみ理論の予言と実験値との比較



**実験値** : 水素原子のエネルギー準位  $2s_{1/2}$  が  
Dirac 方程式の予言値より、少し上に出る

↓

**くりこみ理論の予言値は Lamb のズレの実測値を再現**

**くりこみしないで単純に求めると下方にズレるはず**

↓

**くりこみ理論の勝利**

## 8. 結び

量子電磁力学は **くりこみ理論** により  
正しく実験を再現している

**くりこみ理論** は摂動論により計算される

展開係数  $\alpha$  が  $\alpha = \frac{1}{137}$  なので

十分収束する

$$\begin{aligned} \text{電子の磁気能率: } \mu_{\text{実験}} &= 1.00115965219 \frac{e\hbar}{2mc} \\ \mu_{\text{理論}} &= 1.0011596524 \frac{e\hbar}{2mc} \\ \left[ \mu_{\text{理論}} &= \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} + \dots\right) \frac{e\hbar}{2mc} \right] \\ &\downarrow \\ &0.0011617 \end{aligned}$$

その後、半世紀、結局、量子電磁力学の

**くりこみ理論**

は、信頼できる理論である事がわかった

しかし、それ以外の

**場の理論の模型 (量子色力学や Weinberg-Salam 理論)**

には、いくつかの深刻な問題点が持ち上がっている