

# 光とニュートリノ

物理学科 藤田丈久

## 1. 光

光は真空中を伝播するから粒子であり、また干渉するから波でもある。

このことをきちんと理解するには、物理学科に来て、3年生くらいまで一生懸命勉強すると理解できる事である。

(a) 光のエネルギーを  $E$ , 運動量を  $\mathbf{p}$  とすると Einstein の関係式は

$$E = |\mathbf{p}|c = \frac{hc}{\lambda}$$

← Planck 定数

← 光の波長

である。ここで  $c$  は光速。

(b) 光はスピンを持っている。光子のスピンは1である。

(c) 我々の宇宙は光で満ちている。但し、それらの光は電波領域であり、見えない。( → Wilson の話 )

## 2. ニュートリノ

ニュートリノとは何か？ 一言で答えるのは難しい。  
このことをきちんと理解するには、物理学科に来て、  
4年生くらいまで一生懸命勉強すると理解できる事である。

- (a) ニュートリノはフェルミオンであり、スピンは  $\frac{1}{2}$ 。  
ニュートリノと他の物質との力は非常に弱い。
- (b) 我々の宇宙はニュートリノで満ちている。  
但し、ニュートリノは他の物質とほとんど力を及ぼしあ  
わないので、宇宙に満ちているニュートリノをつかまえ  
ることは難しい。
- (c) 太陽は核融合反応をして、エネルギーを自分自身で供給  
している。このとき、ニュートリノを放出する。太陽の  
中心部で放出されたニュートリノは、ほとんどそのまま  
外に出る。この太陽ニュートリノは地球上で観測されて  
いる。
- (d) KAMIOKANDE では超新星の爆発時において放出され  
るニュートリノが観測された。我々の銀河の近くでの超  
新星の爆発は数百年に一度である。

→ 小柴 昌のノーベル賞

### 3. 光とニュートリノの質量

光には質量が無い.

これは確実な事である. 現在まで、光に質量があると言う実験データは無い. 理論的にも、光はゲージ粒子であり、質量がゼロであることを示している.

ニュートリノの質量は有限でも良い.

むしろ、ニュートリノの質量の上限が押さえられている. つまり、一定以上のニュートリノの質量は宇宙論の問題と矛盾してしまう.

何故か? ニュートリノの質量を  $m_0$  とした時、宇宙全体のニュートリノによる質量  $M_\nu$  はニュートリノの数を  $N_\nu$  とすると

$$\underline{M_\nu = N_\nu m_0}$$

となる. しかし、この  $N_\nu$  はものすごく大きな値である. 実際、宇宙全体のニュートリノ数は宇宙全体のバリオン数 (すべての星の中の陽子の数) を  $N_B$  とすると、

$$\underline{N_\nu \sim 10^9 N_B}$$

従って、 $m_0 \sim 10$  eV とすると宇宙全体のニュートリノによる質量  $M_\nu$  は宇宙全体の星の質量 (陽子1個の質量は約  $10^9$  eV) より10倍大きくなってしまふのである.

#### 4. ニュートリノの観測

何故、ニュートリノが観測できるのか？

ニュートリノが水中を通過する時：1 m 走って衝突が起こる確率は約  $3 \times 10^{-17}$

従って、 $10^{17}$  個のニュートリノが水中を 1 m 通過すると 3回 衝突が起こる。

地球の半径は  $R \sim 6400$  km. 密度は水より高いがせいぜい6倍. 従って、1個のニュートリノはほとんど地球を突き抜けてしまう。

$10^{17}$  個のニュートリノが多いと思うか、少ないと思うかは物理の経験による。しかし、アボガドロ数が  $6 \times 10^{23}$  である事を知っている人は  $10^{17}$  個がそれ程大きな数ではないことがわかんと思う。

Question:

何個のニュートリノが地球上に降り注ぐと衝突が起こるか？

## 5. 結び

Answer:

地球は本当は球状だからニュートリノが突き抜ける距離は複雑である。しかし、平均すると大雑把に半径として良い。

$6400 \text{ km} = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ . 密度が水の6倍だとすると6倍衝突の確率が上がる。よって、

$$3 \times 10^{-17} \times 6 \times 6.4 \times 10^6 x = 1$$

これより、 $x = 0.87 \times 10^9$ . すなわち約9億個のニュートリノが地球上に降り注ぐとそのうちの1個が衝突する。

# 電磁波の波長 (光の波長)

[ $\lambda$ ] [cm]

---

$\sim 10^6$	LF (長波)
$\sim 10^5$	MF (中波)
$\sim 10^4$	HF (短波)
$\sim 10^3$	VHF (超短波)
$\sim 10^2$	UHF (デシメートル波)
$\sim 0.1$	EHF (ミリ波)

---

↑  
(無線用)  
電波  
↓

---

$10^{-1} \sim 10^{-4}$  (赤外線)

---

$8.1 \times 10^{-5}$	(赤)
$6.4 \times 10^{-5}$	(橙)
$5.9 \times 10^{-5}$	(黄)
$5.5 \times 10^{-5}$	(緑)
$4.9 \times 10^{-5}$	(青)

} 光子光

---

$3.8 \times 10^{-5} \sim 10^{-6}$  (紫外線)

---

$10^{-6} \sim 10^{-8}$  (X線)

---

$10^{-8}$  以下 (γ線)

---

$N_B$  : これはどのくらいか？

---

宇宙の銀河の数 :  $\sim 10^{11}$

銀河の中の星の数 :  $\sim 10^{10}$

星 (太陽) :  $\sim 2 \times 10^{33} g$

$1g \sim 6 \times 10^{23}$  個の陽子

---

$N_B \sim 10^{21} \times 2 \times 10^{33} \times 6 \times 10^{23} \sim 10^{78}$  個