

高能物理导论作业

粒子物理导论 (Introduction to Elementary Particles, Griffiths) 习题

1. 基本粒子物理历史介绍

1.1. 1.1

速度为 $Eq = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$.

荷质比为 $qvB = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{E}{B^2R}$.

1.2. 1.2

粗略说, $m = \frac{\hbar}{2r_0c}$, 利用 $r_0 = 10^{-13}$ cm, 有 $m = 98.73$ MeV/c².

这与观测到的实际结果 139.57 MeV/c² 相近.

1.3. 1.3

取 $\Delta x \approx 2r_0$, 应该有 $\Delta p \geq \frac{\hbar}{4r_0} = 49.365$ MeV/c 为最小动量. 从能量动量关系, $E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} \approx 49.365$ MeV. 考虑氦的 β 衰变能最多为十几 KeV, 这个估算不支持衰变电子在原子核内游荡.

1.4. 计算康普顿散射过程初末态的光子频率的关系

考虑动量守恒:

$$p_e^2 = p_i^2 + p_f^2 - 2p_i p_f \cos \theta \quad (1)$$

再考虑能量守恒与能量动量关系:

$$p_e^2 = \frac{(m_e c^2 + p_i c - p_f c)^2 - m_e^2 c^4}{c^2} \quad (2)$$

可以得到: $1 - \cos \theta = m_e c \left(\frac{1}{p_f} - \frac{1}{p_i} \right) \Rightarrow 1 - \cos \theta = \frac{m_e c^2}{h} \left(\frac{1}{\nu_f} - \frac{1}{\nu_i} \right)$

1.5. 1.4

$$2(m_N + m_{\Xi}) = 3m_{\Lambda} + m_{\Sigma} \quad (3)$$

考虑 $m_N = 938.9185$, $m_{\Xi} = 1318.05$, $m_{\Sigma} = 1193.15$. 有 m_{Λ} 大致为 1106 MeV/c²

1.6. 1.5

$$4m_K^2 = 3m_{\eta}^2 + m_{\pi}^2 \quad (4)$$

考虑 $m_{\pi} = 138.039$, $m_K = 495.66$. 有 m_{η} 大致为 566.8 MeV/c².

1.7. 1.6

$$m_{\Delta} - m_{\Sigma^*} = m_{\Sigma^*} - m_{\Xi^*} = m_{\Xi^*} - m_{\Omega} \quad (5)$$

从而 $m_{\Omega} = 1683.5 \text{ MeV}/c^2$.

1.8. 1.8

在强作用中, 奇异数不变 (因为强作用不改变夸克的味道, 奇异夸克的数目守恒). 而在弱作用中, 夸克的味道可以改变.

考虑 Ω^- : 电荷为 -1 , 奇异数为 -3 . 假设需要通过强作用衰变, 至少有以下反应:

$$\begin{aligned} \Omega^- &\rightarrow \Xi^- + \bar{K}^0 \\ \Omega^- &\rightarrow \Sigma^- + 2\bar{K}^0 \\ \Omega^- &\rightarrow \Sigma^0 + \bar{K}^0 + K^- \end{aligned} \quad (6)$$

但 Ω^- 质量不足以发生上面的反应. 从而只能通过弱作用衰变.

从云室照片上看, 假设 Ω^- 飞行了 5 mm , 速度 $0.1c$, 那么实验室坐标系下的寿命为 $1.7 \cdot 10^{-10} \text{ s}$, 自身坐标系下的寿命相较实验室坐标系缩短大约 0.5% .

1.9. 1.12

介子定义为两个夸克组成, 同时考虑无色的条件, 必须是夸克以及反夸克.

1. $d: u\bar{u}$
2. $d, u: u\bar{u}, u\bar{d}, \dots$

对于 n 种夸克味道, 可以组成 n^2 种夸克.

此外, 查表可以看到, 实际上并不写成 $u\bar{u}, d\bar{d}$, 而是 $(u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}, (u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2}$. 但这不影响上面的 n^2 的结论.

1.10. 1.13

对于重子, 考虑无色的条件, 有 qqq 以及 $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$ 两种组合, 但反粒子和粒子本身只算一种.

1. $d: ddd$
2. $d, u: ddd, ddu, duu, uuu$

考虑 n 味夸克组成的重子:

$$n + n(n-1) + \frac{n(n-1)(n-2)}{6} = \frac{n(n+1)(n+2)}{6} \quad (7)$$

1.11. 1.14

quarks	C
uuu	0

quarks	C
sss	0
ddd	0
uud	0
uus	0
ddu	0
dds	0
ssu	0
ssd	0
uds	0
uuc	1
ddc	1
ssc	1
udc	1
usc	1
$sd c$	1
ucc	2
scc	2
dcc	2
ccc	3

Table 1: baryons: u, d, s, c quarks

1.12. 1.15

quarks	C
$u\bar{s}$	0
$u\bar{d}$	0
$u\bar{u}$	0
$s\bar{s}$	0
$s\bar{d}$	0
$s\bar{u}$	0
$d\bar{u}$	0
$d\bar{s}$	0
$d\bar{d}$	0
$u\bar{c}$	-1
$s\bar{c}$	-1
$d\bar{c}$	-1
$c\bar{c}$	0
$c\bar{u}$	1
$c\bar{s}$	1

quarks	C
$c\bar{d}$	1

Table 2: mesons: u, d, s, c quarks

1.13. 1.16

$q\bar{q}$	meson	mass	year
$u\bar{u}$	$\pi^0(*)$	134.98	1950
$u\bar{d}$	π^+	139.57	1947
$d\bar{d}$	$\pi^0(*)$	134.98	1950
$u\bar{s}$	K^+	493.68	1949
$d\bar{s}$	K^0	497.65	1947
$s\bar{s}$	$\eta(*)$	547.51	1962
$c\bar{u}$	D^0	1864.5	1976
$c\bar{d}$	D^+	1869.3	1976
$c\bar{s}$	D_s^+	1968.2	1977
$c\bar{c}$	$\eta_{c(1S)}$	2980.4	1980
$u\bar{b}$	B^+	5279.0	1983
$d\bar{b}$	B^0	5279.4	1983
$s\bar{b}$	B_s^0	5367.5	1993
$c\bar{b}$	B_c^+	6286	1998
$b\bar{b}$	$Y(1S)$	9460.3	1977

Table 3: mesons

qqq	baryon	mass	year
uuu	Δ^{++}	1232	1951
uud	p	938.27	1911
udd	n	939.57	1932
ddd	Δ^-	1232	1951
uus	Σ^+	1189.37	1963
uds	Λ	1115.68	1950
dds	Σ^-	1197.45	1965
uss	Ξ^0	1314.83	1963
dss	Ξ^-	1321.31	1963
sss	Ω^-	1672.45	1964
uuc	Σ_c^{++}	2454.02	1975
udc	Λ_c^+	2286.46	1975
ddc	Σ_c^0	2453.76	1975
usc	Ξ_c^+	2467.9	1983
dsc	Ξ_c^0	2471.0	1989[1]

qqq	baryon	mass	year
ssc	Ω_c^0	2697.5	2001[2]
ucc	Ξ_{cc}^{++}	3621.4	2017[3]
dcc	Ξ_{cc}^+	3518.9	2002
scc	Ω_{cc}^+		
ccc	Ω_{ccc}^{++}		
uub	Σ_b^+	5807.8	2007
udb	Λ_b^0	5624	1991[4]
ddb	Σ_b^-	5815.2	2007
usb	Ξ_b^0	5792	1995
dsb	Ξ_b^-	5792.9	2007
ssb	Ω_b^-	6165.0	2008[5]
ucb	Ξ_{cb}^+		
dcb	Ξ_{cb}^0		
scb	Ω_{cb}^0		
ccb	Ω_{ccb}^+		
ubb	Ξ_{bb}^0		
ddb	Ξ_{bb}^-		
sbb	Ω_{bb}^-		
cbb	Ω_{cbb}^0		
bbb	Ω_{bbb}^-		

Table 4: baryons

2. 基本粒子动力学

2.1. 2.1

$$\frac{F_q}{F_g} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_0^2} = 4.2 \cdot 10^{42} \quad (8)$$

2.2. 2.2

Delbrück 散射的最低阶费曼图:

2.3. 2.3

2.4. 2.4

Bibliography

- [1] P. Avery and others, "Observation of the Charmed Strange Baryon $\Xi(c)0$," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 62, p. 863, 1989, doi: [10.1103/PhysRevLett.62.863](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.62.863).

- [2] D. Cronin-Hennessy and others, “Observation of the Ω_c^0 charmed baryon at CLEO,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 86, pp. 3730–3734, 2001, doi: [10.1103/PhysRevLett.86.3730](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.86.3730).
- [3] P. Spradlin, “Discovery of the doubly charmed baryon Ξ^{++}_{cc} at LHCb,” *PoS*, p. 408, 2017, doi: [10.22323/1.314.0408](https://doi.org/10.22323/1.314.0408).
- [4] C. Albajar, M. G. Albrow, O. C. Allkofer, K. Ankoviak, R. Apsimon, and others, “First observation of the beauty baryon Λ_b in the decay channel $\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda$ at the CERN proton-antiproton collider,” *Physics Letters B*, vol. 273, no. 4, pp. 540–548, Dec. 1991, doi: [10.1016/0370-2693\(91\)90311-d](https://doi.org/10.1016/0370-2693(91)90311-d).
- [5] D. Collaboration and V. Abazov, “Observation of the doubly strange b baryon Ω_b^- ,” *Physical Review Letters*, vol. 101, no. 23, p. 232002, Dec. 2008, doi: [10.1103/PhysRevLett.101.232002](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.232002).