

任课教师： 时红艳 学号： 姓名：

2019 春大学物理 C 作业十

第十二、十三章 狭义相对论基础 量子力学初步

一、简答题

1. 简述狭义相对论的基本原理。

答：爱因斯坦提出了两个重要的假设：

相对性原理：在一切惯性系中，物理定律具有相同的形式；

光速不变原理：在所有惯性系中，真空中的光速都具有相同的量值 c 。

在此基础上建立的理论被称为狭义相对论，这两条基本假设被称为狭义相对论的基本原理。

2. 试用黑体理论解释为什么从远处看山洞口总是黑的？

答：山洞口可以近似当作黑体，射入山洞口的电磁辐射，要被山洞内壁多次反射，每反射一次，山洞壁就要吸收一部分电磁辐射，以致射入山洞口的电磁辐射很少有可能从山洞口逃逸出来。所以从远处看山洞口总是黑的。

3. 光电效应和康普顿效应都是光子与电子间的相互作用，如何区分这两个过程？

答：在光电效应中，金属中的电子是处于束缚态的，入射的光子的能量与原子中电子的逸出功相差不大；在光子与电子组成的系统中，能量守恒，而动量由于发生完全非弹性碰撞而不守恒。在康普顿效应中，入射的 X 射线光子的能量远大于原子中的电子的束缚能，电子被看作是处于自由态的；在光子与电子组成的系统中，由于相互作用为弹性碰撞而能量和动量均守恒。

4. 在我们的日常生活中，为什么觉察不到粒子的波动性和电磁辐射的粒子性呢？

答：在我们的日常生活中，实物粒子的德布罗意波长很小，与周围物体的尺寸相差很远，不能观察到明显的干涉、衍射现象，也就觉察不到粒子的波动性。而电磁波的波长较长，频率低，能量低，粒子性不明显，所以觉察不到电磁辐射的粒子性。

5. 不确定关系对宏观物体是否适用？为什么在宏观世界中无法观察到这种不确定性？

答：不确定关系对任何实物粒子都适用，但是宏观世界中实物粒子的质量和其活动范围都很大，所以其物质波长 $\lambda = \frac{h}{mv} \rightarrow 0$ 很小，波动性不显著，主要表现为粒子性，相应的不确定性也就不明显。

二、填空题

6. 狭义相对论的两个基本假设分别是相对性原理和光速不变原理。
7. 在 S 系中观察到两个事件同时发生在 x 轴上，其间距离是 1m。在 S'系中观察这两个事件之间的距离是 2m。则在 S'系中这两个事件的时间间隔是 $-0.577 \times 10^{-8} \text{s}$ 。
8. 宇宙飞船相对于地面以速度 v 做匀速直线飞行，某一时刻飞船头部的宇航员向飞船尾部发出一个光讯号，经过 Δt （飞船上的钟）时间后，被尾部的接受器收到，真空中光速用 c 表示，则飞船的固有长度为 $c\Delta t$ 。
9. 在某地发生两件事，静止位于该地的甲测得时间间隔为 4s，若相对甲做匀速直线运动的乙测得时间间隔为 5 s，真空中光速用 c 表示，则乙相对于甲的运动速度是 $0.6c$ 。
10. 在速度 $v = \underline{\quad (\sqrt{3}/2) \quad} c$ 情况下粒子的动量等于非相对论动量的两倍。
11. 当绝对黑体的温度从 27°C 升到 327°C 时，其辐射出射度（总辐射本领）增加为原来的 16 倍。
12. 某金属产生光电效应的红限波长为 λ_0 ，今以波长为 λ ($\lambda < \lambda_0$) 的单色光照射该金属，金属释放出的电子（质量为 m_e ）的动量大小为 $(2m_e hc(\lambda_0 - \lambda) / \lambda_0 \lambda)^{1/2}$ 。
13. 在康普顿散射中，若入射光子与散射光子的波长分别为 λ 和 λ' ，则反冲电子获得的动能 $E_k = \underline{\quad hc(1/\lambda - 1/\lambda') \quad}$ 。
14. 当照射光的波长从 400nm 变到 300nm 时，光强保持不变，对同一金属，在光电效应实验中测得的遏止电压将增大 1.04V。
- 提示：根据 $eU_c = h\nu - A$ ，可得 $\Delta U_c = h\Delta\nu / e = hc / e(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1) = 1.04\text{V}$
15. 质量为 1 g，以速度 $v = 1 \text{ cm/s}$ 运动的小球的德布罗意波长为 $6.63 \times 10^{-29} \text{m}$ 。

三、证明题

16. 请证明：在某一参考系中同一地点、同一时刻发生的两个事件，在任何其他参考系中观察都将是同时发生的。

证明：设在 S 系中的两个事件 A、B 的时空坐标分别为 (x_1, t_1) 、 (x_2, t_2) ，它们在 S'系中的时空坐标分别为 (x'_1, t'_1) 、 (x'_2, t'_2) ，则由洛伦兹变换有

$$t'_2 - t'_1 = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

由于在 S 系中同一地点、同一时刻发生，故有 $x_2 = x_1$ 、 $t_2 = t_1$ ，所以 $t'_2 = t'_1$ 。

四、计算题

17. 在 S 系中观察到两个事件同时发生在 x 轴上, 其间距是 1000 m 。在 S' 系中测得两事件的发生地点相距 2000 m 。试求在 S' 系中这两事件的时间间隔。

解: 假设 S' 系中长度为原长, 利用长度的相对论变化公式, 可得:

$$v = c^2 \sqrt{1 - (l/l_0)^2} = (\sqrt{3}/2)c$$

$$\text{代入同时性的相对性公式: } \Delta t' = t'_2 - t'_1 = \gamma \frac{\beta}{c} (x_1 - x_2) = -5.77 \times 10^{-6} \text{ s}$$

18. 在惯性系 S 中, 观测到相距为 $\Delta x = 9 \times 10^8 \text{ m}$ 的两地点相隔 $\Delta t = 5 \text{ s}$ 发生了两事件。而在相对于 S 系沿 x 轴正方向做匀速直线运动的 S' 系中, 测得两事件正好发生在同一地点。试求在 S' 系中此两事件的时间间隔。

解: 根据已知条件可知: $x'_1 = x'_2$, $\Delta x = x_2 - x_1 = 9 \times 10^8 \text{ m}$, $\Delta t = t_2 - t_1 = 5 \text{ s}$

$$\text{利用洛伦兹变换: } x'_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x_1 - vt_1) \quad x'_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x_2 - vt_2)$$

可得: $v = 1.8 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\text{将其代入洛伦兹变换: } \Delta t' = t'_2 - t'_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left[t_2 - t_1 - \frac{v}{c^2} (x_2 - x_1) \right] = 4 \text{ s}$$

19. 在惯性系 S 中, 相距 $5 \times 10^6 \text{ m}$ 的两地发生两事件, 时间间隔为 10^{-2} s ; 而在相对 S 系沿 x 轴正向运动的惯性系 S' 中观测到这两事件是同时发生的, 试求从 S' 系中测量到这两事件的空间间隔是多少?

$$\text{解: 由洛伦兹变换: } \Delta x = \frac{\Delta x' + v \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2} \Delta x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

由题意: $\Delta t' = 0$

$$\text{可得: } \Delta x' = [(\Delta x)^2 - (c^2 \Delta t / c)^2]^{1/2} = 4 \times 10^6 \text{ m}$$

20. 质量为 m_e 的电子被电势差 $U_{12}=100\text{ kV}$ 的电场加速, 如果考虑相对论效应, 试计算其德布罗意波的波长. 若不用相对论计算, 则相对误差是多少? (电子静止质量 $m_e=9.11\times 10^{-31}\text{ kg}$, 普朗克常量 $h=6.63\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, 基本电荷 $e=1.60\times 10^{-19}\text{ C}$)

解: (1) 考虑相对论, 由相对论动量: $p = mv = m_e v / \sqrt{1-(v/c)^2}$

$$\text{相对论动能: } eU_{12} = \left[m_e c^2 / \sqrt{1-(v/c)^2} \right] - m_e c^2$$

$$\lambda = h / p$$

计算得
$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU_{12}(eU_{12} + 2m_e c^2)}} = 3.71 \times 10^{-12}\text{ m}$$

(2) 不考虑相对论 $\lambda' = h / p$, $p = m_e v$, $eU_{12} = \frac{1}{2} m_e v^2$

由上三式计算得
$$\lambda' = h / (2m_e eU_{12})^{1/2} = 3.88 \times 10^{-12}\text{ m}$$

则相对误差: $|\lambda' - \lambda| / \lambda = 4.6\%$