

2025-2026 春季学期 电动力学 期末考试

2026 年 6 月 26 日 14:30-16:30

注: 本试卷为回忆版, 实际表述与试卷不符, 且可能会有错漏, 请以原卷为准

一 选填题

1. 在本课程中, 我们学习了电磁场的 4-势 A^μ 和电磁场张量 $F^{\mu\nu}$, 它们的定义是 $A^\mu =$ (_____, _____) (写出其时间和空间分量), $F^{\mu\nu} =$ _____.
2. 下列关于矢量的运算, 正确的是():

A. $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$

C. $(\mathbf{A} \times \mathbf{B}) \times \mathbf{C} = \mathbf{A} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{C})$

E. $\mathbf{AB} : \mathbf{CD} = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})(\mathbf{B} \cdot \mathbf{D})$

B. $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \mathbf{B} \times \mathbf{A}$

D. $\mathbf{AB} : \mathbf{CD} = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{D})(\mathbf{B} \cdot \mathbf{C})$
3. 已知 $\eta_{\alpha\beta}$ 是某时空的度规, 下列选项中与 $A^\alpha B_\alpha$ 相等的是():

A. $A_\alpha B^\alpha$

E. $\eta_{\alpha\beta} A_\mu B^\beta$

B. $\eta_{\alpha\beta} A^\alpha B^\beta$

C. $A^\alpha B^\beta$

D. $\eta_{\alpha\beta} \eta^{\alpha\mu} A^\beta B_\mu$
4. 下面选项中是洛伦兹不变量的是():

A. $M^{\mu\nu} A_\mu$

E. $M^{\mu\beta} A_\beta B_{\alpha\mu} T^\alpha$

B. $A_\alpha B^\alpha$

C. $A^\alpha B^\beta$

D. $M^{\alpha\beta} A_{\beta\mu} B^\mu$
5. 一匀速运动的电子的动能(总能量减去静能)是 500 MeV, 静能为 0.5 MeV, 则其 γ 因子为 _____, 其动量大小为 _____. (不必化成国际单位)
6. 一标量场 $\phi(t, \mathbf{x})$ 的拉格朗日量 $L = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^* (\partial^\mu \phi) - \phi^* \phi$, 其中*表示取共轭, 下列变换能成为规范变换的是_____.

A. $\phi' = \phi e^{i\alpha}$, 其中 $\alpha = \alpha(\mathbf{x})$

C. $\phi' = \phi + \partial_\mu f$, 其中 $f = f(t, \mathbf{x})$

B. $\phi' = \phi e^{i\alpha}$, 其中 α 为常数

D. $\phi' = \phi + \phi_0$, 其中 ϕ_0 为常数
7. 下列说法正确的是().

A.

B. 如同静止的粒子一样, 静电场与静磁场的能量密度为 0.

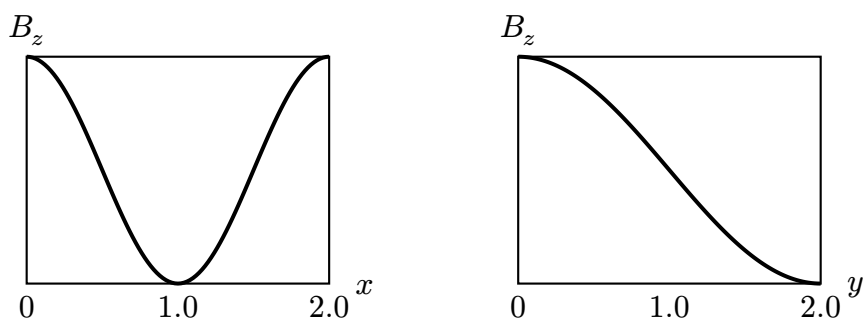
C.

D. 在一个惯性参考系下电场为零, 磁场不为零, 则在另一个参考系下磁场可能为零.
8. 若在一惯性系中 $\mathbf{B} \cdot \mathbf{E} = 0$, 通过洛伦兹变换可变到只有磁场, 则 $\mathbf{E}$ 与 $\mathbf{B}$ 应满足的条件是 _____.
9. 将下列沿 z 轴传播的电磁波偏振类型分类:

- ① 线偏振 ② 圆偏振 ③ 椭圆偏振

- A.** $E_x = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$, $E_y = 2E_0 e^{i(kx - \omega t)}$ **B.** $E_x = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$, $E_y = 2E_0 e^{i(kx - \omega t + \frac{\pi}{2})}$
C. $E_x = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$, $E_y = E_0 e^{i(kx - \omega t + \frac{\pi}{2})}$ **D.** $E_x = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$, $E_y = E_0 e^{i(kx - \omega t + \frac{\pi}{4})}$

10. 一波导管中, 电磁波沿 z 方向以 TE_{mn} 模式传播, 下面是 B_z 关于 x, y 的图像, 由图可知 $m=$ _____, $n=$ _____. ($m \geq n$)



11. 本课程介绍了自然界产生线偏振光的两种主要机制,请简要解释并说明获得线偏振光的条件.

12. 将下列自然现象分类

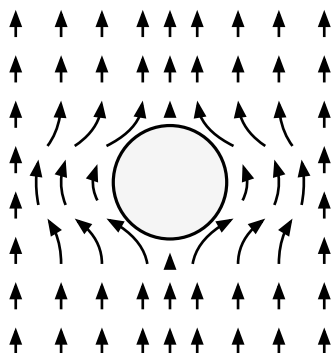
- ① Thomson 散射 ② 瑞利散射

- A. 白天时蓝色的天空
B. 日落时红色的太阳
C. 日全食时太阳周围的白光
D. 月全食时红色的月亮

13. 设一原子的极化率为 α , 位于原点, 外电场沿 z 轴, $E_z = E_0 e^{i(kz - \omega t)}$, 则在远处的 (r, θ) (r 是与原点的距离, θ 是与 z 轴的夹角) 点感受到的电偶极辐射 $\mathbf{E}(\mathbf{x})$ 的表达式为_____.

二 解答题

- 已知 K 系是惯性参考系, K' 系相对 K 系以 $\frac{3}{5}c$ 速度向 x 轴正方向运动, 一粒子在 K' 系中以 $v' = 0.1c$ 的速度, $a' = 0.1g$ 的加速度向 x 轴正向运动, 问在 K 系中粒子的速度和加速度是多少? (提示: 参考我们推导相对论速度变换的方法) (6 分)
- 无旋不可压缩流体的速度场满足 $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$, 且 $\nabla \times \mathbf{v} = 0$, 现将一个半径为 a 的球放入无旋流体场中, 原来的速度场为 $\mathbf{v}_0 = v_z \mathbf{e}_z$, 类比静电场问题的计算方法, 求解放入球后新速度场 $\mathbf{v}$ (11 分)



3. 原子的经典谐振子模型: $m\ddot{x} = -m\omega_0^2 x$, 在一维情形下, 设粒子带电量为 q , 考虑辐射阻尼, (15 分)

- (1) 采用 Landau 近似, 推导辐射阻尼力 $\mathbf{F}_{rad}$ 的表达式, 并写出粒子的运动方程, 记常数 $\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$, 接下来的推导中使用 $\tau\omega_0 \ll 1$ 近似.

- (2) 采用试探解 $\boldsymbol{x} = A\boldsymbol{e}^{-i\omega t}$ 代入方程, 求 ω 满足的方程.

- (3) 设 $\omega = \omega_r - i\gamma$, 在 $\tau\omega_0 \ll 1$ 近似下, 求 ω_r 与 γ 满足的方程, 并计算频率偏移 $\Delta\omega = \omega_r - \omega_0$

4. 综合本课程学过的所有知识, 推导以任意速度 $\mathbf{v}(t)$, 加速度 $\mathbf{a}(t)$ 运动的点电荷, 单位时间内辐射出的动量的表达式. 已知辐射功率:

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{q^2 \mu_0 c}{16\pi^2} \frac{[\mathbf{e}_R \times (\mathbf{e}_R - \boldsymbol{\beta})] \times \dot{\boldsymbol{\beta}}}{(1 - \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{e}_R)^5}$$

其中立体角元 $d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$, 请将你的结果写成类似的形式以便批阅. (15 分)