上海科技大学 2023 年硕士研究生招生考试

651 普通物理

上海科技大学 2023 年硕士研究生招生考试 · 满分 150 分 · 考试时间 180 分钟

考生须知

1. 本卷按招生单位公布的官方原卷逐题重排，题干、选项与图示据原卷整理。
2. 答案与解析由本站重新编撰，仅供教学研究；原卷文字与命题版权归命题单位。
3. 请在答题纸上作答，题号与原卷保持一致；作图题须写出必要的文字说明与公式。

一、单项选择题（共 32 分）

1. 在一定单位制下，质点的位矢随时间变化的函数数值形式为 $\vec{r}=4t^2\vec{i}+(2t+3)\vec{j}$。以下说法中，哪一种说法是错误的？（　　）

A. 质点轨迹为一段抛物线
B. 从 $t=0$ 到 $t=1$ 的位移是 $4\vec{i}+2\vec{j}$
C. $t=0$ 时刻的速度是 $2\vec{j}$
D. $t=1$ 时刻的加速度是 $4\vec{i}$

2. 下列系统中，角动量守恒的系统是哪一个？（　　）

A. 生锈的圆锥摆
B. 空中翻筋斗的京剧演员
C. 荡秋千的人和秋千所组成的系统
D. 一端悬挂在光滑水平轴上自由摆动的米尺

3. 以下关于行波、驻波的说法中，哪一种说法是错误的？（　　）

A. 行波和驻波都具有时空周期性
B. 行波的波形和能量是向前传播的
C. 驻波的波形在原地振荡，能量向前传播
D. 驻波在相邻波节之间各点相位一致，波节两侧相位相反

4. 以下关于理想气体绝热系统和绝热过程的说法中，哪一种说法是错误的？（　　）

A. 绝热过程中外界对系统不做功，系统对外界也不做功
B. 绝热系统与外界没有热量交换
C. $p-V$ 图中任意两条不同的绝热过程曲线都不可能相交
D. 绝热过程中系统的内能可以发生变化

5. 以下表达式中，哪一个表达式正确地给出图 1 中内外半径分别为 R_A 和 R_B 的同心球壳电容器的电容？（　　）

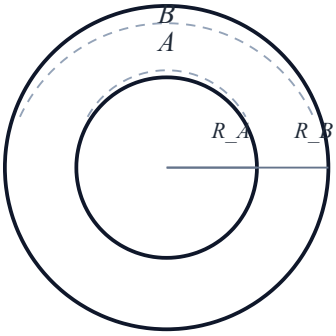
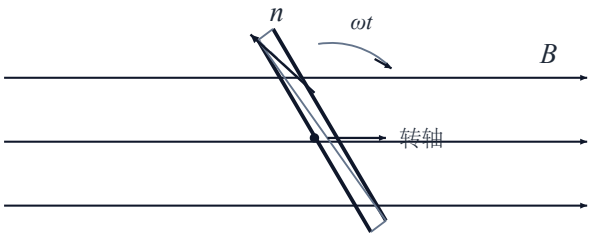


图 1

A. $\dfrac{4\pi\varepsilon_0 R_A R_B}{R_B + R_A}$　　B. $\dfrac{4\pi\varepsilon_0 R_A R_B}{R_B - R_A}$

C. $\dfrac{2\pi\varepsilon_0 (R_B + R_A)}{\ln(R_B/R_A)}$　　D. $\dfrac{2\pi\varepsilon_0 (R_B - R_A)}{\ln(R_B/R_A)}$

6. 面积为 S 的单匝矩形线圈绕过其中心且与其一条边平行的轴在磁感应强度大小为 B 的均匀磁场中以角速度 ω 匀速转动，转轴与磁场垂直，如图 2（沿转轴逆向的视图）所示。在 $t = 0$ 时，线圈的法线方向与磁场方向垂直，并且此时磁场方向、线圈法线方向、转轴正向以这样的顺序满足右手螺旋法则。$t > 0$ 时，线圈中的感应电动势是什么？（　　）



线圈平面

图 2

A. $\omega BS\sin(\omega t)$　　B. $-\omega BS\sin(\omega t)$

C. $\omega BS\cos(\omega t)$　　D. $-\omega BS\cos(\omega t)$

7. 以下关于单缝夫琅禾费衍射的说法中，哪一种说法是正确的？（　　）

A. 波长给定，缝宽增大，条纹变宽　　B. 波长给定，缝宽减小，条纹变细

C. 中央明纹宽度是其他明纹的 2 倍　　D. 中央明纹亮度是其他明纹的 2 倍

8. 以下关于光量子的说法中，哪一种说法是正确的？（　　）

A. 光子频率越高，动量越大　　B. 光子的静止质量为零，因此光子不具有动量

C. 光子的自旋为零，因此是玻色子　　D. 普朗克发现并提出了光的量子理论

二、填空题（共 32 分）

9. 比较将静止物体拉起同样的高度所需的功，匀速拉起所需的功_____匀加速拉起所需的功。

10. 有一维简谐波 $y(x,t)=4\cos\left[2\pi\left(\dfrac{t}{0.01}-\dfrac{x}{30}\right)\right]$，其中 x,y 的单位是 cm，t 的单位是 s。其振幅为_____，波长为_____，波速为_____，在 $x=10\ \mathrm{cm}$ 处的初相位为_____。

11. 取理想气体常数 $R=8.31\ \mathrm{J\cdot K^{-1}\cdot mol^{-1}}$，根据理想气体能量按自由度均分定理，常温常压下氮气的定容摩尔热容为_____。

12. 点电荷 $+q$ 和 $-q$ 分别处于三维实空间直角坐标系中的 $(-\ell/2,0,0)$ 和 $(\ell/2,0,0)$ 点上，这里 q 和 ℓ 皆为正数。在 $(0,y\gg\ell,0)$ 处电场强度的大小是_____。

13. 如果在自感系数为 L 的线圈中通有强度为 I 的电流，则线圈中储存的自感势能的大小是_____。

14. 微分形式麦克斯韦方程组中的方程 $\nabla\times\vec{H}=\vec{j}_0+\dfrac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ 的积分形式是_____。

15. 一学校拟采购投影仪及屏幕，要求在教室最后排亦能看清投影屏幕上的内容。若后排到屏幕距离为 $9\ \mathrm{m}$，人眼瞳孔的大小为 $3\ \mathrm{mm}$，可见光波长按 $550\ \mathrm{nm}$ 计算，则后排能分辨出屏幕上最小的两点间间距约为_____。

16. 若静止质量为 m_0 的实物粒子以相对论速度 v 运动，则与该粒子相联系的平面单色波的波长为_____。（普朗克常数为 h，真空中的光速为 c）

三、计算题（共 86 分）

17. 如图 3 所示，半径为 r 的空心小球在半径为 R 的半球形大碗内作无滑滚动，判断该运动在什么条件下是简谐振动，并求出振动周期。（空心球对其直径的转动惯量为 $I_C = 2mr^2/3$）

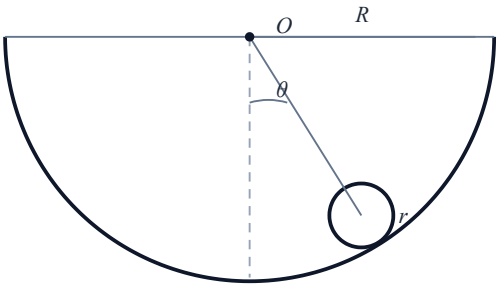


图 3

18. 一质量为 m 的物体，开始时静止在一无摩擦的水平面上，受到一连串粒子的轰击。每个粒子的质量为 $\delta m\ (\ll m)$，速率为 v_0，沿正 x 方向，碰撞是完全弹性的，粒子会弹离物体。（1）设经过几个粒子的轰击后物体已经获得了速度 v，分别写出接下来的一个粒子与物体发生碰撞过程中的动量和能量守恒表达式。设物体在本次碰撞中的速度增量为 dv，粒子在碰撞后的速度为 v'。（4 分）（2）通过从（1）中所写下的表达式中消去 v'，推导 dv 与 v 和 v_0 之间的关系式。在最后的结果中忽略二阶小量 $\delta m\, dv$。（4 分）（3）利用（2）中的近似结果，证明经过 n 个粒子碰撞后物体速度的近似表达式为 $v = v_0\left(1 - e^{-2n\delta m/m}\right)$。（5 分）

19. 一发电厂使用蒸汽轮机提供 $1000\ \mathrm{MW}$ 的能量。蒸汽轮机使用 $600\ \mathrm{K}$ 的过热蒸汽，并将剩余的热量注入到温度为 $300\ \mathrm{K}$ 的河水中。假设蒸汽轮机为一理想卡诺热机，河水流速是 $50\ \mathrm{m^3/s}$，密度 $1000\ \mathrm{kg/m^3}$，比热容为 $4.186\ \mathrm{kJ/(kg\cdot^\circ C)}$。（1）求紧靠发电厂的下游河水的平均温度增加值 ΔT。（8 分）（2）求紧靠发电厂的下游河水的每千克的熵增量 ΔS。（4 分）

20. 氢原子由带正电荷 e 的原子核（仅由一个质子组成）和带负电荷 $-e$ 的电子组成，原子核处于坐标原点且被视为一个点电荷，电子云中的电荷分布为 $\rho_e = -\dfrac{e}{\pi a_B^3} e^{-2r/a_B}$，其中 a_B 为玻尔半径。（1）写下原子核在氢原子内部所产生的电场分布。（3 分）（2）计算电子在氢原子内部所产生的电场分布。（7 分）（3）写下氢原子内部的总电场分布。（2 分）

21. 考虑图 4 中所示 RC 电路在电源电动势 $\mathcal{E}$ 驱动下的充电过程。在 $t=0$ 时，电容器 C 内的电量 q 为零。（1）写下电路中的瞬时电流 i 与电容器 C 内的电量 q 之间的关系。（2 分）（2）推导充电过程中 q 所满足的微分方程。（5 分）（3）求 q 与时间 t 的依赖关系。（6 分）

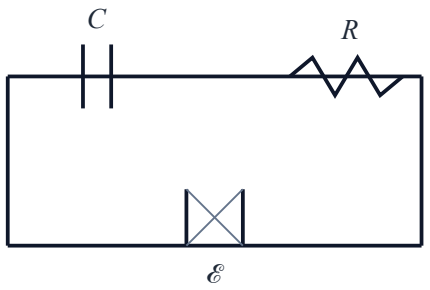


图 4

22. 如图 5 所示的水平地面上方设有两个无线通讯基站，将其中一个作为信号发射站，另一个作为信号接收站，两基站距离地面高度均为 $35\ \mathrm{m}$，间距为 $50\ \mathrm{m}$。接收站可以直接收到发射站发出的信号，也可以通过地面反射间接获得发射站发出的信号，且信号经地面反射时发生 180° 相移。（1）求干涉相消的最大波长。（6 分）（2）求干涉相长的最大波长。（6 分）

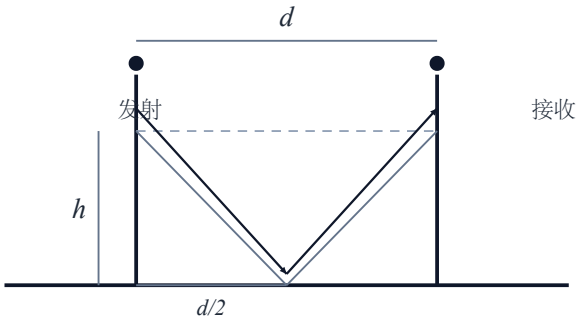


图 5

23. 一种厚度为 $4\ \mathrm{nm}$ 的二维材料，其横截面上的电子波函数 $\psi(x)$ 可以近似简化为如图 6 所示的一维分布模型。（1）画出概率密度的分布图。（4 分）（2）求 c 的值。（4 分）（3）计算电子出现在 $|x| \leq 1\ \mathrm{nm}$ 范围内的概率。（4 分）

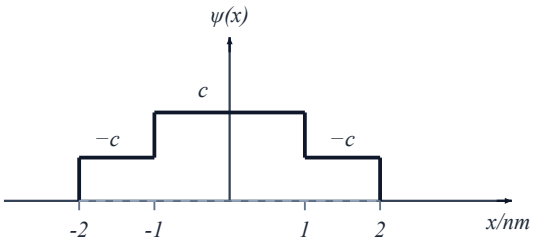


图 6