

2019 年浙江省大学生物理竞赛

理论竞赛卷

考试形式：闭卷，允许带 无存储功能的计算器 入场

考试时间：2019 年 12 月 28 日 上午 8:30~11:30

题 序	选 择	填 空	计 1~2	计 3~4	计 5~6	总 分	附加题分
得 分							
评卷人							

气体摩尔常量 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

基本电荷 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

电子质量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

电子伏特 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

真空中光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

真空介电常数 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$

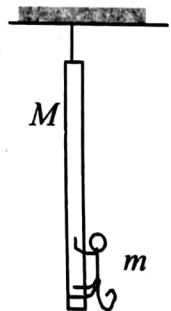
真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

一、选择题：（单选题，每题 4 分，共 40 分）

- 对质点组有以下几种说法，哪个是不正确的（ ）.
 - 质点组的总动能改变与保守力做功无关
 - 质点组的总动量改变与非保守力无关
 - 质点组的总角动量改变与内力大小无关
 - 质点组的势能改变与外力无关

- 一只质量为 m 的小猴，原来抓住一根用绳吊在天花板上的质量为 M 的直杆，悬线突然断开，小猴则沿杆子竖直向上爬以保持它离地面的高度不变，此时直杆下落的加速度为（ ）.

- g
- $\frac{m}{M}g$
- $\frac{M+m}{M}g$
- $\frac{M+m}{M-m}g$



- 一根长为 l 、质量为 m 的均匀细杆，可绕距其一端为 $l/4$ 的水平轴 O 在竖直平面内转动。当杆自由悬挂时，给它一个起始角速度 ω ，如果杆恰能持续绕一个方向转动而不摆动，则 ω 需满足的条件为（ ）.

- $\omega > 4\sqrt{\frac{g}{l}}$
- $\omega > \sqrt{\frac{g}{l}}$
- $\omega > 4\sqrt{\frac{3g}{7l}}$
- $\omega > \sqrt{\frac{12g}{l}}$



专业
线
所在高校
密封
准考证号
姓名

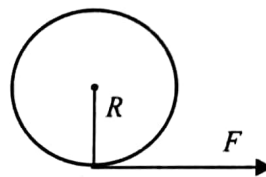
密封线内不要答题



扫描全能王 创建

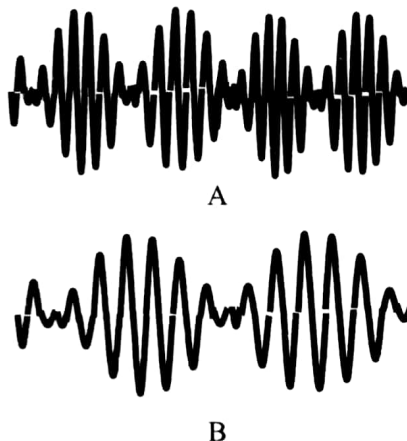
4. 如图所示, 匀质的圆盘、空心球壳和实心球, 具有相同的质量和相同的半径, 都可以绕中心对称固定轴转动. 同时施加相同的力使这三个物体都从静止开始转动, 力的方向都是沿着物体外边缘的切向、并与固定轴垂直. 经过相同的时间后, 物体的动能由大到小的排序为 ().

- A. 圆盘、空心球壳、实心球
- B. 实心球、空心球壳、圆盘
- C. 实心球、圆盘、空心球壳
- D. 空心球壳、圆盘、实心球



5. 两个音调不同的声音叠加结果可在示波器光屏上显示出来. A 图表示一对音调不同的声音叠加结果, B 图另一对音调不同的声音叠加结果. 由这两个显示图形可知, A 图中所表示的一对声音有 ().

- A. 比较接近的频率
- B. 相差较远的频率
- C. 与 B 中频率完全一样
- D. 无法判断哪一对音调会有更接近的频率

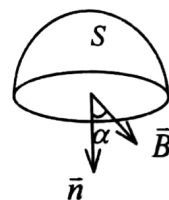


6. 两个同心薄金属球壳, 半径分别为 R_1 和 R_2 ($R_2 > R_1$), 若分别带上电荷 q_1 和 q_2 , 则两者的电势分别为 U_1 和 U_2 (选无穷远处为电势零点). 现用导线将两球壳相连接, 则它们的电势为 ().

- A. U_1
- B. U_2
- C. $U_1 + U_2$
- D. $\frac{1}{2}(U_1 + U_2)$

7. 在磁感应强度为 \vec{B} 的均匀磁场中作一半径为 r 的半球面 S , S 的边缘线所在平面的法线方向单位矢量 \vec{n} 与 \vec{B} 的夹角为 α , 则通过半球面 S 的磁通量 (取弯面向外为正) 为 ().

- A. $\pi r^2 B$
- B. $2\pi r^2 B$
- C. $-\pi r^2 B \sin \alpha$
- D. $-\pi r^2 B \cos \alpha$



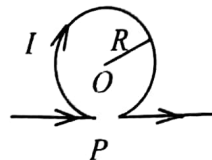
8. 如图所示, 有一带正电荷的大块导体, 欲测其附近 P 点处的场强, 将一电荷量为 q_0 ($q_0 > 0$) 的点电荷放在 P 点, 测得它所受的电场力为 F . 若电荷量 q_0 不是足够小, 则 ().

- A. F/q_0 比 P 点处场强的数值大
- B. F/q_0 比 P 点处场强的数值小
- C. F/q_0 与 P 点处场强的数值相等
- D. F/q_0 与 P 点处场强的数值哪个大无法确定



9. 无限长直导线在 P 处弯成半径为 R 的圆, 当通以电流 I 时, 则在圆心 O 点处的磁感应强度大小等于 ().

- A. $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ B. $\frac{\mu_0 I}{4R}$ C. $\frac{\mu_0 I}{4R}(1 + \frac{1}{\pi})$ D. $\frac{\mu_0 I}{2R}(1 - \frac{1}{\pi})$

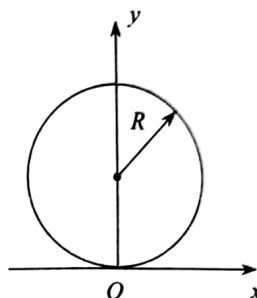


10. 一空气平行板电容器充电后与电源断开, 然后在两极板间充满某种各向同性、均匀电介质, 则电场强度的大小 E 、电容 C 、电压 U 、电场能量 W 四个量各自与充入介质前相比较, 增大(\uparrow)或减小(\downarrow)的情形为 ().

- A. $E \uparrow, C \uparrow, U \uparrow, W \uparrow$
 B. $E \downarrow, C \uparrow, U \downarrow, W \downarrow$
 C. $E \downarrow, C \uparrow, U \uparrow, W \downarrow$
 D. $E \uparrow, C \downarrow, U \downarrow, W \uparrow$

二、填空题: (10 题, 每题 4 分, 共 40 分)

1. 如图所示, 一质点在 Oxy 坐标平面内作逆时针圆周运动, 有一力 $\vec{F} = ky\vec{i}$ 作用在质点上, k 为常量. 在该质点从坐标原点运动到 (R, R) 位置过程中, 力 \vec{F} 对质点所做的功为_____.



2. 质量为 100 kg 的货物, 平放在卡车底板上. 卡车以 4 m/s^2 的加速度启动. 货物与卡车底板无相对滑动. 则在初始 4 秒内摩擦力对该货物做的功 $W =$ _____.

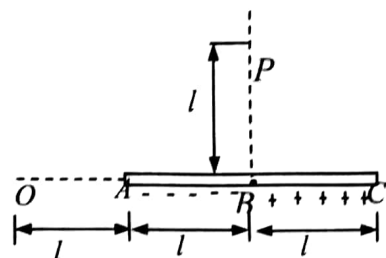
3. 一平面余弦波沿 Ox 轴正方向传播, 波动表达式为 $y = A \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \phi \right]$, 则 $x = -\lambda$ 处质点的振动方程为_____; 若以 $x = \lambda$ 处为新的坐标轴原点, 且此坐标轴指向与波的传播方向相反, 则对此新的坐标轴, 该波的波动表达式为_____.

4. 有一相对于空气以 30 m/s 的速率向右运动的声源, 发出固有频率为 1000 Hz 的声波, 在其运动方向的正前方有一反射面, 相对于空气以 60 m/s 的速率向左运动. 设声波在空气中的传播速度为 330 m/s , 则移动反射面接收到的声波频率为_____, 从该反射面反射回来的声波波长是_____.

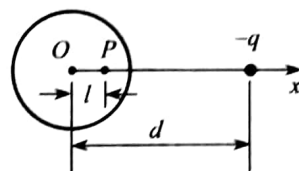
5. 一电子以 $v = 0.99c$ 的速率运动. 则电子的总能量为_____, 而电子的经典力学动能与相对论动能之比为_____. (电子静止质量为 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$).



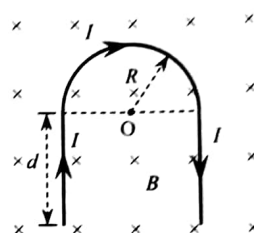
6. 如图所示, AC 为一根长为 $2l$ 的带电细棒, 左半部均匀带有负电荷, 右半部均匀带有正电荷. 电荷线密度分别为 $-\lambda$ 和 $+\lambda$, O 点在棒的延长线上, 距 A 端的距离为 l , P 点在棒的垂直平分线上, 到棒的垂直距离也为 l . 以棒的中点 B 为电势的零点, 则 O 点电势 U_O = _____; P 点电势 U_P = _____.



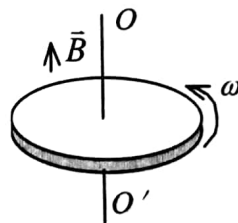
7. 如图所示, 一个带电量为 $-q$ 的点电荷, 位于一原来不带电的金属球外, 与球心的距离为 d . 则在金属球内, 与球心相距为 l 的 P 点处, 由感应电荷产生的场强的大小为 _____, 方向为 _____.



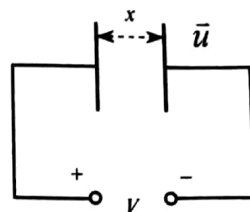
8. 一通有电流为 I 的长导线, 弯成如图所示的形状, 放在磁感应强度为 B 的均匀磁场中, B 的方向垂直纸平面向里. 则此导线受到的安培力大小为 _____; 方向为 _____.



9. 如图所示, 金属圆板在均匀磁场中以角速度 ω 绕中心轴旋转, 均匀磁场的方向平行于转轴. 这时, 板中心至边缘上任意一点的总感应电动势大小 _____, 方向 _____.



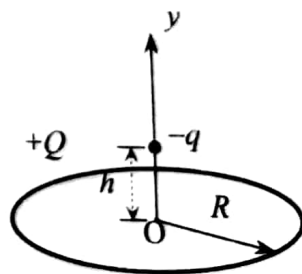
10. 如图所示, 一平行板电容器与电压为 V 的电源相联, 若将电容器的一极板以等速 u 拉开, 则当极板间的距离为 x 时, 电容器内的位移电流密度大小为 _____, 方向为 _____.



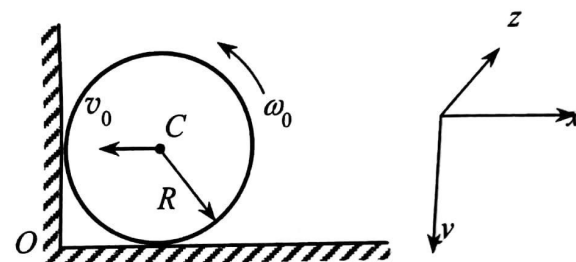
三、计算题：(5 题，共 80 分)

1. (本题 15 分) 在垂直于匀强磁场 \mathbf{B} 的平面内，有一质量为 m 、带正电量为 q 的粒子，以初速率 v_0 开始运动，运动过程中所受阻力为 $f = -kv$ ，其中 k 是正常量。试求：(1) $t (> 0)$ 时刻粒子的速率和经过的路程；(2) 当粒子的运动方向相对初始运动方向恰好转过 π 时的速率。

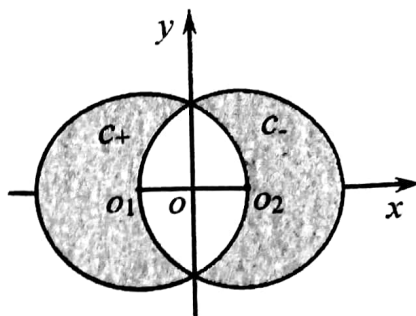
2. (本题 15 分) 用细导线构成半径为 R 的圆环，水平地固定在空间，环上均匀地带有正电荷 Q 。在轴线上高度为 h ($h \ll R$) 的地方，自由地放置一小油滴，其质量为 m ，带电量为 $-q$ 。如果忽略重力和空气阻力，试求油滴的运动方程。



3. (本题 20 分) 如图所示, 质量为 m 、半径为 R 的均匀实心弹性球在水平面上作纯滚动, 球心速度为 v_0 , 与粗糙的墙面发生碰撞后, 以相同的球心速度反弹, 设球与墙面及地面的摩擦系数均为 μ , 碰撞过程中球与水平面之间的摩擦可以忽略. 则 (1) 碰撞后, 经过一段时间球开始作纯滚动, 求此时的球心速度; (2) 若球与墙面的碰撞时间为 Δt , 为使碰撞时球不会跳离地面, 则摩擦系数应满足什么条件? (设碰撞过程中的相互作用力均可视为恒力).

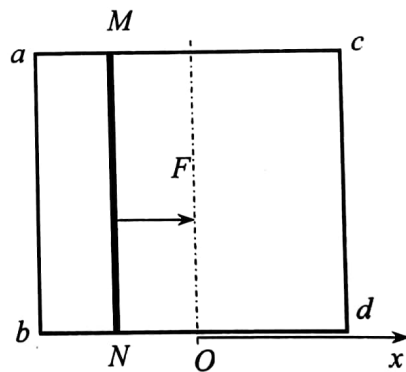


4. (本题 15 分) 如图所示, C_+ 和 C_- 是沿 z 轴放置的两根互相绝缘的长直非磁性导体, 其中的电流分别沿 z 轴的正方向和负方向流动, 电流强度均为 I . 图中画阴影的部分是两导体的正截面, 它们分别是 xy 平面中的部分圆, 两圆的直径均为 D , 两圆心的间距为 $D/2$, 已知两导体正截面的阴影面积均为 $(\pi/12 + \sqrt{3}/8)D^2$, 每一根导线的电流均匀地分布在自身的正截面内. 试求两根导线之间空白区域内的磁场强度分布.



5. (本题 15 分) 如图所示, 电阻不计的金属丝制成边长为 $2l$ 的正方形线框 $abcd$, 处在垂直纸面向里的磁感应强度为 B 的匀强磁场中. 某质量为 m 、长度为 $2l$ 、电阻为 R 的导体棒 MN 可在 ac 边与 bd 边上无摩擦滑动, 且接触良好. 建立原点位于 bd 中点、平行 bd 向右为 x 轴的坐标系. $t=0$ 时, 棒 MN 在外力 F 作用下从 ab 位置由静止开始运动, 其运动方程为 $x = -l\cos\omega t$, 且棒 MN 始终与 ab 平行. 已知 $m = 0.1 \text{ kg}$, $l = 0.5 \text{ m}$, $R = 0.1 \Omega$, $B = 0.1 \text{ T}$, $\omega = 2 \text{ rad/s}$.

- (1) 求运动到 $x=0$ 位置时电阻消耗的电功率;
- (2) 求作用在棒 MN 上的安培力 F_A 等于外力 F 的时刻 t .

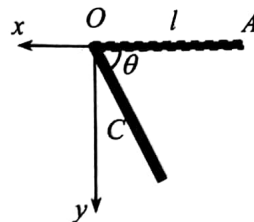


四、附加题：(2 题，共 40 分)

1. (本题 20 分) 设一均匀细棒 OA ，长为 l ，质量为 m ，棒可绕 O 点处的固定轴在竖直面内无摩擦地转动。初始时 A 端与 O 点水平，然后由静止释放 A ，棒开始转动。

(1) 求棒的转动过程中，棒对转轴的最大作用力。

(2) 若转轴能承受的最大作用力为 $N = kmg$ ($k < 2$)，则棒转动到某位置时，转轴会突然断裂，求转轴断裂时棒的位置。



2. (本题 20 分) 一个核外有两个电子的原子，其核电荷数为 Ze ，假设两个电子位于半径为 r 的玻尔轨道上，运动过程中这两个电子始终位于原子核对称的两侧。试：

(1) 计算每个电子受到的合力；

(2) 计算每个电子轨道运动的速率；

(3) 利用玻尔角动量量子化规则，计算每个电子基态的玻尔半径；

(4) 计算原子的总能量；

(5) 取 $Z=2$ ，将此作为氦原子的模型，分别计算第一个电子的电离能，以及第二个电子的电离能。

