第 39 届全国中学生物理竞赛预赛试题

（2022 年 9 月 3 日 9:00-12:00）

考生必读

1、 考生考试前务必认真阅读本须知。

2、 本试题共 5 页，总分为 400 分。

3、 需要阅卷老师评阅的内容一定要写在答题纸相应题号后面的空白处；阅卷老师只评阅答题纸上的内容；选择题和填空题也必须在答题纸上作答；写在试题纸和草稿纸上的解答一律无效。

一、 选择题（本题 60 分，含 5 小题，每小题 12 分。在每小题给出的 4 个选项中，有的小题只有一项符合题意，有的小题有多项符合题意。将符合题意的选项前面的英文字母写在答题纸对应小题后面的括号内。全部选对的得 12 分，选对但不全的得 6 分，有选错或不答的得 0 分。）

1. 1964 年 10 月 16 日，中国第一枚原子弹试爆成功。该原子弹核反应物的主要成分是 $^{235}\mathrm{U}$。天然 $^{235}\mathrm{U}$ 是不稳定的，它将通过若干次 α 衰变和 β 衰变最终成为稳定的元素 Pb。$^{235}\mathrm{U}$ 衰变形成的稳定的 Pb 同位素为

A. $^{204}\mathrm{Pb}$　　B. $^{205}\mathrm{Pb}$　　C. $^{206}\mathrm{Pb}$　　D. $^{207}\mathrm{Pb}$

2. 将相同材料做成的两根内径不同、两端开口的圆柱形毛细管竖直插入某种与管壁浸润的液体内。下列说法正确的是

A 毛细管内液面都下降，且液面与管壁接触处比液面中间低

B 毛细管内液面都上升，且液面与管壁接触处比液面中间高

C 内径小的毛细管内液面上升的高度比内径大的高

D 内径小的毛细管内液面上升的高度比内径大的低

3. 三个质量皆为 m 的小球 a、b、c 由三段长度皆为 l 的不可伸长的轻细线 L_1、L_2、L_3 相继连接，竖直悬挂，并处于静止状态，如图 3a 所示。在某一时刻，小球 a、b 受到水平方向的冲击，分别获得向右、向左的大小为 v 的速度。此时，中间那段细线 L_2 的张力大小为

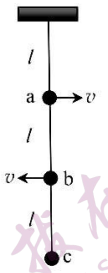

图 3a

A. $2mg$　　B. $2mg+\dfrac{4mv^2}{l}$

C. $2mg+\dfrac{5mv^2}{l}$　　D. $2mg+\dfrac{11mv^2}{l}$

4. 如图 4a 所示，由两块相距为 0.50 mm 的薄金属板 L、M 构成的平行板电容器，被屏蔽在一个金属盒 K 内，连接 M 端的导线同时与 K 相连，金属盒上壁与 L 板相距 0.25 mm，下壁与 M 板相距亦为 0.25 mm，金属板面积为 $30\times40\ \mathrm{mm}^2$。忽略电容器的边缘效应。从 L、M 两端测得被屏蔽后的电容器的电容与屏蔽前的电容之比为

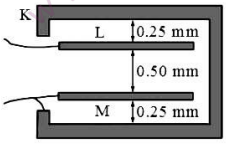

图 4a

A. 1:2　　B. 2:1　　C. 3:1　　D. 4:1

5. 已知铜的质量密度约为8.9 g/cm^3，相对原子量约为64。设铜导体导电时，每个铜原子贡献1个自由电子。已知电子电量为1.602×10^{-19} C，阿伏加德罗常量为6.02×10^{23} mol^{-1}。在一根圆截面半径为1 mm的铜导线通过4.5 A的电流时，电子平均定向漂移速度大小约为

A 0.01 mm/s　　B. 0.1 mm/s　　C. 1 mm/s　　D. 1 cm/s

二、填空题（本题100 分，每小题20分，每空10分。请把答案填在答题纸对应题号后面的横线上。只需给出结果，不需写出求得结果的过程。）

6.（20 分）一航空母舰上的舰载机从静止开始在水平甲板上做直线加速运动，直至离开甲板起飞，如图6a所示。已知舰载机在甲板上运动时所受到的甲板对它的阻力的大小是其正压力大小的μ倍；当舰载机速度大小为v时，舰载机受到与运动方向相反的空气阻力大小为bv^2，

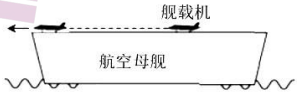

图6a

受到垂直于运动方向的升力大小为cv^2，b、c为常量，且$b>\mu c>0$。假设驾驶员一开始就将舰载机的推力设置为允许的恒定值F，且推力沿着机身向前的方向，舰载机在离开甲板之前的瞬间其速度已经逼近最大。此最大速度的大小为_____，对应的航空母舰甲板对舰载机的正压力大小为_____。已知舰载机质量为m，重力加速度大小为g（$bmg>cF$）。

7.（20 分）1 mol的理想气体经历一个准静态膨胀过程，其（绝对）温度T随其体积V变化的过程图线T-V是一条抛物线，抛物线最高点是$(2V_0,\frac{4}{3}T_0)$，起点是(V_0,T_0)，终点是$(3V_0,T_0)$。在此过程中，气体经历的准静态P-V图线的方程为$P=$_____；气体对外做功为_____。

8.（20 分）用6条相同的均匀电阻丝搭建一个正四面体框架OABC，D是BC边的中点，从O、D两点分别引出导线（忽略导线电阻和接触电阻），并通以电流I，如图8a所示。已知每条电阻丝的电阻为r。在正四面体框架OABC中，AB段电阻丝上的电流为_____I；O、D之间的电阻为_____r。

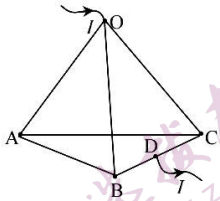

图8a

9.（20 分）将氢原子的核外电子代之以μ子，便形成所谓μ子-氢原子。μ子的质量可取为电子质量的207倍，其电量与电子相同。已知质子质量是电子质量的1836倍。μ子-氢原子和氢原子的里德堡常量之比为_____：_____；μ子-氢原子和氢原子的第2激发态的电离能之比为_____：_____。

10.（20 分）有一物（其厚度和宽度可忽略）不易或不宜接近。可以用下面的方法测其高度：在离此物适当距离L处，竖立一屏幕，让一个薄凸透镜在此物和屏幕之间移动，使该物（可视为傍轴小物）在屏幕上两次分别呈现出清晰实像；测得两次像高分别为Y_1与Y_2。已知物高垂直于光轴。该物体高度为_____；该透镜焦距为_____。

三、计算题（本题 240 分，共 6 小题，每小题 40 分。计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，只写出最后结果的不能得分。有数值计算的，答案中必须明确写出数值，有单位的必须写出单位。）

11.（40 分）如图 11a 所示，将待测凸透镜放在一个标准件（平凹透镜）上。用波长为 λ 的单色平行光垂直（即垂直于平凸透镜的上平面）傍轴照射，构成一套平凸-平凹内切结构的干涉装置；其中 R_1、R_2（$R_2 > R_1$）分别为两内切球面透镜的曲率半径。

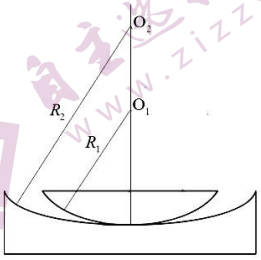

图 11a

（1）试推导干涉图案中第 k 级（k 为整数）亮环、暗环的半径公式；

（2）试证：第 $k+m$ 级（m 为任一给定正整数）和第 k 级亮环（或暗环）半径平方之差是一个与 k 无关的常量，并推导测量入射光波长的公式；

（3）试将第（1）问的结果推广到两凸透镜在顶点外切的平凸-平凸外切干涉结构和平凸-平板干涉装置，从而得到统一的干涉图案分布规律（即第（1）（2）问结果）的公式。

12.（40 分）为了理解与沉船打捞的有关物理过程，考虑下列简单模型。将打捞装置简化为一个两端开口、内壁光滑、横截面积为 s 的柱形长玻璃管，竖直固定使其上沿刚好没入温度为 $T = 300$ K 的水中；而沉船则简化为一密度为 ρ、高度为 h 的柱形活塞，下边缘被挡在距水平面高度为 H 的位置，活塞的上部玻璃管里充满水，如图 12a 所示。现从管下部向管内充入气体（可视为理想气体），推动活塞缓慢上浮。设大气压强为 P_{atm}，水的密度为 ρ_{w}（$\rho_{\text{w}} < \rho$），普适气体常量为 R。

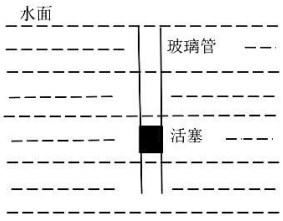

图 12a

（1）试求充入多少 mol 的气体后可以使得活塞刚好开始上浮？忽略气体质量。

（2）上问中充入的气体推动活塞上升，当活塞上沿趋于与水面平齐时，额外施加向下的压力可使活塞维持受力平衡状态，求平衡时此额外压力的大小。

已知 $\rho = 5\rho_{\text{w}}$，$\rho_{\text{w}} = 1.0 \times 10^3$ kg/m^3，$P_{\text{atm}} = 1.0 \times 10^5$ Pa，$H = 10.0$ m，$h = 1.0$ m，$s = 1.0$ m^2，重力加速度大小 $g = 10$ m/s^2，普适气体常量 $R = 8.3$ J/(mol·K)。

13.（40 分）中国空间站在距地面约 390 km 的近圆形轨道上运行，运行轨道面与赤道面夹角约为 42°，运行速率约为 7.7 km/s。已知重力加速度大小约 9.8 m/s^2，地球自转周期约为 24 h，空间站绕转方向和地球自转方向如图 13a 所示。假设地球为质量分布均匀的球体。（不得引用本题未给出的数据和常量）

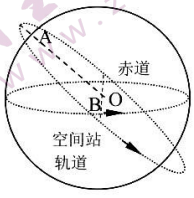

图 13a

（1）求空间站绕地球转动的周期；

（2）空间站通过北纬 42° 的某地 A 点正上方之后第一次到达赤道，此时，空间站在赤道上的 B 地的正上方。求 B、A 两点的经度之差。

14.（40 分）一质量为 $M=1000\ \mathrm{kg}$ 的封闭车厢在水平地面上运动。车厢内底面水平。车厢内一乘客试通过车厢内的实验来研究车厢在水平地面上的运动。他在车厢底面上建立与底面固连的平面直角坐标系（xOy 系），并在坐标原点 O 放置一质量为 $m=5.0\ \mathrm{kg}$ 的物块 A。在 $t=0$ 时，A 从静止开始运动。在 $0\le t\le 15\ \mathrm{s}$ 时间段内，A 在 xOy 系中 x、y 方向上的速度 v_x、v_y 与时间 t 的关系分别如图 14a、b 所示。已知物块 A 与车厢内底面之间滑动摩擦系数为 $\mu=0.20$，重力加速度大小 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。

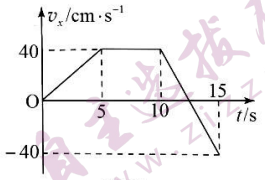

图 14a

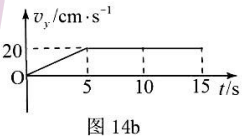

图 14b

（1）求 $t=15\ \mathrm{s}$ 时，物块 A 在 xOy 系中的位置；

（2）在地面上建立静止的坐标系 $x'O'y'$，使 x' 轴、y' 轴分别与 xOy 系的 x 轴、y 轴方向两两相同。求在坐标系 $x'O'y'$ 中，车厢在 x' 方向所受到的合力在整个过程（$0\le t\le 15\ \mathrm{s}$）中的冲量。

15.（40 分）微通道板电子倍增管是利用入射电子经过微通道时的多次反射放大信号强度的一种电子器件，如图 15a 所示。设一电子刚好从一直径为 d、高为 h 的正圆柱形微通道的含轴截面（即虚拟的轴所在的截面）的一角射入此面内，进入微通道，入射速度大小为 v_0，入射方向与通道壁母线（与轴平行）之间的夹角为 θ。假设每个电子撞入内壁后撞出 n 个次级电子。通道内有沿轴向的匀强电场，电场强度为大小为 E。忽略重力和各级电子间相互作用，电子电量的绝对值为 e，电子质量为 m。

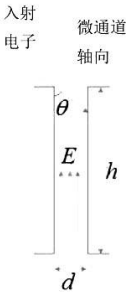

图 15a

（1）如果 $n=1$，假设原电子的轴向动量在撞击后保持不变，垂直于轴的方向的动量被完全反弹，则电子会在通道内撞击通道壁多少次？

（2）如果 $n=2$，假设原电子的轴向动量被通道壁完全吸收，垂直于轴的动量被完全反弹并被垂直出射的次级电子均分，假设电子刚好在撞击通道末端后离开。欲使信号电量被放大到至少 2^p 倍（p 为正整数），则 h 至少要多大？

（3）如果 $n=2$，且通道中并不存在匀强电场，而是在第 1 次撞击位置以下有匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外，如图 15b 所示。仍假设电子的轴向动量被通道壁完全吸收，垂直方向的动量被完全反弹并被垂直出射的次级电子均分。假设整个过程中所有电子均不会撞击左侧孔壁，电子最终刚好飞出通道，则 h 最大可为多少？

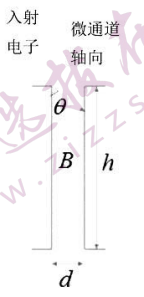

图 15b

16.（40 分）施特恩-盖拉赫实验对原子物理学和量子力学的发展有重大作用。为简化起见，只考虑氢原子中电子的轨道运动的贡献。已知氢原子质量为 m_{H}，电子质量为 m_{e}（$m_{\mathrm{e}} << m_{\mathrm{H}}$），电子电量的绝对值为 e，$\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$，h 为普朗克常量，真空介电常量为 ε_0。不考虑重力。

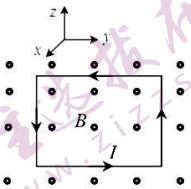

图 16a

（1）按照玻尔模型，氢原子中处于第 n 定态圆轨道的电子的圆周运动会形成绕核的环电流，求环电流大小表达式 I_n；

（2）一面积为 S 的矩形环电流 I 处于一磁场中，环电流方向为逆时针方向，磁场方向平行于 x 轴方向，如图 16a 所示。已知磁场在 y 方向是均匀的；但在 z 方向均匀变化，且 z 方向单位距离的磁感应强度之差为 B'_z（称之为梯度磁场，B'_z 为 z 方向磁场的梯度）。求环电流所受合力 F 大小及方向；

（3）小圆形环电流在同样的梯度磁场中受力与矩形环电流满足同样规律。如图 16b 所示，水平速度为 v_0 的氢原子通过同样的沿 z 方向均匀变化的梯度磁场，磁场区宽度为 d，出磁场区以后打到距离磁场区为 D 的竖直接收屏上。假如磁场始终垂直于环电流平面，求环电流顺时针方向的原子与逆时针方向的原子击打在接收屏上位置在 z 方向的距离 z_n。

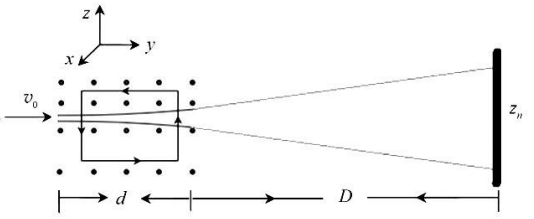

图 16b

（注：此题是模拟施特恩-盖拉赫实验条件的一个简化模型，实际实验装置的磁场分布与题设中的描述并不完全相符。）