

第 27 届全国中学生物理竞赛决赛试卷

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	总分
得分									
阅卷									
复核									

考 生 须 知

- 1、考生考试前请认真阅读本须知。
- 2、本试卷共八道题，总分为 140 分。第一道为填空题，包含 4 个小题，考生作答时只需将答案填写在各题的空格内即可；第二道至第八道为解答题，考生作答时请将解答写在题目下面的空白处。本试卷共十六页，每一页下面标出了该页的页码和试卷的总页数，请认真核对每一页的页码和总页数是否正确，每一页中是否有印刷不清楚的地方，发现问题请及时与监考老师联系。
- 3、试卷的密封线内和试卷背面一律不能写解答，所写的解答一律无效。
- 4、试卷各页已经装订在一起，严禁拆开。
- 5、考生可以用发的草稿纸打草稿，但需要阅卷老师评阅的内容一定要写到试卷上，阅卷老师只评阅试卷上的内容，写在草稿纸上的解答一律无效。

-----以下为试题-----

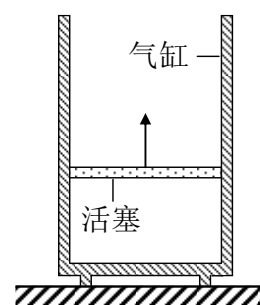
得分	
阅卷	
复核	

一、(25 分) 填空题

1. 一个粗细均匀的细圆环形橡皮圈，其质量为 M ，劲度系数为 k ，无形变时半径为 R 。现将它用力抛向空中，忽略重力的影响，设稳定时其形状仍然保持为圆形，且在平动的同时以角速度 ω 绕通过圆心垂直于圆面的轴线匀速旋转。这时它的半径应为_____。

2. 鸽哨的频率是 f 。如果鸽子飞行的最大速率是 u ，由于多普勒效应，静止观察者在无风的情况下可能观测到的频率范围是从_____到_____。设声速为 V 。

3. 如图所示，在一个质量为 M 、内部横截面积为 A 的竖直放置的绝热气缸中，用活塞封闭了一定温度 T_0 的理想气体。活塞也是绝热的，活塞质量以及活塞和气缸之间的摩擦力都可忽略不计。已知大气压强为 p_0 ，重力加速度为 g 。现将活塞缓慢上提，当活塞到达气缸开口处时，气缸刚好离开地面。已知理想气体在缓慢变化的绝热过程中 pV^γ 保持不变，其中 p 是气体的压强， V 是气体的体积， γ 是一已知常数。根据以上所述，可求得活塞到达气缸开口处时气体的温度为_____。



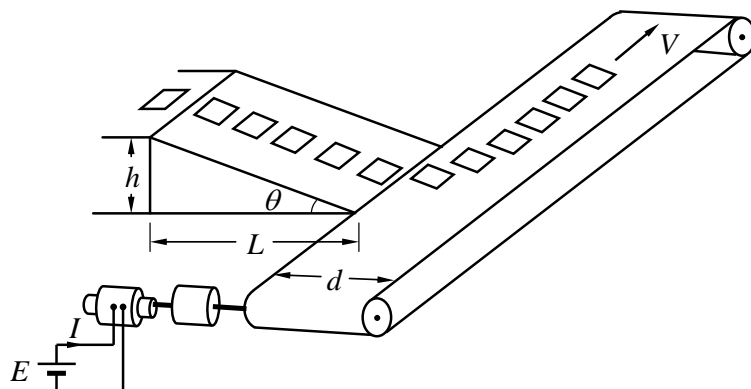
4. (本题答案保留两位有效数字) 在电子显微镜中，电子束取代了光束被用来“照射”被观测物。要想分辨 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ (即原子尺度) 的结构，则电子的物质波波长不能大于此尺度。据此推测电子的速度至少需被加速到_____。如果要想进一步分辨 $1.0 \times 10^{-12} \text{ m}$ 尺度的结构，则电子的速度至少需被加速到_____，且为使电子达到这一速度，所需的加速电压为_____。已知电子的静止质量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，电子的电荷量 $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，普朗克常量 $h = 6.7 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ，光速 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

得分	
阅卷	
复核	

二、(20 分) 图示为一利用传输带输送货物的装置. 物块(视为质点)自平台经斜面滑到一以恒定速度 V 运动的水平长传输带上, 再由传输带输送到远处目的地. 已知斜面高 $h=2.0\text{m}$, 水平边长 $L=4.0\text{m}$, 传输带宽 $d=2.0\text{m}$, 传输带的运动速度 $V=3.0\text{m/s}$, 物块与斜面间的摩擦系数 $\mu_1=0.30$, 物块自斜面顶端下滑的初速度为零, 沿

斜面下滑的速度方向与传输带运动方向垂直. 设斜面与传输带接触处为非常小的一段圆弧, 使得物块通过斜面与传输带交界处时其速度的大小不变. 重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$.

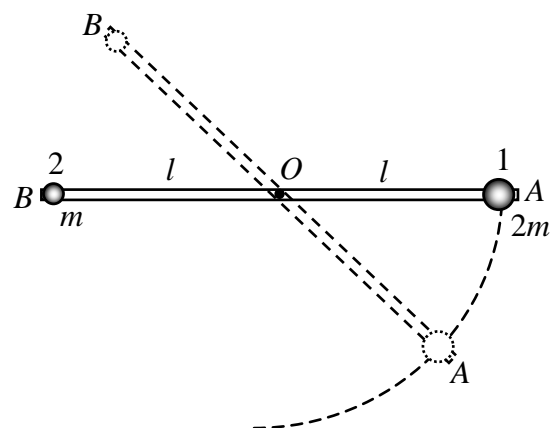
1、为使物块滑到传输带上后不会从传输带边缘脱离, 物块与传输带之间的摩擦系数 μ_2 至少为多少?



2、假设传输带由一带有稳速装置的直流电机驱动, 与电机连接的电源的电动势 $E=200\text{V}$, 内阻可忽略; 电机的内阻 $R=10\Omega$, 传输带空载(无输送货物)时工作电流 $I_0=2.0\text{A}$. 求当货物的平均流量(单位时间里输送的货物质量)稳定在 $\eta=\frac{640}{9}\text{kg/s}$ 时, 电机的平均工作电流等于多少? 假设除了货物与传输带之间的摩擦损耗和电机的内阻热损耗外, 其它部分的能量损耗与传输带上的货物量无关.

得分	
阅卷	
复核	

三、(20 分) 如图, 刚性细轻杆 (其质量可忽略) 可绕通过其中点 O 的光滑水平轴在竖直面内自由转动. 两质量分别为 $2m$ 和 m

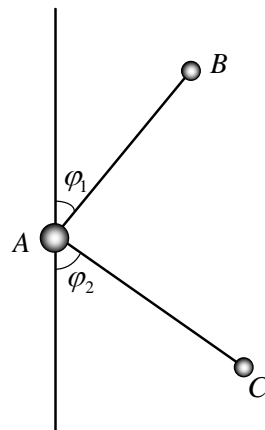


的小球 1 和 2 (可视为质点) 串在轻杆上, 它们与轻杆之间的静摩擦系数为 $\mu = 5\sqrt{3}/6$. 开始时轻杆静止在水平位置, 小球 1 和 2 分别位于紧靠轻杆两端点 A 和 B 的位置. 现让系统自水平位置以零初速下摆, 求

- 1、小球 1 脱离轻杆时的位置 (用小球 1 脱离杆时杆与水平线的夹角表示).
- 2、小球 2 脱离轻杆时的位置 (用小球 2 脱离杆时杆与水平线的夹角表示).

得分	
阅卷	
复核	

四、(15 分) 如图所示, A 、 B 、 C 为三个质点, A 的质量远远大于 B 、 C 的质量, B 和 C 的质量相等. 已知 A 、 B 之间、 A 、 C 之间存在相互吸引力, B 、 C 之间存在相互排斥力, 三个质点在相互间引力或斥力的作用下运动. 如果作用力合适, 可以存在一种如下形式的运动:



A 、 B 、 C 的相对位置固定, 它们构成一个平面, 三个质点绕着位于这个平面内的某条轴匀速转动; 因为质点 A 的质量远远大于 B 、 C 的质量, 可认为该转轴过质点 A 且固定不动; 连线 AB 与转轴的夹角 φ_1 与连线 AC 与转轴的夹角 φ_2 不相等, 且 $0 < \varphi_1 < \pi/2$, $0 < \varphi_2 < \pi/2$.

若 AB 之间吸引力的大小为 $f_{AB} = k|AB|^\alpha$, AC 之间吸引力的大小为 $f_{AC} = k|AC|^\alpha$, 其中 $|AB|$ 、 $|AC|$ 分别为 A 、 B 与 A 、 C 之间的距离, k 为比例系数. 不计重力的影响, 试问 α 的值在什么范围内, 上述运动才能实现?

得分	
阅卷	
复核	

五、(15 分) 南极冰架崩裂形成一座巨型冰山, 随洋流漂近一个城市. 有人设计了一个利用这座冰山来发电的方案, 具体过程为: (a) 先将环境中一定量的空气装入体积可变的容器, 在保持压强不变的条件下通过与冰山接触使容器内空气温度降至冰山温度; (b) 使容器脱离冰山, 保持其体积不变, 让容器中的冷空气从环境中吸收热量, 使其温度升至环境温度; (c) 在保持容器体积不变的情况下让空气从容器中喷出, 带动发电装置发电. 如此重复, 直至整座冰山融化. 已知环境温度 $T_a = 293\text{K}$, 冰山的温度为冰的熔点

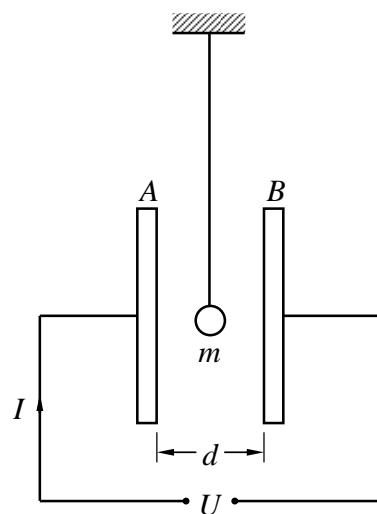
$T_i = 273\text{K}$, 可利用的冰山的质量 $m = 1.0 \times 10^{11}\text{kg}$. 为了估算可能获得的电能, 设计者做出

- 1) 空气可视为理想气体.
- 2) 冰的熔解热 $L = 3.34 \times 10^5 \text{J/kg}$; 冰融化成温度为 T_i 的水之后即不再利用.
- 3) 压强为 p 、体积为 V 的空气质量 $U = 2.5pV$.
- 4) 容器与环境之间的热传导良好, 可以保证喷气过程中容器中空气温度不变.
- 5) 喷气过程可分解为一连串小过程, 每次喷出的气体的体积都是 u , 且 u 远小于容器的体积. 在每个小过程中, 喷管中的气体在内外压强差的作用下加速, 从而获得一定动能 ΔE , 从喷嘴喷出. 不考虑喷出气体在加速过程中体积的改变, 并认为在喷气过程中容器内的气体压强仍是均匀的, 外部压强为大气压 p_a .
- 6) 假设可能获得的电能是 ΔE 总和的 45%.
- 7) 当 $|x| \ll 1$ 时, $\ln(1+x) \approx x$.

试根据设计者的假设, 计算利用这座冰山可以获得的电能.

得分	
阅卷	
复核	

六、(15 分) 如图, 两块大金属板 A 和 B 沿竖直方向平行放置, 相距为 d , 两板间加有恒定电压 U . 一表面涂有金属膜的乒乓球垂吊在两板之间, 其质量为 m . 轻推乒乓球, 使之向其中一金属板



运动, 乒乓球与该板碰撞后返回, 并与另一板碰撞, 如此不断反复. 假设乒乓球与两板的碰撞为非弹性碰撞, 其恢复系数为 e , 乒乓球与金属板接触的时间极短, 并在这段时间内达到静电平衡. 达到静电平衡时, 乒乓球所带的电荷量 q 与两极板之间电势差的关系可表示为 $|q| = C_0 U$, 其中 C_0 为一常

量. 同时假设乒乓球半径远小于两金属板间距 d , 乒乓球上的电荷不影响金属板上的电荷分布; 连接乒乓球的绳子足够长, 乒乓球的运动可近似为沿水平方向的直线运动; 乒乓球第一次与金属板碰撞时的初动能可忽略, 空气阻力可忽略. 试求

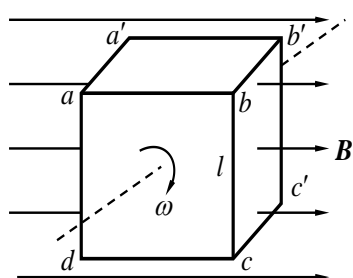
- 1、乒乓球运动过程中可能获得的最大动能.
- 2、经过足够长时间后, 通过外电路的平均电流.

得分	
阅卷	
复核	

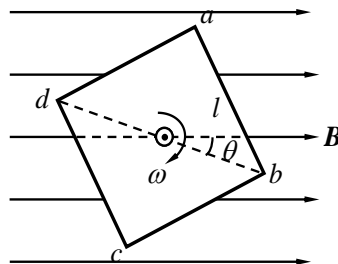
七、(20 分) 如图 (a) 所示, 十二根均匀的导线杆联成一边长为 l 的刚性正方体, 每根导线杆的电阻均为 R . 该正方体在匀强磁场中绕通过其中心且与 $abcd$ 面垂直的转动轴作匀速转动, 角速度为 ω . 已知磁感应强度大小为 B , 方向与转动轴垂直. 忽略电路的自感. 当正方体转动到如图 (b) 所示的位置 (对角线 db 与磁场方向夹角为 θ)

时, 求

- 1、通过导线 ba 、 ad 、 bc 和 cd 的电流.
- 2、为维持正方体作匀速转动所需的外力矩.



(a)

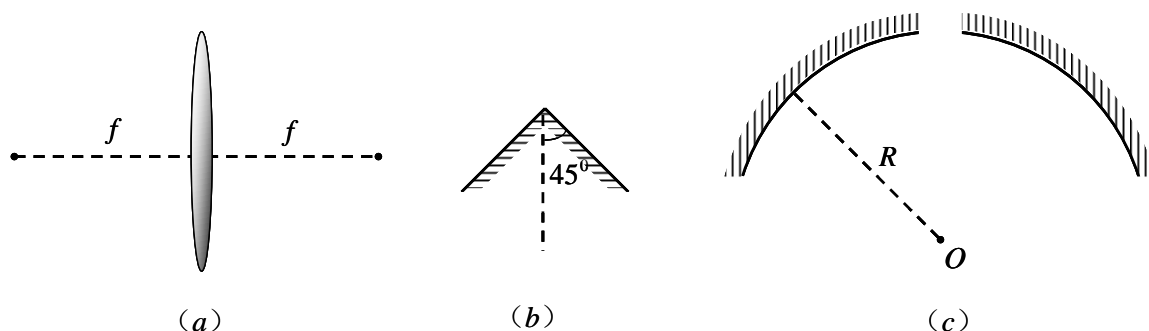


(b)

得分	
阅卷	
复核	

八、(10 分) 空心激光束是一种在传播方向上中心光强为零的圆筒形光束。由于这一特征，它可以把某些微小粒子约束在激光束的中心部位，作为激光导管、激光镊子、光学扳手等，实现对纳米粒子、生物细胞等微小粒子的精确操控。空心激光技术目前在生物学、激光加工、原子冷却等方面得到了广泛的应用，正逐渐成为一门新兴的学科分支。

产生空心激光束的基本做法是利用光学系统将一束实心的圆柱形激光转换成为一束空心的激光。给定如下光学器件：焦距为 f 的凸透镜，圆锥角为 45° 的锥面反射镜，半径为 R 的球面镜（中间有圆孔），如图：



利用上述光学器件设计一光学系统，使得一束很细的实心圆柱形入射激光转化成一束空心的出射激光，且空腔为圆柱形，半径为 r 。请回答如下问题：

- 1、画出该光学系统的光路图。
- 2、求该光学系统中锥面镜顶点到球面镜球心的距离 x 。

