

考生类别\_\_\_\_\_

# 第 33 届全国部分地区大学生物理竞赛试卷

北京物理学会编印

2016 年 12 月 11 日

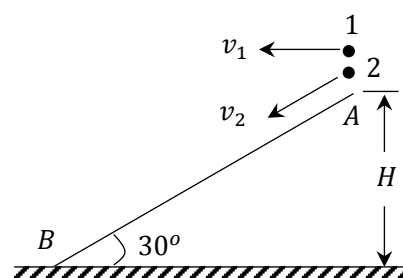
北京物理学会对本试卷享有版权, 未经允许, 不得翻印出版或用本试卷进行商业活动, 违者必究。

题号	一	二			
	1 ~ 10	11	12	13	14
分数					
阅卷人					
题号	三			总分	
	15	16	17		
分数					
阅卷人					

答题说明: 前 14 题是必做题, 满分是 120 分; 文管组和农林医组只做必做题; 除必做题外, 非物理 B 组限做 15 题, 满分 140 分; 非物理 A 组限做 15、16 题, 满分 160 分; 物理组限做 15、17 题, 满分 160 分。请同学们自觉填上与准考证上一致的考生类别, 若两者不符, 按废卷处理。请各组考生按上述要求做题, 多做者不加分, 少做者按规定扣分。

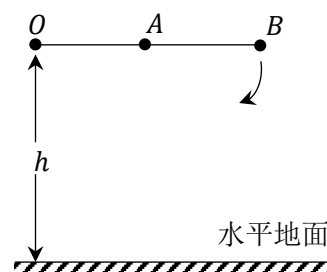
## 一、填空题 (必做, 共 10 题, 每题 2 空, 每空 3 分, 共 60 分)

1. 如图所示, 高  $H$ 、倾角  $30^\circ$  的光滑斜面顶端  $A$  处有两个质点。质点 1 以初速度  $v_1$  水平朝左抛出, 质点 2 同时以初速度  $v_2$  沿斜面下滑。设质点 1、2 同时到达斜面底端  $B$  处, 则  $v_1 =$  \_\_\_\_\_,  $v_2 =$  \_\_\_\_\_。



2. 质量  $m = 0.5 \text{ mg}$  (毫克) 的跳蚤, 腿长  $l = 0.4 \text{ mm}$ 。开始时身体和腿都贴在地面上, 起跳的过程中腿向上伸展, 最终以  $v = 1 \text{ m/s}$  竖直向上的速度离开地面。过程中跳蚤整体向上加速度处理为常量, 过程所经时间为 \_\_\_\_\_ s (秒), 过程中腿的平均输出功率为 \_\_\_\_\_ W (瓦)。(答案均取 1 位有效数字)

3. 质量  $m$ 、长度  $2l$  的匀质细杆  $OAB$ , 开始时如图所示, 处于水平静止状态。将细杆自由释放后, 细杆可绕着通过  $O$  端的水平光滑固定转轴摆动。细杆  $B$  端刚到达最低处时, 转轴提供的向上支持力  $N =$  \_\_\_\_\_。若  $B$  端到达最低位置后瞬间, 细杆中央  $A$  处突然断开, 杆的下半段继续运动, 转过  $180^\circ$  后  $A$  端恰好着地, 则转轴  $O$  距水平地面高度  $h =$  \_\_\_\_\_。



4. 参考多普勒效应示意图, 波源  $S$  的振动频率为  $\nu_0$ 。  $S$  朝着接收者  $B$  运动, 在介质参考系中速度大小为  $v_s$ ; 机械波在介质中的传播速度为  $u$ , 接收者  $B$  朝着  $S$  运动在介质参考系中速度大小为  $v_B$ 。则当  $u > v_s > 0$ ,  $v_B = 0$  时,  $B$  的接

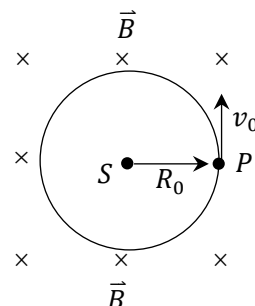


收频率  $\nu_1 =$  \_\_\_\_\_；当  $\nu_s = 0$ ， $\nu_B > 0$  时，B 的接收频率  $\nu_2 =$  \_\_\_\_\_。

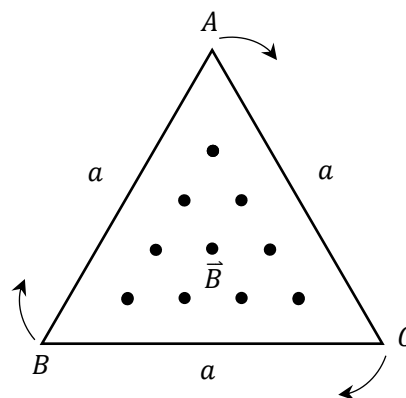
5. 理想气体平衡态的麦克斯韦速度分布函数  $f_M(\vec{v})$  和速率分布函数  $F_M(v)$  分别为 \_\_\_\_\_。设大气温度处处为  $T$ ，将地面大气压强记为  $p_0$ ，则距地面高度为  $h$  处大气压强  $p(h) =$  \_\_\_\_\_。

6. 热力学第二定律的克劳修斯表述为 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_；开尔文表述为 \_\_\_\_\_。

7. 题图所在平面为某个光滑水平面， $S$  处固定着一个负电荷，空间有匀强磁场，磁感应强度方向垂直图平面朝里，大小为  $B$ 。一个比荷（电量与质量之比）为  $\gamma$  的带正电光滑球  $P$ ，绕着  $S$  在此平面做半径为  $R_0$  的逆时针方向匀速圆周运动，则运动速率  $v_0$  取值的可能范围为 \_\_\_\_\_。取消磁场  $\vec{B}$ ，若  $P$  仍可以相同速率  $v_0$  绕着  $S$  在此平面上做半径为  $R$  的顺时针方向匀速圆周运动，则  $R =$  \_\_\_\_\_。



8. 如图所示，每边长为  $a$  的等边三角形区域内有匀强磁场，磁感应强度  $\vec{B}$  的方向垂直图平面朝外。每边长为  $a$  的等边三角形导体框架  $ABC$ ，在  $t = 0$  时恰好与磁场区的边界重合，而后以周期  $T$  绕其中心沿顺时针方向匀速旋转，于是在框架  $ABC$  中有感应电流。规定电流按  $A - B - C - A$  方向流动时电流强度取为正，反向流动时取为负。设框架  $ABC$  的总电阻为  $R$ ，则从  $t = 0$  到  $t_1 = T/6$  时间内平均电流强度  $\bar{I}_1 =$  \_\_\_\_\_；从  $t = 0$  到  $t_2 = T/2$  时间内平均电流强度  $\bar{I}_2 =$  \_\_\_\_\_。



9. 如图 1 所示，三条边长各为  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$  的均匀长方体电阻块，电流从左侧表面  $A$  均匀流到右侧表面  $B$ ，已测得其电阻为  $R_{AB} = 10 \Omega$ 。若将其各边长都增大一倍，则此时相应的电阻  $R_{AB1} =$  \_\_\_\_\_。如图 2 所示，每边长为  $l$  的匀质正方形电阻薄平板，已测得  $A'$ 、 $B'$  两端间电阻  $R'_{AB} = 5 \Omega$ 。若将每边长都增为  $2l$ ，质材不变，则此时相应的电阻  $R'_{AB2} =$  \_\_\_\_\_。

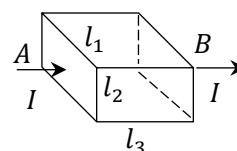


图 1

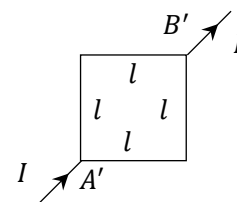
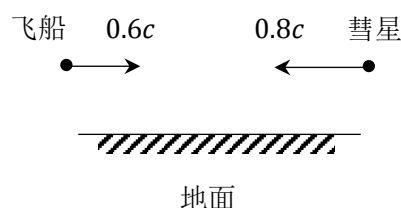


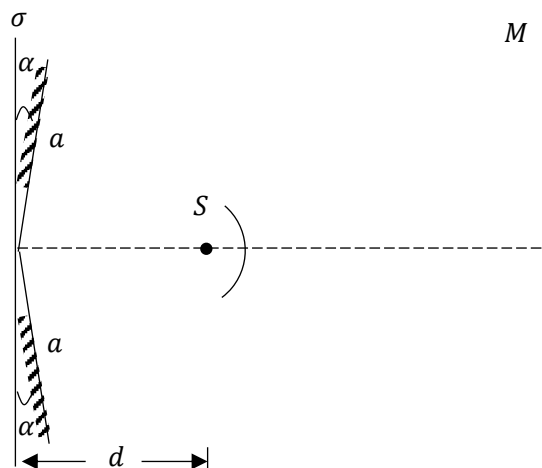
图 2

10. 如图所示，一艘无人飞船和一颗彗星相对地面参考系，分别以  $0.6c$  和  $0.8c$  的速度面对面地运动。地面系时钟读数  $t_s = 0$  时，恰好飞船时钟读数也为  $t = 0$ 。地面系认为  $t_s = 5 \text{ s}$ （ $s$  表示秒）时，飞船会与彗星相撞。飞船则认为  $t =$  \_\_\_\_\_  $s$  时，自己会与彗星相撞，而且飞船在  $t = 0$  时认为彗星与它相距 \_\_\_\_\_  $\text{cs}$ （光秒）。



## 二、计算题（必做，共4题，每题15分，共60分）

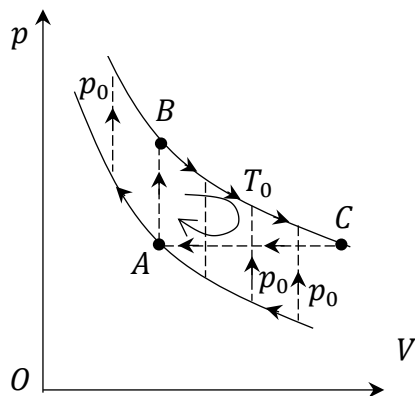
11.（15分）如图所示，两块相同的平面镜之间的夹角为 $\pi - 2\alpha$ ，其中 $\alpha$ 为每一块平面镜与空间 $\sigma$ 平面之间的夹角。在两个平面镜夹角的角平分面上放置单色线光源 $S$ ，它与两平面镜交线的距离为 $d = 20\text{cm}$ 。图中屏幕 $M$ 与平面 $\sigma$ 平行且被放置在足够远处（解答时处理为无穷远），设 $\alpha = 0.1\text{rad}$ ，光源 $S$ 发出的光线不能直射到 $M$ 上，试问平面镜宽度 $a$ 最小为多少时，在 $M$ 上必能有干涉图样？（结果保留一位有效数字）



12.（15分）某单原子分子理想气体的压缩过程如图中左下方的过程曲线所示。将此过程每一个状态的压强量朝上平移 $p_0$ 量，保持体积不变，平移所得曲线恰好是温度为 $T_0$ 的等温压缩线。

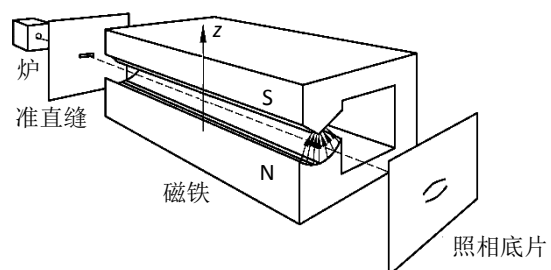
（1）试导出左下方过程曲线内含的吸热区域（定义为其中每一个无穷小过程都是吸热过程的区域）和放热区域（其中每一个无穷小过程都是放热的区域），要求这两类区域均取坐标量 $p$ 的取值范围来界定。

（2）将吸、放热区域的转换点记为 $A$ ，它在 $T_0$ 等温线上对应的点已在图中记为 $B$ 。从 $A$ 点朝右作等压线，后者与 $T_0$ 等温线交于图中 $C$ 点，试求图中热循环过程 $ABCA$ 的效率 $\eta_{ABCA}$ 。（取 $\ln \frac{5}{3} = 0.51$ ，答案取1位有效数值）



13. (15 分) 施特恩-盖拉赫实验装置如图所示，炉中的银蒸汽经准直缝后形成银原子细束，经过一个抽成真空的不均匀磁场区域，磁场沿垂直于原子束的  $z$  轴方向，最后到达照相底片形成两条对称的分立痕迹。银原子由原子核与内层电子所形成的“原子实”和最外层的一个价电子组成，炉中银蒸汽中的银原子处于基态，原子实是球对称的，价电子绕核运动的轨道角动量等于 0，对磁矩没有贡献，因此银原子的磁矩就是价电子的自旋磁矩  $\vec{\mu}$ ，实验结果表明：

电子自旋磁矩在  $z$  轴方向上的分量只有两个值  $\pm\mu_B$ ，其中  $\mu_B$  被称为玻尔磁子。



设实验中炉温恒为  $T$ ，银原子以该温度下的平均速率通过准直缝，沿银原子束方向的磁极长度为  $L$ ，横向（即图中  $z$  轴方向）不均匀磁场梯度的大小最大为  $G$ 。忽略重力，不计照相底片与磁铁间的距离，求银原子到达照相底片上的痕迹偏离中心的最大距离。

14.（15 分）请按顺序解答下面两个问题。

（1）质量为  $M$ 、半径为  $R$ 、厚度可忽略的圆盘，沿着它的某一直径开成一条很窄的光滑通道。假设通道中的一个自由质点能够仅在圆盘万有引力作用下作简谐振动，且振动中心即为圆心，试给出圆盘的一种面密度分布。

（2）保留（1）中原圆盘通道，但使质量面密度增加 1 倍成为质量等于  $2M$  的新圆盘，再将新圆盘割分为半径为  $R'$  的小圆盘与内、外半径分别为  $R'$ 、 $R$  的圆环，使得两者质量均为  $M$ 。引入三个时间量如下：

$T_1$ ：自由质点从（1）中原圆盘直径通道的一个端点自静止出发形成的振动周期；

$T_2$ ：自由质点从新圆盘直径通道位置的一个端点自静止出发，在取走圆环后，即仅在小圆盘万有引力作用下形成的振动的周期；

$T_3$ ：自由质点从新圆盘直径通道位置的一个端点自静止出发，在取走小圆盘后，即仅在圆环的万有引力作用下形成的振动周期。

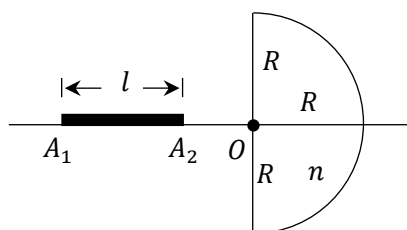
请分析地用等号或不等号建立  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  间的大小关系。

（做数值判断时，可用如下近似： $\sqrt[3]{4} \approx 1.59$ ， $\sqrt{10} \approx 3.16$ ）



### 三、限做题（根据考生类别选做）

15. (20 分) 如图所示, 有一半径  $R = 0.128 \text{ m}$  的玻璃半球, 在其主光轴放一长  $l = 0.20 \text{ m}$  的条形物  $A_1A_2$ 。只考虑近轴光线成像, 在图中主光轴上可同时观察到  $A_1A_2$  的两个像, 它们分别是经玻璃半球的平面和凹球面反射而得。并且, 当条形物的  $A_2$  端与半球面中心  $O$  相距  $\overline{OA_2} = 0.020 \text{ m}$  时, 两个像恰好无重叠地连接在一起, 试求玻璃半球的折射率。(答案取 1 位有效数字。)

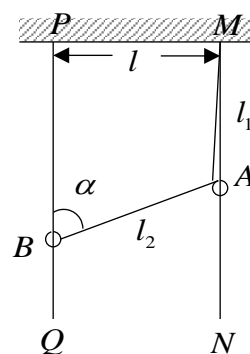


解题时, 只可取用下述在近轴条件下成立的球面反射和球面折射成像公式:

$$\text{球面反射成像: } \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \begin{cases} \frac{2}{R} & \text{凹球面} \\ -\frac{2}{R} & \text{凸球面} \end{cases} \quad R: \text{球面半径、} u: \text{物距、} v: \text{像距}$$

$$\text{球面折射成像: } \frac{n_u}{u} + \frac{n_v}{v} = \begin{cases} \frac{n_v - n_u}{R} & \text{凸球面} \\ \frac{n_v - n_u}{-R} & \text{凹球面} \end{cases} \quad n_u: \text{物光所在空间介质折射率} \\ n_v: \text{像光所在空间介质折射率}$$

16. (20 分) 系统如图所示,  $MN$  和  $PQ$  是两根固定光滑竖直平行直杆, 两者相距  $l$ , 轻绳长  $L > l$ , 上端固定在  $M$  点, 绳穿过光滑小环  $A$  后连接在小环  $B$  上, 环  $A$ 、 $B$  质量同为  $m$ 。图中两段绳长  $l_1$ 、 $l_2$  与  $L$  的关系为  $L = l_1 + l_2$ , 图中  $\alpha$  为  $l_2$  绳段与  $PQ$  杆间的夹角。



(1) 取  $L > \frac{2}{\sqrt{3}}l$ , 假设系统仅在重力、绳的张力和直杆提供的水平方向支持力作用下, 处于图示  $\alpha$  角位置时为平衡态, 试求  $\alpha$  值, 并判定该平衡态的稳定性。为提升阅卷效率, 本题全部设问中一致规定, 绳段伸直且  $l_1 = 0$  时系统所处状态的重力势能取为零值。

(2) 设  $L > l$ , 只讨论  $A$  在  $B$  的上方朝下运动,  $B$  在  $A$  的下方朝上运动的过程。再设此过程中仅在重力、绳的张力和直杆提供的水平方向支持力作用下, 绳段  $MA$  和  $AB$  始终会处于伸直状态, 即  $L = l_1 + l_2$  始终成立。

(2.1) 确定  $l_1$  可取值范围;

(2.2) 将  $\alpha$  角对应的  $A$  下行速度、加速度分别记为  $v_A$ 、 $a_A$ , 试求此时  $B$  的上行速度、加速度  $v_B$ 、 $a_B$ , 答案用  $l$ 、 $\alpha$ 、 $v_A$ 、 $a_A$  表述。

(3) 取  $L = 2l$ , 开始时  $l_1 = 0$ ,  $A$ 、 $B$  静止, 系统自由释放后, 假设系统过程能如 (2) 问所述。

(3.1) 试求系统自由释放后瞬间的  $v_A$ 、 $v_B$ ,  $a_A$ 、 $a_B$  和绳中张力  $T$ , 答案用  $l$ 、 $g$  和  $m$  表述;

(3.2) 试求  $\alpha$  第一次达到  $60^\circ$  时的  $v_A$ 、 $v_B$ ,  $a_A$ 、 $a_B$  和绳中张力  $T$ , 答案用  $l$ 、 $g$  和  $m$  表述;

(3.3) 再求  $\alpha$  第一次无限接近  $90^\circ$  时的  $v_A$ 、 $v_B$ ,  $a_A$ 、 $a_B$  和绳中张力  $T$ , 答案用  $l$ 、 $g$  和  $m$  表述;



考场	姓名	准考证号	所在学校
----	----	------	------



## 17. (20 分)

**引言:** 如图 1 所示, 某竖直平面上有水平朝内的匀强磁场  $\vec{B}$ , 匀质金属矩形框架  $ABCD$  以  $AB$  边取水平状态在该竖直平面内自由下落。略去空气阻力, 试问框架下落加速度是否仍为  $g$ ?

细致地分析, 框架下落过程中, 内部自由电子和正离子分别受到朝左和朝右的磁场力。整体所受水平力可以抵消, 但自由电子必定会朝左运动, 形成电流。此电流所受磁场安培力朝上, 使框架下落加速度因此稍小于  $g$ 。自由电子的迁移, 在四根杆的左侧面累积负电荷, 右侧面累积正电荷, 框架内出现电场, 进而影响电子的迁移速度和电流。框架下落速度的变化也会影响自由电子的迁移速度、侧面电荷的累积以及框架内的电场结构。定量讨论框架下落加速度和速度的变化, 困难较大。为对框架下落加速度必定会小于  $g$  的定性结论作简单的量化讨论, 特用长方导体块取代图 1 中的框架, 设置题目如下。

**题文:** 如图 2 所示, 质量密度为  $\rho_m$ 、电阻率为  $\rho$  的长方导体块  $ABCD$ ,  $t=0$  时刻以  $AB$  面处于水平方位的静止状态自由释放, 空间有垂直于导体块前后表面朝内的匀强磁场  $\vec{B}$ 。略去空气阻力, 不考虑导体块落地的可能性。再设导体块的  $AD$  面和  $CD$  面足够大, 在讨论的时间范围内  $\rho$  可处理为常量, 导体块内的电场可处理为随时间变化的匀强电场。略去导体块内电流的磁场、略去电场变化激发起的磁场。

(1) 导出可解的关于  $BC$  面上电荷面密度  $\sigma = \sigma(t)$  的微分方程。

(2) 引入简化参量

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \left( \frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{B^2}{\rho_m} \right)$$

(2.1) 求解  $\sigma = \sigma(t)$  函数, 答案中只可出现参量  $g$ 、 $B$ 、 $\alpha$ 、 $t$ ;

(2.2) 求解导体块下落加速度和速度随  $t$  变化的函数:

$$a = a(t), \quad v = v(t)$$

答案中只可出现参量  $g$ 、 $B$ 、 $\alpha$ 、 $t$ 。

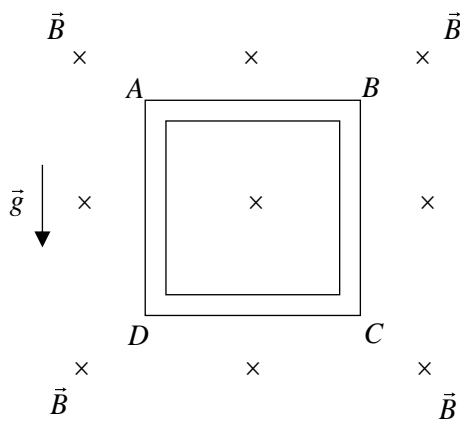


图 1

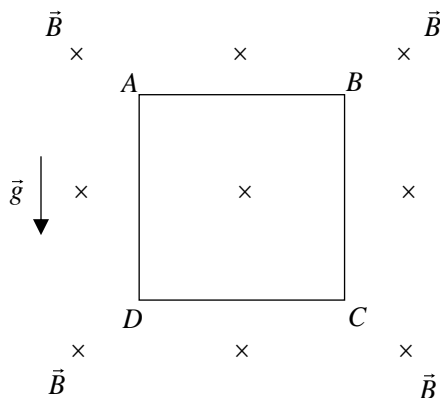


图 2

