

第 29 届全国中学生物理竞赛决赛考试试卷

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

考生须知

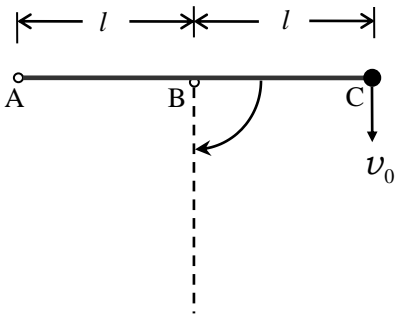
- 1、考生考试前务必认真阅读本须知。
- 2、本次考试时间为 3 个小时。
- 3、本试卷从本页开始，共 8 张（16 页），含八道大题，总分为 140 分。试卷的每一页下面标出了该页的页码和试卷的总页数，请认真核对每一页的页码和总页数是否正确，每一页中是否有印刷不清楚的地方，发现问题请及时与监考老师联系。
- 4、每道试题后面留有空白，请在每题后面的空白处写相应题目的解答。
- 5、填空题的答案必须填在题中给定的横线上方空格内。
- 6、计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，只写出最后结果的不能得分。有数值计算的，答案中必须明确写出数值和单位。
- 7、试卷的密封线内和背面不允许答题。
- 8、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本试卷相应题目后面的空白处；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-----

一、（15 分）

得分	阅卷	复核

如图所示，竖直的光滑墙面上有 A 和 B 两个钉子，二者处于同一水平高度，间距为  $l$ 。有一原长为  $l$ 、劲度系数为  $k$  的轻橡皮筋，一端由 A 钉固定，另一端系有一质量为  $m = kl/(4g)$  的小球，其中  $g$  为重力加速度。钉子和小球都可视为质点，小球和任何物体碰撞都是完全非弹性碰撞而且不发生粘连。现将小球水平向右拉伸到与 A 钉距离为  $2l$  的 C 点，B 钉恰好处于橡皮筋下面并始终与之光滑接触。初始时



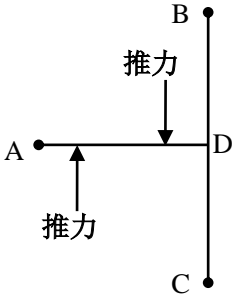
刻小球获得大小为  $v_0 = \sqrt{gl}/2$ 、方向竖直向下的速度，试确定此后小球沿竖直方向的速度为零的时刻。



二、(20 分)

得分	阅卷	复核

如图所示，三个质量均为  $m$  的小球固定于由刚性轻质杆构成的丁字形架的三个顶点 A、B 和 C 处。AD  $\perp$  BC，且 AD = BD = CD =  $a$ ，小球可视为质点，整个杆球体系置于水平桌面上，三个小球和桌面接触，轻质杆架悬空。桌面和三小球之间的静摩擦和滑动摩擦因数均为  $\mu$ ，在 AD 杆上距 A 点  $a/4$  和  $3a/4$  两处分别施加一垂直于此杆的推力，且两推力大小相等、方向相反。



1. 试论证在上述推力作用下，杆球体系处于由静止转变为运动的临界状态时，三球所受桌面的摩擦力都达到最大静摩擦力；
2. 如果在 AD 杆上有一转轴，随推力由零逐渐增加，整个装置将从静止开始绕该转轴转动。问转轴在 AD 杆上什么位置时，推动该体系所需的推力最小，并求出该推力的大小。



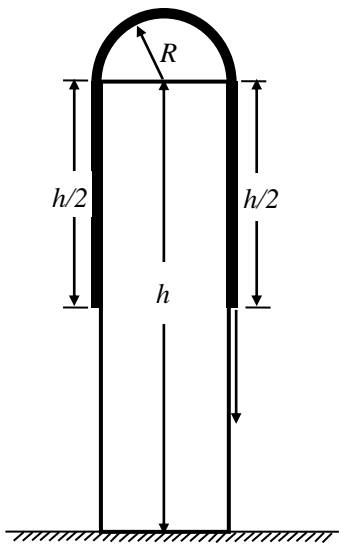
线  
封  
密  
线  
封  
密

三、(20 分)

得分	阅卷	复核

不光滑水平地面上有一质量为  $m$  的刚性柱体, 两者之间的摩擦因数记为  $\mu$ . 柱体正视图如图所示, 其下部为一高度为  $h$  的矩形, 上部为一半径为  $R$  的半圆形. 柱体上表面静置一质量同为  $m$  的均匀柔软的链条, 链条两端距地面的高度均为  $h/2$ , 链条和柱体表面始终光滑接触. 初始时, 链条受到微小扰动而沿柱体右侧面下滑. 试求在链条开始下滑直至其右端接触地面之前的过程中, 当题中所给参数满足什么关系时,

1. 柱体能在地面上滑动;
2. 柱体能向一侧倾倒;
3. 在上述两条件满足的情形下, 柱体滑动先于倾倒发生.

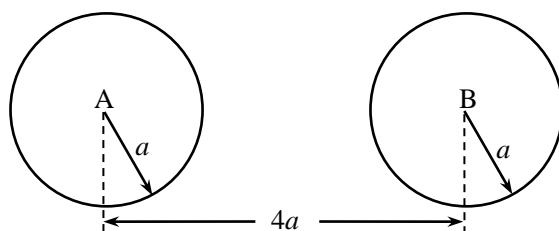




#### 四、(20 分)

得分	阅卷	复核

如图所示,在一光滑水平圆桌面上有两个质量、电荷都均匀分布的介质球,两球半径均为  $a$ , A 球质量为  $m$ , 所带电荷量为  $Q$ , B 球质量为  $4m$ , 所带电荷量为  $-4Q$ . 在初始时刻,两球球心距为  $4a$ , 各有一定的初速度,以使得两球在以后的运动过程中不发生碰撞,且都不会从圆桌面掉落. 现要求在此前提下尽量减小桌面面积,试求



1. 两球初速度的方向和大小;
2. 圆桌面的最小半径.

假设两球在运动过程中,其所带电荷量始终保持均匀分布;桌面也不发生极化效应. 已知两个均匀带电球之间的静电相互作用力,等于电荷集中在球心的两个点电荷之间的相互作用力;静电力常量为  $k_e$ .

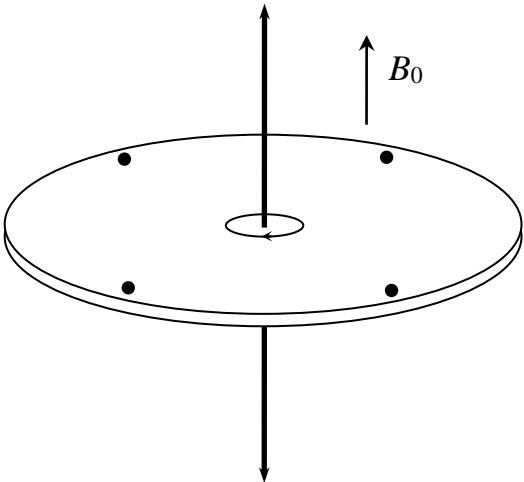




五、(20 分)

得分	阅卷	复核

如图所示，一半径为  $R$  的轻质绝缘塑料薄圆盘水平放置，可绕过圆盘中心的竖直固定轴无摩擦地自由转动。一半径为  $a$  的轻质小圆线圈( $a \ll R$ )固定在盘面上，圆线圈与圆盘共轴。在盘边缘处等间隔地固定 4 个质量均为  $m$  的带正电的金属小球，每个小球所带电荷量均为  $q$ 。此装置处在一磁感应强度大小为  $B_0$ 、方向竖直向上的均匀强磁场中。初始时圆盘静止，圆线圈中通有恒定电流  $I$ ，方向沿顺时针方向(从上往下看)。若切断圆线圈中的电流，则圆盘将发生转动。求薄圆盘转动后，圆盘在水平方向对每个金属小球的作用力的大小。



假设金属小球可视为质点，不计小圆线圈的自感和带电金属小球因运动所产生的磁场。已知固定在圆盘面上的半径为  $a$ 、通有电流  $I$  的圆线圈在圆盘平面内、距线圈圆心的距离为  $r$  处( $r \gg a$ )产生的磁场的磁感应强度的大小为  $B = k_m \frac{2\pi a^2 I}{r^3}$ ，式中  $k_m$  为已知常量，当线圈中的电流沿顺时针方向时，磁场方向垂直于圆盘平面且竖直向上。静电力常量为  $k_e$ 。

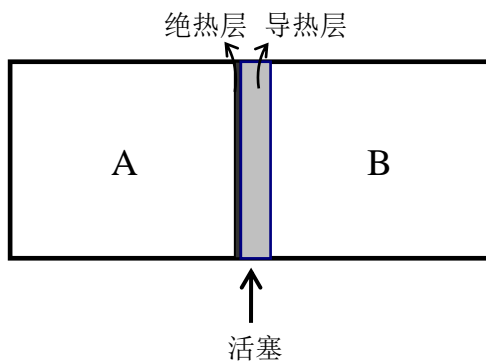


## 六、(15 分)

得分	阅卷	复核

如图，一水平放置的刚性密闭气缸，缸壁是绝热的，活塞把气

缸内空间分为两个体积相同的密闭室 A 和 B. 活塞由一层热容量很小（略去其影响）、导热良好的材料（与气缸壁有摩擦）和一薄层绝热材料（与气缸壁没有摩擦）压制而成，绝热层在 A 室一侧. 初始时，A 室和 B 室充有绝对温度均为  $T_0$  的同种多原子分子理想气体，A 室气体压强是 B 室气体压强的 4 倍. 现释放活塞，活塞由于其导热部分与汽缸壁之间存在摩擦而运动缓慢，最后停止在平衡位置（此时活塞与缸壁间无静摩擦）.



已知气缸中的气体具有如下特性：在温度高于某个临界温度  $T_d (> T_0)$  时，部分多原子气体分子将发生分解，一个多原子分子可以分解为另外两个相同的多原子分子. 被分解的气体摩尔数与发生分解前气体总摩尔数之比  $\alpha$  满足关系  $\alpha = \beta(T - T_d)$ ，其中  $\beta = 2.00T_0^{-1}$ . 分解过程是可逆的，分解 1 摩尔分子所需能量  $\phi = CT_0/10$ ，1 摩尔气体的内能与绝对温度  $T$  的关系为  $u = CT$  ( $C$  是与气体的种类无关的常量). 已知当压强为  $P$ 、体积为  $V$  的这种气体绝热缓慢膨胀时， $PV^\gamma = \text{常量}$ ，其中  $\gamma = 4/3$ .

1. 对于具有上述特性的某种气体，若实验测得在上述过程结束时没有任何分子发生了分解，求这种分子发生分解的临界温度  $T_d$  的可能值；

2. 对于具有上述特性的另一种气体，若实验测得在上述过程结束时有  $\alpha = 10.0\%$  的分子分解了，求这种分子发生分解的临界温度  $T_d$ .



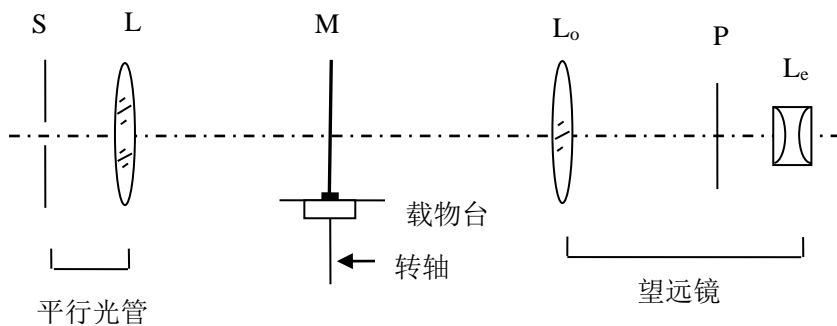
七、(15 分)

得分	阅卷	复核

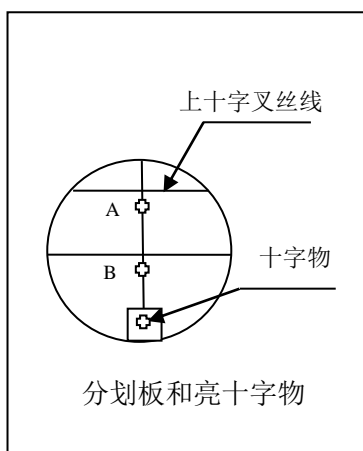
如图一所示的光学系统是由平行光管、载物台和望远镜组成. 已知望远镜物镜  $L_0$  的焦距为  $16.00\text{cm}$ . 在  $L_0$  的焦平面  $P$  处, 放置带十字叉丝线的分划板和亮十字物, 如图二所示. 在载物台上放置双面平行的平面镜  $M$ , 通过望远镜的目镜  $L_e$  观察时, 能同时清楚地看到分划板上的十字叉丝线和十字物经过  $L_0$  折射、 $M$  反射、再经  $L_0$  折射后在分划板上所成的十字像, 十字像位于  $A$  点, 与上十字叉丝线的距离为  $5.2\text{mm}$ . 绕载物台转轴 (沿竖直方向) 转动载物台, 使平面镜转  $180^\circ$ , 此时十字像位于  $B$  点, 与上十字叉丝线的距离为  $18.8\text{mm}$ . 根据以上情况和数据可计算出, 此时望远镜光轴与水平面的夹角为 \_\_\_\_\_  $\text{rad}$ ; 据此结果, 调节望远镜, 使其光轴与载物台的转轴垂直.

平行光管是由十字缝  $S$  和凸透镜  $L$  组成. 去掉光学系统中的平面镜  $M$ , 并用钠光灯照亮  $S$ . 沿水平方向移动  $S$ , 当  $S$  到平行光管中的透镜  $L$  距离为  $8.25\text{cm}$  时, 通过望远镜目镜能清楚地看到十字缝的像成在分划板中心十字叉丝线上, 由此可以推知,  $L$  的焦距等于 \_\_\_\_\_  $\text{cm}$ .

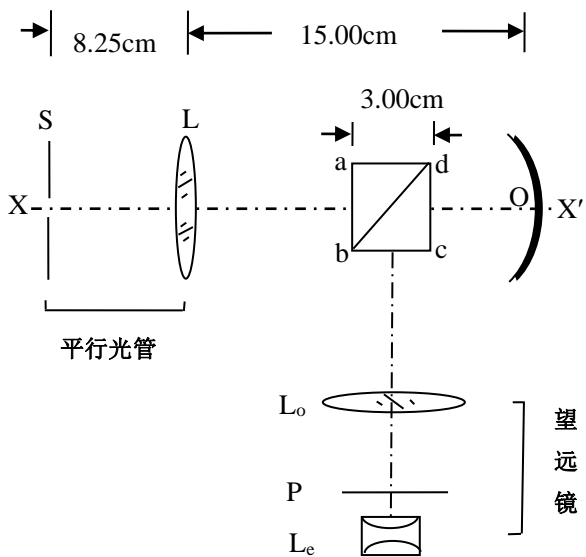
将载物台平面调至与载物台的转轴垂直, 在载物台上放置长、宽、高均为  $3.00\text{cm}$ 、折射率为  $1.52$  的分束棱镜  $abcd$  (分束棱镜是由两块直角三棱镜密接而成, 接触面既能透光又能反光) 和待测凹球面镜, 其顶点  $O$  到  $L$  的距离为  $15.00\text{cm}$ , 并保证分束棱镜的  $ab$  面与图三中的  $XX'$  轴垂直、凹球面镜的光轴与图三中的  $XX'$  轴重合; 再将望远镜绕载物台的转轴转  $90^\circ$ , 如图三所示. 向右移动  $S$ , 当  $S$  移动的距离为  $3.75\text{cm}$  时, 通过望远镜目镜刚好能看清楚十字缝  $S$  的像成在分划板中心十字叉丝线上. 试求凹球面镜的曲率半径.



图一



图二



图三

八、(15 分)

得分	阅卷	复核

在处理微观物理问题时，经常接触到诸如电子质量  $m_e$ 、质子电荷量  $e$  及普朗克常量  $h$  等基本物理常量。在国际单位制中，这些物理常量的数值都很小，给相关的数值计算带来不便。为了方便起见，在微观物理领域引入所谓“原子单位制”，规定电子质量为质量单位， $\hbar$  ( $\hbar = h/2\pi$ ) 为角动量单位，质子电荷量的  $\sqrt{k_e}$  倍为电荷量单位，其中常数  $k_e$  和国际单位制中的静电力常量取值相同。按如上定义规定了质量、电荷量和角动量的基本单位后，在“原子单位制”中其它物理量的单位可用相关物理公式导出。如果在“原子单位制”下，长度、时间和能量的单位用符号  $L_{au}$ 、 $T_{au}$  和  $E_{au}$  表示，试从玻尔氢原子模型推出三者分别与米、秒和焦耳的换算关系。结果用  $k_e$ 、 $m_e$ 、 $e$  和  $h$  等常量表示。

