

# 36 届全国中学生物理竞赛预赛试卷 (北京赛区)

本卷共 15 题，时间 120 分钟，满分 200 分。

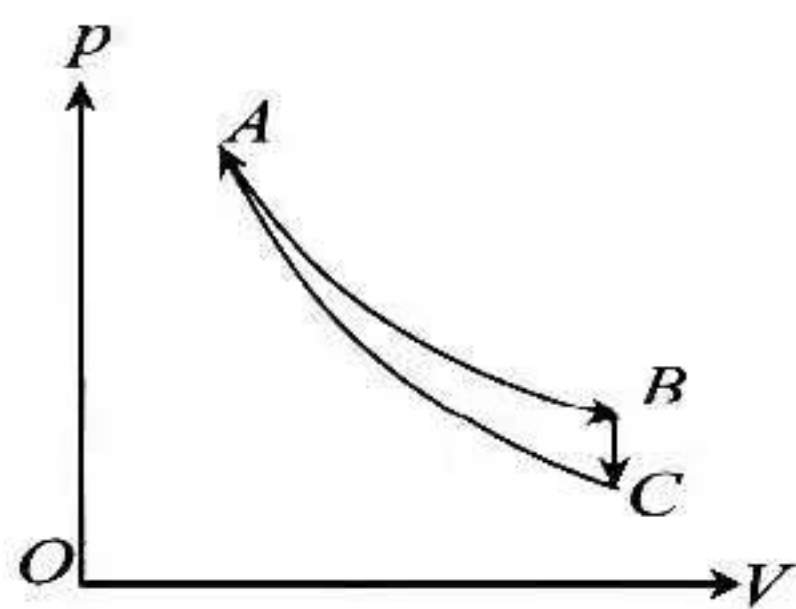
题号	1-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	总分
分数											
复核											

得分	评卷

一、选择题（共 36 分）。本题共 6 小题，每小题 6 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。把符合题意的选项前面的英文字母写在每小题后面的方括号内。全部选对的 6 分，选对但不全得 3 分，有选错或不答的得 0 分。

- 2015 年诺贝尔奖颁发给了梶田隆章 (Takaaki Kajita) 和阿瑟·B·麦克唐纳 (Arthur B. McDonald)，奖励他们分别身为各自团队中的核心研究者，和同事一起发现了中微子振荡，在粒子物理领域开辟了新的疆土。一种常见的探测中微子的方法是在氢核（即质子）上俘获中微子，生成一个正电子和一个中子，称为反贝塔衰变反应 (IBD)。下面说法中正确的有 [ ]
  - 反应方程式可以写为  $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$ ，其中  $\bar{\nu}_e$  为反电子中微子
  - 中子和正电子的静质量之和大于质子静质量，中微子的静质量趋于 0
  - 自由的中子也可以进行衰变，产生中微子，反应方程式为  $n \rightarrow p + \bar{\nu}_e + e^-$
  - 如果被反应前质子是静止的，则产生的正电子和中子的动量之和不等于 0
- 5G 通信即将推广普及，我国自主研发设计的 5G 通信技术走在了世界的前列。5G 信号的频率分为两种，一种是 6GHz 以下，这个和我们目前的 2/3/4G 差别不算太大，还有一种频率在 24GHz 以上，对于这样的信号，下面说法正确的有 [ ]
  - 波长大约长 1cm
  - 波长越短准直性越好，绕射能力越弱
  - 频率越高可能加载的信息密度也越高
  - 这样频率的电磁波对人有致癌作用

3. 如图 1 所示, 一团理想气体经过了一个准静态过程的循环,  $A \rightarrow B$  是等温过程,  $B \rightarrow C$  是等容过程,  $C \rightarrow A$  是绝热过程. 下面说法正确的有 [ ]



- A.  $AB$  状态气体内能相等
- B. 整个循环过程外界对气体做功为正
- C.  $CA$  过程体系内能增加, 外界对体系做功为正
- D. 若气体为单原子分子理想气体, 则  $AC$  过程满足  $pV^{7/5}$  为常数

图 1

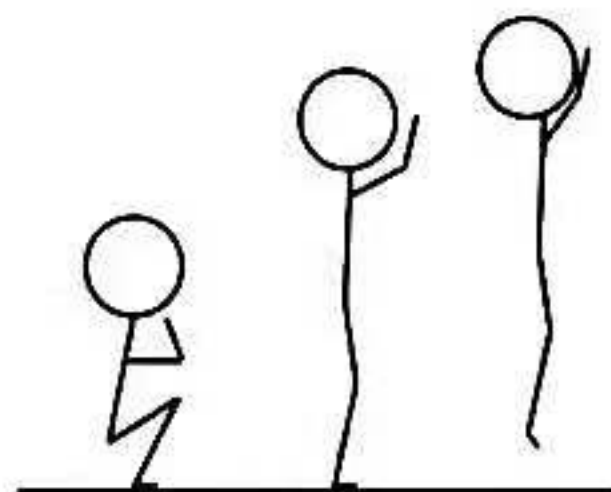
4. 如图 2 所示, 某同学经过一段时间练习, 掌握了利用在瓶中装不同高度的水, 在瓶口吹出不同频率声音, 以演奏乐曲的技巧. 以下说法中正确的有 [ ]



- A. 若瓶中水柱高度之比为 2:3:4, 则吹出来的声音频率之比也为 2:3:4
- B. 吹出来声音频率主要由在空气柱中声波形成的驻波频率来决定
- C. 空气驻波在水面附近是波节, 在瓶口附近是波腹
- D. 空气柱长度越长, 发出的声音频率越高

图 2

5. 如图 3 所示, 某同学经过一段时间练习, 掌握了跳高的技巧. 同学质量为  $m$ , 重力加速度为  $g$ . 在跳起的第一阶段, 脚没有离地, 经过一定时间, 重心上升  $h_1$ , 人质心获得速度  $v_1$ . 在第二阶段, 人躯干形态基本保持不变, 重心又上升了一段距离, 到达最高点. 以下说法中正确的有 [ ]



- A. 在第一阶段地面支持力给人的冲量为  $mv_1$
- B. 在第一阶段地面支持力对人做的功为  $mgh_1$
- C. 在整个过程中地面支持力对人做的总功为 0
- D. 在跳起的过程中存在人体肌肉中储存的化学能转化为机械能的过程

图 3

6. 某同学经过一段时间练习, 掌握了控制篮球的技巧. 如图 4 所示, 在距离地面一定高度的地方, 让其转动起来, 初速度为 0 释放, 和

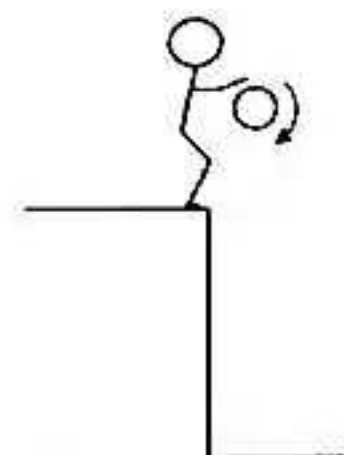


图 4

地面发生弹性碰撞，即在竖直方向速度大小不变. 下面说法中正确的有 [ ]

- A. 不考虑空气影响，地面有摩擦，则碰撞前后相比动能总量增加
- B. 不考虑空气影响，地面有摩擦，摩擦系数为  $\mu$ ，则篮球弹起瞬间，速度方向和竖直方向的夹角的最大可能值为  $\arctan \mu$
- C. 不考虑空气影响，地面光滑，则篮球一定竖直弹起
- D. 考虑空气影响，篮球的落点会比释放点偏右

二、填空题. 把答案填在题中的横线上. 只要给出结果，不需写出求得结果的过程.

得分	评卷

7. (12分) 如图5所示，我们以太阳为参照系，地球绕太阳的运动周期为  $T_1$ ，以地球为参照系，月球绕地球的运动周期为  $T_2$ ，则相邻两次月球--地球--太阳排列成几乎一条直线的时间差约为

\_\_\_\_\_ . 记地球绕太阳的轨道半径为  $r_E$ ，月球绕地球的轨道半径为  $r_M$  ( $r_E \gg r_M$ )，以太阳为参照系，月球运动过程，加速度的最小值和最大值的大小比例为\_\_\_\_\_ .

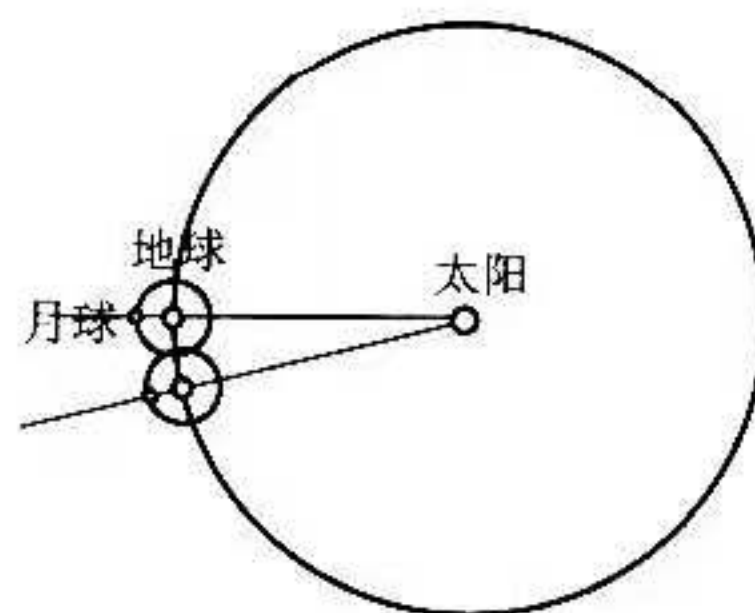


图5

得分	评卷

8. (12分) 如图6(a)所示，在一个立方体的网格中，每边上有一个大小为  $1\Omega$  的电阻，在  $ab$  和  $cd$  边上还有  $1V$  的电池，求  $ab$  两点的电压差  $U_a - U_b =$  \_\_\_\_\_ . 调整一下连接方式如图6(b)所示，把一个

电池改加在  $ae$  上，求  $ab$  两点的电压差  $U_a' - U_b' =$  \_\_\_\_\_ .

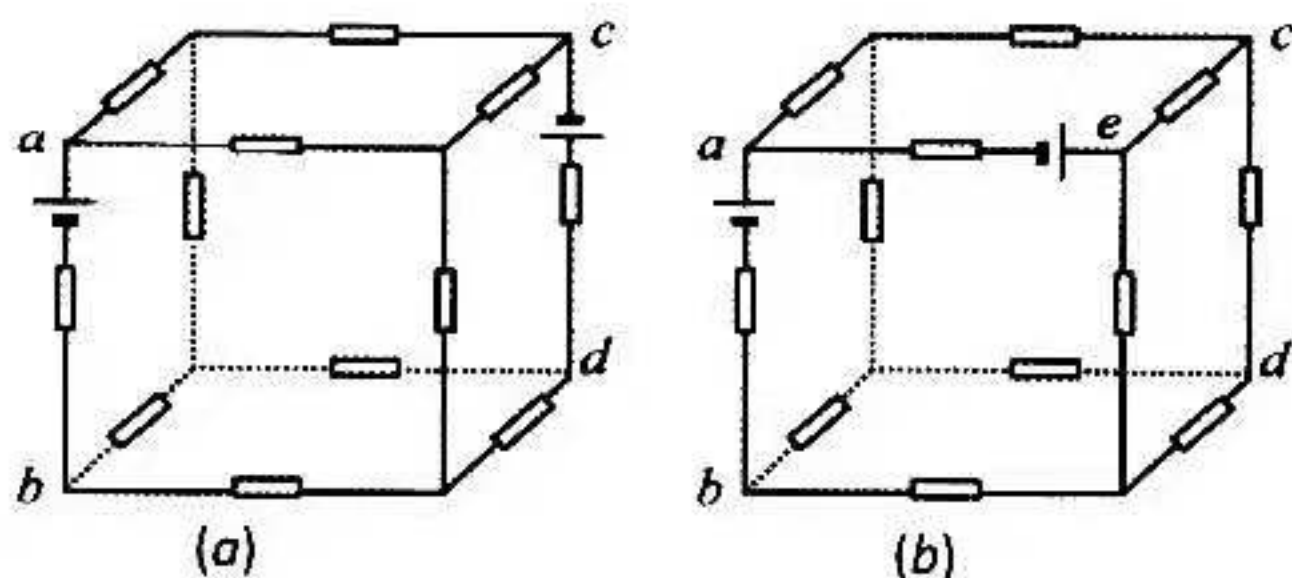


图6

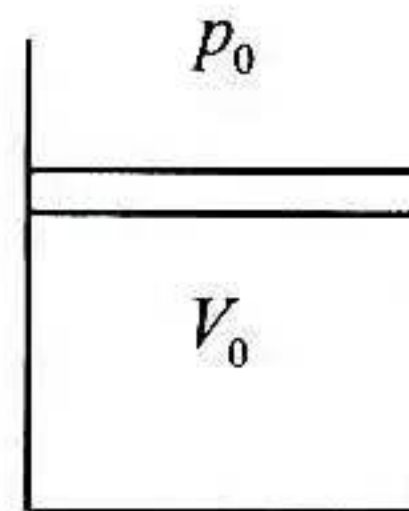


图7

得分	评卷

9. (12分) 如图7所示, 有一个竖直放置的导热气缸, 用一个轻质活塞密封, 活塞可以自由上下移动, 面积为 $S_0$ . 初态气缸内封有体积为 $V_0$ , 压强等于大气压 $p_0$ , 温度和环境温度相同的单原子理想气体. 缓慢在活塞上面堆放细沙(每次堆上的细沙都放在活塞所在位置), 结果活塞下降, 使得密封的气体体积变小到 $xV_0$ , 重力加速度为 $g$ . 求出细沙的质量 $m_0 =$ \_\_\_\_\_. 把导热气缸换成绝热气缸, 其他条件不变, 求出这个过程中活塞对体系做功 $W_0 =$ \_\_\_\_\_.

普适气体常量为 $R$ , 单原子理想气体的定体摩尔热容量为 $C_V = \frac{3}{2}R$ .

得分	评卷

10. (12分) 两个点电荷电量分别为 $\pm q$ , 质量均为 $m$ , 间距为 $l$ , 在静电作用下, 绕着共同的质心以相同的角速度做匀速圆周运动. 静电常量为 $K$ , 不考虑相对论和电磁辐射, 求绕质心运动的角速度 $\omega_0 =$ \_\_\_\_\_. 若 $l$ 变为原来的两倍, 仍然保持匀速圆周运动, 则两个电荷在质心处产生的磁场大小变为原来的\_\_\_\_\_倍.

得分	评卷

11. (12分) 如图8所示, 在水平面内有一个光滑匀质圆环, 圆环总电阻为 $R_0$ , 半径为 $r$ , 质量为 $m$ , 初速度 $v_0$ 向右. 右半空间有均匀的稳定的垂直于面的磁场, 大小为 $B$ . 结果圆环进入磁场后恰好静止. 整个过程中圆环中通过的电量大小 $Q_0 =$ \_\_\_\_\_. 如果保持圆环单位长度的质量和电阻大小不变, 但是把半径变为原来两倍, 为了使得圆环进入磁场后仍然恰好静止, 则 $v_0$ 应当变为原来\_\_\_\_\_倍.

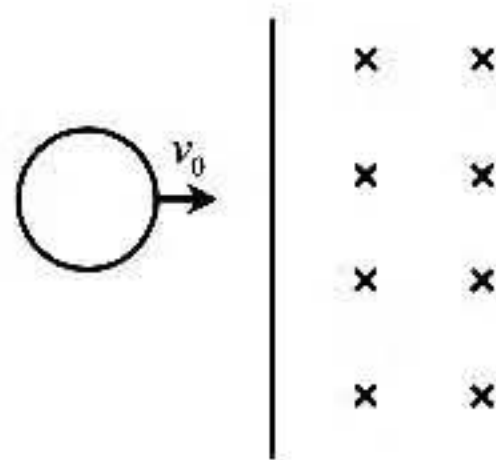


图8

密封线内不要答题

三、计算题. 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.

得分	评卷

12. (26分) 某同学特别喜爱造桥游戏, 如图9所示, 用10根一样的轻杆搭了一座桥, 杆长 $l$ , 所有连接的地方均为铰接. 在 $B$ 点挂了一个重物, 重力大小为 $P$ .  $AG$ 在同一水平高度.

- (1) 求地面对 $AG$ 点作用力的竖直分量大小 $N_L$ ,  $N_R$ ;
- (2) 如果每根杆能承受的最大压力或张力均为 $F$ , 则为了保证桥不塌 $P$ 最大为多少?

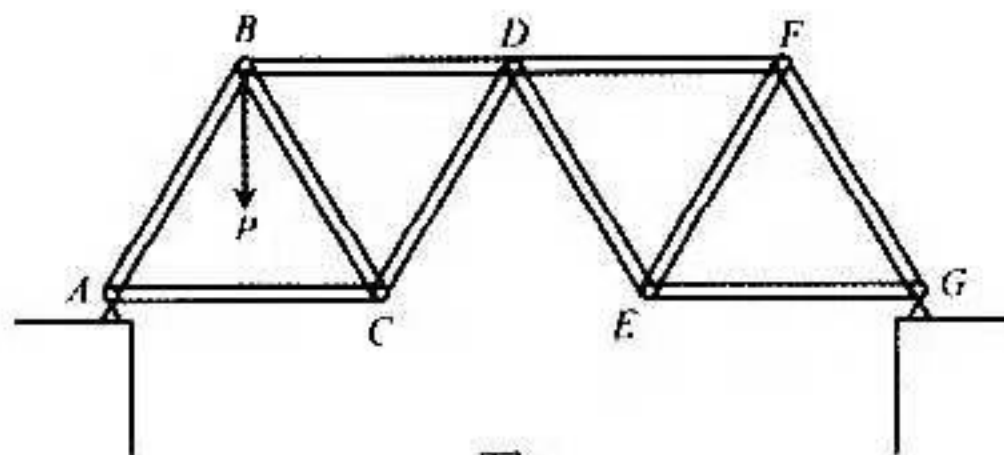


图9

得分	评卷

13. (26分) 如图10所示, 在 $O$ 点有一个物屏, 上面有一个发光小物体. 垂直于物屏有光轴, 共轴放置一个焦距为 $f$ 的透镜, 光心为 $C$ , 在距离 $O$ 点 $L$ 处共轴摆放一个平面镜. 当 $OC$ 距离为 $x_1$ 时, 发现经过透镜透射, 平面镜反射, 再经过透镜透射, 发光物体在物屏处成了清晰像. 向右移动 $C$ 点到 $x_2$ 处, 再次在物屏处成了清晰像, 继续向右移动 $C$ 点到 $x_3$ 处, 又在物屏处成了清晰像.

- (1) 求出 $x_1, x_2, x_3$ ;
- (2) 当透镜位于 $x_1$ 处时, 向上移动物点距离 $\Delta h$ , 则在物屏上的像向什么方向移动了多少距离.

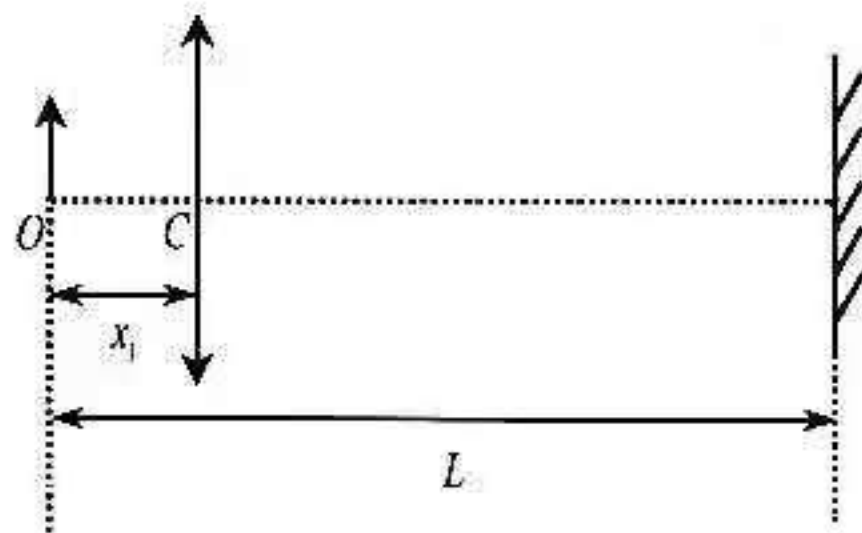


图10

得分	评卷

14. (26分) 找到两块很大的金属平面, 如图 11 所示摆成  $\theta_0 = \frac{\pi}{6}$  角,

角的顶点为  $O$  点, 两块板之间接有电压大小为  $V_0$  的电源. 金属板和

$O$  点比较靠近, 以至于在角内的电场线几乎为圆弧.  $A$  位于角内,  $|OA| = \rho$ ,  $OA$  和下面的平面夹角为  $\theta$ .

(1) 计算  $A$  的电场和电势大小;

(2) 有一个质量为  $m$ , 电量为  $q$  的小电荷开始在很靠近下平面的某点静止释放, 电荷很小以至于几乎不改变空间电场分布. 经过时间  $t$  后电荷运动到了上平面上的  $B$  点.  $|OB| = l$ . 求出点电荷到达  $B$  点的速度大小  $v_B$ , 以及此时速度方向和上平面之间的夹角  $\theta_B$ .

( $\theta_B$  取锐角, 由于径向运动比较复杂, 此题中只考虑角动量定理和能量守恒, 不考虑重力)

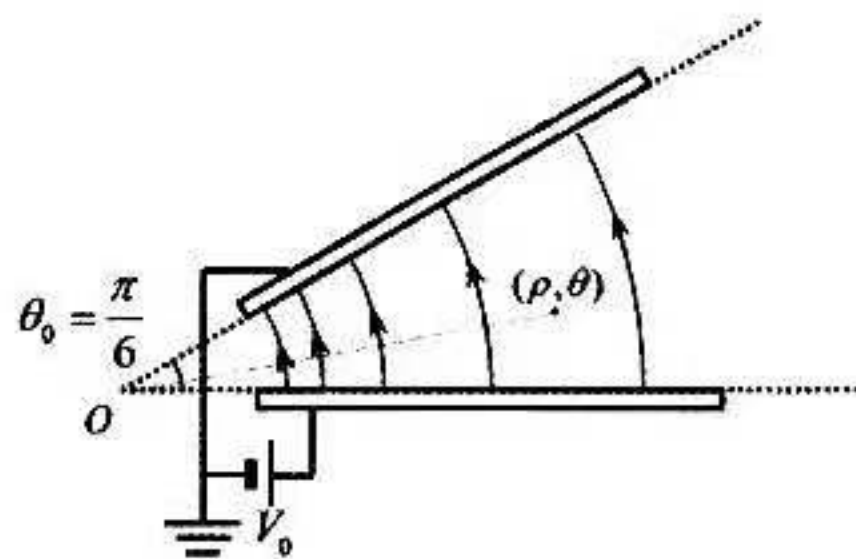


图 11

得分	评卷

15. (26分) 如图 12 所示, 有一辆左右对称的光滑小车, 质量为  $M$ , 放在光滑水平面上, 不考虑轮子质量. 重力加速度为  $g$ . 将一个质点  $m = \sqrt{2}M$  如图放置. 初态质点和小车都静止, 然后自由

释放. 小球下降  $r$  之后进入半径为  $r$  的圆弧, 经过圆心角为  $\theta = \frac{3\pi}{4}$  后腾空一段距离  $l$  后恰好

好相对小车沿切线进入右侧圆弧, 最终上升到右侧与初态相同高度的点.

- (1) 求出质点刚开始腾空时, 小车的速度大小;
- (2) 为了使得质点恰好进入右侧圆弧,  $l$  应当为多少.

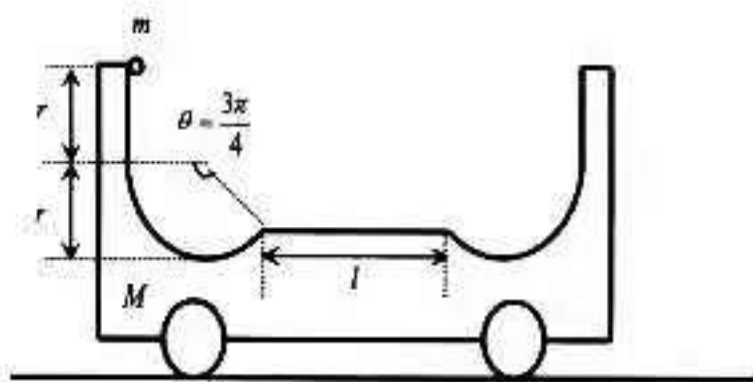


图 12



密封线内



# 第 36 届全国中学生物理竞赛预赛试卷

## 参考解答与评分标准

一、选择题 本题共 6 小题，每小题 6 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。把符合题意的选项前面的英文字母写在每小题后面的方括号内。全部选对的 6 分，选对但不全得 3 分，有选错或不答的得 0 分。

1. [ABD];    2. [ABC];    3. [AC];    4. [BC];    5. [CD];    6. [C]

简析

- ABD B 的前半句对应正的  $\beta$  衰变，C 之所以错误是因为违背电荷守恒，方程右边应该是负电子。
- ABC
- AC
- BC
- CD 题目中说明了“一段时间”故而 A 选项还需要加上这段时间内重力施加的冲量；B 选项的问题在于受到地面支持力的作用点——脚底是没有位移的，于是根据做功的定义我们得出，支持力不做功。
- C 动能包括平动动能和转动动能，摩擦力做功总是损失动能——增加的平动动能小于减少的转动动能，故 A 选项错误；在碰撞过程中质心速度反向，于是可知支持力冲量为  $2mv$ ，对应摩擦力冲量的最大值  $2\mu mv$ ，摩擦力提供的最大的水平速度为  $2\mu v$ （相对运动一直存在，也即要求球一开始的转动速度足够大），那么弹起之后，速度与竖直方向的夹角最大值应该为  $\arctan(2\mu)$

二、填空题 把答案填在题中的横线上。只要给出结果，不需写出求得结果的过程。

7. (12 分)

答案:  $\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}, \frac{T_2^2 r_E - T_1^2 r_M}{T_1^2 r_M + T_2^2 r_E}$

(或者加绝对值符号，或者写成不同形式如  $\frac{\frac{r_E}{T_1^2} - \frac{r_M}{T_2^2}}{\frac{r_M}{T_2^2} + \frac{r_E}{T_1^2}}$ )

第一问可以根据相对运动的角速度合成来计算，第二问则是我们根据常识判断月球绕地球运动的加速度大于地月系统绕太阳的加速度，最大值和最小值分别取在两个加速度同向和反向的时刻。

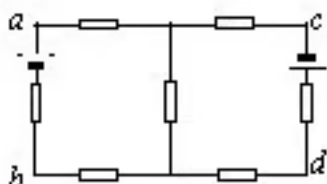
8. (12 分)

答案:  $\frac{1}{2}V, \frac{3}{8}V$

我们将电路变形为平面的电路，如图所示，其中中间五个的电阻为  $\frac{1}{2}\Omega$ ，左右两边的

为  $1\Omega$ ，分别计算两个电源在  $ba$  上产生的电流  $I_1$  与  $I_2$ 。

$$\text{左边电源: } I_1 = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} // 2} = \frac{1}{2 + \frac{5}{2}} = \frac{5}{12} \text{ A}$$



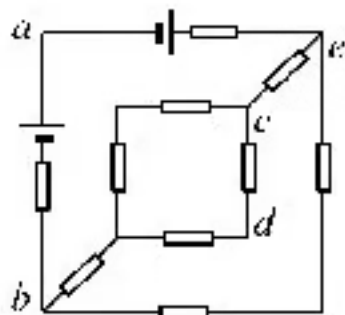
$$\text{右边电源根据并联电路分流关系有: } I_2 = \frac{5}{12} \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + 2} = \frac{1}{12} \text{ A}$$

$$\text{第一空可知 } U = \varepsilon - (I_1 + I_2)R = \frac{1}{2} \text{ V}$$

在第二空中我们改换变形方式，并且根据对称性可知有两条棱上没有电流，我们将它们移除出电路

$$\text{此时 } ba \text{ 上的电流 } I = \frac{2}{2 + 3 // 2} = \frac{2}{2 + \frac{6}{5}} = \frac{5}{8}$$

$$\text{电压 } U' = \varepsilon - IR = \frac{3}{8} \text{ V}$$



9. (10分)

$$\text{答案: } \frac{1-x}{x} \frac{P_0 S}{g}, (x^{-\frac{2}{3}} - 1) \frac{3}{2} P_0 V_0$$

直接应用理想气体状态方程可以根据压强变化求出沙子质量；

已知理想气体的绝热变换过程满足  $PV^\gamma = \text{const}$  代入理想气体状态方程

$$PV^\gamma = TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

将初末态代入

$$T_0 V_0^{\gamma-1} = T (x V_0)^{\gamma-1}$$

$$T = x^{1-\gamma} T_0$$

根据热力学第一定律有  $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ ，在绝热过程中热量交换为 0，故而外界对气体做的功就等于气体内能的增量

$$W_0 = \Delta U = n C_v \Delta T = (x^{-\frac{2}{3}} - 1) \frac{3}{2} P_0 V_0$$

10. (12分)

$$\text{答案: } \sqrt{\frac{2KQ^2}{m^2}}, 2^{\frac{5}{2}}, (\text{或写 } 0, \text{ 和无法比较})$$

$$P \frac{l}{2} = N_R \cdot 3l \quad \text{①}$$

$$N_R = \frac{1}{6} P \quad \text{②}$$

$$P \frac{5l}{2} = N_L \cdot 3l \quad \text{③}$$

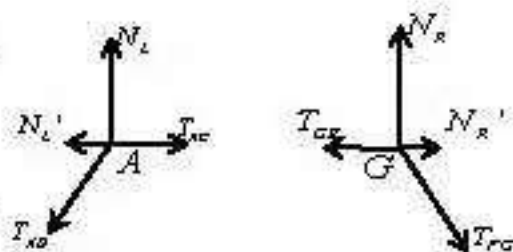
$$N_L = \frac{5}{6} P \quad \text{④}$$

对于题目中的杆模型来说，其对外作用力  $T$  一定沿杆方向

我们分别考察 A、G 两点处的受力

带点的是支持力的未定水平分量

如图所示，只考察竖直向分量可以根据三角关系解出



$$T_{AB} = \frac{1}{\cos 30^\circ} N_L = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{5}{6} P = \frac{5\sqrt{3}}{9} P \quad \text{⑤}$$

$$T_{GC} = \frac{1}{\cos 30^\circ} N_R = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{1}{6} P = \frac{\sqrt{3}}{9} P \quad \text{⑥}$$

我们注意到在其它端点可以依据杆的张力们的竖直分量平衡分别解出 BC、CD、DE、EF 上的杆的作用力，它们大小都与  $T_{GC}$  相等，但方向不同，其中 BC 和 DE 为支持力，CD 和 EF 为拉力。

进而我们也可以得出剩下的四根水平杆的受力大小，其中  $T_{AC} = T_{DF} = T_{EC} = T_{CF}$ ，而剩下的

BD 杆不同， $T_{BD} = 2T_{CF}$ ，据此我们知道随着重物重力  $P$  的增加，AB 会最先达到临界。

$$\frac{5\sqrt{3}}{9} P_{\max} = F \quad \text{⑦}$$

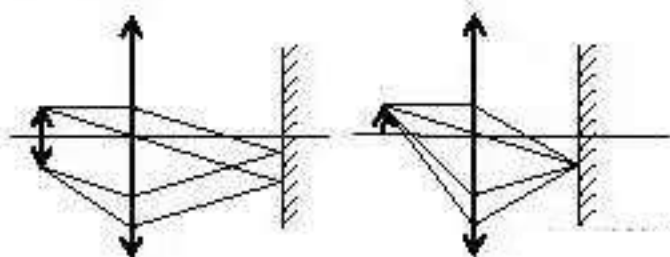
$$P_{\max} = \frac{3\sqrt{3}}{5} F \quad \text{⑧}$$

评分标准：前四式每一式 2 分，⑤、⑥ 式各 4 分，⑦、⑧ 的说明总共 4 分，⑧ 6 分。

13. (26 分) 在经过透镜  $L$  折射之后的像  $I_1$ ，作为平面镜的物所成的像  $I_2$  再反射回透镜成像回到原物平面，需要满足以下条件，

$I_2$  与  $I_1$  或者重叠在平面镜上，或者都在无穷远处。

我们现在画出  $x_1, x_2, x_3$  分别对应



的光路图

左图  $x_1 = f$ ，折射后的平行光被反射成像

右图则是  $x_2, x_3$  的情况，物体经过折射成像在平面镜上，反射之后成像在原物平面上，对应

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{L-x} = \frac{1}{f} \quad ①$$

的两个解，整理得到

$$\begin{aligned} fx + f(L-x) &= Lx - x^2 \\ x^2 - Lx + fL &= 0 \end{aligned}$$

解得

$$x = \frac{L \pm \sqrt{L^2 - 4fL}}{2} \quad ②$$

综上所述

$$x_1 = f \quad ③$$

$$x_2 = \frac{L - \sqrt{L^2 - 4fL}}{2} \quad ④$$

$$x_3 = \frac{L + \sqrt{L^2 - 4fL}}{2}$$

（注意，有个先决条件是  $L > 4f$ ，但是如果不满足的话根本不会有后面两种成像情况，所以不需要分类讨论）

当物体在  $x_1$  处时，我们知道经透镜第一次折射之后得到平行光，角度正比于物的大小，反射后角度相同，再次折射之后在物平面成的像为倒立的实像，根据像比例关系的传递可知与原物等大，故而当物体移动  $\Delta h$  时，像将会向相反方向移动  $\Delta h$

评分标准：情况分析 8 分，列出①、②式 4 分，解出③、④式最后结果 4 分，第二问整体给 10 分。

14. (26 分)

由于题目中给出了电场线为圆弧的条件，于是我们知道电势是随角度均匀分布的  
于是

$$\varphi_A = \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} V_0 \quad ①$$

场强不随角度变化，不难写出

$$E\rho\theta_0 = V_0, \quad E = \frac{V_0}{\rho\theta_0} \quad ②$$

根据能量守恒我们得出

$$\frac{1}{2}mv_s^2 = V_0q \quad ③$$

解出

$$v_s = \sqrt{\frac{2V_0q}{m}} \quad ④$$

列出带电体绕  $O$  点转动的力矩与角动量关系

$$M = Eq\rho = \frac{V_0q}{\theta_0} \quad ⑤$$

所以当  $t$  时间之后，小电荷到达  $B$  点时，其角动量

$$L = Mt = \frac{V_0qt}{\theta_0} \quad ⑥$$

其垂直于板的速度分量

$$v_{\perp} = \frac{L}{ml} = \frac{V_0qt}{ml\theta_0} \quad ⑦$$

则所求角度

$$\begin{aligned} \theta_s &= \arcsin \frac{v_{\perp}}{v_s} = \arcsin \left( \frac{t}{2l\theta_0} \sqrt{\frac{2V_0q}{m}} \right) \\ &= \arcsin \left( \frac{3\sqrt{2}t}{\pi l} \sqrt{\frac{V_0q}{m}} \right) \end{aligned} \quad ⑧$$

评分标准：①、②式各 5 分；③式 4 分，④式 4 分，⑤式⑥式各 2 分，⑦式⑧式最终结果 4 分。

15. (26 分) 假设小球在地面系中拥有水平速度  $v_x$ ，竖直速度  $v_y$ ，车拥有水平速度  $u$

由水平方向车球系统动量守恒知

$$mv_x + Mu = 0 \quad ①$$

列出在脱离瞬间的能量守恒

$$\frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}Mu^2 = mgr \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \quad ②$$

速度约束条件

$$v_x - u = v_y \quad ③$$

题目给出  $m = \sqrt{2}M$ ，

在第一个和第二个式子中左右同除  $M$ ，新的三个方程只含三个速度作为未知量

解得

$$\begin{aligned}v_x &= \sqrt{(\sqrt{2}-1)gr} \\u &= \sqrt{2(\sqrt{2}-1)gr} \\v_y &= \sqrt{(\sqrt{2}+1)gr}\end{aligned}\tag{4}$$

在小车系中，球以  $v_x' = v_y = \sqrt{(\sqrt{2}+1)gr}$  的初始速度，在脱离后做斜抛运动，其射程即为  $l$ ，

列出方程

$$\frac{2v_y}{g}v_x' = l\tag{5}$$

带入得

$$l = 2(\sqrt{2}+1)r\tag{7}$$

评分标准：列出①、②、③式给 8 分，列不全的最多给 3 分，④式结果 6 分，第二问情景分析⑤给 5 分，⑥式 3 分，⑦结果 4 分。