

## 2009 年全俄物理奥林匹克（理论部分）

### 九年级

#### 问题 9-1 吊着的圆木

起重机用绳索缓慢地从水中将圆木提起来。绳索吊在圆木的一段，圆木可以看作密度一定的细圆柱。圆木的质量为  $m$ ，长度为  $L$ 。水和木头的密度之比  $\gamma = \frac{4}{3}$ 。重力加速度为  $g$ 。

- (1) 起重机至少要做多少功  $W$ ，才能将圆木完全拉出水面？
- (2) 画出绳索的张力  $T$  与圆木的上端被拉出水面的高度  $h$  的关系图像。
- (3) 起重机将圆木从一个倾斜角提到另一个倾斜角，使得其上端升高  $\Delta h = \frac{L}{5}$ 。

这期间，它做的功  $W_h$  等于多少？

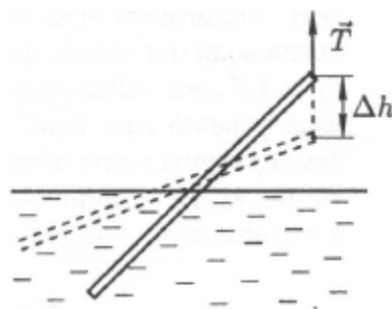


图 1

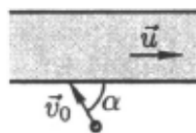


图 2

#### 问题 9-2 传送带上的糖果

实验员格鲁克一次参观糖果工厂时，注意到糖果从包装机中掉到传送带上的时候，速度与水平面夹角  $\alpha = 60^\circ$ （从上方看如图 2 所示），速度先减小后增大。糖果的初速度为  $\vec{v}_0$ ，与传送带的速度  $\vec{u}$  大小相等，且位于传送带所在平面上。糖果落到传送带上的一瞬间，相对于传送带的速度  $\vec{v}_0'$  等于多少？求出糖果相对于站着不动的格鲁克的速度最小值  $v_{\min}$ 。

### 问题 9-3 双桥

在如图 3 所示的电路中，接线端  $C$  和  $D$  之间的电压  $U_{CD} = 15 \text{ V}$ 。已知  $R \gg r$ 。

(1) 求在  $A$  和  $B$  之间连接的理想电压表的示数。

(2) 如果在  $A$  和  $B$  之间连接的是理想电流表，标出在每个电阻上以及电流表上的电流方向。

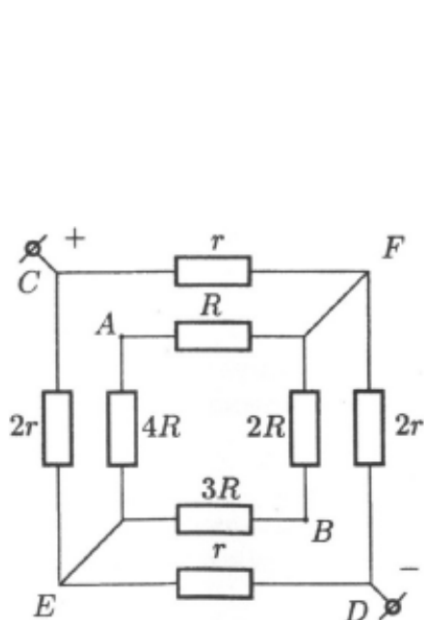


图 3

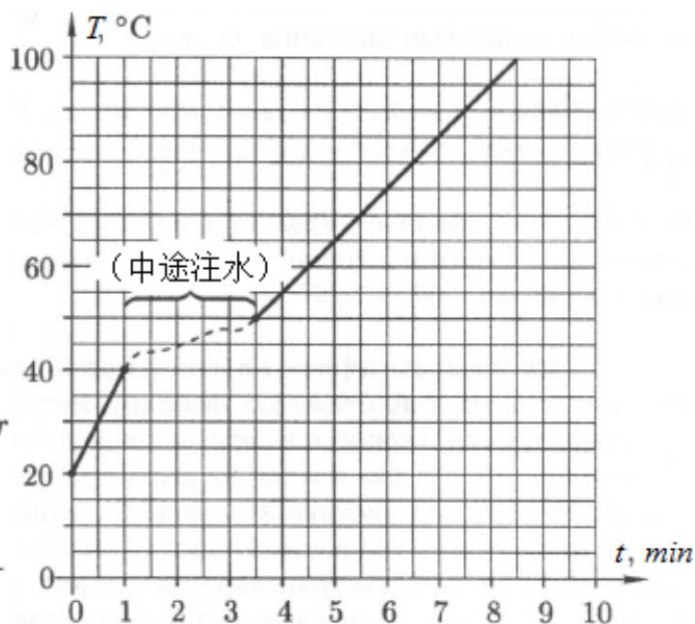


图 4

### 问题 9-4 中途注入水的茶壶

理论家巴格想要喝茶。他拿了一把带有小温度计的隔热的茶壶，并接上电源。温度计的示数为  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ 。经过  $t_1 = 1 \text{ min}$ ，水被加热到  $T_1 = 40^\circ\text{C}$ ，他往茶壶里又注入了一些水。在  $t_2 = 3.5 \text{ min}$  的时刻，水的温度达到了  $T_2 = 50^\circ\text{C}$ 。巴格不再往茶壶里注水了。又过了 5 分钟，水烧开了。图 4 为茶壶里水的温度在加热和注水的过程中的变化图像。注入的水的温度  $T_x$  等于多少？假设水是快速混合均匀的，温度计表示水温的当前值。

## 十年级

### 问题 10-1 洞中的小球

在水平桌面上挖了一个半径为  $R$  的半球形洞。将质量为  $m$  的小球用长度为  $L = R$  的不可延伸的轻线系在洞口上的点  $A$  处。一开始，线是拉直的，小球和洞口接触，如图 5 所示。释放小球，使其无初速下滑。求当小球下落到最低位置时，线上的张力。重力加速度为  $g$ 。

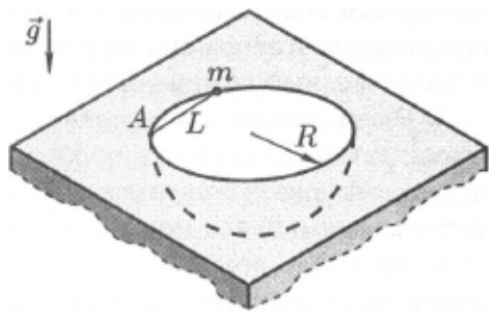


图 5

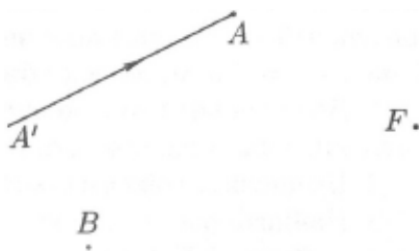


图 6

### 问题 10-2 折射光线

据说人们在斯涅尔的档案中发现一幅画有光路图的画，如图 6 所示。随着时间的经过，墨水褪色了，只能看到入射光线和三个点：薄透镜的右焦点  $F$ ，入射光线  $A'A$  被折射的点  $A$ ，以及透镜的左焦平面上的点  $B$ 。根据所给数据，还原透镜的位置、它的主光轴、以及经过折射后的光线。

### 问题 10-3 小行星的碰撞

在广阔的宇宙中，三颗较小的行星位于同一条直线上，相对于恒星是静止的，因万有引力而接近彼此。直到碰撞为止，中间的小行星（质量为  $m_2$ ）与右边的小行星（质量为  $m_3$ ）的距离保持等于它与左边的小行星（质量为  $m_1$ ）的距离的  $n=2$  倍，如图 7 所示。用  $m_1$  和  $m_2$  表示  $m_3$ 。

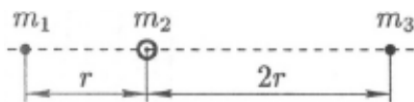


图 7

### 问题 10-4 非线性电导率

某种物质的电导率是非线性的。该物质的电阻率  $\rho$  和电场强度  $E$  的关系满足如下规律： $\rho = \rho_0 + AE^2$ ，其中  $\rho_0 = 1.7 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ ， $A = 1.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}^3/\text{V}^2$ 。用该物质充满平行板电容器的两块极板之间。极板的面积  $S = 1 \text{m}^2$ 。

(1) 求流过电容器的电流的最大值  $I_{\max}$ 。

(2) 设电容器的两块极板之间的距离  $d = 1 \text{cm}$ ，求在两极之间施加电压时，电容器内部的最大发热功率。画出该功率  $P$  与电压  $U$  的关系图象。

(3) 现在让电容器上的电压保持恒定： $U_1 = 2.0 \times 10^3 \text{V}$ 。如果改变两块极板之间的距离，电容器内的最大功率等于多少？当  $d = d_1$  等于多少的时候，功率达到最大值？假设对  $d$  的任意取值，电容器里面都充满该物质。定性画出功率  $P$  与距离  $d$  的关系图象。

### 问题 10-5 丢失的坐标轴

据说人们在开尔文男爵的档案里找到了一张关于热机的封闭循环过程的  $p$ - $V$  图象，如图 8 所示。过程 1-2 为等压过程，2-3 为绝热过程，3-1 为等温过程。随着时间的经过，墨水褪色了，图上的坐标轴看不见了。已知热机的工质为  $\nu=2\text{mol}$  理想气体（氦气）。压强轴每 1 小格表示  $1\text{atm}$ ，体积轴每 1 小格表示  $1\text{L}$ 。

(1)还原坐标轴的位置，并计算出该循环过程中气体的最大压强。

(2)计算出循环中气体温度的最大值和最小值。

(3)求等温过程 3-1 内做的功  $W_T$ 。

(4)求循环的能量转换效率  $\eta$ 。

注：理想气体常数  $R=0.082\text{L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 。

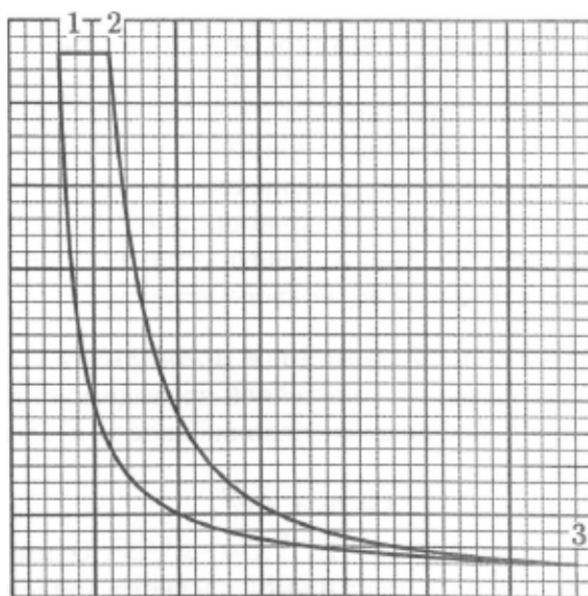


图 8

## 十一年级

### 问题 11-1 蹦极

蹦极者质量为  $m=70\text{kg}$ ，从平台上跳到湖中。他的脚上系着长度为  $L$ ，劲度系数为  $k$  的皮筋。皮筋的另一端系在平台上。他距离水面的高度  $h=90\text{m}$ ，到达水面时速度为 0，加速度  $a_0=2g$ 。设重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ ，皮筋满足胡克定律。人的身高以及空气阻力等能量损失可以忽略。请求出：

(1)皮筋未伸长状态下的长度  $L$  和劲度系数  $k$ ；

(2)当人吊在皮筋上不动时，皮筋的伸长量；

(3)人下降的最大速度  $v_{\text{max}}$ ；

(4)人在皮筋上作简谐振动的振幅  $A$  和周期  $\omega$ ；

(5)人落到水面上所需要的时间  $t$ 。

注意！如果计算不准确，会危及人的生命！

### 问题 11-2 自感应电路

在图 9 中的电路图中，所有元件的参数都是给定的。在初始状态下，开关断开，在电感电路中没有电流。将开关闭合一段时间后再重新断开。已知在开关闭合期间，经过感应器的电荷为  $q_0$ 。在断开开关后的全部时间内，电路中放出的热量为  $Q_0$ 。

假设电路中的所有元件都是理想的，求：

- (1) 断开开关前一瞬间，流过电感器的电流强度  $I_0$ ；
- (2) 开关闭合期间，流过电阻  $R$  的电荷  $q_1$ ；
- (3) 开关断开后，流过电阻  $R$  的电荷  $q_2$ ；
- (4) 整个过程中电流所做的功  $W$ ；
- (5) 开关闭合期间，电路中放出的热量  $Q$ 。

提示：求出流过电阻器的电荷与线圈中磁通量变化的关系。

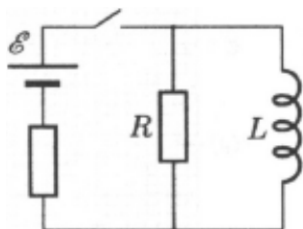


图 9

### 问题 11-3 与周围环境的热交换

容器中装有冰水混合物，在时刻  $t=0\text{min}$  的时候接上功率为  $P_0=400\text{W}$  的电热器。图 10 为物质的温度  $T$  与时间  $t$  的关系图像。已知散热功率  $Q$  与温度差  $\Delta T=T-T_0$  成正比，其中  $T_0$  为周围环境的温度。计算中你可以取  $T_0=0^\circ\text{C}$ ，从而  $Q=\alpha T$ ，其中  $\alpha$  为与温度无关的常数系数。根据给出的关系图象  $T(t)$ ，求：

- (1) 一开始时，混合物中冰的质量  $m_{\text{冰}}$ ；
  - (2) 容器中物质的总质量；
  - (3) 比例系数  $\alpha$ ；
  - (4) 使得水一直不会沸腾的最大加热功率  $P_{\text{max}}$ ；
  - (5) 如果用  $P_1=300\text{W}$  的电热器，求从冰开始融化到水沸腾所需要的时间  $t_1$ 。
- 水的比热  $c_{\text{水}}=4200\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ，冰的熔解热  $\lambda=3.2\times 10^5\text{J}/\text{kg}$ 。

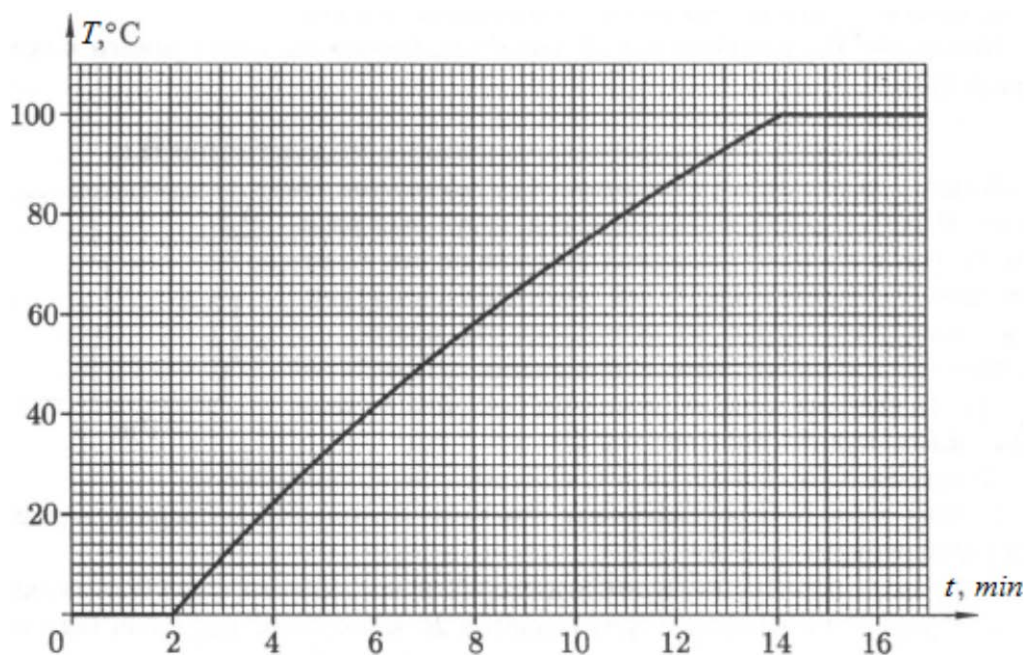


图 10

#### 问题 11-4 开尔文的问题

据说人们在开尔文男爵的档案里找到了一张关于使用 1 摩尔理想稀有气体进行循环过程的图象，如图 11 所示。随着时间的经过，墨水褪色了，图上的坐标轴  $T$ （温度）和  $V$ （体积）看不见了。根据文字说明，我们知道，在点  $A$  处温度为 400K，体积为 4L，气体的压强达到最小值，坐标原点位于图的下方。旁边是图的比例尺。

- (1) 还原坐标轴  $T$  和  $V$ 。
- (2) 求该过程中气体的最大压强。

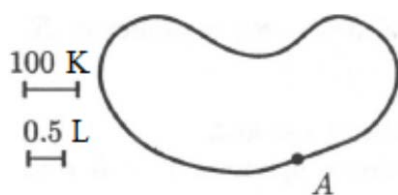


图 11

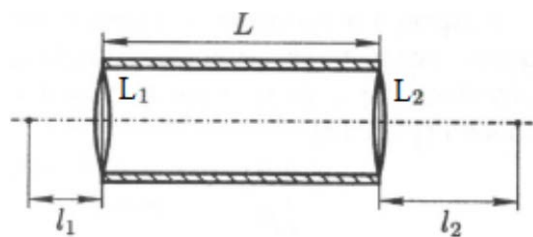


图 12

### 问题 11-5 两面透镜的问题

在一次物理竞赛的实验部分上，选手们被要求计算出位于长度为  $L=20\text{cm}$  的空圆筒两头的两面凸透镜的焦距，如图 12 所示。

一名选手瓦夏仔细地做了实验，得出下面的结果：

1. 如果在圆筒左侧  $l_1=5.0\text{cm}$  处将点光源放置在轴上，经过系统后从右侧的出射光线是平行光。

2. 如果在圆筒左侧入射平行光，在圆筒右侧  $l_2=10.0\text{cm}$  处光线在轴上汇聚成一点。

然而，瓦夏却不知道怎样从实验的数据中计算出焦距  $F_1$  和  $F_2$ 。帮助一下可怜的瓦夏吧。

## 2010 年全俄物理奥林匹克（理论部分）

### 九年级

#### 问题 9-1 石油的密度

在一个污染得很严重的池塘里，水面上覆盖着厚度为  $d=1.0\text{cm}$  的石油。在池塘里漂浮着一个质量  $m=4.0\text{g}$ ，底面积  $S=25\text{cm}^2$  的圆柱形玻璃杯。玻璃杯一开始是空的，底面未触及石油面的一半深度。然后向玻璃杯里倒入石油，使得玻璃杯内外的油面持平。两种情况下，玻璃杯底距离水面的高度相等，如图 1 所示。已知水的密度  $\rho_0=1.0\text{g/cm}^3$ ，求石油的密度  $\rho_1$ 。

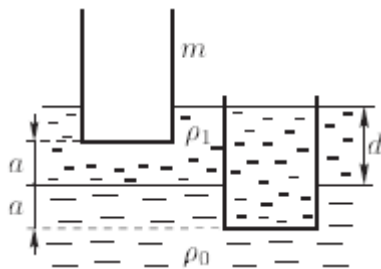


图 1

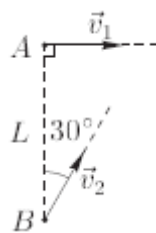


图 2

#### 问题 9-2 船的驾驶

两艘船匀速行驶，且速率的大小相等， $v_1=v_2=v$ 。在某点处，它们的距离等于  $L$ ，相对位置如图 2 所示。

(1) 求两船在后续移动过程中的最短距离；

(2) 求到达最短距离所需要的时间；

(3) 当从  $B$  出发的船到达了船  $A$  的运动路线的时候，从船  $A$  派出一艘小船，需要把带有重要消息的包裹寄送给船  $B$ 。求包裹到达船  $B$  的最短时间  $\Delta t$ ，如果小船的速度  $u$  也等于  $v$ 。

### 问题 9-3 冰的融化

有一大块平整的冰，温度为  $0^{\circ}\text{C}$ ，在上面挖一个体积为  $V_0=1000\text{cm}^3$  的洞，并用不导热的泡沫塑料覆盖，上面挖一个小孔（如图 3 所示）。现在从小孔向洞里缓慢倒入温度为  $100^{\circ}\text{C}$  的水，至多能倒入多少？

已知水的比热  $c_0=4.19\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ，水的密度  $\rho_0=1.00\times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ ，冰的密度  $\rho_{\text{冰}}=0.90\times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ ，冰的熔解热  $\lambda=334\text{kJ}/\text{kg}$ 。

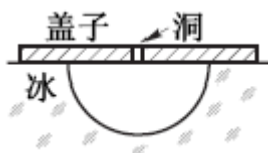


图 3

### 问题 9-4 电热炉

电热炉的加热元件是两根螺旋电热丝，可以连接到直流电源上，可以单独连接、串联或并联。我们假设电热丝的电阻值与温度无关。

结果，如果只接入第一根电热丝，电热炉可以加热到  $t_1=180^{\circ}\text{C}$ ；如果只接入第二根电热丝，电热炉可以加热到  $t_2=220^{\circ}\text{C}$ 。

在下列两种情况下，电热炉分别可以加热到多少度？

(1)将两根电热丝串联；

(2)将两根电热丝并联。

提示：电热炉向外界环境的热流与温度差成正比。假设空气的温度是常数，为  $t_0=20^{\circ}\text{C}$ 。

### 问题 9-5 电桥

如图 4 所示，电路包含 5 个电阻器和 2 个理想电流表。电阻  $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  的阻值已知， $R_3$  的阻值未知。如果经过电流表  $A_1$  的电流强度  $I_1$  是已知的，求电流表  $A_2$  的示数。

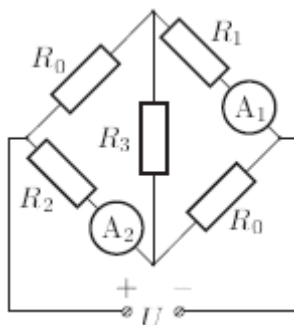


图 4



## 十年级

### 问题 10-1 在木板上滑动的重物

在长的光滑水平桌面上放有质量为  $m_2$ ，长度为  $L$  的木板，在它的左端放有质量为  $m_1$  的重物。重物和木板之间的摩擦系数为  $\mu$ ，木板和桌面之间的摩擦力可以忽略。将质量为  $m_1$  的重物与质量为  $M$  的重物通过轻质长绳相连，绕在轮轴无摩擦的滑轮上，如图 5 所示。系统从静止状态开始运动。

(1) 当重物  $m_1$  与木板  $m_2$  之间的摩擦系数  $\mu$  满足什么条件时，它们能够作为一个整体运动（即它们之间不发生滑动）？

(2) 求能够使得它们之间不发生滑动的摩擦系数的最小值  $\mu_{\min}$ ；

(3) 设  $\mu = \frac{\mu_{\min}}{2}$ 。此时，重物  $m_1$  与木板  $m_2$  会以不同的加速度运动。从一开始，经过多久之后，重物会从木板上掉下来？

设  $m_1 = M = 1\text{kg}$ ， $m_2 = 2\text{kg}$ ，木板的长度  $L = 1\text{m}$ ，重物的大小远小于  $L$ ，重力加速度  $g = 10\text{m/s}^2$ 。

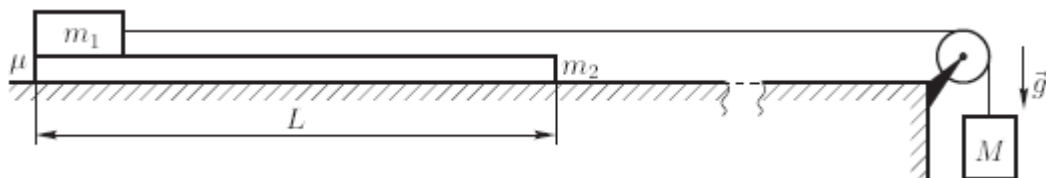


图 5

### 问题 10-2 离解

标准状况下，氧气是由双原子分子  $\text{O}_2$  组成的。当温度升高时，分子可以离解，每个氧分子  $\text{O}_2$  离解成两个氧原子  $\text{O}$ 。如图 6 所示，用  $(\rho, p)$  的坐标表示两个

相同的循环过程，其中  $\rho$  为气体密度， $p$  为压强。坐标没有单位，是用  $\frac{\rho}{\rho_0}$  和  $\frac{p}{p_0}$

表示的，其中  $\rho_0$  和  $p_0$  为比例尺的系数。第一个实验中，工质为低温度的氧分子  $\text{O}_2$ ；第二个实验则是在高得多的温度下进行的，此时有一部分氧以分子形式 ( $\text{O}_2$ ) 存在，一部分以原子形式 ( $\text{O}$ ) 存在，且实验中离解系数没有改变。两个实验中，

气体的质量相等。已知两个实验中的最高温度之比  $k = \frac{T_{2,\max}}{T_{1,\max}} = 5.0$ 。

(1) 求第二个实验中氧分子的离解系数  $\alpha$ （即离解了的分子的比例）；

(2) 求这两个实验中的最低温度之比  $k_{\min}$ 。

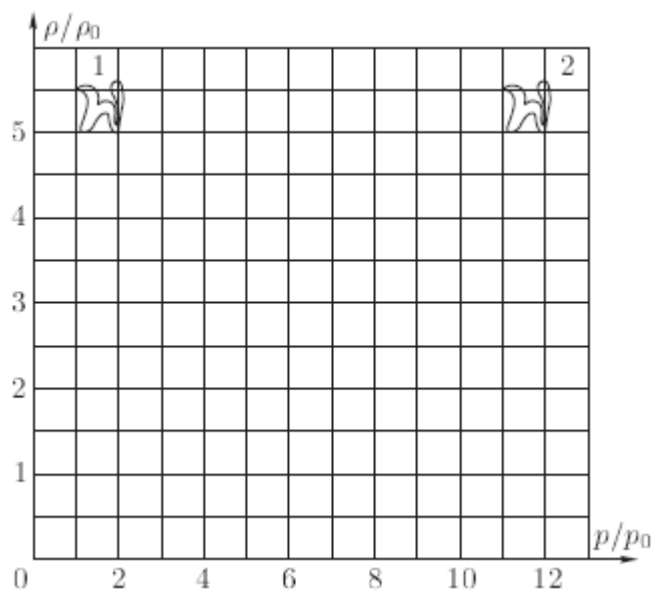


图 6

### 问题 10-3 斜面上的滑块

如图 7 所示，将一个滑块以初速度  $v_0$  推上倾斜角为  $\alpha$  的斜面。

- (1) 在没有摩擦力的情况下，过多长时间 ( $t_0$ ) 后，滑块会回到出发点？
- (2) 当摩擦系数  $\mu$  等于哪些值时，滑块能够回到出发点？
- (3) 在有摩擦力的情况下，求回到出发点所需要的时间  $t_\mu$ ；
- (4) 如果在有摩擦力的情况下， $t_\mu$  等于没有摩擦力的情况下需要的时间  $t_0$ ，求摩擦系数  $\mu$ 。

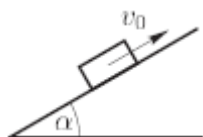


图 7

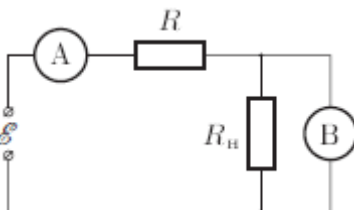


图 8

### 问题 10-4 压敏电阻

一些情况下，为了防止电器受到过大的电压变化的影响，会加入用非线性半导体制成的元件——压敏电阻。如图 8 所示，它与负载电阻  $R_{\text{负}}$  以并联的方式接入电路。这里， $R_{\text{负}}=10\Omega$ ，镇流电阻  $R=10\Omega$ ，B 为压敏电阻，其电压电流关系曲线如图 9 所示，电流表 A 的示数为  $I$ ，输入电动势为  $E$ 。在正常工作状态下，电流表的电流强度  $I=I_0=1.0\text{A}$ 。

- (1) 求在正常工作状态下的输入电动势  $E_1$ 、压敏电阻两端的电压  $U_{\text{压}1}$  和经过它的电流强度  $I_{\text{压}1}$ 。

- (2) 令输入端电压增加到 2 倍： $E_2=2E_1$ 。此时，求负载电阻两端的电压的增加量，以及经过压敏电阻的电流强度的增加量。

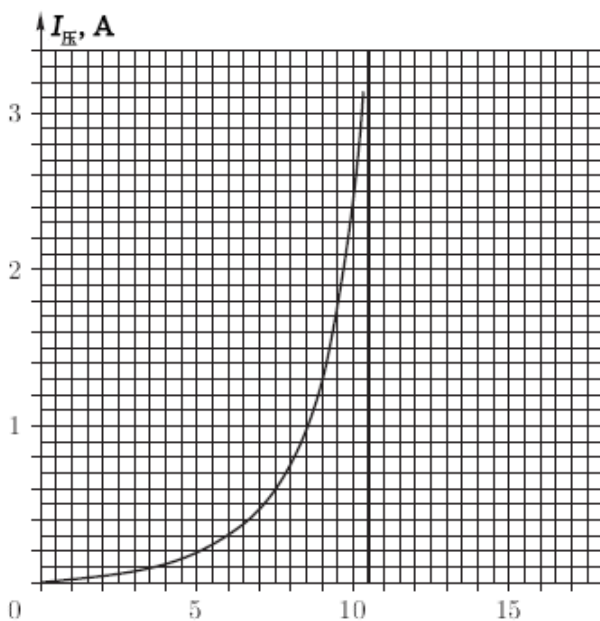


图 9

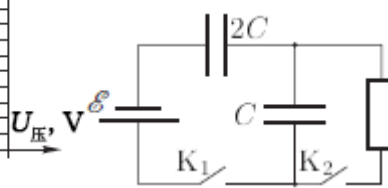


图 10

### 问题 10-5 包含两个电容器的电路

(1)如图 10 所示，电路中有电动势为  $E$  的理想电源、电容分别为  $2C$  和  $C$  的两个电容器和一个有一定阻值的电阻器。闭合开关  $K_1$ ，电容器上的电压分别是多少？

(2)当电容器充满电后，闭合开关  $K_2$ ，直到经过电源的电流减为刚闭合开关  $K_2$  的时候的电流的一半的时候为止。求开关  $K_2$  从闭合到断开期间，电路中产生的热量  $Q$ 。

## 十一年级

### 问题 11-1 球面上的链子

如图 11 所示，将长度为  $L$  的均匀链子的顶端固定在半径为  $R$  的光滑球面上放置长度为，其中  $L = \frac{\pi R}{3}$ 。现在，释放链子的顶端。

(1)在刚刚释放的时候，链子上的每一点的加速度的数值等于多少？

(2)在刚刚释放的时候，链子上的什么位置的张力最大？

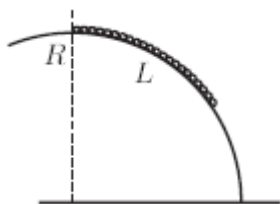


图 11

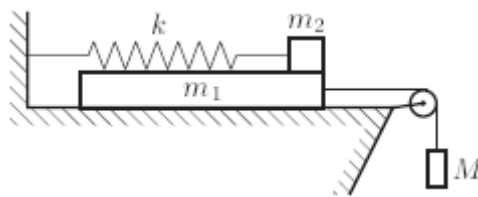


图 12

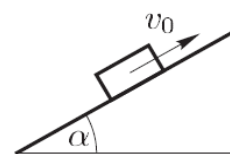


Рис. 11

### 问题 11-2 无滑动的运动

在光滑的水平桌面上放置质量为  $m_1$  的木板，它的右侧放置着质量为  $m_2$  的木块。将木块与墙壁用劲度系数为  $k$  的轻质弹簧（未伸缩）连接。将木板与质量为  $M$  的重物用不可拉伸的轻绳通过滑轮连接，如图 12 所示。一开始时，系统处于静止状态。木板与木块之间有摩擦力，它们之间的摩擦系数为  $\mu$ 。

当木块移动多长的距离  $L$  之后，它和木板之间会开始发生滑动？需要分情况讨论。并求出木块移动距离  $L$  所需要的时间。

### 问题 11-3 热机

热机按卡诺循环工作。加热机的温度  $T_1=800\text{K}$ ，而冷凝机的温度  $T$  取决于机器的有用功率  $P$ 。冷凝机是一个与外界绝热的大机体，通过热传导，在时间  $\Delta t$  内，在  $T_2=300\text{K}$  的温度下，将所有热量  $Q_2$  输送到冷凝库，如图 13 所示。热传导按照公式  $Q_2=\alpha(T-T_2)\Delta t$  进行，其中  $\alpha=1.0\text{kW/K}$ 。

- (1)用温度  $T_1$ 、 $T$ 、 $T_2$  来表示功率  $P$ ；
- (2)当热机的功率达到最大值时，求冷凝机的温度  $T_m$ ；
- (3)求这个最大功率  $P_{\max}$ ；
- (4)求最大功率下的机械效率  $\eta$ 。

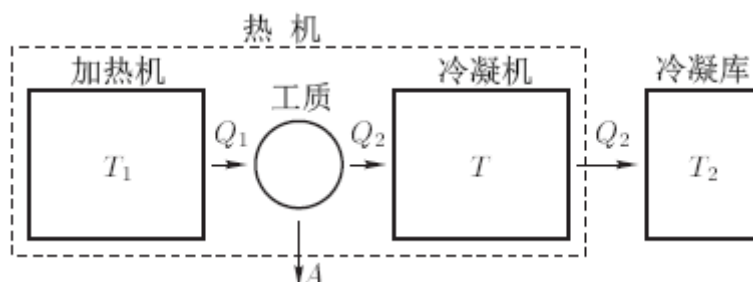


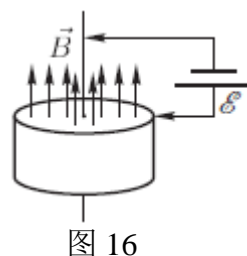
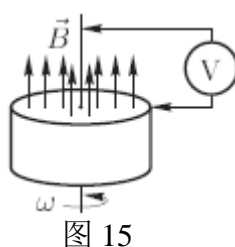
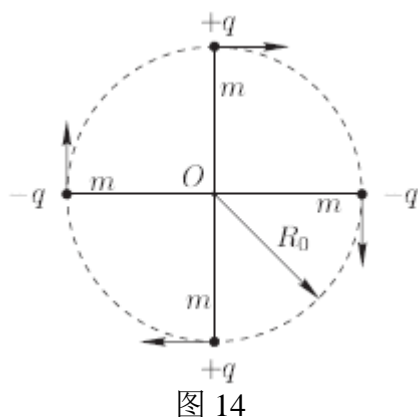
图 13

### 问题 11-4 带电粒子的运动

在自由的空间中，半径为  $R_0$  的圆的内接正方形的顶点上各有一个质量为  $m$  的质点。其中两个带电  $+q$ ，另外两个带电  $-q$ ，如图 14 所示。刚开始的时候，这些质点沿着圆的切线以相同的速率顺时针运动。

已知在运动过程中，任何一个质点与圆心的最短距离都是  $R_1$  ( $R_1 < R_0$ )。设任意时刻，电荷都位于以  $O$  为中心的正方形的四个角。重力的影响忽略不计。

- (1)每个粒子的运动轨迹是什么样的？
- (2)求一个粒子从初始位置到距离圆心  $R_1$  的位置所需要的运动时间。



### 问题 11-5 单极感应器

单极感应器是一块高速旋转的圆盘形状的永磁体。圆盘用磁性合金材料制成，可以产生强磁场，并用能导电的薄镍层覆盖。当圆盘旋转时，转轴与表面之间的电势差可以用固定电压表来测量，如图 15 所示。如果将转轴与表面之间用电池连接，则磁体转动，像电动机一样。类似地，如果将普通电动机进行快速旋转，就会变成发电机；反之，如果对发电机施加电压，就会变成电动机。

图 16 是一个工作中的单极电动机，转子是半径为  $r_0=2\text{cm}$  的圆盘形状的强永磁体，安在轴上。将它与电动势  $E=1.5\text{V}$  的电池连接，进行滑动接触时，开始转动。

(1)在图 15 中，当圆盘的转速为 3000 转/分时，电压表的读数是多少？并标出正确的极性。电势差的极性是什么？从上方看，转动是逆时针的。

(2)忽略摩擦，求磁性圆盘（图 16 中的单极电动机的转子）的转速（转/分）的限制。在图 16 中给定的电池极性和磁感应强度向量  $\vec{B}$  的方向下，请给出（从上方看）的旋转方向。

注：在导电的镍层中，磁感应强度向量  $\vec{B}$  与圆盘表面垂直，为常数  $B=1\text{T}$ 。  
为简化计算，假设导电层中的电流沿着轴和接触点之间的半径流动。

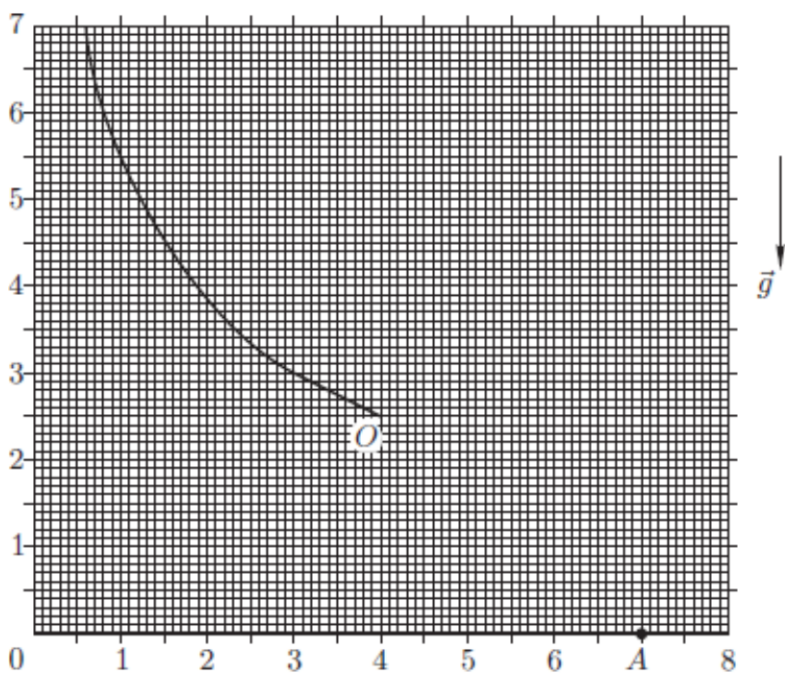
## 2011 年全俄物理奥林匹克（理论部分）

### 九年级

#### 问题 9-1 下滑梯

一个小物块从滑梯上的某点  $M$  无初速释放。在点  $O$  处脱离滑梯，然后在点  $A$  处着地，如图 1 所示。通过作图和计算，找出滑梯上释放物体的点  $M$ 。点  $M$  距离地面多少个长度单位？

这里，图是按照比例尺画的，长度单位并不知道实际代表多少。



### 问题 9-2 滑块和小山

一个小滑块在光滑的水平面上滑动，碰到了光滑的小山，它也放在同一个水平面上（如图 2 所示）。当滑块离开小山时，我们发现滑块和小山在光滑的水平面上滑动的速率相等。

- (1)求滑块和小山的质量之比的可能取值。
  - (2)求滑块滑到山顶时的重力势能与其初始动能之比的最大值。
- 注：滑块上山、下山时不离开山面。



图 2

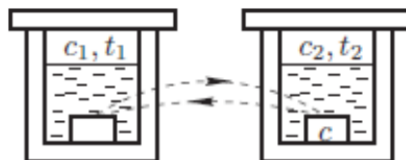


图 3

### 问题 9-3 循环热交换

有两个不导热的容器里都装有水。第一个容器里的水的总热容量为  $c_1$ ，温度为  $t_1$ ；第二个容器里的水的总热容量为  $c_2$ ，温度为  $t_2$ 。在第二个容器的水里面放一个铁块，热容量为  $c$ ，如图 3 所示。

把铁块从第二个容器里拿出来放到第一个容器里，达到热平衡后放回到第二个容器里，如此往复。

热容量的比值  $c_1:c_2:c=4:5:1$ 。不计和周围环境的热交换。

- (1)进行  $n$  次这样的循环后，温差  $(t_2 - t_1)_n$  变为原来的  $\frac{1}{N}$ ，其中  $N \geq 25$ 。求  $n$  的最小值。

- (2)经过足够多次的循环后，容器中的水的温度变为多少？

### 问题 9-4 导线正方体

在一个导线正方体的 7 条棱上分别焊接有相同的电阻器，阻值均为  $R$ ，如图 4 所示。其他棱上的导线的电阻可以忽略。在  $A$  和  $B$  两个接线端之间施加电压  $U$ 。

- (1) 求  $AB$  两端之间的电流强度  $I_{AB}$  和阻值  $R_{AB}$ 。
- (2) 正方体的哪条棱的电流强度最大，等于多少？
- (3) 哪些电阻的热功率最大，等于多少？
- (4) 如果电压  $U$  是加在  $A$  和  $C$  两端的，求电流强度  $I_{AC}$  和阻值  $R_{AC}$ 。

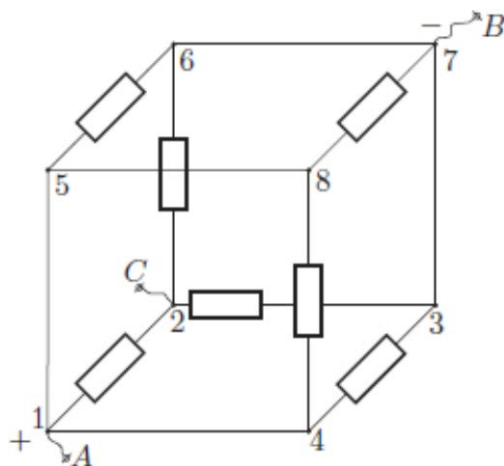


图 4

### 问题 9-5 复合圆柱

复合圆柱由两段连接起来的圆柱形水管组成，将其固定住，使得其对称轴竖直。可以在底下放一块铁片，将底下的口完全堵上。为了使铁片处于堵住水管的位置，需要从下面对其施加的力  $F \geq F_0$ 。倒入  $V_0$  升水后，把铁片按住所需要的最小力变为  $2F_0$ 。再倒入  $V_0$  升水后，把铁片按住所需要的最小力变为  $4F_0$ 。最后，再倒入  $\frac{V_0}{3}$  升水，把铁片按住所需要的最小力变为  $5F_0$ ，复合圆柱也充满了。

- (1) 求下上两段圆柱的底面积比  $S_1:S_2$ 。
- (2) 求下上两段圆柱的高度比  $H_1:H_2$ 。



## 十年级

### 问题 10-1 水瓶中的小球

小木球和小金属球通过细线连接，细线连在装水的瓶子的底部。瓶子绕竖直轴  $OO'$  以恒定的角速度旋转。结果，两个球整体都在水中。

如图 5 所示，小木球（1 号）与轴的距离是小金属球（2 号）的  $\frac{1}{3}$ 。上面的一段线与竖直方向的夹角为  $\alpha$ ， $\sin \alpha = 0.8$ 。两段线的夹角为  $90^\circ$ 。小球的大小和它们与轴的距离相比可以忽略。

(1) 木球所受的浮力的方向与竖直方向的夹角是多少？请予以解释。

(2) 求上下两端线的张力之比。

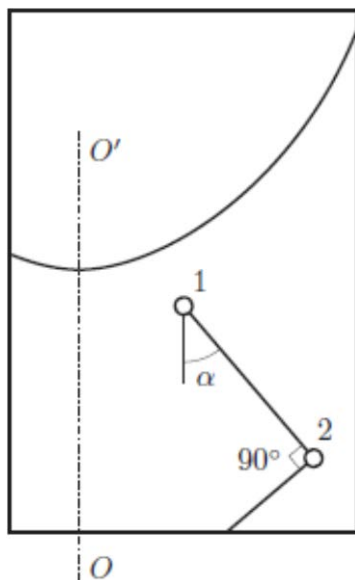


图 5

### 问题 10-2 热机

有一座巨大的冰山，质量为  $m=9 \times 10^8 \text{ kg}$ ，可以看作棱长为 100m 的立方体，温度为  $T_2=273\text{K}$ ，漂浮在墨西哥湾暖流中，水温  $T_1=295\text{K}$ 。

(1) 忽略冰山与暖流之间的直接热交换，将暖流作为加热器，冰山作为冷凝器，直到冰山完全融化为止，制作热机（如图 6 所示），它至多能做多少功？

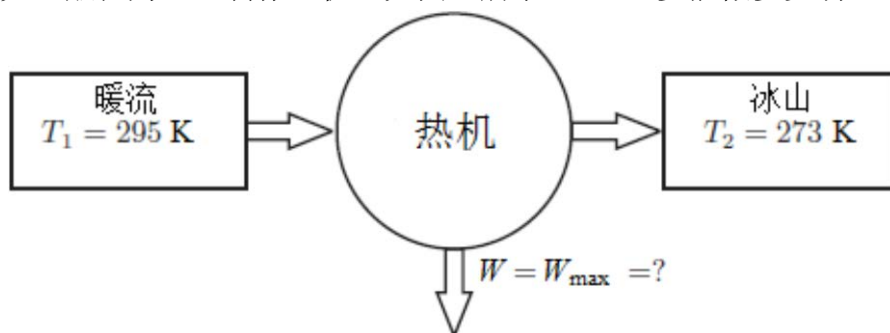


图 6



(2)使用上一问中的热机，使热泵从暖流中将热量“抽”到水温为  $T_0=373\text{K}$  的锅炉中（如图 7 所示），至多能够使多少水汽化？

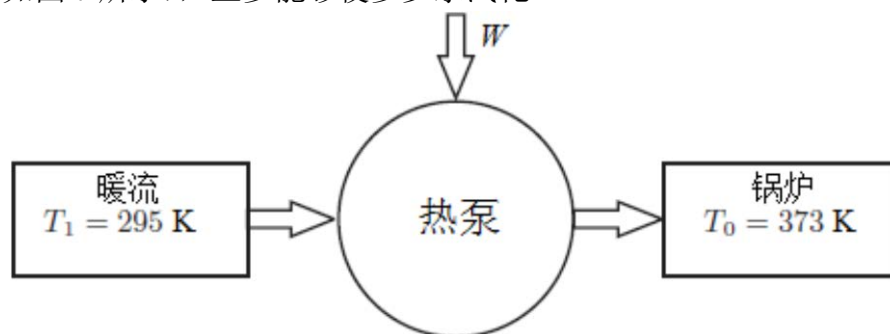


图 7

冰的熔解热  $q=3.35\times 10^5\text{J/kg}$ ，水的汽化热  $\lambda=2.26\times 10^6\text{J/kg}$ 。

### 问题 10-3 绝热过程

在容积为  $2V_0$  的柱状容器中，笨重的活塞下方是开氏温度为  $T_0$ ，压强为  $\frac{P_0}{2}$ ，体积为  $V_0$  的理想稀有气体，如图 8 所示。活塞上方是真空。容器底部有一个小孔，上面连接有阀门，处于封闭状态。容器外部是同一种气体，压强为  $P_0$ ，温度为  $T_0$ 。容器不导热。

打开阀门，活塞缓慢上升，直到内外压强相等时，关闭阀门。求关闭阀门后气体的温度。

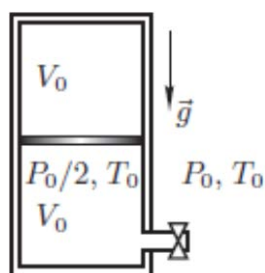


图 8

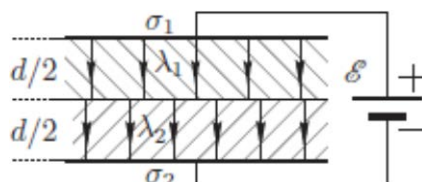


图 9

### 问题 10-4 电介质薄片

平行板电容器的两板之间距离为  $d$ ，连接到电动势为  $\varepsilon$  的直流电源上，如图 9 所示。

电容器里面有两层弱导电性物质，电导率分别为  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ 。这两层之间互相接触，也和电容器的极板相接触。每层的厚度均为  $\frac{d}{2}$ ，电介质常数  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$ 。

- (1)求电容器的两个极板上的表面电荷密度  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ ；
- (2)求两层接触的面的表面电荷密度  $\sigma$ 。

注：电导率是电阻率的倒数，即  $\lambda = \frac{1}{\rho}$ 。

### 问题 10-5 电容器充电

有两个充电的电容器，电容分别为  $C_1=18\mu\text{F}$  和  $C_2=19\mu\text{F}$ 。电容器上的电压分别为  $U_1=76\text{V}$  和  $U_2=190\text{V}$ 。将第三个电容未知的电容器与  $C_2$  相连，如图 10 所示。将开关  $K$  从右侧拨到左侧，当电容器重新达到平衡后，拨回原来的位置。

已知，经过 44 次这样的循环后，电压差  $(U_2 - U_1)_{44}$  等于一开始时的 1%。

(1) 电容器  $C$  的电容等于多少？

(2) 经过足够多次的循环后，电容器上的电压  $U_\infty$  等于多少？

(3) 经过足够多次的循环后，电阻  $R$  上放出的总热量等于多少？

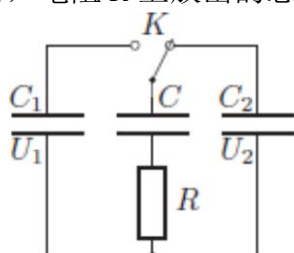


图 10

## 十一年级

### 问题 11-1 三线摆

将质量为  $m$  的环吊在长度为  $L$  的三根竖直细线下面，如图 11 所示。

(1) 将环绕轴  $OO'$  进行小幅扭动，求振动的周期。

(2) 如果在  $O$  点放置一个质量为  $m$  的质点并用轻质辐轴连接到环上，振动的周期会如何变化？

注：当  $\alpha \ll 1\text{rad}$  时，可以用近似估计式  $\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$ 。



图 11

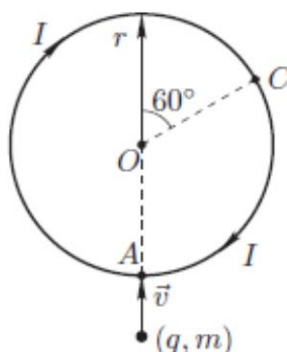


图 12

### 问题 11-2 螺线管中的带电粒子

图 12 为长螺线管的横截面，每一圈的半径  $r=10\text{cm}$ ，每米中的匝数  $n=500\text{m}^{-1}$ 。在螺旋管的线圈上通顺时针恒定电流  $I=1\text{A}$ 。

带电粒子从 A 处的线圈之间的空隙进入，它被电势差  $U=10^3\text{V}$  加速。在 A 点处的速度是沿着螺线管的半径方向。粒子在螺线管内在与轴垂直的平面内运动，在点 C 处从螺线管飞出，与开始的方向夹角  $\alpha=60^\circ$ 。请求出：

- (1)粒子的电荷符号；
- (2)粒子在螺线管内运动轨迹的曲率半径；
- (3)粒子的荷质比（即所带电荷量与质量的比值）。

磁场常数  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ （国际单位制）。

### 问题 11-3 活塞的稳定性

底端封闭的薄壁圆柱的长度为  $L=1.50\text{m}$ ，竖直放置。上面的部分和另一个半径大得多的圆柱相连，如图 13 所示。下面的圆柱距离其顶部  $h_1=380\text{mm}$ <sup>①</sup>处有一个薄的轻质活塞。在活塞上面是一层厚度为  $h+\Delta h$  的汞，其中  $\Delta h \ll h$ ，活塞下面是压强为  $p_1 = p_0 + \rho_{\text{汞}}gh_1$  的氦气，其中  $p_0 = 760\text{ mmHg}$  为大气压，汞的密度  $\rho_{\text{汞}} = 13.6\text{ g/cm}^3$ 。由于两个圆柱容器的横截面积相差非常悬殊，即使活塞在整个细圆柱内移动， $\Delta h$  的变化也可以忽略。

在题目中的条件下，活塞处于平衡状态。该平衡是否稳定？是否还存在其他的平衡位置？如果存在，活塞与细圆柱顶部的距离还有哪些  $h_i$  满足该条件？这些平衡是否稳定？我们可以假设在小的体积变化下，活塞下面氦气的温度保持不变。

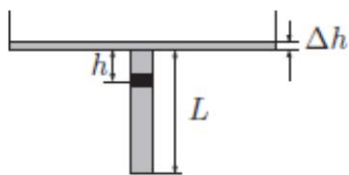


图 13

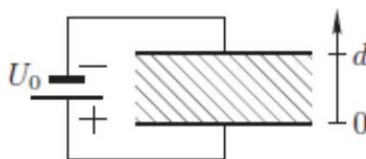


图 14

<sup>①</sup> 译者注：这里是说，解关于  $h$  的方程时，不同解用  $h_1$ 、 $h_2$  等表示， $h_1$  并非独立于  $h$  的不同变量。

### 问题 11-4 漏电的电容器

平行板电容器  $C_0$  里面是一层弱导电性物质，电介质常数  $\epsilon=1$ ，电阻率和其中的一个极板的距离的关系为  $\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{2x}{d}\right)$ ，其中  $d$  为两板之间的距离。电容器

与电压为  $U_0$  的电池连接，如图 14 所示。请求出：

- (1) 流过电容器的电流强度；
- (2) 电容器的两个极板分别的带电量（下面的是  $q_1$ ，上面的是  $q_2$ ）；
- (3) 电容器里面的带电量  $q$ （储存在极板之间的介质中）；
- (4) 电容器里面储存的电能  $W_e$ 。

### 问题 11-5 平面光导纤维

将折射率为  $n$  的透明平板擦得很干净，在左侧放有点光源  $S$ ，如图 15 所示。平板的厚度  $H=1\text{cm}$ ，长度  $L=100\text{cm}$ 。点光源发出的光以  $0^\circ\sim 90^\circ$  之间所有的入射角照到平板的左侧。观测者的眼睛能看到点光源直接发出的光，也能看到通过平板的上下表面发生反复全反射的光。

(1) 从点光源发出的光最多可以经历多少次反射后从右侧射出？对两种情况分别考虑： $n_1=1.73$ ， $n_2=1.3$ 。

(2) 指出在这两种情况中的哪种，光线会有一部分从上下表面跑出？

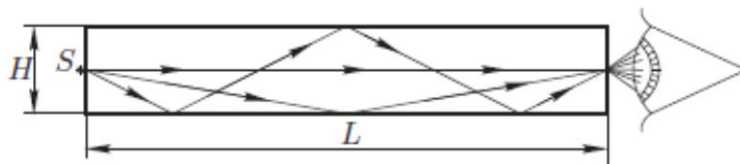


图 15

## 2012 年全俄物理奥林匹克（理论部分）

### 九年级

#### 问题 9-1 火箭里的木块

准备发射的火箭里有一个大的水槽，部分装有密度为  $\rho_0$  的水。在容器里面有一个圆柱形的木块，密度为  $\rho$ ，横截面积为  $S$ ，用劲度系数为  $k$  的轻弹簧连接在底部。火箭发射前，弹簧的伸长量为  $x_0$ ，木块部分露出水面。

- (1) 当整个系统加速上升时，木块的高度是上升还是下降？请说明你的理由。
- (2) 火箭的加速度为  $a$  时，木块浮出水面的高度的变化量为  $x^{\textcircled{2}}$ 。求  $x$  关于  $a$  的解析式。

(3) 根据下面的数据计算  $x$  的数值： $k=10\text{N/m}$ ， $x_0=1\text{cm}$ ， $\rho_0=1000\text{kg/m}^3$ ， $S=10^{-4}\text{m}^2$ ， $g=10\text{m/s}^2$ ， $a=3g$ 。

<sup>②</sup> 译者注：木块足够高，使得加速度在题目的范围内变化时不会完全浸没或完全浮出。

## 问题 9-2 弹簧和小球

在水平桌面上竖直放置了一根光滑长管，里面放有轻质弹簧。在管内从距离桌面  $h=2\text{m}$  的高度无初速度释放小球。当小球碰到弹簧的顶端时，粘在它上面。图 1 为小球的动能  $E_k$  和它距离桌面的高度  $h$  的关系图。求弹簧未伸长时的长度  $L_0$ 、劲度系数  $k$  和小球的质量  $m$ 。假设小球碰到弹簧顶端时不发生能量损耗，且弹簧的任何形变都满足胡克定律。取  $g=10\text{m/s}^2$ 。

注：实际考试中，学生可以申请领取一张放大的图 1。

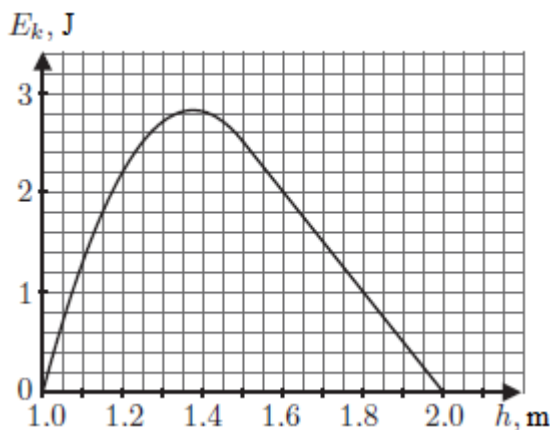


图 1

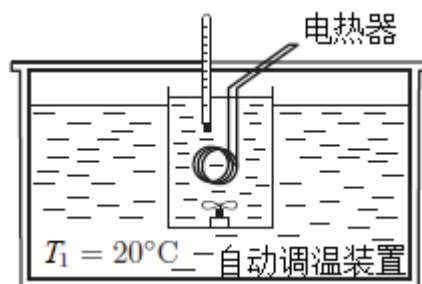


图 2

## 问题 9-3 预热

在实验室中，实验员格鲁克有一台带有搅拌器的电热器、一台自动调温装置<sup>③</sup>和两个薄壁烧杯，尺寸之比为 2<sup>④</sup>（玻璃的厚度相等）。自动调温装置中保持恒温  $T_1=20^\circ\text{C}$ （如图 2 所示）。格鲁克想要研究烧杯中液体的温度与时间的关系（需要用搅拌器使得烧杯中的液体温度快速达到均匀）。

首先，他将小烧杯里装满待测液体，温度为  $T_1=20^\circ\text{C}$ ，放入自动调温装置。通电后，格鲁克发现，经过第一个  $t_1=10\text{s}$ ，系统的温度升高了  $\Delta T_1=1^\circ\text{C}$ 。经过足够长的时间后，液体的温度变成  $T_2=40^\circ\text{C}$ 。

在第二次实验中，他将大烧杯里装满同一种液体，温度已经加热到了  $T_3=35^\circ\text{C}$ ，并放入同一个装置。经过某个时间  $t_2$  后，他奇怪地发现，大烧杯里的温度下降了  $\Delta T_2=0.5^\circ\text{C}$ 。

假设玻璃杯的热容量和里面的液体的热容量相比可以忽略不计。

(1) 经过足够长的时间后，大烧杯里的温度会变成多少（用  $T_4$  表示）？

(2) 求时间  $t_2$ 。

注：已知烧杯壁单位时间内的热传递与内外壁的温差成正比。

<sup>③</sup> 译者注：该“自动调温装置”可以看做一个足够大的恒温水槽。

<sup>④</sup> 译者注：指的是各维之比均为 2。

### 问题 9-4 二极管

半导体二极管是一种只能单向传导电流的仪器（图 3）。如果将二极管反向接入（图 4），将不会通过电流。理想二极管的伏安特性（电流与电压的关系图）如图 5 所示。

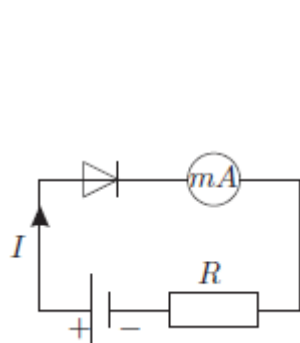


图 3

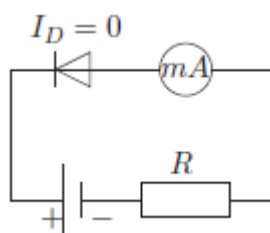


图 4

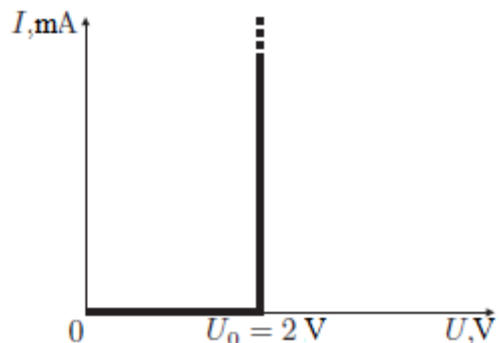


图 5

(1)图 6 为带有支路的电路的一部分。电阻  $R_1=6\text{k}\Omega$ ,  $R_2=5\text{k}\Omega$ 。求二极管上的电势降和流过毫安表的电流。

(2)如图 7 所示，将二极管反向接入，电阻不变。此时，求二极管上的电势降和流过毫安表的电流。两种情况下，毫安表看作理想的。

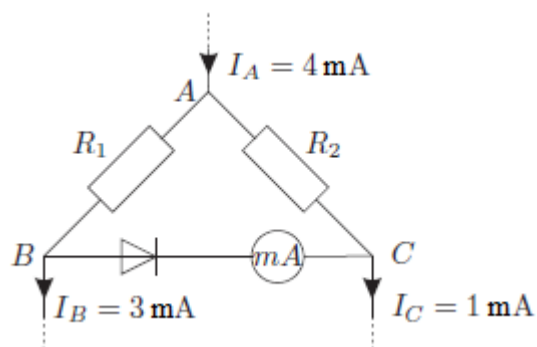


图 6

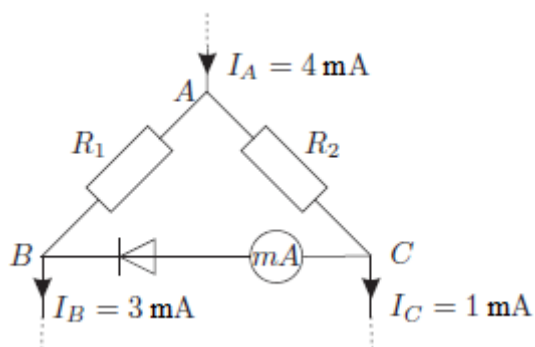


图 7

### 问题 9-5 迷失的镜子

据说人们在斯涅尔的档案中发现一幅画，上面画有两面平面镜  $M_1$  和  $M_2$ ，所成的二面角为  $\varphi$ ，点光源  $S$  和可以同时看到点光源的两个像的阴影区域  $AOB$ 。随着时间的经过，墨水褪色了，镜子  $M_2$  和点光源  $S$  看不清了（如图 8 所示）。

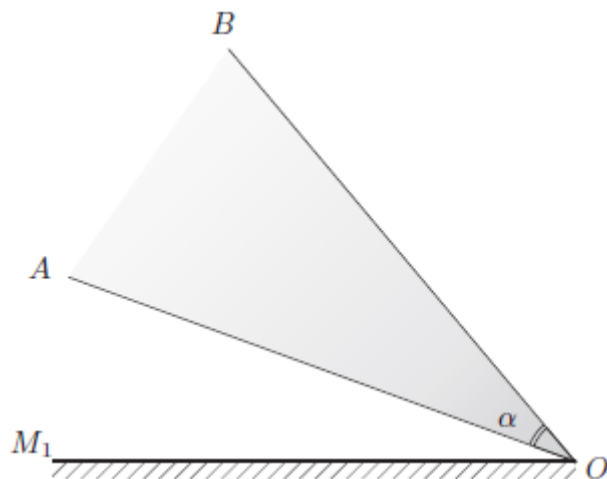


图 8

根据已知数据，用尺规作图（圆规和没有刻度的直尺）恢复 $M_2$ 的位置，并求出 $S$ 可能位置的轨迹。镜子视为半无限的<sup>⑤</sup>。

如果 $\angle AOB = \angle \alpha = 30^\circ$ ，求镜子之间的二面角 $\varphi$ 。

## 十年级

### 问题 10-1 平台

平台上凸出的部分是高度为 $h$ 的长方体，上面有质量为 $m$ 的小物块。在它上面系有不可延伸的轻线，跨过安在凸起部分上的理想滑轮，如图 9 所示。线的另一端系在竖直的墙上，使得滑轮和墙之间的这段线是水平的。

平台以速度 $v$ 远离墙壁运动。当物块上的线与水平方向夹角为 $\alpha$ 时，需要多大的拉力 $F$ ？力 $F$ 是水平的且位于该图的平面内，物块与平台之间的摩擦系数为 $\mu$ ，平台与地面之间没有摩擦。假设在物块在平台上运动的过程中，平台不离开地面。

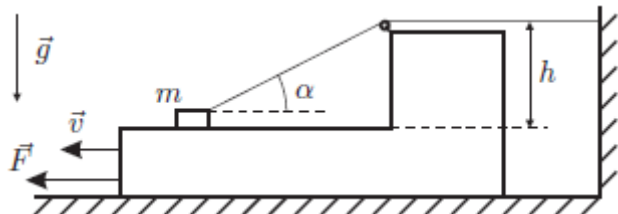


图 9

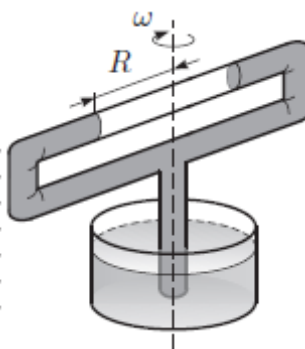


图 10

<sup>⑤</sup> 译者注：即每面镜子都是无限大的半平面。

### 问题 10-2 旋转管

环形玻璃管带有分叉，把它浸入敞口的汞槽中。上面的部分有一段空气柱，空气和汞的交界处和对称轴的距离为 $R$ （如图 10 所示）。为了使得气体的压强变为原来的 $n$ 倍<sup>⑥</sup>，求系统绕轴旋转的角速度 $\omega$ 。一开始的气体压强为 $p_0$ ，汞的密度为 $\rho$ ，汞槽中汞的深度可以看作不变。

### 问题 10-3 单调过程

将一摩尔理想气体从已知压强 $p_1$ 和已知体积 $V_1$ 的状态转换成压强 $p_2=0.75p_1$ 和体积 $V_2>V_1$ 的状态。过程中 $p$ 与 $V$ 的关系图象是线性函数（如图 11 所示）。

为了使得整个过程中气体的温度是单调变化的，求末态的体积 $V_2$ 的取值范围。

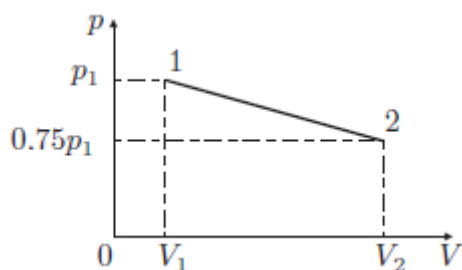


图 11

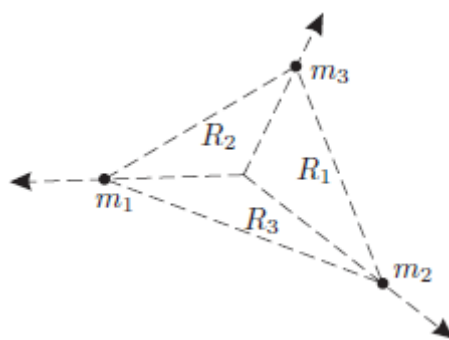


图 12

### 问题 10-4 三个带电粒子的远离

三个粒子带电量相等，一开始的时候位于一个边长分别为 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 的三角形的三个顶点处（如图 12 所示）。同时释放这三个粒子，它们远离彼此，使得两两之间的连线保持和一开始的时候平行。在忽略重力的情况下，求三个粒子的质量之比 $m_1:m_2:m_3$ 。

### 问题 10-5 非线性元件

如图 13 所示，电路中的定值电阻的阻值均为 $R=1\Omega$ ， $X$  为伏安特性未知的非线性元件，还有理想电流表和可变电源。图 14 为电流表的示数与电源电压的关系图象，其中图 13 中的电流的方向为正方向。请对该非线性元件的伏安特性进行还原（即画出其电流与电压的关系图象）。

<sup>⑥</sup> 译者注：原文为“变化 $n$ 倍”，需要判断压强是增加还是减小，这里应保持该考点不变，故规定 $n$ 可能是整数或分数。



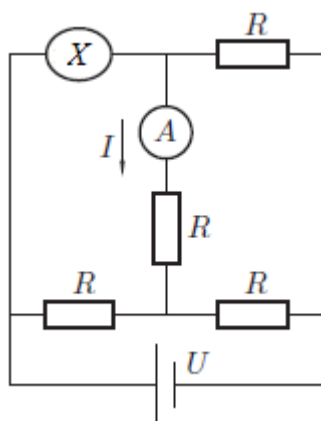


图 13

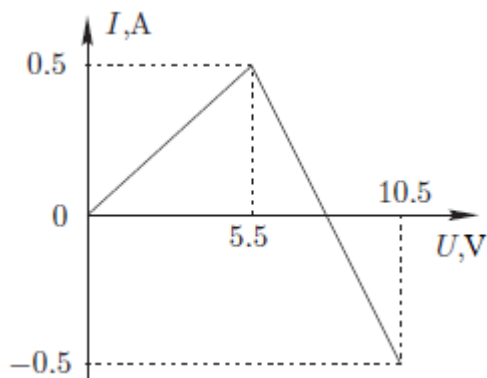


图 14

## 十一年级

### 问题 11-1 一袋面粉

将一袋面粉放在弹簧台秤的秤盘上方  $h=4\text{cm}$  的高度处，使其无初速下落。秤的箭头摆动到  $m_1=6\text{kg}$  的位置，当振动停下时，示数为  $m_2=2\text{kg}$ 。弹簧的劲度系数为  $k=1.5\text{kN/m}$ 。求秤盘的质量  $M$ 。

注：重力加速度取  $g=10\text{m/s}^2$ 。

### 问题 11-2 磁力

如图 15 所示，两条平行的水平铁轨之间的距离为  $l$ ，两根金属棒  $AB$  和  $CD$  可以在铁轨上无摩擦地滑动，质量均为  $m$ ，电阻均为  $R$ 。感应系数为  $B$  的均匀磁场和两条铁轨所在平面垂直。一开始，两根棒的距离为  $d$ ，且与铁轨垂直。一开始的时候  $CD$  不动，而  $AB$  则以  $v_0$  的速度沿着和铁轨平行的方向远离  $CD$  移动。在经过足够长的时间之后，求

- (1) 两根铁轨之间的距离；
- (2) 系统放出的总热量。

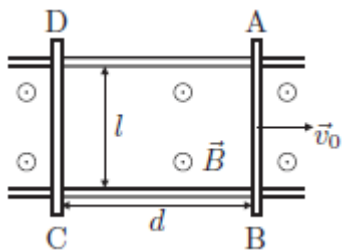


图 15

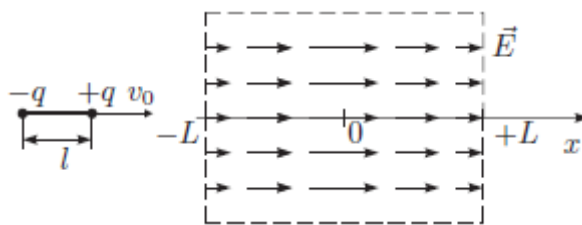


图 16

### 问题 11-3 电场中的双极子

双极子由两个点电荷 $+q$ 和 $-q$ 组成，它们之间的距离固定为 $l$ ，总质量为 $m$ 。双极子朝着 $x$ 轴的方向，以速度 $v_0$ 进入宽度为 $2L \gg l$ 的区域（如图 16 所示）。在该区域内，电场向量 $\vec{E}$ 处处都是沿着 $x$ 轴的正方向，其大小为 $E(x) = E_0 \left(1 - \frac{x^2}{L^2}\right)$ 。

求双极子所受的合力与其重心横坐标的关系式，其速度的最大值，以及经过这 $2L$ 距离所需的时间。双极子在空间中的方向始终不变。

注：这样的电场可以用具有指定的空间电荷分布的平行板电容器来实现。

### 问题 11-4 线性过程

将一摩尔多原子理想气体从温度 $t_B = 217^\circ\text{C}$ 的状态 $B$ 转换成状态 $D$ ，使得压强和体积的关系是线性的。气体的温度单调递减，需要从外界提供热量（如图 17 所示）。

为了能使气体进行这个过程，求所需要做的功的最大值 $W_{\max}$ 。

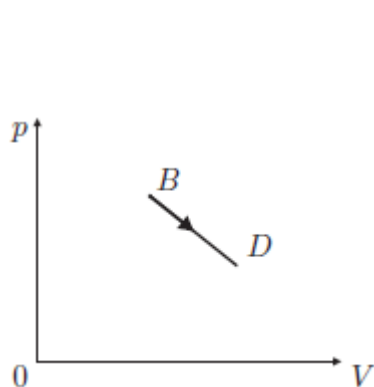


图 17

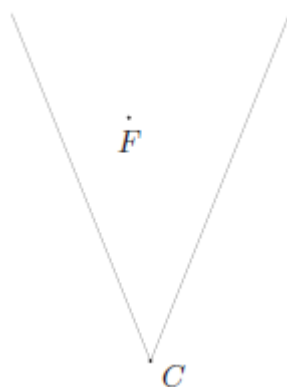


图 18

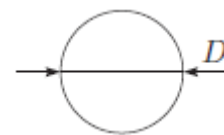


图 19

### 问题 11-5 围成一圈的透镜

在斯涅尔的档案中发现了这么一篇手稿，里面提到，光线经过由 $N$ 面相同的透镜组成的系统折射后形成的光路是什么样的。这些透镜的光心位于一个圆周上，它们所在的平面都和圆周所在平面垂直并经过圆心。时间过去了，墨水褪色了，图中只能模糊地看到其中两面相邻的透镜所在的平面和其中一面的一个焦点（如图 18 所示）。从文字中可以得知，光线经过这些透镜中的每一面折射后，形成一个正 $N$ 边形的边。透镜的形状和直径 $D$ 如图 19 所示。

(1) 透镜是凸透镜还是凹透镜？

请用尺规作图（圆规和没有刻度的直尺）来恢复：

(2) 两面透镜的位置（图中表示了它们所在的平面）；

(3) 连续四面透镜的光心的可能位置；

(4) 光线沿着这四面透镜所形成的光路的可能位置。

请说明你的理由。

# 2013 年全俄物理奥林匹克（理论部分）

## 九年级

### 问题 9-1 相对论

两个粒子从同一点出发沿互相垂直的方向运动，如图 1 所示。第一个粒子的初速度为  $3v$ ，加速度恒定为  $3a$ ，与初速度方向相同；第二个粒子的初速度为  $4v$ ，加速度为  $4a$ ，与初速度方向相反。

数值上， $a=0.538\text{m/s}^2$ ， $v=10\text{m/s}$ 。

当它们的相对速度的大小和一开始相等时，它们之间的距离  $L$  等于多少？它们的相对速度的最小值  $v_0$  等于多少？

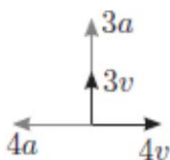


图 1

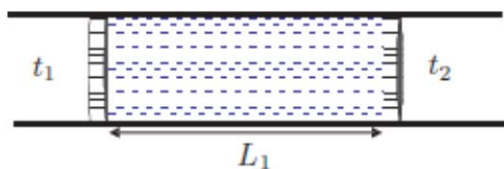


图 2

### 问题 9-2 管中的物体

在不导热的圆柱管中放置有两个轻质可导热的活塞，距离为  $L_1=80\text{cm}$ 。它们之间的空间装有水，外侧受到大气压的作用，如图 2 所示。

左活塞的左侧有冷凝器，保持温度  $t_1=-40^\circ\text{C}$ ；右活塞的右侧有加热器，保持温度  $t_2=16^\circ\text{C}$ 。经过一段时间，系统达到稳定状态，两个活塞之间的距离变为  $L_2$ 。

之后，将活塞与外界进行热隔离，并等待管中达到热平衡。此时，活塞之间的距离变为  $L_3$ 。求  $L_2$  和  $L_3$  的值。冰的密度  $\rho_{\text{冰}}=900\text{kg/m}^3$ ，水的密度  $\rho_{\text{水}}=1000\text{kg/m}^3$ ，水的比热  $c_{\text{水}}=4200\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ，冰的比热  $c_{\text{冰}}=2100\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ，冰的熔解热  $\lambda=330\text{kJ/kg}$ ，冰的热传导系数是水的 4 倍。

提示：考虑流过圆柱管的热流容量  $P$ 。如果两端保持一定温差  $\Delta t$ ，可以用  $P=\frac{kS\Delta t}{L}$  来计算，其中  $k$  为介质的热传导系数， $S$  为圆柱的底面积， $L$  为这段圆柱的长度。

### 问题 9-3 环上的珠子

质量为  $M$  的细丝环立在水平面上<sup>⑦</sup>，如图 3 所示。上面有两个质量均为  $m$  的珠子，可以沿环无摩擦地滑动。一开始，珠子接近环的顶端。同时释放它们，使得它们开始对称地移动。它们的质量之比  $\frac{m}{M}$  是多少的时候，环会从平面上“跳起来”？

<sup>⑦</sup> 译者注：这本来是不稳定平衡，但本题的本意不考虑这个，凑合理解吧。

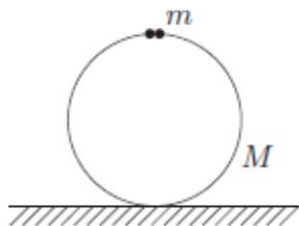


图 3

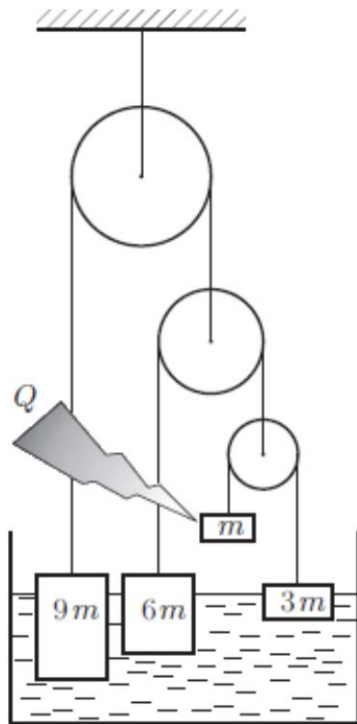


图 4

#### 问题 9-4 激光线中的冰

为了学习冰的性质，在实验室中用滑轮和细绳将四块质量不同的冰连起来，并浸入装有水的玻璃杯中。系统处于平衡状态，最轻的冰悬在空气中，三块较重的冰则各有部分浸入水中，如图 4 所示。

在实验的过程中，在悬在空气中的冰上照射激光，使其开始融化，水滴入玻璃杯中。

当冰块吸收了  $Q=825\text{J}$  的热量后，玻璃杯中的水面变化了  $\Delta h_1=1\text{cm}$ 。当这块冰完全融化后，水面和一开始相比变化了  $\Delta h_2=3\text{cm}$ 。

- (1) 玻璃杯中的水面是升高了还是降低了？
- (2) 求玻璃杯的底面积。
- (3) 吊着质量为  $6m$  的冰的那段绳的张力在什么范围内变化？

假设在质量为  $m$  的冰融化的整个过程中，都吊在绳子上，没有接触水面。不计滑轮和细绳的质量。一开始以及实验的过程中，冰和水的温度都等于室温  $t_{\text{室}}=0^\circ\text{C}$ 。重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。

#### 问题 9-5 滑动变阻器

实验员格鲁克用图 5 中的电路做实验。电路中有电压为  $U_0$  的未知电源，电阻  $R_3=1\text{M}\Omega$ ，电阻  $R_1$  和  $R_2$  未知，两个理想电流表，以及滑动变阻器  $XZ$ ——横截面积一定的导体，和滑片  $Y$  相连。滑动变阻器的长度  $L=1\text{m}$ ，阻值  $r=1\text{k}\Omega$ 。通过滑动滑片，格鲁克画出了电流表  $A_1$  的示数与滑动变阻器的  $XY$  段的长度的关系图，如图 6 所示。

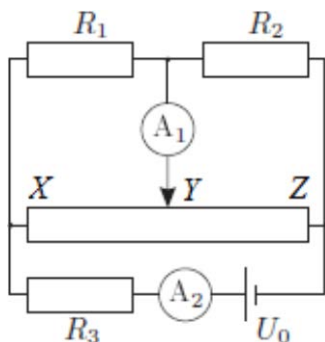


图 5

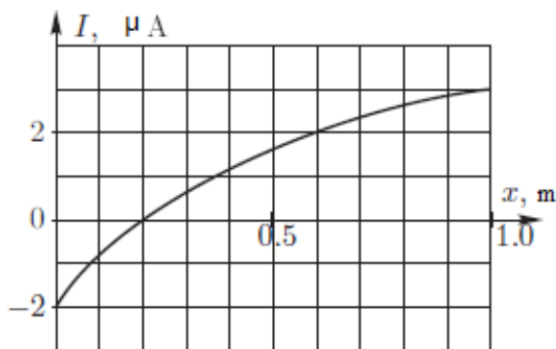


图 6

- (1) 求  $R_1:R_2$  的阻值之比。
- (2) 画出电流表  $A_2$  的示数与滑动变阻器的  $XY$  段的长度的大致关系图(需 0.1% 的精确度)。
- (3) 求  $R_1$  和  $R_2$  的阻值, 以及电源电压  $U_0$ 。

## 十 年 级

### 问题 10-1 沙包和摩擦

将一包沙子以初速度  $v_0$  沿着与水平面夹角  $\alpha$  的方向从地面抛出。落地时, 失去竖直方向的分速度。求与初始位置相比的位移的最大值, 以及达到此位移的夹角  $\alpha$ 。沙包和地面之间的摩擦系数为  $\mu$ , 重力加速度为  $g$ , 碰撞的时间很短。

### 问题 10-2 容器中的过程

隔热的圆柱容器水平放置, 被固定的导热活塞分成两部分。右边的部分用可移动的隔热活塞与空气隔离。两部分都装有氮气, 系统处于平衡状态。将左边的部分快速加热。已知从加热结束时起, 到再次到达平衡时, 气体的总内能的变化量为  $\Delta U$ 。那么, 这期间左边的部分的氮气的内能的变化量  $\Delta U_1$  等于多少? 容器和活塞的热容量可以忽略。

### 问题 10-3 两个小球

两个相同的小球质量均为  $m$ , 用不计质量, 不可延展, 长度为  $l$  的细线连起来, 放在光滑的水平面上, 如图 7 所示。

对右侧的小球施加  $v_0$  的竖直向上的速度, 设重力加速度为  $g$ 。

- (1) 当线的方向变成竖直时, 求上边的小球的路径在此刻的曲率半径。
- (2) 为了使得在这一时刻下面的小球对水平面的压力为 0, 初速度  $v_0$  应当取什么值?

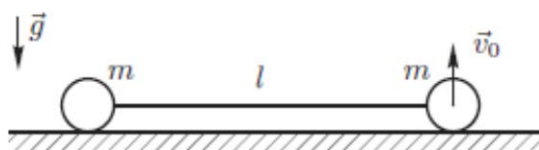


图 7

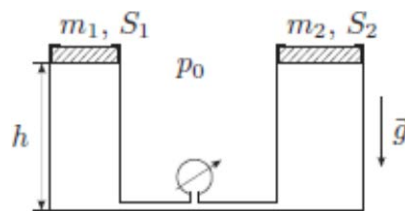


图 8

#### 问题 10-4 实验

两个竖直的圆柱形容器底端用带有压力计的可不计体积的细管连接，如图 8 所示。两侧的容器口都有活塞，在最顶上活塞被卡住，阻止其上升。当活塞处于最顶上的时候，活塞底部与容器底部的距离为  $h=1\text{m}$ 。活塞下面共有 1 摩尔理想气体，大气压为  $p_0=10^5\text{Pa}$ 。活塞可以在容器中无摩擦地滑动。

下表为在 5 种不同的温度下，气压表的示数：

$t, ^\circ\text{C}$	-50.0	-32.4	27.8	174.7	264.1
$p, 10^5\text{Pa}$	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0

求两个活塞的质量  $m_1$  和  $m_2$ ，以及两个容器的底面积  $S_1$  和  $S_2$ 。<sup>®</sup>

#### 问题 10-5 电路

在图 9 的电路中，各个元件都可以看作理想的。电源的电动势  $\mathcal{E}=4.0\text{V}$ ，电阻  $r=50\text{k}\Omega$ ， $R=150\text{k}\Omega$ ，电容  $C=2.0\text{mF}$ 。在闭合开关前，电路中没有电流。将开关闭合一段时间，然后再断开。开关闭合期间，电路中产生的热量  $Q_1=7.43\text{mJ}$ ；断开开关后，电路中产生的热量  $Q_2=1.00\text{mJ}$ 。

(1) 开关闭合期间，流过电阻  $R$  的总电量等于多少？

(2) 开关共闭合了多长时间？

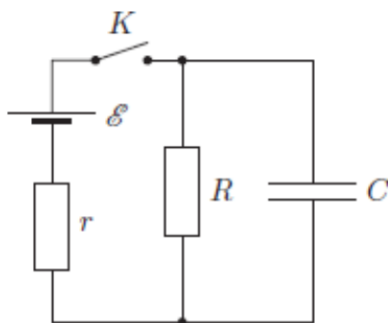


图 9

<sup>®</sup> 译者注：由于两个容器是平等的，这里设  $S_1 < S_2$ 。

## 十一年级

### 问题 11-1 织针的振动

在一根长度为  $L$  的轻织针的两端各系上一个相同的小金属球，如图 10 所示。把织针放在长度为  $l < L$  的台座上，使得二者的中点相接触，并以小角度  $\varphi_0 < 1\text{rad}$  进行扰动。求织针的小幅振动的周期，如果织针从一侧振动到另一侧时不损失能量，不会从台座上掉下来，也不会发生滑动。

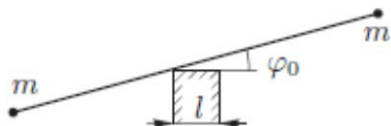


图 10

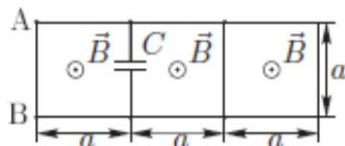


图 11

### 问题 11-2 三方格同磁场，不用提电容器<sup>⑨</sup>

用一根导线焊接成图 11 中的形状，由三个边长为  $a$  的正方形组成，它们位于同一个平面内。在其中的一条边上焊接了一个电容为  $C$  的小电容器。把它们放在匀强磁场  $\vec{B}$  中，它与该图的平面垂直，且以  $\frac{dB}{dt} = k > 0$  的恒定速度增加。每一条边的阻值为  $r$ 。当系统处于稳定状态时，求

- (1) 边  $AB$  上的电流强度和方向；
- (2) 电容器所带的电量  $Q$  以及两个极板所带电荷的符号；
- (3) 时间  $t$  内系统放出的热量  $W$ 。

### 问题 11-3 还原透镜

这次，我们在斯涅尔的档案里发现的是由理想薄透镜、物体和像组成的光学系统。从文字可以得出，物体是长度为  $l$  的小棒，两端各有一个点光源。小棒和主光轴都位于图中的平面内，且小棒不穿过透镜所在的平面。随着时间的经过，这张图上的墨水也褪色了，图中只剩下了两个点光源和它们的像，但不知道哪个点对应哪个。有趣的是，这些点位于一个正三角形的顶点和中心的位置上，如图 12 所示。

- (1) 三角形的中心是物体本身还是物体的像？
- (2) 恢复该光路图，包括物体、像、透镜、主光轴、焦点。旋转  $120^\circ$  或翻转后重合的视为同一种。
- (3) 求焦距的长度。

注：理想透镜可以使得任何平行光都在焦平面上聚焦<sup>⑩</sup>。

<sup>⑨</sup> 译者注：该名称来自杰罗姆的著作《三人同舟》(Three Men in a Boat (To Say Nothing of the Dog))的名称。

<sup>⑩</sup> 译者注：即理想凸透镜可以使得任何不与透镜平行的光汇聚在焦平面上的一点，而理想凹透镜则使得发散后的光线的反向延长线位于焦平面上。



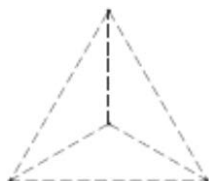


图 12

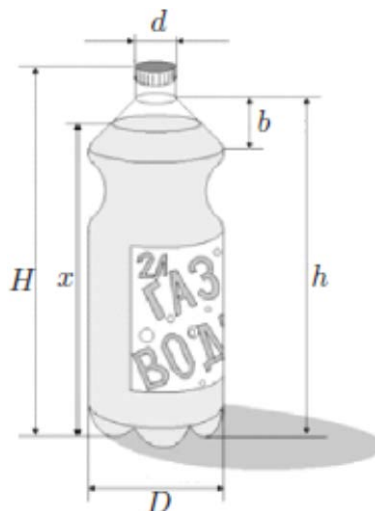


图 13

#### 问题 11-4 汽水的压强

如图 13 所示，工厂将瓶装水中去除溶解的空气，然后在  $t_1=4^\circ\text{C}$ ， $p_1=150\text{kPa}$  下使其溶解二氧化碳至饱和，再封装并送到仓库，根据贮藏要求，温度不得高于  $t_2=35^\circ\text{C}$ 。不考虑液体和瓶子的体积变化，求：

(1) 空出部分的容积的最小值  $V_0$ ，如果贮藏过程中的瓶内压强的最大值不得超过  $p_2=370\text{kPa}$ ；

(2) 工厂根据该体积，装入水的高度  $x$ 。

瓶里水的质量  $m_{\text{水}}=2\text{kg}$ ，二氧化碳的摩尔质量  $\mu=44\text{g/mol}$ 。

瓶子的各部分的长度： $d=3\text{cm}$ ， $b=10\text{cm}$ ， $h=27\text{cm}$ ， $H=30\text{cm}$ ， $D=13\text{cm}$ 。

注：可以认为在某个固定温度  $T$  下，气体的溶解度  $\sigma$  和在液体表面的分压强成正比（亨利原理）。图 14 为分压  $p_0=100\text{kPa}$  下二氧化碳的溶解度与温度的关系。在该温度范围内，水蒸气的分压可以忽略。这里，溶解度  $\sigma$  表示在 1 千克液体中溶解的气体质量（以克计）。

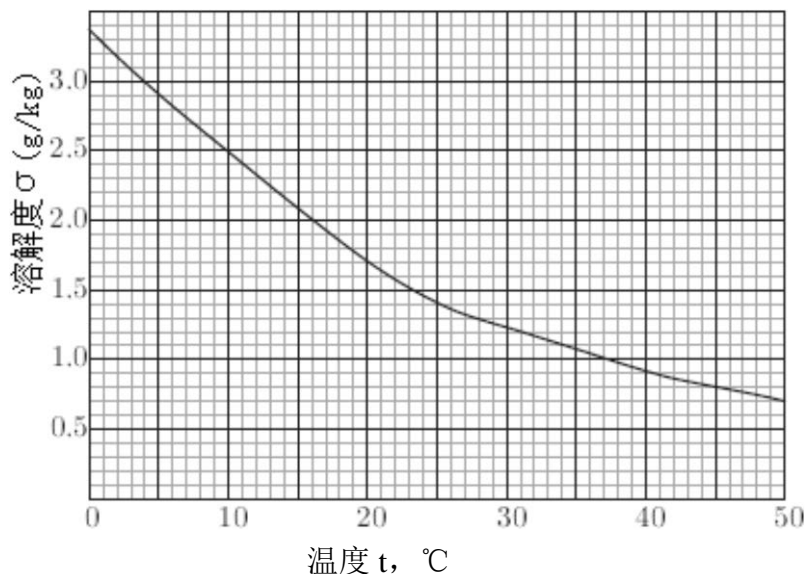


图 14



### 问题 11-5 出故障的火箭

中尉实验员格鲁克在军事训练基地开展了他的新研究，有一种新的信号火箭以一定的速度  $v$  进行飞行，并用信号发生器发出固定频率为  $f_0$  的声音信号。试验基地处声音的速度  $c=330\text{m/s}$ 。

(1)如果火箭径直向他飞来，信号接收器所接收到的声音的频率是多少？

(2)当火箭距离他较远的时候，如果火箭的飞行方向和火箭与他的连线方向的夹角为  $\varphi^{11}$ ，那么信号接收器所接收到的声音的频率是多少？

(3)在研究的过程中，中尉实验员格鲁克不小心让一架有故障的信号火箭飞行了，它在较低的高度以相同的速度  $v$  沿着半径为  $r$  的圆进行飞行。格鲁克成功地修好了火箭后，把注意力放在了图像记录器上，它记录了在基地放置的两台信号接收器所接收到的声音频率和时间的关系图像。根据该图像（如图 15 所示），帮助中尉实验员格鲁克计算出两台信号接收器之间的距离。

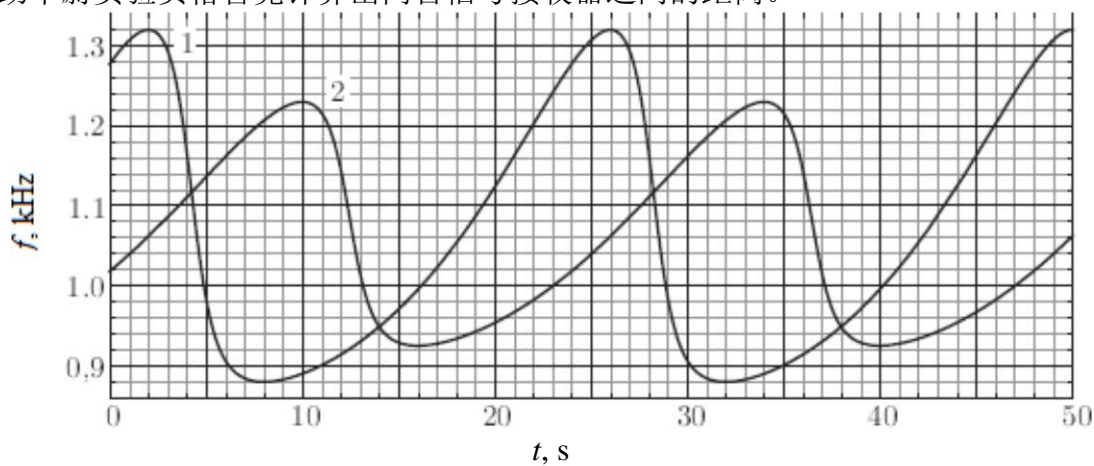
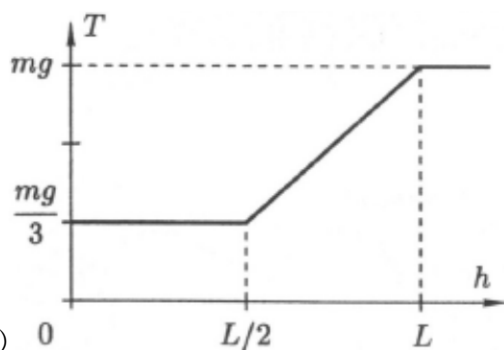


图 15

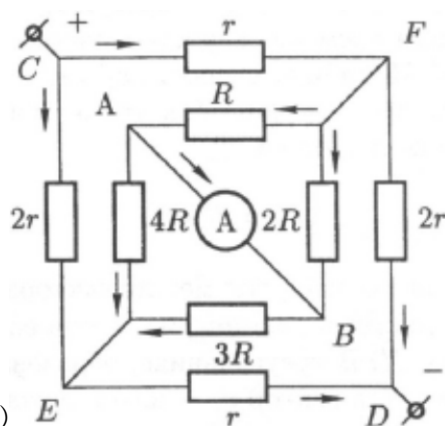
<sup>11</sup> 译者注： $\varphi$  的取值范围为  $[0^\circ, 180^\circ]$ ，其中当火箭恰好远离格鲁克飞行时夹角为  $180^\circ$ 。

## 2009 年全俄物理奥林匹克（理论部分）答案



9-1. (1)  $W = \frac{mgL}{2}$ ; (2)  $0$   $L/2$   $L$ ; (3)  $W_h = \frac{mgL}{15}$ 。

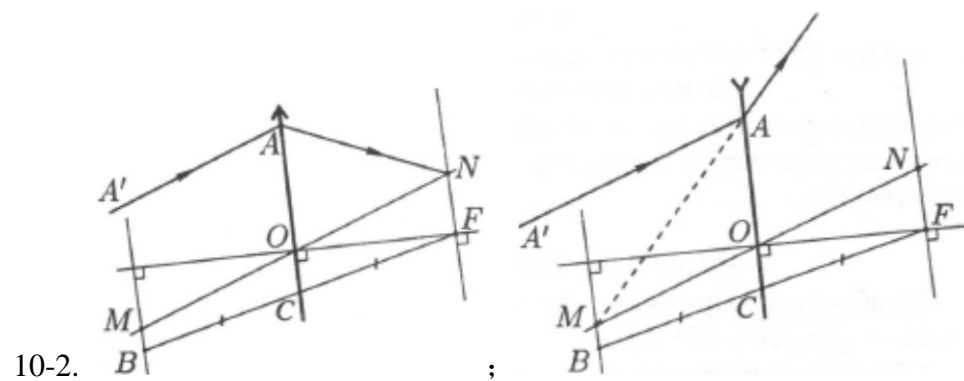
9-2.  $v_0' = \sqrt{3}u$ , 方向与  $\vec{u}$  成  $30^\circ$ ;  $v_{\min} = \frac{u}{2}$ 。



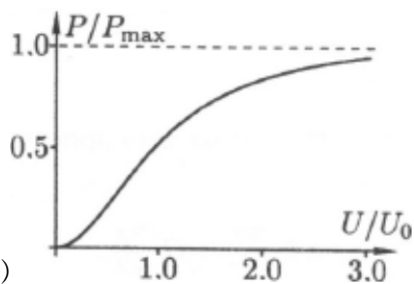
9-3. (1)  $U_{AB} = 1\text{V}$ ; (2)

9-4.  $t_x = 10^\circ\text{C}$ 。

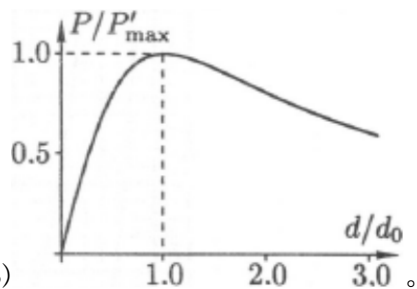
10-1.  $T = \sqrt{3}mg$ 。



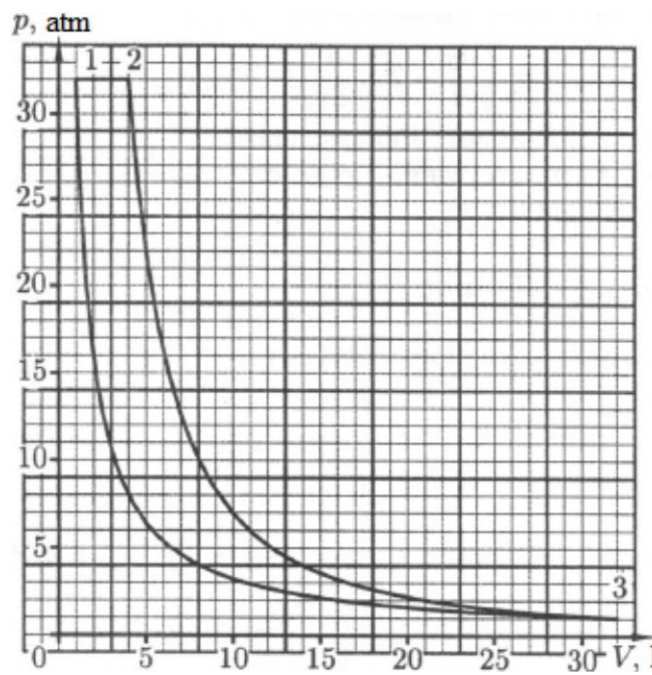
10-3.  $m_3 = \frac{104m_1 + 63m_2}{19}$ 。



10-4. (1)  $I_{\max} = 5 \text{ mA}$ ; (2) , 其中  $U_0 = 1 \text{ kV}$ ;



(3)



10-5. (1)  $0$   $5$   $10$   $15$   $20$   $25$   $30$   $V, \text{ L}$  ; (2)  $T_{\max} = 780 \text{ K}$  ,

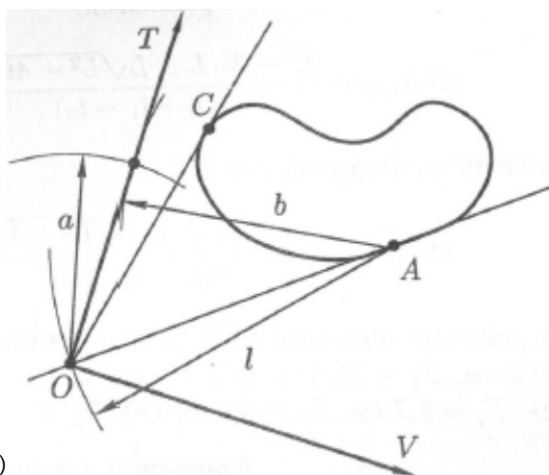
$T_{\min} = 195 \text{ K}$ ; (3)  $W_T = -11.2 \text{ kJ}$ ; (4)  $\eta = 54\%$  。

11-1. (1)  $L=30 \text{ m}$ ,  $k=35 \text{ N/m}$ ; (2)  $x_0=20 \text{ m}$ ; (3)  $v_{\max}=28.3 \text{ m/s}$ ; (4)  $A=40 \text{ m}$ ,  $\omega=0.71 \text{ s}^{-1}$ ;  
(5)  $t=5.41 \text{ s}$ 。

11-2. (1)  $I_0 = \sqrt{\frac{2Q_0}{L}}$ ; (2)  $q_1 = \frac{\sqrt{2Q_0L}}{R}$ ; (3)  $q_2 = -\frac{LI_0}{R}$ ; (4)  $W = \varepsilon q_0 + \frac{\varepsilon}{R} \sqrt{2Q_0L}$ ;

(5)  $Q = W - Q_0$ 。

11-3. (1)  $m_{\text{冰}} = 0.15\text{kg}$ ; (2)  $M = 0.48\text{kg}$ ; (3)  $\alpha = 2.0\text{W}/^\circ\text{C}$ ; (4)  $P_{\text{max}} = 200\text{W}$ ; (5)  $t_1 = 21\text{min}$ 。



11-4. (1) ; (2)  $p_{\text{max}} = 4.75\text{MPa}$ 。

11-5.  $F_1 = 36.3\text{cm}$ ,  $F_2 = 25.8\text{cm}$ ; 或  $F_1 = 3.7\text{cm}$ ,  $F_2 = 6.2\text{cm}$ 。

## 2010 年全俄物理奥林匹克（理论部分）答案

9-1.  $\rho_1 = 0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 。

9-2. (1)  $l = \frac{L}{2}$ ; (2)  $\tau = \frac{\sqrt{3}L}{2v}$ ; (3)  $\Delta t = \frac{\sqrt{3}L}{3v}$ 。

9-3.  $m = 1160\text{g}$ 。

9-4. (1)  $t_3 \approx 109^\circ\text{C}$ ; (2)  $t_4 = 380^\circ\text{C}$ 。

9-5.  $I_2 = I_1 \left( \frac{R_0 + R_1}{R_0 + R_2} \right)$ 。

10-1. (1)(2)  $\mu \geq \mu_{\text{min}} = \frac{Mm_2}{m_1(m_1 + m_2 + M)} = \frac{1}{2}$ ; (3)  $t = 0.9\text{s}$ 。

10-2. (1) $\alpha=0.2$ ; (2) $k_{\min}=9.2$ 。

10-3. (1) $t_0 = \frac{2v_0}{g \sin \alpha}$ ; (2) $\mu < \tan \alpha$ ; (3) $t_\mu = \frac{v_0}{g \sin \alpha} \left( \frac{1}{1+x} + \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \right)$ , 其中  $x = \frac{\mu}{\tan \alpha}$ ;

(4) $\mu = \frac{\sqrt{2} \tan \alpha}{2}$ 。

10-4. (1) $\Delta U_{\text{负}}=2.8\text{V}$ ; (2) $\Delta I_{\text{压}}=1.1\text{A}$ 。

10-5. (1) $U_c = \frac{2E}{3}$ ,  $U_{2c} = \frac{E}{3}$ ; (2) $Q = \frac{CE^2}{2}$ 。

11-1. (1) $a_\tau = \frac{3g}{2\pi}$ ; (2) $\varphi_{\max} = \arcsin \frac{3}{2\pi} \approx 29^\circ$ 。

11-2. 当  $\mu \geq \mu_{\max} = \frac{M}{m_2} \frac{2m_1 + m_2 + 2M}{m_1 + m_2 + M}$  时, 不会发生滑动, 而会发生往复振动;

当  $\mu \leq \mu_{\min} = \frac{M}{m_1 + m_2 + M}$  时, 一开始就会发生滑动;

当  $\mu_{\min} < \mu < \mu_{\max}$  时,  $L = \frac{g}{k} \frac{m_2}{m_1 + M} [\mu(m_1 + m_2 + M) - M]$ ,

$t = \sqrt{\frac{m_1 + m_2 + M}{k}} \cdot \arccos \left( 1 - \frac{kL}{Mg} \right)$ 。

11-3. (1) $P = \alpha \frac{(T - T_2)(T_1 - T)}{T}$ ; (2) $T_m = \sqrt{T_1 T_2} \approx 490 \text{ K}$ ;

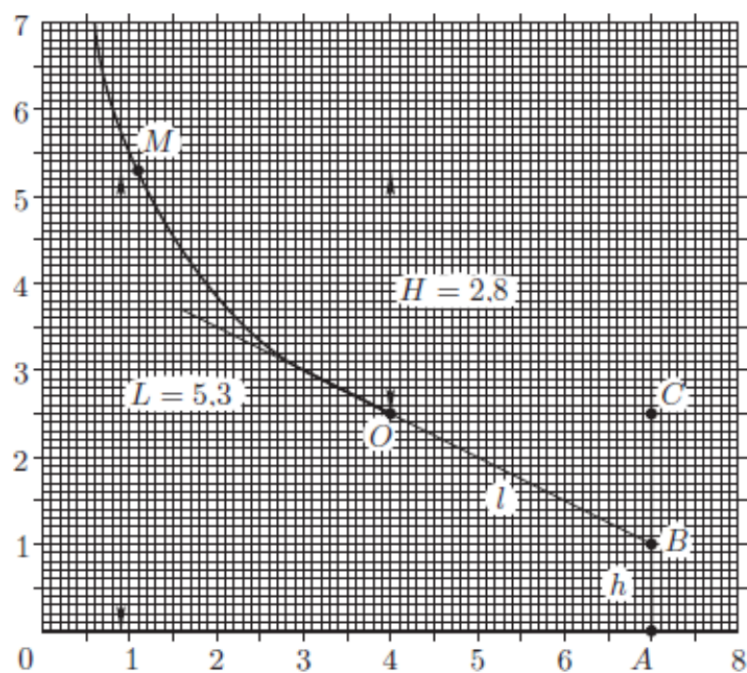
(3) $P_{\max} = \alpha [T_1 + T_2 - 2\sqrt{T_1 T_2}] \approx 120 \text{ kW}$ ; (4) $\eta = \frac{T_1 - T_m}{T_m} = 38.7\%$ 。

11-4. (1)以  $O$  为一个焦点的椭圆; (2) $\tau = \frac{\pi}{q} \sqrt{2\pi\epsilon_0 \frac{m(R_0 + R_1)^3}{2\sqrt{2}-1}}$ 。

11-5. (1) $V=62.8\text{mV}$ ; (2) $v_{\text{限}}=7.2 \times 10^4$  转/分。

## 2011 年全俄物理奥林匹克（理论部分）答案

9-1.



9-2. (1)1:3; (2)3:4。

9-3. (1) $n_{\min} = 8$ ; (2) $t_0 = \frac{2t_1 + 3t_2}{5}$ 。

9-4. (1) $I_{AB} = \frac{11U}{3R}$ ,  $R_{AB} = \frac{3R}{11}$ ; (2) $I_{15} = \frac{2U}{R}$ ; (3) $P_{34} = P_{56} = P_{78} = \frac{U^2}{R}$ ;

(4) $I_{AC} = \frac{11U}{5R}$ ,  $R_{AC} = \frac{5R}{11}$ 。

9-5. (1)3:1; (2)3:5。

10-1. (1)等于  $\alpha$ ; (2)19:8。

10-2. (1) $W_{\max} = mq \left( \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) = 2.45 \times 10^{13} \text{ J}$ ; (2) $m_{\text{水}} = \frac{W_{\max}}{\lambda \left( 1 - \frac{T_1}{T_0} \right)} = 5.12 \times 10^7 \text{ kg}$ 。

10-3.  $T = \frac{5}{4}T_0$ 。

$$10-4. (1) \sigma_1 = \varepsilon_0 E_1 = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon}{d \left( 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)}, \quad \sigma_2 = -\varepsilon_0 E_2 = -\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon}{d \left( 1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)};$$

$$(2) \sigma = -\sigma_1 - \sigma_2 = -\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon}{d} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}.$$

$$10-5. (1) C = 1 \mu\text{F}; (2) U_\infty = 136 \text{ V}; (3) Q = 0.062 \text{ J}.$$

$$11-1. (1) T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}; (2) \text{周期除以 } \sqrt{2}.$$

$$11-2. (1) \text{负电}; (2) R = \sqrt{3}r = 17.3 \text{ cm}; (3) \frac{|q|}{m} \approx 1.7 \times 10^{11} \text{ C/kg}.$$

$$11-3. h_1 = 380 \text{ mm}, \text{ 稳定}; h_2 = 360 \text{ mm}, \text{ 不稳定}.$$

$$11-4. (1) I = \frac{U_0 C_0}{2\rho_0 \varepsilon_0}; (2) q_1 = \frac{C_0 U_0}{2}, \quad q_2 = -\frac{3C_0 U_0}{2}; (3) q = C_0 U_0;$$

$$(4) W_e = \frac{13}{24} C_0 U_0^2.$$

$$11-5. (1) N_1 = 71, \quad N_2 = 83; (2) \text{第二种}.$$

## 2012 年全俄物理奥林匹克（理论部分）答案

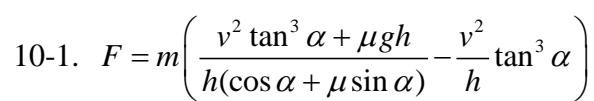
$$9-1. (1) \text{上升}; (2) x = x_0 \frac{ka}{(k + \rho_0 S(g + a))g}; (3) 2.14 \text{ cm}.$$

$$9-2. L_0 = 1.5 \text{ m}, \quad k = 40 \text{ N/m}, \quad m = 0.5 \text{ kg}.$$

$$9-3. T_4 = 25^\circ\text{C}, \quad t_2 \approx 20 \text{ s}.$$

$$9-4. (1) U_1 = 13 \text{ V}, \quad I_1 = 0 \text{ mA}; (2) U_2 = 2 \text{ V}, \quad I_2 = 1 \text{ mA}.$$

$$9-5. S \text{ 的轨迹为射线 } OC; \varphi = 15^\circ.$$



$$10-2. \quad \omega = \frac{n}{R} \sqrt{\frac{2p_0(n-1)}{\rho}} \text{。}$$

10-3.  $V_2 \geq \frac{3}{2}V_1$  或  $V_1 < V_2 \leq \frac{5}{4}V_1$ 。

10-4.  $m_1 : m_2 : m_3 = R_1^3 : R_2^3 : R_3^3$  。



11-1.  $M=2\text{kg}$ .

$$11-2. (1) d' = d + \frac{mv_0 R}{B^2 l^2}; \quad (2) Q = \frac{mv_0^2}{4}$$

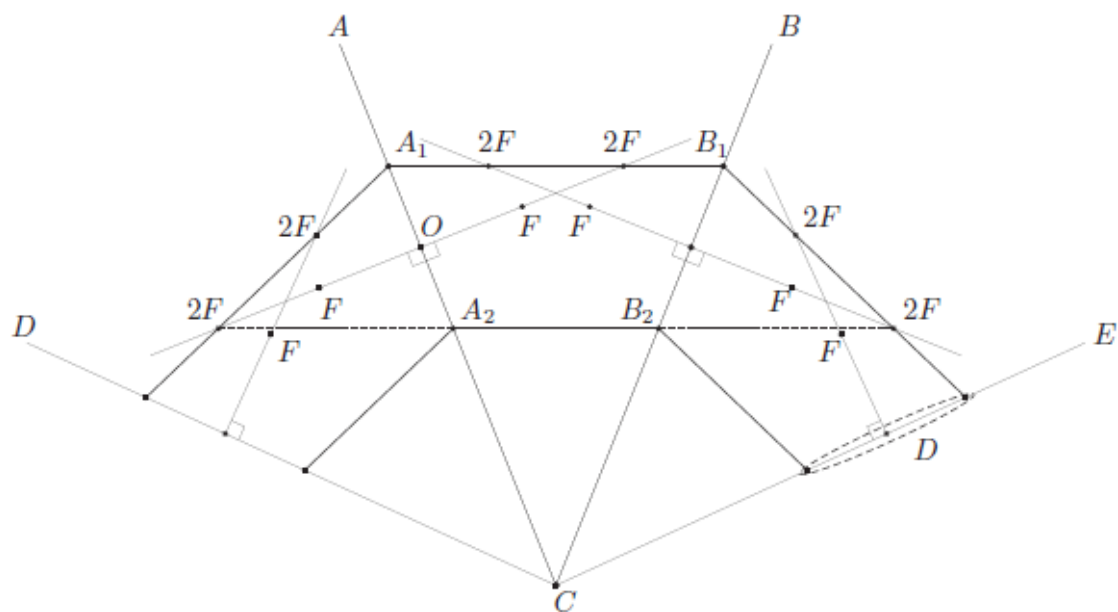


$$11-3. \quad F(x) = -2qlE_0 \frac{x}{L^2}; \quad v_{\max} = \sqrt{v_0^2 + 2 \frac{qlE_0}{m}}; \quad t = \frac{1}{\omega} \left( \pi 2 \arctan \frac{v_0}{\omega L} \right)$$

$$\left( \text{其中 } \omega = \sqrt{2 \frac{qlE_0}{mL^2}} \right).$$

$$11-4. \quad W_{\max} = 540.15 \text{ J}.$$

11-5. (1) 凸透镜和凹透镜皆有可能; (2)(3)(4) 如图所示:



## 2013 年全俄物理奥林匹克（理论部分）答案

$$9-1. \quad \alpha = \arctan \frac{3}{4}, \quad L = \frac{5v^2 \sin 4\alpha}{a} = 500 \text{ m}, \quad v_0 = 5v \sin 2\alpha = 48 \text{ m/s}.$$

$$9-2. \quad L_2 = 1.1L_1 = 88 \text{ cm}, \quad L_3 = \frac{10}{9}L_1 \approx 88.9 \text{ cm}.$$

$$9-3. \quad \frac{m}{M} \geq 1.5.$$

$$9-4. \quad (1) \text{升高了}; \quad (2) S = \frac{8Q}{\Delta h_1 \rho_{\text{水}} \lambda} = 20 \text{ cm}^2; \quad (3) 0 \sim \frac{\rho_{\text{水}} g S \Delta h_2}{4} = 0.15 \text{ N}.$$



11-5. (1)  $f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}}$ ; (2)  $f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi}$ ; (3) 478m。

翻译：东北师范大学附属中学 申强

邮箱：[irreplaceability@126.com](mailto:irreplaceability@126.com)

QQ: 42247799

如发现有错误之处，请联系本人，谢谢！

感谢华东师大二附中的**赵子明**老师完成部分图片中文版的制作。

感谢武汉二中的**江四喜**老师帮助进行了一些题目的描述。

感谢我校**余天呈**等同学，解题过程中发现了翻译中的一些错误并予以更正。

.....