# 第十三届全国中学生物理竞赛

# 预 赛 试 题

## 一、

如图所示为两个均匀磁场区，分界面与纸面垂直，它们与纸面的交线aaʹ、bbʹ、ccʹ彼此平行，已知磁感应强度*B*1的方向垂直纸面向外，*B*2的方向垂直纸面向内，且*B*2的大小为*B*1的二倍，其它区域无磁场。有一多边开口折线导体ABCDEF，位于纸面内，其边长AB＝BC＝2*l*；CD＝DE＝EF＝*l*，各边夹角皆为直角，当CD边平行于aaʹ并匀速地沿垂直于aaʹ的方向向右运动时，试以CD边进入aaʹ为原点，CD边与aaʹ线的距离*x*为横坐标，AF间的电势差*U*AF（即*U*A－*U*F）为纵坐标，准确地画出*U*AF随*x*变化的图线（以刚开始有感应电动势时*U*AF的值作为1个单位），本题不要求列出计算式和文字说明。

c′

b′

a′

*B*1

c

b

*B*2

4*l*

a

2*l*

E

C

A

D

B

F

## 二、

图预13-2

*a*

*ω*

S

C3

C2

O2

*O*1

*h*2

*h*1

C1

B2

B1

A

*D*

在一些重型机械和起重设备上，常用双块式电磁制动器，它的简化示意图如图所示，O1和O2为固定铰链。在电源接通时，A杆被往下压，通过铰链C1、C2、C3使弹簧S被拉伸，制动块B1、B2与制动轮D脱离接触，机械得以正常运转 ，当电源被切断后，A杆不再有向下的压力（A杆及图中所有连杆及制动块所受重力皆忽略不计），于是弹簧回缩，使制动块产生制动效果，此时O1C2和O2C2处于竖直位置，已知欲使正在匀速转动的*D*轮减速从而实现制动，至少需要*M*＝1100牛·米的制动力矩，制动块与制动轮之间的摩擦系数*μ*＝0.40，弹簧不发生形变时的长度为*L*＝0.300米，制动半径*d*＝0.400米，图示尺寸*a*＝0.065米，*h*1＝0.245米，*h*2＝0.340米，试求选用弹簧的倔强系数*k*最少要多大。

## 三、

一台二氧化碳气体激光器发出的激光功率为*N*＝1000瓦，射出的光束截面积为*A*＝1.00平方毫米。试问：

（1）当该光束垂直入射到一物体平面上时，可能产生的光压的最大值为多少？

（2）这束光垂直射到温度*T*为273开，厚度*d*为2.00厘米的铁板上，如果有80%的光束能量被激光所照射到的那一部分铁板所吸收，并使其熔化成与光束等截面积的直圆柱孔，这需要多少时间？

已知，对于波长为*λ*的光束，其每一个光子的动量为*k*＝*h*/*λ*，式中*h*为普朗克恒量，铁的有关参数为：热容量*C*＝26.6焦/（摩·开），密度*ρ*＝7.90×103千克/米3，熔点*T*m*＝*1798开，熔解热Lm＝1.49×104焦/摩，摩尔质量*μ*＝56×10-3千克。

## 四、

一个密封的圆柱形气缸竖直放在水平桌面上，缸内有一与底面平行的可上下滑动的活塞将气缸隔为两部分，活塞导热性能良好，与气缸壁之间无摩擦、不漏气，活塞上方盛有1.5摩尔氢气，下方盛有1摩尔氧气，如图所示，它们的温度始终相同，已知在温度为320开时，氢气的体积是氧气的4倍，试求在温度是多少时氢气的体积是氧气的3倍。

氧气

氢气

## 五、

在静电复印机里，常用如图的电路来调节A、B两板间电场强度的大小，从而用来控制复印件的颜色深浅，在操作时，首先对由金属平板A、B组成的平行板电容器充电。该电容器的B板接地，A、B板间填充有介电常数为*ε*的电介质，充电后两板间的电势差为*U*，而后，断开该充电电源，将连接金属平板*C*和可调电源*E*的开关K闭合，这样，A、C两板间的电场强度将随可调电源*E*的电动势变化而得以调节，已知C板与A板很近，相互平行，且各板面积相等，A、B板间距离为*d*1，A、C板间距离为*d*2，A、C板间空气的介电常数取为1，试求：当电源*E*的电动势为*U*0时，A、C两板间某点P处的电场强度。

K

*E*

C

B

A

P

*ε*

*d*2

C

B

A

D

*φ*

*n*′＝1

*n*′＝1

*n*

## 六、

如图表示一个盛有折射率为*n*的液体的槽，槽的中部扣着一个对称屋脊的薄壁透明罩ADB，顶角为2*φ*，罩内为空气，整个罩子浸没在液体中，槽底AB的中点处有一亮点C。试求出：位于液面上方图示平面内的眼睛从侧面观察可看到亮点的条件。（液槽有足够的宽度；罩壁极薄，可不计它对光线产生折射的影响）

## 七、

从离地面的高度为*h*的固定点A，将甲球以速度*v*0抛出，抛射角为*α*，0＜*α*＜π/2，若在A点前方适当的地方放一质量非常大的平板OG，让甲球与平板作完全弹性碰撞，并使碰撞点与A点等高，如图所示，则当平板倾角*θ*为恰当值时（0＜*θ*＜π/2），甲球恰好能回到A点，另有一小球乙，在甲球自A点抛出的同时，从A点自由落下，与地面作完全弹性碰撞，试讨论*v*0、*α*、*θ*应满足怎样的一些条件，才能使乙球与地面碰撞一次后与甲球同时回到A点。

*α*

G

*O*

*θ*

*v*0

A

*h*

## 八、

三根长度均为*l*＝2.00米，质量均匀的直杆，构成一正三角形框架ABC，C点悬挂在一光滑水平转轴上，整个框架可绕转轴转动，杆AB是一导轨，一电动玩具松鼠可在导轨上运动，如图所示，现观察到松鼠正在导轨上运动，而框架却静止不动，试论证松鼠的运动是一种什么样的运动。

C

B

A

# 第十三届预赛试题参考解答

## 一、

折线导体各线段，切割磁感应线时，在该线段中就会产生感应电动势，AF间电势差*U*AF的大小等于各段感应电动势的代数和的大小，当感应电动势的方向由F至A时，*U*A＞*U*F，*U*AF为正值，按此分析计算，结果如图13-8所示，各段相应的状况为：

（1）0＜*x*＜*l*，CD切割*B*1

（2）*l*＜*x*＜2*l*，CD、EF都切割*B*1

（3）2*l*＜*x*＜3*l*，CD切割B2，EF和AB都切割*B*1

（4）3*l*＜*x*＜4*l*，CD、EF都切割*B*2，AB切割*B*1

（5）5*l*＜*x*＜6*l*，CD、EF、AB均切割*B*2

（6）6*l*＜*x*＜7*l*，EF、AB均切割*B*2

（7）7*l*＜*x*＜8*l*，AB切割*B*2

（8）8*l*＜*x*，折线导体全部移出磁场区，不再切割磁感应线。

## 二、

在制动轮转动的情况下，制动力矩是由制动块B1、B2对制动轮D的滑动摩擦力产生的。设B1、B2对D的正压力分别N1和N2，滑动摩擦力就分别为和，如图13-9所示。所以

  （1）

再对左、右两杆分别进行受力分析，并列出力矩平衡方程如下图（图13-10），左杆

  （2）

右杆  （3）

（2）、（3）两式中T为弹簧的弹力，对弹簧来说，由胡克定律

  （4）

由（1）、（2）、（3）、（4）式解得

 

代入数据得 *k*＝1.24×104N/m

## 三、

1.当光速垂直射到一个平面上时，如果光速被完全反射，且反射光垂直于平面，则光子的动量改变达最大值：

  （1）

此时该光束对被照射面的光压为最大。设单位时间内射到平面上的光子数为n，光压P的数值就等于这些光子对被照射面积A的冲量（也就是光子动量的改变量）的总和除以面积A，即

  （2）

每个光子的能量为，这里c为真空中的光速，为光的频率，因而

 

于是，由（2）式：

*p*＝＝6.67Pa

2.激光所照射到的质量为M那一小部分铁板在熔化过程中所吸收的热量为

 

所以 

 s

*t*＝0.192s

## 四、

1.设在温度T＝320开时，氢气和氧气的体积分别为V1、V­2­，压强分别为P1、P2，已知V1＝4V2。

 将氢气和氧气都看作理想气体，有

  

 设在温度为时，氢气的体积为氧气的体积的3倍，＝3，用、分别表示此时氢气和氧气的压强，则有

  

 因为总体积不变，所以 

 因为活塞的质量不变，所以 

根据题给数据和以上6式，可解得*T*ʹ＝500K

## 五、

K闭合后的等效电路如图13-11所示，设A、B板间的电容为C1，电势差为U1，A、C板间的电容为C2，电势差为U2，金属板的面积为S，则





而各板表面上的电量分别为如图所示的和，于是有

  

而 

则得  （1）

 另外，A板两表面上电量的代数和应该等于K闭合前该板上所带的电量，设为Q，即

  （2）

而Q又可从K闭合前C1的电势差求得：

  （3）

 将（3）式代入（2），得  （4）

由（4）式与式（1）消去，得



由于A、C两板间的电场可近似为匀强电场，所以P点的电场强度为：

*E*P＝＝＝

## 六、

本题可用图示平面内的光线进行分析，并只讨论从右侧观察的情形，如图13-12所示，由亮点发出的任一光线CP将经过两次折射而从液面射出。由折射定律，按图上标记的各相关角度。有  （1）

  （2）

其中

， （3） 图13-12

注意到，若液内光线入射到液面上时发生全反射，就没有从液面射出的折射光线。全反射临界角满足条件

 

可知光线CP经折射后能从液面射出从而可被观察到的条件为

  （4）

或  （5）

 现在计算，利用（3）式可得

 

由（1）式可得 

 因此， 

 又由（1）式  （6）

 由图及（1）、（2）式，或由（6）式均可看出，越大则越小。因此，如果与值最大的光线相应的设为，若，则任何光线都不能射出液面，反之，只要，这部分光线就能射出液面，从液面上方可以观察到亮点，由此极端情况即可求出本题要求的条件。

 自C点发出的值最大的光线是极靠近CD的光线，它被DB面折射后进入液体，由（6）式可知与之相应的：

 

 

能观察到亮点的条件为 

即 

上式可写成 

取平方

化简 

故 

开方并化简得 tan*φ*＞－1

这就是在液面上方从侧面适当的方向能看到亮点时*n*与*φ*之间应满足的条件。

## 七、

甲球从A点抛出时的抛射角为，速度为v0，因为碰撞点与A点等高，球与板的碰撞是弹性的，板的质量又很大，根据机械能守恒定律可知，球与板碰撞前的速度与碰撞后的速度都等于v0，设碰撞后甲球从板弹回时的抛射角为，如图13-13所示。

A点与碰撞点之间的距离即为射程L，若甲球又回到A点，则有

  （1）

即 

由此得  （2）

  （3）

 ，表示甲球射到平板时速度的方向与它从平板反弹出时速度的方向相反，故甲球必沿板的法线方向射向平板，反弹后，甲球沿原来的路径返回A点，因此有

  （4）

 ，表示甲球沿与平板的法线成某一角度的方向射向平板，沿位于法线另一侧与法线成相同角度的方向弹出，然后甲球沿另一条路径回到A点，由图13-13中的几何关系可知

  （5）

由（3）、（5）两式，得  （6）

 下面分别讨论以上两种情况下，甲球乙球同时回到A点应满足的条件。

1.，，即A球沿原路径回到A点的情形。

设甲球从A点抛出、与OG板碰撞，到沿原路径回到A点共经历的时间为t1，则有

  （7）

设乙球从A点自由落下，与地面发生一次碰撞、再回到A点共经历的时间为t2，则有

  （8）

两球在A点相遇，要求，则

即  （9）

或  （10）

因，由（9）式得

  （11）

当v0­满足（11）式，甲球的抛射角满足（10）式，平板的倾角满足（4）式，甲球才能沿原路返回A点并与乙球相遇。

 2.，，即甲球与OG板碰撞后，沿另一条路径回到A点的情形。设甲球自A点抛出，经与平板碰撞又到A点经历的总时间为，则有

  （12）

设乙球自A点下落后回到A点经历的总时间为则有

  （13）

两球在A点相遇，要求＝。

 

或  （14）

  （15）

因，故有

  （16）

结合（14）式，得

  （17）

当v0满足（17）式，甲球的抛射角满足（15）式，平板的倾角满足（6）式，甲球将沿另一条路径回到A点，同时与乙球相遇。

综合以上讨论，结论为：

当*v*0＞，且当*α*＝arcsin()，*θ*＝－*α*，甲球沿原路径返回A点的同时，乙球也回到A点；

当＞*v*0＞，且*α*＝arcsin－，*θ*＝，甲球还可沿另一路径回到A点，这时乙球也正好回到A点。

## 八、

先以刚性框架为研究对象，当框架处于静止状态时，作用于框架的各个力对转轴C的力矩之和在任何时刻都应等于零，设在某一时刻，松鼠离杆AB的中点O的距离为*x*，如图13-14所示，松鼠在竖直方向对导轨的作用力等于松鼠受到的重力*mg*，*m*为松鼠的质量，此重力对转轴C的力矩的大小为*mgx*，方向沿顺时针方向，为使框架平衡，松鼠必须另对杆AB施一水平方向的力*F*，且*F*对转轴*C*的力矩应与竖直方向的重力产生的力矩大小相等，方向相反。即当表示松鼠位置的坐标*x*为正时，*F*沿*x*的正方向，当*x*为负时，*F*沿*x*的负方向，如图所示，并满足平衡条件

  （1）

式中*l*为杆的长度，所以

  （2）

即松鼠在水平方向上作用于杆AB的力要因松鼠所在的位置不同而进行调整，保证（2）式得到满足。

 再以松鼠为研究对象。松鼠在运动过程中，沿竖直方向受到的合力为零，在水平方向受到杆AB的作用力为，根据牛顿第三定律，此力即F的反作用力，即，可见，松鼠在水平方向受到的作用力作用下的运动应是以O点为平衡位置的简谐振动，其振动的周期为

 s

当松鼠运动到杆AB的两端时，它应反向运动，按简揩振动规律，速度必须为零，所以松鼠作简谐振动的振幅应小于或等于m.（振幅等于1.00m与把松鼠视作质点相对应）

由以上论证可知：松鼠在导轨AB上的运动是以AB的中点O为平衡位置，振幅不大于1m，周期为2.64s的简谐振动。