# 第23届全国中学生物理竞赛预赛题试卷

本卷共九题，满分200分

一．（20分，每小题10分）

1．如图所示，弹簧S1的上端固定在天花板上，下端连一小球A，球A与球B之间用线相连。球B与球C之间用弹簧S2相连。A、B、C的质量分别为*m*A、*m*B、*m*C，弹簧与线的质量均可不计。开始时它们都处在静止状态。现将A、B间的线突然剪断，求线刚剪断时A、B、C的加速度。

2．两个相同的条形磁铁，放在平板AB上，磁铁的N、S极如图所示，开始时平板及磁铁皆处于水平位置，且静止不动。

（1）现将AB突然竖直向下平移（磁铁与平板间始终相互接触），并使之停在AʹBʹ处，结果发现两个条形磁铁碰在一起。

（2）如果将AB从原来位置突然竖直向上平移（磁铁与平板间始终相互接触），并使之停在AʺBʺ处，结果发现两个条形磁铁也碰在一起。

试定性地解释上述现象。

二．（20分，第1小题12分，第2小题8分）

1．老爷爷的眼睛是老花眼。

（1）一物体P放在明视距离处，老爷爷看不清楚。试在示意图1中画出此时P通过眼睛成像的光路示意图。



（2）戴了一副300度的老花镜后，老爷爷就能看清楚放在明视距离处的物体P，试在示意图2中画出P通过老花镜和眼睛成像的光路示意图。

（3）300度的老花镜的焦距*f*＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_m。

2．有两个凸透镜，它们的焦距分别为*f*1和*f*2，还有两个凹透镜，它们的焦距分别为*f*3和*f*4。已知*f*1＞*f*2＞|*f*3|＞|*f*4|。如果要从这四个透镜中选取两个透镜，组成一架最简单的单筒望远镜，要求能看到放大倍数尽可能大的正立像，则应选取焦距为\_\_\_\_\_的透镜作物镜，应选取焦距为\_\_\_\_\_的透镜为目镜。

三．（20分，第1小题12分，第2小题8分）

1．如图所示，电荷量为*q*1的正点电荷固定在坐标原点O处，电荷量为*q*2的正点电荷固定在*x*轴上，两电荷相距*l*，已知*q*2＝2*q*1。

（1）求在*x*轴上场强为零的P点的坐标。

（2）若把一电荷量为*q*0的点电荷放在P点，试讨论它的稳定性（只考虑被限制在沿*x*轴运动和被限制在垂直于*x*轴方向运动这两种情况）。

2、有一个静电场，其电势*U*随坐标*x*的改变而变化，变化的图线如图1所示，试在图2中画出该静电场的场强*E*随*x*变化的图线（设场强沿*x*轴正方向时取正值，场强沿*x*轴负方向时取负值）。



四、（20分）

一根长为*L*（以厘米为单位）的粗细均匀的、可弯曲的细管，一端封闭，一端开口，处于大气中。大气压强与*H*厘米高的水银柱产生的压强相等，已知管长*L*＞*H*。现把细管弯成L形，如图所示。假定细管被弯曲时，管长和管的内径都不发生变化。可以把水银从管口徐徐注入细管而不让细管中的气泄出。当细管弯成L形时，以*l*表示其竖直段的长度，问*l*取值满足什么条件时，注入细管的水银量为最大值？给出你的论证并求出水银量的最大值（用水银柱的长度表示）

五、（20分）

一对正、负电子可形成一种寿命比较短的称为电子偶素的新粒子。电子偶素中的正电子与负电子都以速率*v*绕它们连线的中点做圆周运动。假定玻尔关于氢原子的理论可用于电子偶素，电子的质量*m*、速率*v*和正、负电子间的距离*r*的乘积也满足量子化条件，即

*mrv*＝*nh*/2π

式中*n*称为量子数，可取整数值1，2，3，…；*h*为普朗克常量。试求电子偶素处在各定态时的*r*和能量以及第一激发态与基态能量之差。

六、（25分）

如图所示，两个金属轮A1、A2，可绕通过各自中心并与轮面垂直的固定的光滑金属细轴O1和O2转动，O1和O2相互平行，水平放置，每个金属轮由四根金属辐条和金属环组成，A1轮的辐条长为*a*1、电阻为*R*1，A2轮的辐条长为*a*2、电阻为*R*2，连接辐条的金属环的宽度与电阻都可以忽略。半径为*a*0的绝缘圆盘D与A1同轴且固连在一起。一轻绳的一端固定在D边缘上的某点，绳在D上绕足够匝数后，悬挂一质量为*m*的重物P，当P下落时，通过细绳带动D和A1绕O1轴转动。转动过程中，A1、A2保持接触，无相对滑动；两轮与各自细轴之间保持良好的电接触，两细轴通过导线与一阻值为*R*的电阻相连，除*R*和两轮A1、A2中辐条的电阻外，所有金属的电阻都不计。整个装置处在磁感应强度为*B*的匀强磁场中，磁场方向与转轴平行。现将P释放，试求P匀速下落时的速度。

七、（25分）

图示为一固定不动的绝缘的圆筒形容器的横截面，其半径为*R*，圆筒的轴线在O处，圆筒内有匀强磁场，磁场方向与圆筒的轴线平行，磁感应强度为*B*。筒壁的H处开有小孔，整个装置处在真空中。现有一质量为*m*、电荷量为*q*的带电粒子P以某一初速度沿筒的半径方向从小孔射入圆筒，经与筒壁碰撞后又从小孔射出圆筒。设：筒壁是光滑的，P与筒壁碰撞是弹性的，P与筒壁碰撞时其电量是不变的。若要使P与筒壁碰撞的次数最少，问：

（1）P的速率应为多少？

（2）P从进入圆筒到射出圆筒经历的时间为多少？

八、（30分）

图中正方形ABCD是水平放置的固定的横梁的横截面，AB是水平的，截面的边长为*l*，一根长为2*l*的柔软的轻细绳，一端固定在A点，另一端系一质量为*m*的小球，初始时，手持小球，将绳拉直，绕过B点使小球处于C点。现给小球一竖直向下的初速度*v*0，使小球与CB边无接触地向下运动，当*v*02分别取下列两值时，小球将打到梁上的何处？

（1）*v*02＝2（6＋3－1）*gl*

（2）*v*02＝2（3＋11）*gl*

设绳的伸长量可不计而且绳是非弹性的。

九、（30分）

从赤道上的C点发射州际导弹，使之精确地击中北极点N，要求发射所用的能量最少，假定地球是一质量均匀分布的半径为*R*的球体，*R*＝6400 km。已知质量为*m*的物体在地球引力作用下做椭圆运动时，其能量*E*与椭圆半长轴*a*的关系是*E*＝－*G*。式中*M*为地球质量，*G*为引力常量。

（1）假定地球没有自转，求最小发射速度的大小和方向（用速度方向与地心O到发射点C的连线的夹角表示）。

（2）若考虑地球自转，则最小发射速度的大小为多少？

（3）试导出*E*＝－*G*。

# 参考答案

一．

1、剪断前线的张力大小为（*m*B＋*m*C）*g*，前断瞬间，弹簧的弹力大小不变。

所以球A所受合力为向上的（*m*B＋*m*C）*g*，其加速度为竖直向上的；

球B所受合外力为向下的（*m*B＋*m*C）*g*，其加速度为竖直向下的；

球C所受合外力仍为零，所以其加速度仍为零。

2、开始时每一磁铁受到另一磁铁的磁吸引力与板对它的静摩擦力平衡，所以静止不动。

（1）从板突然向下平移到停下是先向下加速后向下减速运动，板向下加速时，磁铁对板的弹力减小，最大静摩擦力也减小，当最大静摩擦力小于磁吸引力时，磁铁就沿板相向运动并吸在一起。

（2）从板突然向上平移到停下是先向上加速后向上减速运动，板向上减速时，磁铁对板的弹力减小，最大静摩擦力也减小，当最大静摩擦力小于磁吸引力时，磁铁就沿板相向运动并吸在一起。

二．

1、



2、*f*1，*f*4

三．

1、（1）设P点坐标为*x*0，则有*kq*1/*x*02＝*kq*2/（*l*－*x*0）2，可得*x*0＝（－1）*l*

（2）点电荷被限制在沿*x*轴运动的情况：

P点合场强为零，所以是平衡位置。在*x*轴上P点右侧处，*q*1产生的场强变小，*q*2产生的场强增大，合场强沿*x*轴负方向，在*x*轴上P点左侧处，*q*1产生的场强变大，*q*2产生的场强减小，合场强沿*x*轴正方向。

当*q*0＞0时，它在P点附近所受电场力是指向的P点，所以P点是稳定平衡位置；当*q*0＜0时，它在P点附近所受电场力是背离的P点，所以P点是不稳定平衡位置。

点电荷被限制在沿垂直于*x*轴方向运动的情况：

在P点两侧附近，点电荷*q*1和*q*2产生的合场强沿垂直于*x*轴分量的方向都背离P点，所以，当*q*0＞0时，*P*点是不稳定平衡位置；当*q*0＜0时，P点是稳定平衡位置。

2、



四、

设注入水银柱长为*x*，则空气柱长变为*L*’＝，空气柱上表面与管口的距离*d*＝*L*－*L*’＝*x*，开始时由于*x*很小，所以*d*＞*x*，可继续倒入水银。

（1）水银柱上表面与管口相平时，水银柱未进入水平管：

由（*H*＋*x*）（*L*－*x*）＝*HL*，得*x*＝*L*－*H*，可见当*l*≥*L*－*H*时，有最大值*x*m＝*L*－*H*。

（2）水银柱上表面与管口相平时，一部分水银柱进入水平管：

由（*H*＋*l*）（*L*－*x*）＝*HL*，得*x*＝，又*l*＜*x*，所以*l*＜，*L*＞*H*＋*l*，而*x*＝*L*－＜*L*－*H*，可知当*l*≥*L*－*H*时，*x*有最大值*x*m＝*L*－*H*。

五、

由*k*＝*m*，得正、负电子的动能均为*Ek*＝*mv*2＝*k*，正、负电子间相互作用的势能为*EP*＝－*k*，所以电子偶素的总能量为*E*＝2*Ek*＋*EP*＝－*k*，

由量子化条件*mrv*＝*nh*/2*π*，*n*＝1，2，3，…及*k*＝*m*可得

*rn*＝，*n*＝1，2，3，…

则

*En*＝－*π*，*n*＝1，2，3，…

Δ*E*＝。

六、

*I*＝＝*ωω*＝，

P匀速下降时有*mgv*＝*I*2（*R*＋*R*1/4＋*R*2/4），可解得

*v*＝。

七．

（1）粒子的轨迹如图所示，由*qvB*＝*m*和*r*＝*R* cot *π*/6可得*v*＝



（2）*T*＝*π*，*t*＝3×＝。

八、

小球先做匀加速直线运动到M点，则有*v*12＝*v*02＋2*gl*（1＋），而*v*1’＝*v*1/2，

设当小球运动到圆周上的N点时离开圆周，则有

*mv*1’2＝*mv*2＋*mgl*（＋2sin *θ*），



*mg* sin *θ*＝*m*，

1．*v*02＝2（6＋3－1）*gl*：

可解得*θ*1＝45°，*u*1＝，

此后小球做斜抛运动，回到原高度所用时间为*t*＝2*u*1 cos*θ*/*g*，

此时的水平位移为*s*＝*u*1*t* sin *θ*＝*l*，刚好在D点正上方，所以应打在CD面上，所以有

*l*＋*x*＝*u*1*t* sin *θ*，

－（－1）*l*＝*u*1*t* cos*θ*－*gt*2，

可解得：*x*＝0.335*l*。

2．*v*02＝2（3＋11）*gl*：

可解得*θ*2＝90°，*u*2＝，此后绳子被拉紧，小球做圆周运动，打到*C*点。



九．

（1）导弹的运动是大尺度问题，所以不是斜抛运动，而是椭圆运动，地心O是一个焦点，椭圆上一点到两焦点的距离和等于2*a*，要能量最小，就要*a*最小，而OC是定值，所以另一焦点到C点的距离要最小，另一焦点必在图中P点，则2*a*＝*R*＋*R*/2，

由*mv*2－*G*＝－*G*

得：*v*＝，

又*G*＝*mg*，所以*v*＝＝7.2km/s

过椭圆上一点的切线的垂线平分两焦点到该点连线的夹角，所以*θ*＝67.5°。

（2）地球自转的线速度为*vC*＝*π*＝0.46 km/s，

导弹发射速度为*v*’＝＝7.4 km/s。

（3）由*mv*12－*G*＝*mv*22－*G*、*r*1*v*1＝*r*2*v*2和*r*1＋*r*2＝2*a*

可解得：*mv*22＝*G*，

所以*E*＝*mv*22－*G*＝－*G*。