# 第28届全国中学生物理竞赛复赛试题

一、（20分）

如图所示，哈雷彗星绕太阳S沿椭圆轨道逆时针方向运动，其周期*T*为76.1年，1986年它过近日点P0时与太阳S的距离*r*0＝0.590AU，AU是天文单位，它等于地球与太阳的平均距离，经过一段时间，彗星到达轨道上的P点，SP与SP0的夹角*θ*P＝72.0°。已知：1AU＝1.50×1011m，引力常量*G*＝6.67×10-11N·m2/kg2，太阳质量*m*S＝1.99×1030kg，试求P到太阳S的距离*r*P及彗星过P点时速度的大小及方向（用速度方向与SP0的夹角表示）。

二、（20分）

质量均匀分布的刚性杆AB、CD如图放置，A点与水平地面接触，与地面间的静摩擦系数为*μ*A，B、D两点与光滑竖直墙面接触，杆AB和CD接触处的静摩擦系数为*μ*C，两杆的质量均为*m*，长度均为*l*。

（1）已知系统平衡时AB杆与墙面夹角为*θ*，求CD杆与墙面夹角*α*应该满足的条件（用*α*及已知量满足的方程式表示）。

（2）若*μ*A＝1.00，*μ*C＝0.866，*θ*＝60.0°。求系统平衡时*α*的取值范围（用数值计算求出）。

三、（25分）

在人造卫星绕星球运行的过程中，为了保持其对称转轴稳定在规定指向，一种最简单的办法就是让卫星在其运行过程中同时绕自身的对称轴转，但有时为了改变卫星的指向，又要求减慢或者消除卫星的旋转，减慢或者消除卫星旋转的一种方法就是所谓消旋法，其原理如图所示。

一半径为*R*，质量为*M*的薄壁圆筒，，其横截面如图所示，图中O是圆筒的对称轴，两条足够长的不可伸长的结实的长度相等的轻绳的一端分别固定在圆筒表面上的Q、Q′（位于圆筒直径两端）处，另一端各拴有一个质量为的小球，正常情况下，绳绕在圆筒外表面上，两小球用插销分别锁定在圆筒表面上的P0、P0′处，与卫星形成一体，绕卫星的对称轴旋转，卫星自转的角速度为*ω*0。若要使卫星减慢或者停止旋转（消旋），可瞬间撤去插销释放小球，让小球从圆筒表面甩开，在甩开的整个过程中，从绳与圆筒表面相切点到小球的那段绳都是拉直的。当卫星转速逐渐减小到零时，立即使绳与卫星脱离，解除小球与卫星的联系，于是卫星转动停止。已知此时绳与圆筒的相切点刚好在Q、Q′处。

（1）求当卫星角速度减至*ω*时绳拉直部分的长度*l*；

（2）求绳的总长度*L*；

（3）求卫星从*ω*0到停转所经历的时间*t*。

四、（20分）

空间某区域存在匀强电场和匀强磁场，在此区域建立直角坐标系O-*xyz*，如图所示，匀强电场沿*x*方向，电场强度***E***1＝*E*0***i***，匀强磁场沿*z*方向，磁感应强度***B***＝*B*0***k***，*E*0、*B*0分别为已知常量，***i***、***k***分别为*x*方向和*z*方向的单位矢量。

（1）有一束带电量都为＋*q*、质量都为*m*的粒子，同时从*Oyz*平面内的某点射出，它们的初速度均在*Oyz*平面内，速度的大小和方向各不相同，问经过多少时间这些粒子又能同时回到*Oyz*平面内。

（2）现在该区域内再增加一个沿*x*方向随时间变化的匀强电场，电场强度***E***z＝（*E*0cos*ωt*）***k***，式中*ω*＝，若有一电荷量为正*q*、质量为*m*的粒子，在*t*＝0时刻从坐标原点O射出，初速度*v*0在*Oyz*平面内，试求以后此粒子的坐标随时间变化的规律。

不计粒子所受重力以及各带电粒子之间的相互作用，也不考虑变化的电场产生的磁场。

五、（15分）

半导体PN结太阳能电池是根据光生伏打效应工作的。当有光照射PN结时，PN结两端会产生电势差，这就是光生伏打效应。当PN结两端接有负载时，光照使PN结内部产生由负极指向正极的电流即光电流，照射光的强度恒定时，光电流是恒定的，已知该光电流为*I*L；同时，PN结又是一个二极管，当有电流流过负载时，负载两端的电压*V*使二极管正向导通，其电流为*I*D＝*I*0（$e^{\frac{V}{V\_{r}}}$－1），式中*V*r和*I*0在一定条件下均为已知常数。

1、在照射光的强度不变时，通过负载的电流*I*与负载两端的电压*V*的关系是*I*＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。太阳能电池的短路电流*I*S＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，开路电压*V*OC＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，负载获得的功率P＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

2、已知一硅PN结太阳能电池的*I*L＝95mA，*I*0＝4.1×10-9mA，*V*r＝0.026V。则此太阳能电池的开路电压*V*OC＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_V，若太阳能电池输出功率最大时，负载两端的电压可近似表示为*V*mP＝*V*rln，则*V*mP＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_V。太阳能电池输出的最大功率*P*max＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_mW。若负载为欧姆电阻，则输出最大功率时，负载电阻*R*＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Ω。

六、（20分）

如图所示为圆柱形气缸，气缸壁绝热，气缸的右端有一小孔和大气相通，大气的压强为*p*0。用一热容量可忽略的导热隔板N和一绝热活塞M将气缸分为A、B、C三室，隔板与气缸固连，活塞相对气缸可以无摩擦地移动但不漏气，气缸的左端A室中有一电加热器Ω。已知在A、B室中均盛有1摩尔同种理想气体，电加热器加热前，系统处于平衡状态，A、B两室中气体的温度均为*T*0，A、B、C三室的体积均为*V*0。现通过电加热器对A室中气体缓慢加热，若提供的总热量为*Q*0，试求B室中气体末态体积和A室中气体的末态温度。设A、B两室中气体1摩尔的内能*U*＝*RT*。*R*为普适恒量，*T*为热力学温度。

七、（20分）

如图所示，L是一焦距为2*R*的薄凸透镜，MN为其主光轴。在L的右侧与它共轴地放置两个半径皆为*R*的很薄的球面镜A和B。每个球面镜的凹面和凸面都是能反光的镜面。A、B顶点间的距离为*R*。在B的顶点C处开有一个透光的小圆孔（圆心为C），圆孔的直径为*h*。现于凸透镜L左方距L为6*R*处放一与主轴垂直的高度也为*h*（*h*≪*R*）的细短杆PQ（P点在主轴上）。PQ发出的光经L后，其中一部分穿过B上的小圆孔正好成像在球面镜A的顶点D处，形成物PQ的像I。则



像I与透镜L的距离等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

形成像I的光线经A反射，直接通过小孔后经L所成的像I1与透镜L的距离等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

形成像I的光线经A反射，再经B反射，再经A反射，最后通过L成像I2，将I2的有关信息填在下表中：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I2与L的距离 | I2在L左方还是右方 | I2的大小 | I2是正立还是倒立 | I2是实像还是虚像 |
|  |  |  |  |  |

物PQ发出的光经L后未进入B上的小圆孔C的那一部分最后通过L成像I3，将I3的有关信息填在下表中：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I3与L的距离 | I3在L左方还是右方 | I3的大小 | I3是正立还是倒立 | I3是实像还是虚像 |
|  |  |  |  |  |

八、（20分）

有一核反应其反应式为11p＋31H→32He＋10n，反应中所有粒子的速度均远小于光速，试问：

1．它是吸能反应还是放能反应，反应能*Q*为多少？

2．在该核反应中，若31H静止，入射质子的阈能*T*th为多少？阈能是使该核反应能够发生的入射粒子的最小动能（相对实验室参考系）。

3．已知在该反应中入射质子的动能为1.21MeV，若所产生中子的出射方向与质子的入射方向成60.0°角，则该中子的动能*T*n为多少？

已知11p、10n、31H核、32He核的静止质量分别为：*m*p＝1.007276u，*m*n＝1.008665u，*m*3H＝3.015501u，*m*3He＝3.014932u，u是原子质量单位，1u对应的能量为931.5MeV。结果取三位有效数字。

# 第28届全国中学生物理竞赛复赛试题

# 参考解答及评分标准

一、参考解答：

解法一

取直角坐标系*Oxy*，原点*O*位于椭圆的中心，则哈雷彗星的椭圆轨道方程为

  （1）

*a*、*b*分别为椭圆的半长轴和半短轴，太阳S位于椭圆的一个焦点处，如图1所示．

以表示地球绕太阳运动的周期，则；以表示地球到太阳的距离（认为地球绕太阳作圆周运动），则，根据开普勒第三定律，有

S

*P*





  （2）

设*c*为椭圆中心到焦点的距离，由几何关系得

 （3）

 （4）

由图1可知，*P*点的坐标

图1

  （5）

  （6）

把（5）、（6）式代入（1）式化简得

 （7）

根据求根公式可得

 （8）

由（2）、（3）、（4）、（8）各式并代入有关数据得

  （9）

可以证明，彗星绕太阳作椭圆运动的机械能为

  （10）

式中*m*为彗星的质量．以表示彗星在*P*点时速度的大小，根据机械能守恒定律有

 （11）

得

 （12）

代入有关数据得

  （13）

设*P*点速度方向与的夹角为（见图2），根据开普勒第二定律

 （14）

S

*P*







其中为面积速度，并有

 （15）

由（9）、（13）、（14）、（15）式并代入有关数据可得

  （16）

图2

解法二

取极坐标，极点位于太阳S所在的焦点处，由S引向近日点的射线为极轴，极角为，取逆时针为正向，用*r*、表示彗星的椭圆轨道方程为

 （1）

其中，*e*为椭圆偏心率，*p*是过焦点的半正焦弦，若椭圆的半长轴为*a*，根据解析几何可知

 （2）

将（2）式代入（1）式可得

 （3）

以表示地球绕太阳运动的周期，则；以表示地球到太阳的距离（认为地球绕太阳作圆周运动），则，根据开普勒第三定律，有

 （4）

在近日点，由（3）式可得

  （5）

将、、的数据代入（3）式即得

 （6）

可以证明，彗星绕太阳作椭圆运动的机械能

  （7）

式中*m*为彗星的质量．以表示彗星在*P*点时速度的大小，根据机械能守恒定律有

 （8）

可得

 （9）

代入有关数据得

  （10）

 设*P*点速度方向与极轴的夹角为，彗星在近日点的速度为，再根据角动量守恒定律，有

 （11）

根据（8）式，同理可得

  （12）

由（6）、（10）、（11）、（12）式并代入其它有关数据

  （13）

**评分标准：**

本题20分

解法一

（2）式3分，（8）式4分，（9）式2分，（11）式3分，（13） 式2分,（14）式3分,（15）式1分，（16）式2分．

解法二

（3）式2分，（4）式3分，（5）式2分，（6）式2分，（8）式3分，（10） 式2分,（11）式3分,（12）式1分，（13）式2分．

二、参考解答

1．建立如图所示坐标系*Oxy*.两杆的受力情况如图：

**

**

*B*

*D*

*C*

*A*

*N*1

*N*2

*E*

*mg*

*mg*

*f*2

*F*

*O*

*y*

*f*1

*N*4

*N*3

 *x*

为地面作用于杆的摩擦力，为地面对杆的支持力，、为杆作用于杆的摩擦力和支持力，、分别为墙对杆和的作用力，为重力.取杆和构成的系统为研究对象，系统平衡时, 由平衡条件有

  （1）

  （2）

 以及对*A*点的力矩



即

 （3）

式中待求.是过的竖直线与过的水平线的交点，为与的交点．由几何关系有

  （4）

取杆CD为研究对象，由平衡条件有

  （5）

  （6）

以及对点的力矩

  （7）

解以上各式可得

  （8）

 （9）

  （10）

  （11）

  （12）

  （13）

CD杆平衡的必要条件为

 （14）

由（12）、（13）、（14）式得

 （15）

AB杆平衡的必要条件为

  （16）

由（10）、（11）、（16）式得

 （17）

因此，使系统平衡，应满足的条件为（15）式和（17）式．

2．将题给的数据代入（15）式可得

  （18）

将题给的数据代入（17）式，经数值计算可得

 （19）

因此，的取值范围为

  （20）

**评分标准：**

本题20分

第1问15分

（1）、（2）、（3）式共3分，（4）式1分，（5）、（6）、（7）式共3分，（9） 、（10） 式各1分,（12）到（17）式各1分．

第2问5分

（18）式1分，（19）式3分，（20）式1分．

三、参考解答

解法一

 1． 设在时刻，小球和圆筒的运动状态如图1所示，小球位于点，绳与圆筒的切点为，到的距离即绳的拉直部分的长度为，圆筒的角速度为，小球的速度为.小球的速度可以分解成沿着绳子方向的速度和垂直于绳子方向的速度两个分量.根据机械能守恒定律和角动量守恒定律有





图1

*T*

*O*

*P*



  （1）

 （2）

因为绳子不可伸长，与切点的速度相等，即

  （3）

解（1）、（2）、（3）式得

  （4）

  （5）

由（4）式可得

  （6）

这便是在卫星角速度减至时绳的拉直部分的长度．

2．由（6）式，当得

 （7）



*T*









图2

*O*



这便是绳的总长度*L*.

 3．如图2所示，从时刻到，切点跟随圆筒转过一角度，由于绳子的拉直部分的长度增加了，切点相对圆筒又转过一角度，到达处，所以在时间内，切点转过的角度

  （8）

切点从变到也使切线方向改变了一个同样的角度，而切线方向的改变是小球具有垂直于绳子方向的速度引起的，故有

  （9）

由（1）、（2）、（3）式可得

  （10）

由（8）、（9）、（10）三式得

  （11）

（11）式表示随均匀增加，故由0增加到所需的时间为

  （12）

解法二

1．撤去插销后两个小球的运动情况相同，故可取一个小球作为对象进行研究，先研究任何时刻小球的速度.













*T*

*R*

*l*

*r*



图1



在时刻，相对卫星系统质心参考系小球运动状态如图1所示，绳子的拉直部分与圆筒面的切点为，小球到切点*T*的距离即绳的拉直部分的长度为，小球到转轴的距离为，圆筒的角速度为.由于圆筒的转动和小球相对圆筒的运动，绳将展开，切点位置和绳的拉直部分的长度都要改变.



图2

















首先考察小球相对于圆筒的运动.在时刻，与固定在圆筒上的半径的夹角为，如图2所示.由于小球相对圆筒的运动，经过时间，切点从圆筒上的点移到点，与的夹角变为，绳的拉直部分的长度由变为，小球由运动到，便是小球相对圆筒的位移.当很小时，故



于是小球相对圆筒的速度大小为

  （1）

方向垂直于．是切点相对圆筒转动的角速度．



*T*

*P*

*r*

*l*











图3



*O*

*R*



再考察圆筒相对质心参考系的转动，即与圆筒固连在一起的转动参考系相对质心参考系的运动.当圆筒的角速度为时，位于转动参考系中的点（小球所在处）相对质心系的速度

  （2）

方向垂直于．可以把分解成沿着方向的分量和垂直方向的分量，如图3所示，即

  （3）

  （4）

小球相对质心系的速度是小球相对圆筒的速度和圆筒参考系中的点相对质心系速度的合成，由图3可得的大小

  （5）

因

  （6）

故有

 （7）

因为系统不受外力作用，故系统的动能和角动量守恒，故有

  （8）

 （9）

由（7）、（8）两式有

  （10）

由（1）、（3）、（4）、（6）、（9）各式得

 （11）

由（10）、（11）两式得



故有

 （12）

上式说明绳子与圆筒的切点相对圆筒转动的角速度等于卫星的初始角速度，是一个恒量，将（12）式代入（11）式得

 （13）

由（6）、（13）两式得

 （14）

这便是在卫星角速度减至时绳的拉直部分的长度．

2．由（14）式，当得绳总长度, 即

 （15）

 3．因是一个恒量，随时间的的变化规律为

 （16）

当时，由（13）式可得卫星停旋时的

 （17）

设卫星停转所用的时间为，由（16）、（17）式得

 （18）

**评分标准：**

本题25分．

解法一

第1问12分．（1）、（2）式各3分，（3）式2分，（6）式4分．

第2问3分．（7）式3分．

第3问10分．（8）、（9）式各3分，（10）式2分，（11）、（12）式各1分．

解法二

第1问18分．（1）式3分，（2）式2分，（7）式2分，（8）式3分，（9）式3分，（12）式2分，（14）式3分，

第2问3分．（15）式3分．

第3问4分．（16）式2分，（17）式1分，（18）式1分．

四、参考解答

1．根据题意，粒子的初速度只有*y*方向和*z*方向的分量，设它们为和.因为粒子在*z*方向不受电场力和磁场力作用，故粒子在*z*方向以初速度作匀速运动.

粒子在*Oxy*面内的运动可以看作由以下两部分运动的合成：可把粒子在*y*方向的初速度表示为

  （1）

其中

 （2）

沿*y*负方向．与相关的磁场力

  （3）

沿*x*负方向.粒子受到的电场力

  （4）

沿*x*正方向．由（2）、（3）、（4）式可知，粒子在*x*方向受到的电场力和磁场力正好抵消，故粒子以大小为的速度沿*y*负方向运动．除此之外，由（1）式可知，粒子还具有初速度

  （5）

沿*y*正方向，与相关的磁场力使粒子以速率在*Oxy*面内作匀速圆周运动，以表示圆周运动的半径，有

 （6）

可得

 （7）

由周期的定义和（7）式可得圆周运动的周期

 （8）

（8）式表明，粒子运动的周期与粒子在*y*方向的初速度无关．经过时间*T*或*T*的整数倍所考察的粒子就能同时回到*Oyz*平面.

2．增加的电场对粒子在*Oxy*平面内的运动无影响，但粒子在*z*方向要受到此电场力作用．以表示在此电场力作用下的加速度，有

  （9）

或

  （10）

这是简谐运动的加速度，因而有

  （11）

由（10）、（11）可得

  （12）

因未增加电场时，粒子在*z*方向作初速度为的匀速运动，增加电场后，粒子在*z*方向的运动是匀速运动与简谐运动的叠加，即有

  （13）

粒子在*Oxy*平面内的运动不受电场的影响．设为粒子在*Oxy*平面内作圆周运动的角速度，则有

*y*

*O*

*r*

*r*



*x*

  （14）

由图示可得与圆周运动相联系的粒子坐标随时间*t*的变化关系

  （15）

  （16）

考虑到粒子在*y*方向还具有速度为的匀速运动，并利用（2）、（5）、（7）、（14）以及己知条件，可得带电粒子的运动规律：

 （17）

 （18）

 （19）

**评分标准：**

本题20分．

第1问12分．（2）、（3）、（4）式共5分，（5）、（6）、（7）式共4分，（8）式及相关说明共3分．

第2问8分．（12）式2分，（14）式到（19）式各1分.

五、答案与评分标准

本题15分．

1．　　（2分），　　（2分），　　（2分），

　　（1分）．

2．0.62V 　（2分）；0.54V 　（2分）；49mW 　（2分）；6.0 　（2分）．

六、参考解答

在电加热器对*A*室中气体加热的过程中，由于隔板N是导热的，*B*室中气体的温度要升高，活塞M将向右移动.当加热停止时，活塞M有可能刚移到气缸最右端，亦可能尚未移到气缸最右端. 当然亦可能活塞已移到气缸最右端但加热过程尚未停止.

设加热恰好能使活塞M移到气缸的最右端，则*B*室气体末态的体积

 （1）

根据题意，活塞M向右移动过程中，B中气体压强不变，用表示*B*室中气体末态的温度，有

 （2）

由（1）、（2）式得

  （3）

由于隔板N是导热的，故*A*室中气体末态的温度

  （4）

下面计算此过程中的热量.

在加热过程中，*A*室中气体经历的是等容过程，根据热力学第一定律，气体吸收的热量等于其内能的增加量，即

  （5）

由（4）、（5）两式得

  （6）

B室中气体经历的是等压过程，在过程中室气体对外做功为

 （7）

由（1）、（7）式及理想气体状态方程得

  （8）

内能改变为

 （9）

由（4）、（9）两式得

  （10）

根据热力学第一定律和（8）、（10）两式，室气体吸收的热量为

  （11）

由（6）、（11） 两式可知电加热器提供的热量为

 （12）

若，室中气体末态体积为，室中气体的末态温度.

2．若，则当加热器供应的热量达到时，活塞刚好到达气缸最右端，但这时加热尚未停止，只是在以后的加热过程中气体的体积保持不变，故热量是、中气体在等容升温过程中吸收的热量.由于等容过程中气体不做功，根据热力学第一定律，若*A*室中气体末态的温度为，有

 （13）

由（12）、（13）两式可求得

  （14）

B中气体的末态的体积

  （15）

 3. 若，则隔板尚未移到气缸最右端，加热停止，故*B*室中气体末态的体积小于，即．设*A*、*B*两室中气体末态的温度为，根据热力学第一定律，注意到*A*室中气体经历的是等容过程，其吸收的热量

  （16）

*B*室中气体经历的是等压过程，吸收热量

  （17）

利用理想气体状态方程，上式变为

  （18）

由上可知

  （19）

所以*A*室中气体的末态温度

  （20）

*B*室中气体的末态体积

  （21）

**评分标准**：

本题20分．

得到的条件下（1）、（4）式各1分；（12）式6分，得到的条件下的（14）式4分，（15）式2分；得到的条件下的（20）式4分，（21）式2分．

七、答案与评分标准

本题20分．

1． 3*R* （3分）

2． 6*R* （3分）

3．

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 与L的距离 | 在L左方还是右方 | 的大小 | 是正立还是倒立 | 是实像还是虚像 |
| 6*R* | 右方 | 2 | 倒立 | 虚像 |

第1第3空格各2分；其余3个空格全对3分，有一个错则不给这3分．

4．

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 与L的距离 | 在L左方还是右方 | 的大小 | 是正立还是倒立 | 是实像还是虚像 |
| 18*R* | 左方 | 2 | 倒立 | 实像 |

第1第3空格各2分；其余3个空格全对3分，有一个错则不给这3分．

八、参考解答

1. 反应能

 （1）

式中*c*为光速．代入数据得

  （2）

上式表明这是一吸能核反应．

2．为了求入射质子阈能，反应前后各粒子都应沿同一直线运动．设质子的入射速度大小为，反应后的速度大小为，中子的速度大小为，根据动量守恒和能量守恒有

  （3）

  （4）

由（3）、（4）式可得

  （5）

令

  （6）

把（6）式代入（5）式得

  　（7）

（7）式有解的条件是

  （8）

由（6）式可知，可能大于零，亦可能小于零.若，则（8）总成立，中子速度一定有解，反应一定能发生；若，则由 （6）、（8）两式得

  （9）

即只有当入射质子的动能满足（9）式时，中子速度才有解，反应才能发生，所以入射质子的阈能为

  （10）

利用（1）式，在忽略项的情况下，（10）式可简化为

  （11）

代入有关数据得

  （12）









3．由动量守恒和能量守恒有

  （12）

  （13）

以表示反应中产生的中子速度方向与入射质子速度方向的夹角，如图所示，根据余弦定律有

  （14）

令

  （15）

  （16）

  （17）

把（15）、（16）、（17）式代入（13）、（14）两式得

  （18）

 （19）

由（18）、（19）式，消去后，得

 （20）

令 ， （21）

得

  （22）

根据题给的入射质子的动能和第1问求得的反应能的值，由（21）式可知，故（22）式的符合物理意义的解为

  （23）

将具体数据代入（21）、（23）式中，有

  （24）

 （如果得到 MeV,也是对的.）

第2问的其他解法

解法一

为了研究阈能，只考虑碰撞前后各粒子都沿同一直线运动的情况．若碰撞后和中子的速度相同，即粘在一起运动（完全非弹性碰撞），则在碰撞过程中损失的机械能最多，若所损失的机械能正好等于反应能，则入射质子的动能最小，这最小动能便是阈能. 设质子的入射速度大小为，反应后和中子的速度大小为，根据动量守恒和能量守恒有

  （1）

  （2）

由（1）、（2）式可得

  （3）

所以阈能为

  　（4）

利用第1问中的（1）式，并注意到

 

有

 

在忽略项的情况下，（4）式可简化为

  （5）

代入有关数据得

  （6）

第2问8分

（1）、（2）式各3分，（4）式或（5）式1分，（6）式1分．

解法二

在牛顿力学中可以证明，质点系的总动能可以表示为质点系的总质量以质心速度运动的动能即所谓质心动能与各质点相对质心运动的动能之和.若质点系不受外力作用，则质点系的动量守恒，质心速度不变，故质心动能亦恒定不变；如果质点系内部的相互作用导致质点系机械能的变化，则可变化的机械能只能是各质点相对质心运动的动能. 在本题中，如果质子与氚发生反应后，生成的中子和氦相对质心都静止，则质子与氚相对质心运动的动能之和全部转化成反应能，反应后系统的动能只有质心的动能，在这请况下，转化成其他形式能量的机械能最多，入射质子的动能最小，这最小动能便是阈能.所以入射质子的阈能等于系统质心的动能与反应能之和.

以和分别表示质子和氚相对质心的速度，有

  （1）

因系统质心的速度

  （2）

而

  （3）

  （4）

由（1）、（3）、（4）式得

  （5）

 在牛顿力学中，系统的总质量是恒定不变的，这就导致系统质心的动能在反应前后恒定不变的结论，但在本题中，损失掉的机械能导致系统总质量的变化，使反应前系统的总质量与反应后系统的总质量不相等，即．如果仍沿用牛顿力学的结论，对一个孤立系统，其质心速度是不会改变的，故反应后质心的动能应为

 

而

 

由此可见，在忽略的条件下

 

而入射质子的阀能

  （6）

由（2）、（5）、（6）式得

  （7）

代入有关数据得

  （8）

第2问8分

（1）、（5） 、（6）式各2分， （7）式1分，、（8）式1分.

解法三

考虑反应前后各粒子都沿同一直线运动的情况，若入射质子与与静止的发生完全非弹性碰撞，即反应后产生的中子和以相同的速度运动，则入射质子的动能就是阈能.以表示质子的静止质量，表示的静止质量，表示中子的静止质量，表示的静止质量，设质子的入射速度大小为，反应后和中子的速度大小都为，根据动量守恒和能量守恒有

  （1）

  （2）

式中是质子的动质量.由（1）、（2）两式得

  （3）

把（3）式代入（1）式，经整理得

  （4）

由

  （5）

可得

  （6）

若入射质子的阈能为，有

  （7）

由（4）、（6）、（7）式可得

  （8）

利用题给条件并引入反应能，得

  （9）

或有

  （10）

代入有关数据得

  （11）

第2问8分

（1）、（2）、（8）式各2分，（9）或（10）式1分，（11）式1分。