# 十九届全国物理竞赛预赛

一、（15分）

今年三月我国北方地区遭遇了近10年来最严重的沙尘暴天气，现把沙尘上扬后的情况简化为如下情景：*v*为竖直向上的风速，沙尘颗粒被扬起后悬浮在空中（不动），这时风对沙尘的作用力相当于空气不动而沙尘以速度*v*竖直向下运动时所受的阻力，此阻力可用下式表达式

*f* = *αρAv*2，其中*α*为一系数，*A*为沙尘颗粒的截面积，*ρ*为空气密度。

（1）若沙粒的密度 *ρ*A = 2**.**8×103kg/m3，沙尘颗粒为球形，半径*r* = 2.5×10-4m，地球表面处空气密度*ρ*0 = 1.25kg/m3，*α* = 0.45，试估算在地面附近，上述*v*的最小值*v*1。

（2）假定空气密度随高度*h*的变化关系为*ρ* = *ρ*0（1－*Ch*），其中*ρ*0为*h* = 0处的空气密度，*C*为一常数，*C* = 1.18×10-1m-1，试估算当*v* = 9.0m/s时扬沙的最大高度（不考虑重力加速度随高度的变化）

二、（20分）

图示电路中，电池的电动势为 *ε*，两个电容器的电容都为 *C*，K 为一单刀双掷开关，开始时两电容器均不带电，（1）第一种情况，先 K 与 a 接通，达到稳定，此过程中电池内阻消耗的电能等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，再将 K 与 a 断开而与 b 接通，此过程中电池供给的电能等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。（2）第二种情况，先将 K 与 b 接通，达到稳定，此过程中电池内阻消耗的电能等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，再 K 与 b 断开而与 a 接通，此过程中电池供给的电能等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

三、（20分）

据新华社报道，为了在本世纪初叶将我国的航天员送上太空，2002年3月25日22时15分，我国成功地发射了一艘无人试验飞船，在完成预定任务后，飞船于4月1日16时51分安全着陆，共绕地球飞行 108圈。

（1）飞船的名称是什么？

（2）飞船在运行期间，按照地面指挥控制中心的指令成功地实施了数百个动作，包括从椭圆轨道变换成圆轨道等，假如把飞船从发射到着陆的整个过程中的运动都当作圆周运动处理，试粗略估计飞船离地面的平均高度，已知地球半径*R* = 6.37×106m，地球表面处的重力加速度*g* = 9.8m/s2。

四、（20分）

如图所示，三个绝热的、容积相同的球状容器A、B、C，用带有阀门K1、K2的绝热细管连通，相邻两球球心的高度差*h* = 1.00m，初始时，阀门是关闭的，A中装有1mol的氦（He）、B中装有1mol的氪（Kr）、C中装有1mol的氙（Xe），三者的温度和压强都相同，气体均可视为理想气体，现打开阀门K1、K2，三种气体相互混合，最终每一种气体在整个容器中均匀分布，三个容器中气体的温度相同，求气体温度的改变量，已知三种气体的摩尔质量分别为*μ*He = 4.003×10-3kg/mol，*μ*Kr = 83.8×10-3kg/mol，*μ*Xe = 131.3×10-3kg/mol，在体积不变时，这三种气体任何一种每摩尔温度升高1K，所吸收的热量均为3*R*/2，*R*为普适气体常数。



五、（20分）

图中，三棱镜的顶角*α*为60°，在三棱镜两侧对称位置上放置焦距均为*f* = 30.0cm的两个完全相同的凸透镜*L*1和*L*2，若在的前焦面上距主光轴下方*y* = 14.3cm处放一单色点光源*S*，已知其像Sʹ与S对该光学系统是左右对称的，试求该三棱镜的折射率。

六、（20分）

一个长为*L*1，宽为*L*2，质量为*m*的矩形导电线框，由质量均匀分布的刚性杆构成，静止放置在不导电的水平桌面上，可绕与线框的一条边重合的光滑固定轴ab转动，在此边中串接一能输出可变电流的电流源（图中未画出），线框处于匀强磁场中，磁场的磁感强度*B*沿水平方向且与转轴垂直，俯视图如图，现让电流从零逐渐增大，当电流大于某一最小值*I*min时，线框将改变静止状态。

（1）求电流值*I*min；

（2）当线框改变静止状态后，设该电流源具有始终保持恒定电流*I*0不变，（*I*0＞*I*min）的功能，已知在线框运动过程中存在空气阻力，试分析线框的运动状况。

七、（25分）

如图所示，在长为*L* = 1.0m、质量为*m*B = 30.0kg的车厢B内的右壁处，放一质量*m*A = 20.0kg的小物块A（可视为质点），向右的水平拉力*F* = 120.0N作用于车厢，使之从静止开始运动，测得车厢B在最初2.0s内移动的s = 5.0m，且在这段时间内小物体未与车厢壁发生碰撞，假定车厢与地面间的摩擦忽略不计，小物体与车厢壁之间的碰撞是弹性的，求车厢开始运动后4.0s时，车厢与小物体的速度。

# 参考答案

一、

（1）*αρAv*12 = 4*πr*3*ρs* / 3，得*v*1 = 4.0m/s

（2）*αρ*0（1-*Ch*）*Av*2 = 4*πr*3*ρs* / 3，得*h* = 6.8×103m。

二、

*ε*2*C*/2，0，*ε*2*C*/4，*ε*2*C*/2。

三、

（1）神舟3号

（2）*G* = *mπ* (*R*+*H*)，*G* = *mg*，得*H* = 2.9×105m。

四、

三种气体的总重力势能增加为（*m*Xe- *m*He）*gh*，而它使气体内能减少，则

（*m*Xe- *m*He）*gh* = -3×*RΔT*，可得Δ*T* = －3.3×10-2K。

五、

作出光路图，折射角为30°，入射角*i*为*β*+30°，

而tg *β* = *y* / *f*，*β* = 25.49°，

所以*i* = 55.49°，则*n* = 1.65。

六、

（1）*BIL*1*L*2 = *mg L*2 / 2，所以*I* = 。

（2）当*I*0比*I*min稍大时，磁力矩大于重力矩，使线框逆时针转动，合力矩始终沿逆时针方向，所以加速转动，到竖直位置时合力矩为零，但仍有速度，冲过此位置后合力矩沿顺时针方向，线框减速转动，在竖直位置附近往复运动，由于有空气阻力，振幅逐渐减小，最后静止在竖直位置，这是一种稳定平衡。

七、

B作匀加速运动，*s* = *a*B1T02 / 2，所以*a*B1 = 2.5 m / s2，

对A、B有：*F*－*f* = *ma* B1，*f* = *m*A*a*A1，得*a*A1 = 2.25 m / s2，*f* = 45N

B和左壁第一次碰撞前：*a*B1 *t*12-*a*A1 *t*12 = *l*，得：*t*1 = 2.83 s，碰前速度分别为：

*v*A1 = 6.37 m / s， *v*B1 = 7.07 m / s，

第一次碰撞时由动量守恒和动能不变可解得碰撞前后相对速度大小不变方向相反，因而有F+f = ma B2，-f = mAaA2，则*a*A2 = -2.25 m / s2，*a*B2 = 5.5 m / s2，设经时间*t*1’两物体速度相等而相对静止，则*u*A1- *a*A2*t*1’ =  *u*B2+ *a*B2*t*1’，则*t*1’ = 0.09 s，这段时间内A与B的左壁间距离增大到*l*1，则*u*A1 *t*1’- *a*A2*t*1’2 =  *u*B2 *t*1’+ *a*B2*t*1’2+ *l*1，得*l*1 = *ld*2，式中*d* = <1，不会再碰撞，

此后又如第一次碰撞前情况，只是两物距离变为*l*1，到第二次碰撞所需时间为*t*2 = *t*1*d* = 0.51s

第二次碰撞前的相对速度为第一次碰撞前相对速度的*d*倍，所以处长次碰撞后到相对静止所需时间为*t*2’ = *d t*1’ = 0.016 s，此时间内两物相距为*l*2 = *ld*4，可以求得到无穷次碰撞所需总时间为3.56 s，到4 s末两物已粘在一起运动，

应用动量定理*F*T = （*m*A+*m*B）*v*，所以*v* = 9.6m/s。

第十九届全国中学生物理竞赛预赛试题参考解答、评分标准

一、参考解答

（1）在地面附近，沙尘扬起要能悬浮在空中，则空气阻力至少应与重力平衡，即

 ①

式中为沙尘颗粒的质量，而

 ②

 ③

得  ④

代入数据得

 ⑤

（2）用、分别表示时扬沙到达的最高处的空气密度和高度，则有

 ⑥

此时式①应为

 ⑦

由②、③、⑥、⑦可解得

 ⑧

代入数据得

 ⑨

评分标准：本题15分。

1. 第一小题8分。其中①式3分，②式1分，③式1分，④式2分，⑤式1分。

2. 第二小题7分。其中⑥式1分，⑦式1分，⑧式3分，⑨式2分。

二、参考解答

（1），0 （2），

评分标准：本题20分。

（1）10分。其中每个空5分。 （2）10分。其中每个空5分。

三、参考解答

（1）神舟3号

（2）设飞船飞行时间为，绕地球飞行的圈数为，周期为，飞船的质量为，离地面的平均高度为，地球半径为，地球质量为，则有

 ①

 ②

 ③

由①、②、③式解得

 ④

由题给数据可知，代入及其它有关数据得

 ⑤

评分标准：本题20分

（1）4分

（2）16分。其中①、②、③、④式各3分，⑤式4分（答案在～之间均给这4分）

四、参考解答

根据题设的条件，可知：开始时A中氦气的质量，B中氪气的质量，C中氙气的质量。三种气体均匀混合后，A中的He有降入B中，有降入C中。He的重力势能增量为

 ①

B中的Kr有升入A中，有降入C中。Kr的重力势能增量为

 ②

C中的Xe有升入A中，有升入B中。Xe的重力势能增量为

 ③

混合后，三种气体的重力势能共增加

 ④

因球与外界绝热，也没有外力对气体做功，故重力势能的增加必然引起内能的减少。在体积不变时，气体不做功。由热力学第一定律可知，此时传给气体的热量应等于气体内能的增量，但因理想气体的内能只由温度决定，与体积无关，故只要温度改变量相同，则体积不变条件下内能的增量也就是任何过程中理想气体内能的增量。根据题给的已知条件，注意到本题中所考察的理想气体共有3摩尔，故有

 ⑤

上式中右方为气体内能减少量，表示气体温度的增量，由④、⑤两式得

 ⑥

将已知数据代入，注意到，可得

 ⑦

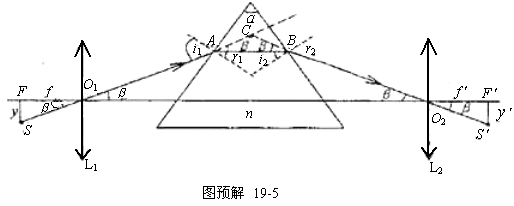
即混合后气体温度降低

（如果学生没记住的数值，的值可用标准状态的压强，温度和1mol理想气体在标准状态下的体积求得，即）

评分标准：本题共20分。

说明经扩散使三种气体均匀混合，并导致气体重力势能改变求得④式，得8分。说明能量转换过程，由重力势能增加而内能减少，列出⑤式，得8分。得出正确结果，算出⑦式，得4分。

五、参考解答



由于光学系统是左右对称的，物、像又是左右对称的，光路一定是左右对称的。该光线在棱镜中的部分与光轴平行。由射向光心的光线的光路图如图预解19-5所示。由对称性可知

 ①

 ②

由几何关系得  ③

由图可见

 ④

又从的边角关系得

 ⑤

代入数值得

 ⑥

由②、③、④与⑥式得，

根据折射定律，求得

 ⑦

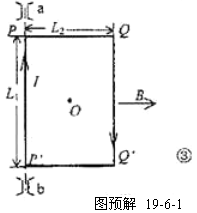
评分标准：本题20分

1. 图预解19-5的光路图4分。未说明这是两个左右对称性的结果只给2分。

2. ①、②、③、④式各给2分，⑤式给3分，⑥式给1分，⑦式给4分。

六、参考解答

（1）解法一：

导体线框放在水平桌面上，俯视图如图预解19-6-1。由图可见，在线框没动之前，线框的边与边平行于磁场，因而不受磁场力。边受的安培力的大小为，方向垂直于桌面向下，但此力对轴的力矩为零。边受的安培力的大小为，方向垂直桌面向上。此力对固定轴的力矩为

 ①

除此力矩外，线框还受到重力矩作用。重力力矩等于重力乘线框重心（点）到轴ab的距离，即

 ②

当 = 时，桌面对线框的支持力的力矩为零，＞时，线框将改变静止状态，开始绕轴ab向上翘起。根据题意及①、②式，由力矩平衡原理可知

 ③

解得

 ④

解法二：

线框所受的重力矩也可以由各边对ab轴的重力矩来求。边与边的重心均在（）处，两条边对ab轴的合力矩为

边对ab轴的力矩为

故线框所受的重力矩为

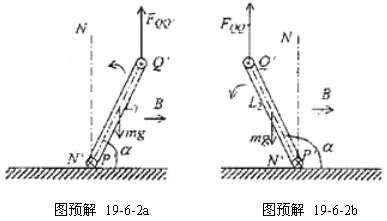


与解法一求得的②式一致，从而求得与④式相同。

（2）线框处于静止状态时，若电流比稍大，线框所受的电磁力矩将大于重力矩，使线框绕ab轴向上翘起。边和边所受电磁力不等于零，但二者相互抵消。当保持电流值恒定不变时，线框将从静止状态开始绕固定轴作加速转动。在加速转动过程中，由于通过线框的磁通量发生变化，线框内将产生感应电动势，它有使线框中的电流变小的趋势，题中已设电流源有保持电流恒定不变的功能，所以当线框平面转至与桌面成角时，如图预解19-6-2a所示，线框受到的合力矩为

 ⑤

随着角逐渐增大，合力矩随之减小，但始终大于零，因而线框仍作逆时针加速转动，角速度不断增大。当线框平面转到竖直面时，合力矩为零，角速度达到最大。由于惯性，线框将越过面作逆时针转到。此时，合力矩与线框转动方向相反，角速度将逐渐减小，合力矩的大小随着角的增大而增大，如图预解19-6-2b所示。



如果没有空气阻力，将增至180°。当角等于180° 时，线框转动的角速度为零，合力矩将使线框作顺时针加速转动，结果线框将在角等于0°与180°之间往复摆动不止。实际上，由于空气阻力作用，线框平面在平面两侧摆动的幅度将逐渐变小，最终静止在面处，此时，电磁力矩与重力矩均为零。如果线框稍偏离平衡位置，电磁力矩与重力矩的合力矩将使线框回到平面处。故线框处于稳定平衡状态。

评分标准：本题20分。第一问6分、第二问14分。

第一问中，①、②、④式各2分。

第二问中，正确地分析了线框往复转动，给4分；说明最后平衡在竖直面处，给6分；说明稳定平衡，给4分。

七、参考解答

解法一：

1. 讨论自B开始运动到时间内B与A的运动。

根据题意，在2 s内，A未与B发生过碰撞，因此不论A与B之间是否有相对运动，不论A与B之间是否有摩擦，B总是作初速为零的匀加速直线运动。设B的加速度为，有



得

 （1）

如果A、B之间无摩擦，则在B向右移动1米距离的过程中，A应保持静止状态，接着B的车厢左壁必与A发生碰撞，这不合题意。如果A、B之间无相对运动（即两者之间的摩擦力足以使A与B有一样的加速度），则B的加速度



这与（1）式矛盾。由此可见，A、B之间既有相对运动又存在摩擦力作用。

以表示A、B间的滑动摩擦力的大小，作用于B的摩擦力向左，作用于A的摩擦力向右，则有

 （2）

 （3）

由（1）、（2）、（3）式得

 （4）

 （5）

2. 讨论B的左壁与A发生第一次碰撞前的运动。

由于，B向右的速度将大于A的速度，故A与B的左壁间的距离将减小。设自静止开始，经过时间，B的左壁刚要与A发生碰撞，这时，B向右运动的路程与A向右运动的路程之差正好等于，即有



解得

 （6）

代入数据，得



A与B发生第一次碰撞时，碰前的速度分别为

 （7）

 （8）

3. 讨论B与A间的弹性碰撞

以和分别表示第一次碰撞后A和B的速度。当、为正时，分别表示它们向右运动。在碰撞的极短时间内，外力的冲量可忽略不计，因此有





解以上两式得

 （9）

（9）式表示，在弹性碰撞中，碰撞前后两者的相对速度的大小不变，但方向反转。

4. 讨论从第一次碰撞到车厢与小物块速度变至相同过程中的运动。

由（9）式可以看出，经第一次碰撞，A和B都向右运动，但A的速度大于B的速度，这时作用于A的摩擦力向左，作用于B的摩擦力向右，大小仍都为。设此过程中A向左的加速度和B向右的加速度分别为和，则由牛顿第二定律有





解得

 （10）

 （11）

由此可知，碰撞后，A作减速运动，B作加速运动。设经过时间，两者速度相等，第一次达到相对静止，则有



由上式和（9）式解得

 （12）

代入有关数据得

 （13）

设在时间内，A与B的左壁之间的距离增大至，则有



结合（9）、（12）两式得

 （14）

式中

 （15）

代入有关数据得



由（14）可知，A不会与B的右壁发生碰撞。

5. 讨论A与B的左壁的第二次碰撞。

以表示B与A第一次相等的速度，由于B始终受作用而加速，它将拖着A向右加速，其情况与第一次碰撞前相似。这时作用于A的摩擦力向右，A的加速度为，方向向右。作用于B的摩擦力向左，B的加速度为，方向也向右。但是原来A与B左端的距离为，现改为，因，B的左壁与小A之间的距离将减小。设两者间的距离从减小至零即减小至开始发生第二次碰撞所经历的时间为，以代入⑥式，结合（14）式，即可求得

 （16）

代入有关数据，得



第二次碰撞前瞬间A和B的速度分别为





 （17）

故第二次碰撞前A、B速度之差小于第一次碰撞前A、B的速度差。设第二次碰撞完毕的瞬间A、B的速度分别为和，则有

 （18）

第二次碰撞后，A以加速度作减速运动，B以加速度作加速运动。设经历时间，两者速度相等，即第二次相对静止，则有



解得

 （19）

在时间内，A与B的左壁的距离变为，有



结合（8）、（9）得

 （20）

自B开始运动到A与B达到第二次相对静止共经历时间





6. 讨论A与B的左壁的第三次碰撞。

当A与B的左壁之间的距离为时，A、B相对静止。由于B受外力作用而继续加速，它将拖着A向右加速。这时，A的加速度为，B的加速度为，方向都向右，但因，A将与B的左壁发生第三次碰撞。设此过程经历的时间为，则以代入（6）式结合（16）式得

  （21）

设第三次碰撞前瞬间A和B的速度分别为和，碰撞后的速度分别为和





碰撞后，A以加速度作减速运动，B以加速度作加速运动。设经过时间两者速度相等，即第三次相对静止，A与B左壁之间的距离为。则有

 （22）



自B开始运动至第三次A与B相对静止共经历的时间仍小于4 s。

7. 讨论车厢左壁与小物块的第次碰撞。

在第次碰撞完毕的瞬间，A和B的速度分别为和，A以加速度作减速运动，B以加速度作加速运动。经过时间，两者速度相等，即第次相对静止。A与B左壁之间的距离为。根据前面的讨论有

 （23）



再经过时间将发生B的左壁与A的第次碰撞。碰撞前两者的速度分别为和。根据前面的讨论，有

 （24）



可以看出，碰撞次数越多，下一次碰撞前，A、B速度之差越小。当碰撞次数非常大时，下次碰撞前两者的速度趋于相等，即A实际上将贴在B的左壁上不再分开。

8. 讨论第4秒B与A的运动速度。

第4秒末B与A的速度取决于在第4秒末B与A经历了多少次碰撞。B自静止开始运动到第次相对静止经历的总时间为





 （25）

以，代入，注意到当很大时，得

 （26）

这表明早在第4秒之前，A与B的左壁贴在一起时二者速度已相同，不再发生碰撞，此后二者即以相同的速度运动了、现以A和B都静止时作为初态，设时刻A和B的速度为，对A、B开始运动至的过程应用动量定理，得

 （27）

或



代入数值，得

 （28）

解法二：

如果A与B之间没有摩擦力，B前进1m就会与A发生碰撞。已知开始2s为A与B未发生碰撞，而B已走了5m，可见二者之间有摩擦力存在，且在此期间二者均作匀加速运动。由可求出B对地面的加速度：

，  

设A与B底部之间的滑动摩擦力为，则由小车的运动方程



代入数值得

又由A的运动方程得A的相对地面的加速度为

于是，A对B的相对加速度为

第一次碰撞

由开始运动到A碰撞B的左壁的时间满足，。于是

A与B的左壁碰撞前瞬间，A相对B的速度

由于作弹性碰撞的两个物体在碰撞前后其相对速度等值反向，所以碰后A从B的左壁开始，以相对速度

向右运动，所受摩擦力反向向左，为。对地面的加速度为

此时B所受的摩擦力方向向右，由其运动方程得B对地面的加速度为

由、二式知，碰后A对B的相对加速度为

A相当于B作向右的匀减速运动。设A由碰后开始达到相对静止的时间为，相当于B走过的距离为，由式得

可见A停止在B当中，不与B的右壁相碰。

第二次碰撞

A在B内相对静止后，将相当于B向左滑动，所受的摩擦力改为向右，而B所受的摩擦力改为向左。这时A对B的相对加速度重新成为，即式。A由相对静止到与B的左壁第二次碰撞所需的时间可用算出：

自B开始运动至B的左壁与A发生第二次碰撞经历的时间



A达到B的左壁前相当于B的速度的大小为

这也就是第二次碰后A由B的左壁出发的相对速度大小。第二次碰后，A相对B向右运动，此时A相对于B的相对加速度又成为，即式。A由碰撞到相对静止所需要的时间和相当于B走过的距离分别为



以后的碰撞

根据、二式，如令

则有

由此可以推知，在第三次碰撞中必有

在第次碰撞中有

即每一次所需时间要比上次少得多（A在B中所走的距离也小得多）。把所有的时间加在一起，得

这就是说，在B开始运动后3.56 s时，A将紧贴B的左壁，并与B具有相同速度，二者不再发生碰撞，一直处于相对静止状态。现取A和B都静止时作为初态，以时刻的运动状态为末态，设此时A和B的速度为，由动量定理，有



代入数值，得

答：自车厢开始运动到4.0 s时车厢与物块的速度相同，均为

评分标准：本题25分。

得出摩擦力得5分，得出第一次碰撞时间得5分，得出第二次碰撞时间得5分。得出无穷次碰撞时间得5分 ，得到最后结果再得5分。