

## 练习一（直线运动与抛体运动）

1.★(2023 清华附中三模)驾车从天安门到北京大学东门,手机导航软件提供了三条推荐路线,如图所示。

下列说法正确的是( )

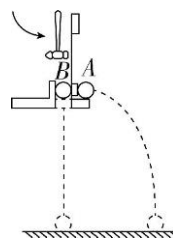
- A.三条路线的路程相同
- B.三条路线的位移相同
- C.三条路线的平均速度相同
- D.“距离最短”路线的平均速度最大



2.★★(2022 二零一中学三模)某同学做“探究平抛运动的特点”实验。该同学使用

完全相同的 A、B 两球用如图所示的器材进行实验。他用小锤击打弹性金属片,A 球将水平飞出,同时 B 球被松开,做自由落体运动,改变小球距地面的高度和打击小球的力度,多次重复实验,均可以观察到 A、B 两球同时落地。关于本实验,下列说法正确的是( )

- A.实验现象可以说明平抛运动的水平分运动是匀速直线运动
- B.落地时 A、B 两球的动量相同
- C.落地时 A、B 两球重力的瞬时功率相同
- D.改变击打小球的力度,A 球落地时重力的瞬时功率也将改变



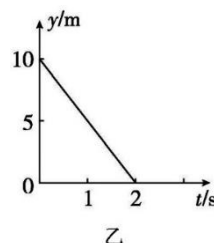
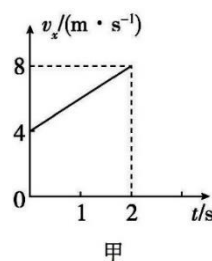
3.★★(2022 东城三模)如图所示,全国多地都在机场为支援武汉归来的白衣天使举行民航界最高礼仪——“过水门”,为英雄们“接风洗尘”。若忽略空气阻力,每辆消防车喷射出的水柱在空中轨迹正好是一条左右对称的抛物线,抛物线两端点的水平距离  $x=38.4\text{ m}$ ,水柱最大高度  $h=12.8\text{ m}$ ,重力加速度  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ 。则水柱在上升过程中速度变化量( )

- A.方向竖直向下,大小是  $16\text{ m/s}$
- B.方向竖直向上,大小是  $16\text{ m/s}$
- C.方向竖直向下,大小是  $8\text{ m/s}$
- D.方向竖直向上,大小是  $8\text{ m/s}$



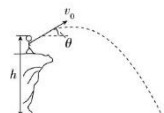
4.★★(2022 东城三模)某质点在  $Oxy$  平面上运动, $t=0$  时,质点位于  $y$  轴上。它在  $x$  轴方向运动的速度-时间图像如图甲所示,它在  $y$  轴方向的位移-时间图像如图乙所示。有关该质点的运动情况,下列说法正确的是( )

- A.质点沿  $x$  轴正方向做匀速直线运动
- B.质点沿  $y$  轴正方向做匀速直线运动
- C.质点在  $t=1\text{ s}$  时速度大小为  $5\sqrt{2}\text{ m/s}$
- D.质点在  $t=1\text{ s}$  时的位置坐标为  $(5\text{ m}, 5\text{ m})$



5.★★★(2023 清华附中三模)如图所示,把质量为  $m$  的石块从距地面高  $h$  处以初速度  $v_0$  斜向上抛出,速度方向与水平方向夹角为  $\theta$ ,不计空气阻力。若只改变抛射角  $\theta$ ,下列物理量一定不变的是( )

- A.石块在空中的飞行时间
- B.石块落地的水平距离
- C.石块落地时的动能
- D.石块落地时的动量



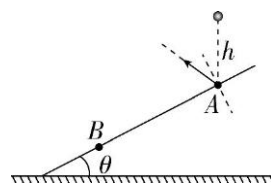
6.★★★(2025 朝阳一模)如图所示,一弹性小球从倾角为  $\theta$  的斜面 A 点正上方  $h$  处由静止下落,第一次与 A 点碰撞弹起后,第二次与斜面碰撞于 B 点。小球与斜面碰撞前后瞬间沿斜面方向的速度不变,垂直于斜面方向的速度大小不变、方向相反。重力加速度为  $g$ ,不计空气阻力,下列说法正确的是( )

A.小球从 A 点运动到 B 点的过程中速度的变化量方向沿 AB 方向

B.小球从 A 点弹起后到斜面的最远距离为  $h \sin \theta$

C.小球从 A 点运动到 B 点的时间为  $2\sqrt{\frac{h}{g}}$

D.A、B 两点间的距离为  $8h \sin \theta$



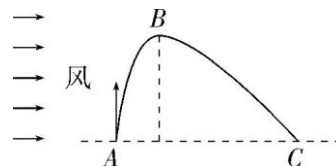
7.★★(2024 西城期末)(多选)2023 年 5 月,据中科院力学所的消息,我国 JF-22 超高速风洞研制成功。作为研制新一代飞行器的摇篮,JF-22 超高速风洞可以复现几十千米高空、速度最大约三十倍声速的飞行条件。若将一小球从风洞中地面上的 A 点竖直向上弹出,小球受到大小恒定的水平风力作用,到达最高点 B 时的动能与 A 点的动能之比为 9 : 16,小球最后落回地面上的 C 点。不计阻力,重力加速度为  $g$ ,下列说法正确的是( )

A.小球运动的加速度大小为  $a = \frac{5}{4}g$

B.小球从 A 到 B 的过程中动能持续减小

C.小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的过程中机械能变化量之比为 1 : 1

D.小球在空中的最小动能与 A 点的动能之比为 9 : 25



8.★★★(2024 东城期末)如图 1 所示,质量  $m=10 \text{ kg}$  的物块静止在光滑水平面上 A 点,在水平外力  $F$  作用下,10 s 末到达 B 点,外力  $F$  随时间变化的规律如图 2 所示,取向右为正方向。

(1)求前 10 s 内物块的位移大小  $x_1$  和在 B 点速度的大小  $v_1$ ;(2)请在图 3 中画出物块在前 20 s 内的速度-时间( $v$ - $t$ )图像;(3)求在 10~20 s 这段时间内外力  $F$  所做的功  $W$ 。



图 1

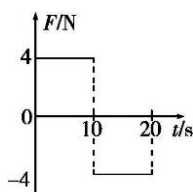


图 2

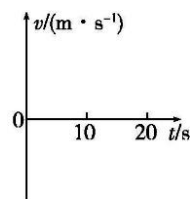


图 3

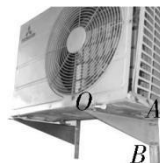
## 练习二 (受力分析、共点力的平衡)

1.★★(2022 西城二模)如图所示,地铁站中设有步行楼梯和自动扶梯。步行楼梯每级的高度是  $0.15\text{ m}$ ,自动扶梯与水平面的夹角为  $30^\circ$ ,自动扶梯前进的速度是  $0.56\text{ m/s}$ 。两位体重相同的乘客分别从自动扶梯和步行楼梯的起点同时上楼,甲在匀速上行的自动扶梯上站立不动,乙在步行楼梯上以每秒上两个台阶的速度匀速上楼。则( )



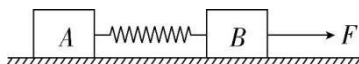
- A. 甲先到达楼上
- B. 上楼的过程中自动扶梯对甲的支持力大于重力
- C. 上楼的过程中自动扶梯对甲的摩擦力做正功
- D. 上楼的过程中甲克服重力做功的功率小于乙克服重力做功的功率

2.★★(2022 朝阳二模)如图所示,一台空调外机用两个相同的三角形支架固定在外墙上,支架横梁  $AO$  和斜梁  $BO$  的连接点为  $O$ ,另一支架横梁与斜梁的连接点为  $O'$ (图中未画出),空调外机的重心恰好在  $OO'$  连线中点的正上方。横梁  $AO$  水平,对  $O$  点的力为  $F_A$ ,斜梁  $BO$  跟横梁  $AO$  的夹角为  $37^\circ$ ,对  $O$  点的力为  $F_B$ 。已知空调外机的重力大小为  $210\text{ N}$ ,忽略支架的重力, $\sin 37^\circ=0.6$ , $\cos 37^\circ=0.8$ 。下列说法正确的是( )



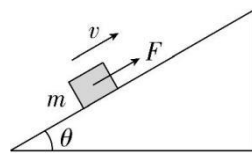
- A.  $F_A=140\text{ N}$ ,方向由  $O$  指向  $A$
- B.  $F_A=140\text{ N}$ ,方向由  $A$  指向  $O$
- C.  $F_B=210\text{ N}$ ,方向由  $O$  指向  $B$
- D.  $F_B=210\text{ N}$ ,方向由  $B$  指向  $O$

3.★★(2024 丰台一模)如图所示,木块  $A$ 、 $B$  分别重  $50\text{ N}$  和  $60\text{ N}$ ,与水平地面之间的动摩擦因数均为  $0.2$ 。夹在  $A$ 、 $B$  之间的轻弹簧被压缩了  $2\text{ cm}$ ,弹簧的劲度系数为  $400\text{ N/m}$ 。用  $F=2\text{ N}$  的水平拉力拉木块  $B$ ,木块  $A$ 、 $B$  均保持静止。最大静摩擦力近似等于滑动摩擦力,下列说法正确的是( )



- A. 弹簧的弹力大小为  $80\text{ N}$
- B. 木块  $A$  受到的摩擦力大小为  $10\text{ N}$
- C. 木块  $B$  受到的摩擦力大小为  $6\text{ N}$
- D. 地面给  $A$ 、 $B$  组成的系统的摩擦力大小为  $2\text{ N}$

4.★★★(2023 丰台一模)如图所示,一个质量为  $m$  的物块,在平行于斜面的拉力  $F$  的作用下,沿倾角为  $\theta$  的斜面(斜面体固定)匀速上滑,已知物块与斜面间的动摩擦因数为  $\mu$ ,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )



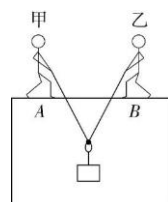
- A. 拉力  $F$  大小等于  $mg \sin \theta$
- B. 物块受到的摩擦力大小为  $\mu mg$
- C. 物块受到的摩擦力的方向沿斜面向下
- D. 物块受到的重力和拉力的合力垂直斜面向下

5.★★★(2022 朝阳一模)国际拔河比赛根据每队 8 名运动员的总体重分为若干级别,同等级别的两队进行比赛。比赛中运动员必须穿“拔河鞋”或没有鞋跟等突出物的平底鞋,不能戴手套。比赛双方相持时,运动员会向后倾斜身体,使地面对人的作用力与身体共线,如图所示。不计拔河绳的质量,下列说法正确的是( )



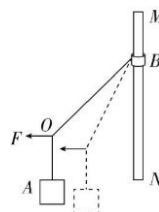
- A. 获胜队伍对绳的拉力大于对方队伍对绳的拉力
- B. 因为绳的拉力处处相等,所以两队队员受到的地面摩擦力总是相等
- C. 双方相持时,若绳的拉力增大,则地面对运动员的作用力增大
- D. 双方相持时,运动员身体后倾,减小与地面间的夹角,是为了增加与地面间的正压力

6.★★★(2022 东城二模)在建造房屋的过程中,建筑工人用轻绳穿过与重物固定连接的光滑圆环,将重物从高台运送到地面的过程,可以简化为如图所示的情境:工人甲和乙站在同一水平高台上分别握住轻绳,甲在 A 点静止不动,乙站在 B 点缓慢释放轻绳,使重物下降。在乙释放一小段轻绳的过程中,下列分析正确的是( )



- A. 绳的拉力大小不变
- B. 工人甲受到高台的支持力不变
- C. 工人甲受到高台的摩擦力变大
- D. 工人甲受到高台和绳的作用力的合力变大

7.★★★(2023 第一五六中学一模)如图所示,轻绳一端系在物体 A 上,另一端与套在粗糙竖直杆 MN 上的轻圆环 B 相连接。用水平力 F 拉住轻绳上的一点 O,使物体 A 及轻圆环 B 静止在实线所示的位置。现保持力 F 的方向不变,使物体 A 缓慢移到虚线所示的位置,这一过程中轻圆环 B 保持静止。若杆对环的弹力为  $F_N$ ,杆对环的摩擦力为  $F_f$ ,OB 段轻绳的张力为  $F_T$ ,则在上述过程中( )



- A.  $F$  不变,  $F_N$  减小
- B.  $F_f$  不变,  $F_T$  增大
- C.  $F_f$  减小,  $F_N$  不变
- D.  $F_N$  减小,  $F_T$  减小

8.★★★(2024 海淀二模)如图 1 所示,某同学从表面平坦的雪坡下滑,不借助雪杖,能一直保持固定姿态加速滑行到坡底。该同学下滑情境可简化为图 2,雪坡倾角为  $\alpha$ ,该同学可视为质点,图中用小物块表示,下滑过程中某一时刻滑行的速度  $v$  的方向与雪坡上所经位置的水平线夹角为  $\beta$  ( $\beta < 90^\circ$ ),已知该同学和滑雪装备的总质量为  $m$ ,滑雪板与雪坡之间的动摩擦因数为  $\mu$ ,重力加速度为  $g$ ,不计空气阻力。关于该下滑过程,下列说法正确的是( )



图 1

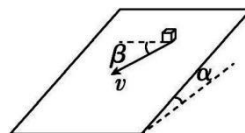


图 2

- A. 该同学所受摩擦力小于  $\mu mg \cos \alpha$
- B. 该同学所受摩擦力的方向不变
- C. 该同学沿  $v$  的方向做匀加速直线运动
- D. 该同学所受重力的瞬时功率一直在增大

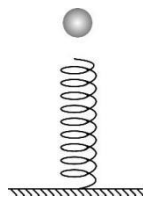
### 练习三 (牛顿运动定律的理解及应用)

1.★★(2024 海淀一模)如图所示,某人站上向右上行的智能电动扶梯,他随扶梯先加速,再匀速运动。在此过程中人与扶梯保持相对静止,下列说法正确的是( )



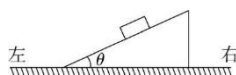
- A.扶梯加速运动阶段,人处于超重状态  
B.扶梯加速运动阶段,人受到的摩擦力水平向左  
C.扶梯匀速运动阶段,人受到重力、支持力和摩擦力  
D.扶梯匀速运动阶段,人受到的支持力大于重力

2.★★(2023 朝阳一模)如图所示,竖直轻弹簧下端固定在水平面上,一小球从弹簧正上方某一高度处由静止开始自由下落,接触弹簧后把弹簧压缩到一定程度(在弹性限度内)。不计空气阻力,则( )



- A.从接触弹簧到运动至最低点的过程中,小球的加速度不断增大  
B.从接触弹簧到运动至最低点的过程中,小球的速度先增大后减小  
C.从接触弹簧到运动至最低点的过程中,小球的机械能守恒  
D.小球在最低点时所受的弹力大小等于其所受的重力大小

3.★★(2025 东城一模)如图所示,质量为  $M$  的斜面体放置于粗糙的水平面上,一个质量为  $m$  的滑块由静止开始沿斜面加速下滑,斜面体始终处于静止状态。斜面与滑块间的摩擦力很小,可以忽略不计。重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )



- A.地面对斜面体的摩擦力为零  
B.地面对斜面体的摩擦力方向水平向左  
C.地面对斜面体的支持力等于  $(M+m)g$   
D.地面对斜面体的支持力大于  $(M+m)g$

4.★★★(2023 西城一模)2022 年 12 月,神舟十四号飞行乘组与神舟十五号飞行乘组完成在轨轮换后,返回地球。载人飞船返回舱进入大气层后,距地面 10 km 左右时开启降落伞,速度减至约 8 m/s,接下来以这个速度在大气中降落,在距地面 1.2 m 时,返回舱的四台缓冲发动机开始向下喷气,舱体再次减速,到达地面时速度约为 2 m/s,重力加速度  $g=10 \text{ m/s}^2$ 。由以上信息可知( )

- A.开启降落伞减速的过程中,舱体处于失重状态  
B.在大气中匀速降落过程中,舱体的机械能保持不变  
C.缓冲发动机开启过程中,航天员的加速度大小约为  $5g$   
D.舱体与地面撞击的过程中,撞击力的冲量大于舱体重力的冲量

5.★★★(2025 丰台一模)如图 1 所示,文物保护人员对古建筑进行修缮与维护,需要将屋顶的瓦片安全运送到地面。某同学设计了一个装置,如图 2 所示,两根圆柱形木杆 AB 和 CD 相互平行,斜搭在竖直墙壁上,把一摞瓦片放在两木杆构成的滑轨上,瓦片将沿滑轨滑到地面,为了防止瓦片速度较大而被损坏,下列措施中可行的是( )



图 1

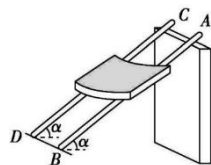
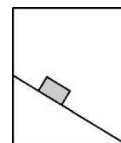


图 2

- A.适当增大两杆之间的距离  
B.减小杆与瓦片间的动摩擦因数  
C.减小每次运送瓦片的块数  
D.减小木杆的长度

6.★★★(2024 东城一模)如图所示,静止于水平地面的箱子内有一粗糙斜面,将物体无初速度地放在斜面上,物体将沿斜面下滑。若要使物体相对斜面静止,下列情况中不可能达到要求的是 ( )

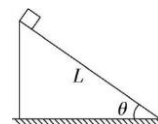


- A.使箱子沿水平方向做匀加速直线运动      B.使箱子做自由落体运动  
C.使箱子沿竖直向上的方向做匀加速直线运动      D.使箱子沿水平面内的圆轨道做匀速圆周运动

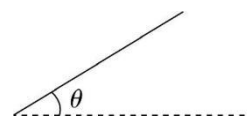
7.★★(2022 丰台一模)“血沉”是指红细胞在一定条件下沉降的速度,在医学中具有重要意义。测量“血沉”可将经过处理后的血液放进血沉管内,由于重力作用,血液中的红细胞将会下沉。设血沉管竖直放置且足够深,红细胞的形状为球体。已知红细胞下落受到血液的粘滞阻力表达式为  $f=6\pi\eta rv$ ,其中  $\eta$  为血液的粘滞系数, $r$  为红细胞半径, $v$  为红细胞运动的速率。若某血样中半径为  $r$  的红细胞,由静止下沉直到匀速运动,匀速运动时的速度为  $v_m$ ,红细胞的密度为  $\rho_1$ ,血液的密度为  $\rho_2$ ,重力加速度为  $g$ 。以下说法正确的是( )

- A.该红细胞先做匀加速运动,后做匀速运动  
B.该红细胞的半径可表示为  $r=\sqrt{\frac{9\eta v_m}{2g(\rho_1-\rho_2)}}$   
C.若血样中红细胞的半径较小,则红细胞匀速运动的速度较大  
D.若采用国际单位制中的基本单位来表示  $\eta$  的单位,则其单位为  $\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$

8.★★(2024 朝阳一模)如图所示,质量  $m=1.0 \text{ kg}$  的小物块从固定的斜面体的顶端由静止开始匀加速下滑。斜面的长度  $L=1.0 \text{ m}$ ,倾角  $\theta=37^\circ$ ,物块与斜面间的动摩擦因数  $\mu=0.5$ ,重力加速度  $g=10 \text{ m/s}^2$ , $\sin 37^\circ=0.6$ 。求物块下滑至斜面底端的过程中加速度  $a$  的大小。



9.★★★(2024 北大附中月考)滑雪是人们喜爱的一项冬季户外运动。如图所示,一位滑雪者,人与装备的总质量为  $75 \text{ kg}$ ,沿着倾角  $\theta=30^\circ$  的平直山坡直线滑下,当速度达到  $2 \text{ m/s}$  时他收起雪杖自由下滑,在此后  $5 \text{ s}$  的时间内滑下的路程为  $60 \text{ m}$ 。将这  $5 \text{ s}$  内滑雪者的运动看作匀加速直线运动, $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。求这  $5 \text{ s}$  内:

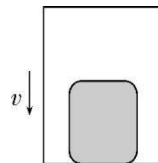


(1)滑雪者的加速度大小  $a$ ;(2)滑雪者受到的阻力大小  $F$ ;(3)滑雪者损失的机械能  $\Delta E$ 。



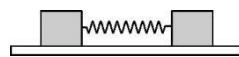
### 练习四 (牛顿运动定律的综合应用)

- 1.★★(2023 丰台一模)直升机悬停在空中,由静止开始投放装有物资的箱子,箱子下落时所受的空气阻力与箱子下落的速度成正比,下落过程中箱子始终保持图示状态,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )



- A.下落过程中箱内物资的加速度逐渐增大  
B.箱子接近地面时,箱内物资受到的支持力比刚释放时的大  
C.如下落距离足够大时,箱内物资可能不受箱子底部的支持力作用  
D.下落过程中箱内物资的机械能增大

- 2.★★(2023 海淀二模)物理课上,老师演示了一个实验:如图所示,水平粗糙木板上放置两个物块,其中间有一个处于拉伸状态的弹簧。将木板抬至空中保持水平,两物块相对木板保持静止,然后将整个装置无初速度释放,下落过程中可能观察到的现象是(忽略空气阻力)( )



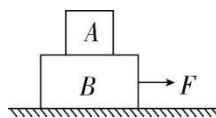
- A.两物块依旧相对木板保持静止  
B.两物块相对木板运动且彼此靠近  
C.质量大的物块与木板保持相对静止,质量小的物块靠近质量大的物块  
D.质量小的物块与木板保持相对静止,质量大的物块靠近质量小的物块

- 3.★★★(2025 朝阳一模)如图所示,在光滑水平面上有质量相同的甲、乙两个物体靠在一起,在水平力  $F_1$ 、 $F_2$  的作用下运动,已知  $F_1 > F_2$ 。下列说法正确的是( )



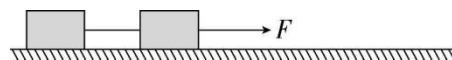
- A.甲对乙的作用力大小为  $F_1$       B.乙对甲的作用力大小为  $\frac{F_1 + F_2}{2}$   
C.如果撤去  $F_1$ ,乙的加速度一定变大      D.如果撤去  $F_1$ ,甲对乙的作用力一定减小

- 4.★★★(2025 西城二模)长方体木块 A、B 叠在一起,放在粗糙水平桌面上。B 木块受到一个水平恒力  $F$  的作用,两木块始终保持相对静止。下列说法正确的是( )



- A.若 A、B 在桌面上静止不动,A 受到向右的摩擦力  
B.若 A、B 一起向右匀速运动,A 受到向右的摩擦力  
C.若 A、B 一起向右加速运动,A 受到向右的摩擦力  
D.若 A、B 一起向右加速运动,A 受到的摩擦力大小等于  $F$

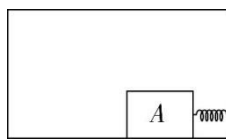
- 5.★★★(2025 海淀一模)如图所示,两相同物块用细线相连接,放在粗糙水平面上,在水平恒力  $F$  作用下,一起做匀加速直线运动,物块间细线的拉力大小为  $T$ 。当两物块均由粗糙的水平面运动到光滑的水平面上且仍在  $F$  的作用下运动,则( )



- A.两物块的加速度变大,细线的拉力仍为  $T$       B.两物块的加速度不变,细线的拉力仍为  $T$   
C.两物块的加速度变大,细线的拉力小于  $T$       D.两物块的加速度不变,细线的拉力小于  $T$

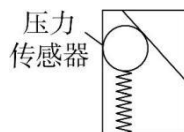
6.★★★(2025 海淀二模)如图所示,放在木箱内的物块 A,其右端通过一根处于压缩状态的水平轻弹簧与木箱连接。木箱与物块 A 做匀速直线运动且保持相对静止。若发现物块 A 突然相对木箱底面向左移动,则木箱可能( )

- A.突然向下加速运动                      B.突然向下减速运动  
C.突然向左加速运动                      D.突然向右减速运动



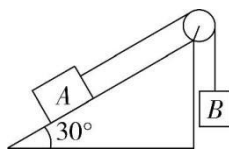
7.★★★(2023 中关村中学模拟)如图所示,用轻质弹簧将篮球拴在升降机底板上,此时弹簧竖直,篮球与光滑的侧壁和光滑的倾斜天花板接触,在篮球与侧壁之间装有压力传感器,当电梯在竖直方向匀速运动时,压力传感器有一定的示数。现发现压力传感器的示数逐渐减小,某同学对此现象给出了下列分析与判断,其中可能正确的是( )

- A.升降机正在匀加速上升  
B.升降机正在匀减速上升  
C.升降机正在加速下降,且加速度越来越大  
D.升降机正在加速上升,且加速度越来越大



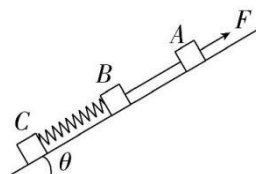
8.★★★(2023 十一中三模)如图所示,倾角为  $30^\circ$  的斜面体固定在水平面上,质量分别为  $3m$  和  $m$  的物块 A、B 通过细线跨过滑轮相连。现在 A 上放一小物体,系统仍能保持静止。细线质量、滑轮的摩擦都不计。则( )

- A.细线的拉力增大  
B.A 所受的合力增大  
C.A 对斜面体的压力增大  
D.斜面体对 A 的摩擦力不变



9.★★★(2023 一五六中学一模)(多选)如图所示,A、B、C 三个物体分别用轻绳和轻弹簧连接,放置在倾角为  $\theta$  的光滑斜面上,当用沿斜面向上的恒力  $F$  作用在物体 A 上时,三者恰好保持静止,已知 A、B、C 三者质量相等,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )

- A.在轻绳被烧断的瞬间,A 的加速度大小为  $2g \sin \theta$   
B.在轻绳被烧断的瞬间,B 的加速度大小为  $g \sin \theta$   
C.剪断弹簧的瞬间,A 的加速度大小为  $\frac{1}{2}g \sin \theta$   
D.突然撤去外力  $F$  的瞬间,A 的加速度大小为  $2g \sin \theta$

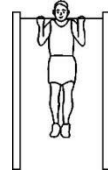




### 练习五 (相互作用与牛顿运动定律)

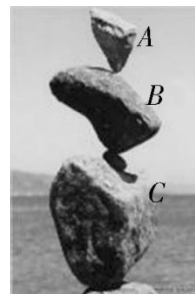
1.★(2022 西城模拟)体育课上某同学做引体向上。他两手握紧单杠,双臂竖直,身体悬垂,接着用力上拉使下颌超过单杠(身体无摆动),然后使身体下降,最终悬垂在单杠上。下列说法正确的是( )

- A.若增大两手间的距离,最终悬垂时手掌受到单杠的弹力变大
- B.若增大两手间的距离,最终悬垂时手掌受到单杠的弹力不变
- C.在上升过程中单杠对人的作用力始终大于人的重力
- D.在下降过程中单杠对人的作用力始终小于人的重力



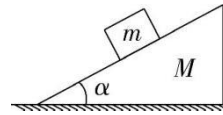
2.★★(2022 东城模拟)平衡艺术家在不使用任何工具的情况下,仅靠重力就能将形状各异的石头叠在一起,赢得了无数的惊叹声。某次一平衡艺术家将石块 C、B、A 从下到上依次叠放在一块大石头上,并使它们始终保持静止,整个环境处于无风状态,则( )

- A.石块 A 对 B 的压力就是 A 的重力
- B.石块 B 受力的个数不可能超过 4 个
- C.石块 C 对石块 B 的作用力竖直向上
- D.石块 C 对石块 B 的作用力大小是石块 B 对石块 A 作用力大小的两倍



3.★★(2022 西城模拟)倾角为  $\alpha$ 、质量为  $M$  的斜面体静止在水平桌面上,质量为  $m$  的木块静止在斜面体上。已知重力加速度大小为  $g$ ,下列选项正确的是( )

- A.木块受到的摩擦力大小是  $mg \cos \alpha$
- B.木块对斜面体的压力大小是  $mg \sin \alpha$
- C.桌面对斜面体的支持力大小是  $(M+m)g$
- D.桌面对斜面体的摩擦力大小是  $mg \sin \alpha \cos \alpha$



4.★★(2023 十二中模拟)汽车在平直公路上以  $108 \text{ km/h}$  的速度匀速行驶,司机看到前面有突发情况,紧急刹车,从看到突发情况到刹车的反应时间内汽车做匀速直线运动,刹车后汽车做匀减速直线运动,从看到突发情况到汽车停下,汽车行驶的距离为  $90 \text{ m}$ ,所花时间为  $5.5 \text{ s}$ ,则汽车匀减速运动过程中所受阻力与汽车所受重力的比值约为( )

- A.0.3              B.0.5              C.0.6              D.0.8

5.★★[2022 海淀三模(查缺补漏)]某同学用如图所示实验来认识超重和失重现象,先保持手指和钩码静止,感受套在手指上的橡皮筋对手指的压力。然后设法使钩码上下振动,手指保持静止感受橡皮筋对手指压力的变化。下列说法正确的是 ( )

- A.钩码下降过程,处于失重状态
- B.钩码上升过程,处于失重状态
- C.钩码下降和上升过程,都能出现失重现象
- D.钩码由最高点下降到最低点的过程,先出现超重现象,后出现失重现象

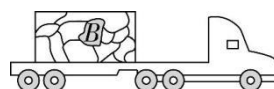


6.★★(2022 西城一模)某同学想测量地铁启动过程中的加速度,他把一根细绳的下端系上一支圆珠笔,细绳的上端用胶布临时固定在地铁的竖直扶手上。在地铁启动后的某段稳定加速过程中,细绳偏离了竖直方向,他用手机拍摄了当时情景的照片,如图所示,拍摄方向跟地铁前进方向垂直。若要根据这张照片估算此时地铁的加速度,只需要测量( )



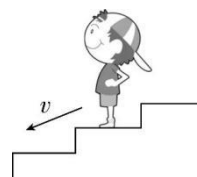
- A.圆珠笔的质量                      B.细绳的长度  
C.细绳和竖直方向的夹角          D.细绳下端到竖直扶手的距离

7.★★★(2022 一零一中学开学考)如图所示,一辆装满石块的货车在平直道路上行驶。货箱中石块 B 的质量为  $m$ ,重力加速度为  $g$ ,在货车从静止开始以加速度  $a$  加速运动位移  $x$  的过程中,下列说法正确的是( )



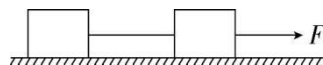
- A.周围与石块 B 接触的物体对它的作用力的合力大小为  $mg$   
B.周围与石块 B 接触的物体对它的作用力的合力大小为  $ma$   
C.周围与石块 B 接触的物体对它的作用力的合力做功为  $max$   
D.周围与石块 B 接触的物体对它的作用力的合力冲量大小为  $m\sqrt{2ax}$

8.★★★(2022 东城一模)为了节能,商场的自动扶梯在较长时间无人乘坐时会自动停止运行。有人站上去后,扶梯开始加速,然后匀速运动。如图所示,下列说法正确的是( )



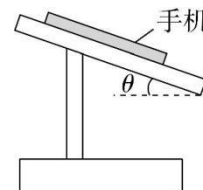
- A.匀速下行过程中,人的动能不变,扶梯对人不做功  
B.加速下行过程中,扶梯对人的支持力大于人所受的重力  
C.加速下行过程中,人受到的摩擦力方向水平向左  
D.加速下行过程中,支持力对人做正功,摩擦力对人做负功

9.★★★(2024 一六六中学月考)如图所示,在光滑水平地面上,两相同物块用细线相连,两物块的质量均为  $1\text{ kg}$ ,细线能承受的最大拉力为  $2\text{ N}$ 。若在水平拉力  $F$  作用下,两物块一起向右做匀加速直线运动。则  $F$  的最大值为( )



- A.  $1\text{ N}$               B.  $2\text{ N}$               C.  $4\text{ N}$               D.  $5\text{ N}$

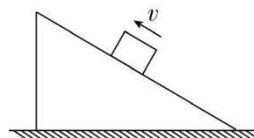
10.★★★(2023 朝阳一模)如图所示,质量为  $m$  的手机放置在支架斜面上,斜面与水平面的夹角为  $\theta$ ,手机与接触面间的动摩擦因数为  $\mu$ ,重力加速度为  $g$ 。手机始终保持静止状态。下列说法正确的是( )



- A.手机对支架的压力大小为  $mg$ ,方向垂直于斜面向下  
B.手机受到的摩擦力大小为  $\mu mg \cos \theta$ ,方向沿斜面向上  
C.若  $\theta$  增大,则支架对手机的摩擦力随之减小  
D.若  $\theta$  增大,则支架对手机的作用力保持不变

11.★★★(2023 海淀一模)如图所示,水平面上有一上表面光滑的斜面体,一小物块沿其上表面匀减速上滑,此过程中斜面体始终保持静止,下列说法正确的是( )

- A.斜面体受到地面的摩擦力水平向左  
 B.斜面体受到地面的摩擦力为零  
 C.斜面体对地面的压力小于斜面体与物块的重力之和  
 D.斜面体对地面的压力等于斜面体与物块的重力之和



12.★★(2025 朝阳二模)如图 1 所示,质量相等的物块 A、B 紧靠在一起放置在水平地面上,水平轻弹簧一端与 A 拴接,另一端固定在竖直墙壁上。开始时弹簧处于原长,物块 A、B 保持静止。 $t=0$  时刻,给 B 施加一水平向左的恒力 F,使 A、B 一起向左运动,当 A、B 的速度为零时,立即撤去恒力。物块 B 的  $v-t$  图像如图 2 所示,其中  $t_4 \sim t_5$  时间内图线为直线。弹簧始终在弹性限度内,A、B 与地面间的滑动摩擦力大小恒定,最大静摩擦力等于滑动摩擦力。下列说法正确的是( )

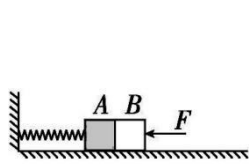


图 1

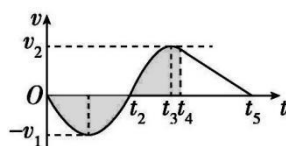


图 2

- A. $t_3$  时刻 A、B 分离  
 B.改变水平恒力 F 大小, $t_4 \sim t_5$  的时间不变  
 C. $0 \sim t_4$  时间内图像一定满足同一正弦函数规律  
 D. $0 \sim t_2$  和  $t_2 \sim t_4$  时间内图 2 中阴影面积相等

13.★★(2023 六十六中二模)如图 1 所示,足够长的固定斜面体倾角为  $\alpha$ ,一小物块从斜面体底端开始以初速度  $v_0$  沿斜面向上运动,若  $v_0=12 \text{ m/s}$ ,则经过 2 s 后小物块到达最高点,多次改变  $v_0$  的大小,记录下小物块从开始运动到最高点的时间  $t_m$ ,作出  $t_m-v_0$  图像,如图 2 所示( $g$  取

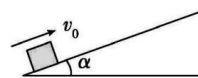


图 1

$10 \text{ m/s}^2, \sin 30^\circ = \frac{1}{2}, \sin 37^\circ = \frac{3}{5}, \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ),则:

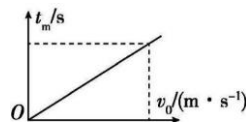


图 2

- (1)若斜面体上表面光滑,求斜面倾角  $\alpha$ ;  
 (2)更换另一倾角  $\alpha=30^\circ$  的斜面体,当小物块以  $v_0=12 \text{ m/s}$  沿斜面向上运动时,仍然经过 2 s 到达最高点,求它回到原来位置的速度大小;  
 (3)更换斜面体,改变斜面倾角  $\alpha$ ,得到的  $t_m-v_0$  图线斜率为  $k$ ,则当小物块以初速度  $v_0$  沿斜面向上运动时,求小物块在斜面体上运动的总时间。

## 练习六 (圆周运动的基本规律及其应用)

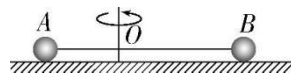
1.★★(2022 丰台二模)如图所示,一个小朋友在玩荡秋千。已知秋千的两根绳长均为 3 m,小朋友和秋千踏板的总质量约为 30 kg,绳的质量忽略不计。当小朋友荡到秋千支架的正下方时,速度大小为 6 m/s,重力加速度  $g=10 \text{ m/s}^2$ ,此时每根绳平均承受的拉力约为( )

- A.150 N      B.330 N      C.360 N      D.660 N



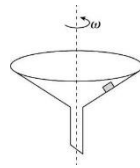
2.★★★(2023 西城二模)如图所示,轻杆两端分别固定着可以视为质点的小球 A、B,放置在光滑水平桌面上,杆上 O 点有一竖直方向的固定转动轴,A、B 的质量之比  $m_A:m_B=4:1$ ,A、B 到 O 点的距离之比  $r_A:r_B=1:2$ 。当轻杆绕轴匀速转动时,下列说法正确的是 ( )

- A.A 对杆的作用力大小等于 B 对杆的作用力大小  
B.A 的向心加速度大小大于 B 的向心加速度大小  
C.A 的动能等于 B 的动能  
D.A 的周期小于 B 的周期



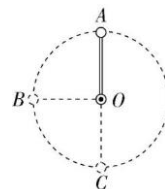
3.★★★(2022 东城一模)一个质量为  $m$  的小物块静止在表面粗糙的圆锥形漏斗的内表面,如图所示。现使该漏斗从静止开始转动,转动的角速度  $\omega$  缓慢增大时,物块仍相对漏斗保持静止。当角速度达到  $\omega_m$  时,物块将要与漏斗发生相对滑动。在角速度从 0 缓慢增大到  $\omega_m$  的过程中,下列说法正确的是( )

- A.物块所受的摩擦力随角速度  $\omega$  增大,一直增大  
B.物块所受的摩擦力随角速度  $\omega$  增大,一直减小  
C.物块所受的支持力随角速度  $\omega$  增大,一直增大  
D.物块所受的支持力随角速度  $\omega$  先增大后减小



4.★★★(2023 海淀一模)如图所示,轻杆的一端固定在 O 点,另一端固定一小球,轻杆绕 O 点在竖直平面内沿顺时针方向做匀速圆周运动,其中 A 点为最高点、C 点为最低点、B 点与 O 点等高,下列说法正确的是( )

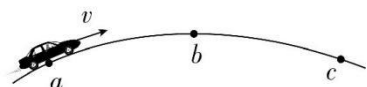
- A.小球经过 A 点时,所受杆的作用力一定竖直向下  
B.小球经过 B 点时,所受杆的作用力沿着 BO 方向  
C.从 A 点到 C 点的过程,小球重力的功率保持不变  
D.从 A 点到 C 点的过程,杆对小球的作用力做负功



5.★★★(2024 西城一模)如图所示,将拱形桥面近似看作圆弧面,一辆汽车以恒定速率通过桥面 abc,其中 a、c 两点高度相同,b 点为桥面的最高点。假设整个过程中汽车所受空气阻力和摩擦阻力的大小之和保持不变。下列说法正确的是

( )

- A.在 ab 段汽车对桥面的压力大小不变      B.在 bc 段汽车对桥面的压力逐渐增大  
C.在 ab 段汽车的输出功率逐渐增大      D.在 ab 段汽车发动机做功比 bc 段的多



6.★★(2025 海淀二模)如图 1 所示,“冰坑挑战”需要挑战者先进入一个坡面与水平面夹角为  $\theta$ 、半径为  $R$  的倒圆锥型冰坑,然后尝试从其中离开。

方式甲——挑战者沿着如图 2 甲所示坡面向上走或爬的方式,很难离开冰坑,通常还是会滑回坑底。

方式乙——挑战者沿着如图 2 乙所示的螺旋线方式跑动多圈后,最终可以成功离开冰坑。

已知挑战者的质量为  $m$ ,其与冰面的动摩擦因数为  $\mu$ ,重力加速度为  $g$ 。为了讨论方便,假定滑动摩擦力与最大静摩擦力大小相等;方式乙中人的跑动半径  $r$  缓慢增大,每一圈的轨迹都可近似为与水平地面平行的圆。下列说法正确的是( )

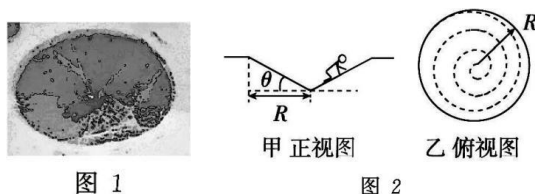


图 1

图 2

- A.在方式甲中,一定满足关系式  $mg \sin \theta < \mu mg \cos \theta$
- B.在方式甲和方式乙中,挑战者受到的最大静摩擦力大小不同
- C.在方式乙中,可利用  $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{r}$  求得每圈的最小速度
- D.在方式乙中,挑战者离开冰坑做的功至少为  $mgR \tan \theta$

7.★★★(2023 西城二模)图 1 所示是一种叫“旋转飞椅”的游乐项目,将其结构简化为图 2 所示的模型。长  $L=3 \text{ m}$  的钢绳一端系着座椅,另一端固定在半径  $r=3 \text{ m}$  的水平转盘边缘。转盘可绕穿过其中心的竖直轴转动。转盘静止时,钢绳沿竖直方向自由下垂;转盘匀速转动时,钢绳与转轴在同一竖直平面内,与竖直方向的夹角  $\theta=37^\circ$ 。将游客和座椅看成一个质点,质量  $m=50 \text{ kg}$ 。不计钢绳重力和空气阻力,重力加速度  $g=10 \text{ m/s}^2$ 。(  $\sin 37^\circ=0.6, \cos 37^\circ=0.8$  )



图 1

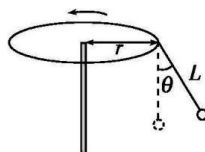


图 2

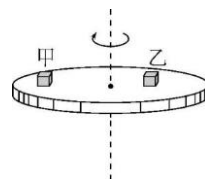
- (1)当转盘匀速转动时,游客和座椅做圆周运动,求:a.向心力的大小  $F_n$ ;b.线速度的大小  $v$ 。
- (2)求游客由静止到随转盘匀速转动的过程中,钢绳对游客和座椅做的功  $W$ 。

8.★★★(2024 朝阳二模)如图所示,水平圆台可以绕其中心轴转动。在圆台中心两侧放上甲、乙两物体,两物体的质量均为  $m$ ,均可视为质点,甲、乙两物体到圆台中心距离分别为  $2R$ 、 $R$ ,其连线过圆台中心。两物体与圆台间的动摩擦因数均为  $\mu$ ,设最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为  $g$ 。

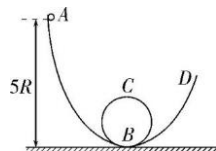
(1)若圆台以某一角速度转动时,甲、乙均未滑动,求两物体的加速度大小之比  $a_{\text{甲}} : a_{\text{乙}}$ ;

(2)若圆台的角速度逐渐增大,请分析说明甲、乙两物体谁先滑动;

(3)若将甲、乙两物体用不可伸长的轻绳连接,轻绳最初拉直而不张紧,缓慢增加圆台的转速,求两物体刚要滑动时圆台转动的角速度  $\omega$ 。



9.★★(2024 石景山期末)一兴趣小组的同学为探究物体做圆周运动的特点,制作了如图所示的装置:弧形轨道下端与半径为  $R$  的竖直圆轨道平滑相接,B 点和 C 点分别为圆轨道的最低点和最高点。该小组的同学让质量为  $m$  的小球(可视为质点)从弧形轨道上距 B 点高  $5R$  的 A 点由静止释放,先后经过 B 点和 C 点,而后沿圆轨道滑下。忽略一切摩擦,重力加速度为  $g$ 。



(1)求小球通过 B 点时的速度大小  $v_B$ 。

(2)求小球通过 C 点时,轨道对小球作用力的大小  $F$  和方向。

(3)该小组的同学认为,只要小球能够经过 C 点,则轨道 B 和 C 两点对小球的压力大小之差是不变的。

你是否同意这一观点?请说明理由。

### 练习七 (开普勒行星运动定律与万有引力定律)

1.★★(2025 东城二模)质量为  $m$  的物块静止放置于地球赤道某处的水平桌面上。已知地球质量为  $M$ ,半径为  $R$ ,自转周期为  $T$ ,引力常量为  $G$ 。若考虑地球自转,将地球视为质量均匀分布的球体,则物块对桌面的压力大小  $F$  等于( )

- A.  $G\frac{Mm}{R^2}$       B.  $m\frac{4\pi^2}{T^2}R$       C.  $G\frac{Mm}{R^2}-m\frac{4\pi^2}{T^2}R$       D.  $G\frac{Mm}{R^2}+m\frac{4\pi^2}{T^2}R$

2.★★(2023 东城一模)火星和地球绕太阳的运动均可视为匀速圆周运动,火星公转轨道的半径与地球公转轨道的半径之比为  $3:2$ ,则火星与地球绕太阳运动的( )

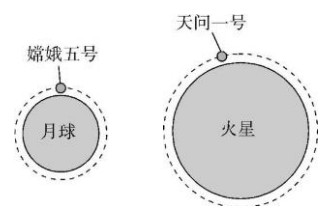
- A.角速度大小之比为  $2\sqrt{2}:3\sqrt{3}$       B.线速度大小之比为  $\sqrt{3}:\sqrt{2}$   
C.周期之比为  $2:3$       D.向心加速度大小之比为  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$

3.★★(2024 西城一模)木星有多颗卫星,表中列出了其中两颗卫星的轨道半径和质量,两颗卫星绕木星的运动均可看作匀速圆周运动。由表中数据可知( )

卫星	轨道半径 $r/\text{km}$	卫星质量 $m/\text{kg}$
木卫一	$4.217\times 10^5$	$8.93\times 10^{22}$
木卫二	$6.710\times 10^5$	$4.80\times 10^{22}$

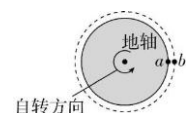
- A.木星对木卫一的万有引力小于木星对木卫二的万有引力  
B.木卫一绕木星运动的向心加速度大于木卫二绕木星运动的向心加速度  
C.木卫一绕木星运动的线速度小于木卫二绕木星运动的线速度  
D.木卫一绕木星运动的周期大于木卫二绕木星运动的周期

4.★★(2024 人大附中一模)嫦娥五号、天问一号探测器分别在近月、近火星轨道运行。已知火星的质量约为月球质量的  $9$  倍、半径约为月球半径的  $2$  倍。假设月球、火星可视为质量均匀分布的球体,忽略其自转影响,则下列说法正确的是( )



- A.月球表面重力加速度大于火星表面重力加速度  
B.嫦娥五号绕月球的运行速度大于天问一号绕火星的运行速度  
C.相同时间内,嫦娥五号与月球球心的连线扫过的面积与天问一号与火星球心的连线扫过的面积相等  
D.嫦娥五号绕月球运行轨道半径的三次方与周期的二次方的比值  $\frac{r_1^3}{T_1^2}$  小于天问一号绕火星运行轨道半径的三次方与周期的二次方的比值  $\frac{r_2^3}{T_2^2}$

5.★★(2022 丰台一模)如图所示,a 为在地球赤道表面随地球一起自转的物体,b 为绕地球做匀速圆周运动的近地卫星,轨道半径可近似为地球半径。假设 a 与 b 质量相同,地球可看作质量分布均匀的球体,则物体 a 和卫星 b( )



- A.角速度大小近似相等      B.线速度大小近似相等



C.向心加速度大小近似相等

D.所受地球引力大小近似相等

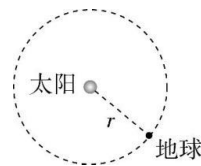
6.★★(2023 丰台二模)如图所示,地球绕太阳的运动可看作匀速圆周运动。已知地球质量为  $m$ ,地球的轨道半径为  $r$ ,公转周期为  $T$ ,太阳质量为  $M$ ,引力常量为  $G$ 。下列说法正确的是( )

A.根据以上信息,可以计算出地球表面的重力加速度

B.根据以上信息,可以计算出地球的第一宇宙速度

C. $\frac{r^3}{T^2}$ 与  $M$  无关

D. $\frac{GMm}{r}$ 对应物理量的单位与动能的单位相同



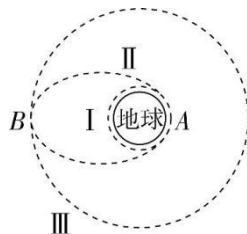
7.★★★(2024 海淀二模反馈)地球同步卫星的发射过程可以简化如下:卫星先在近地圆形轨道I上运动,在点 A 时点火变轨进入椭圆轨道II,到达轨道的远地点 B 时,再次点火进入同步轨道III绕地球做匀速圆周运动。已知地球半径为  $R$ ,同步轨道半径为  $r$ ,设卫星质量保持不变,下列说法不正确的是( )

A.卫星在轨道I上和轨道III上的运动周期之比为 $\frac{R^3}{r^3}$

B.卫星在轨道I上和轨道II上的运动周期之比为 $\frac{R^2}{(\frac{R+r}{2})^2}$

C.卫星在轨道I上和轨道III上运动的动能之比为 $\frac{r}{R}$

D.卫星在轨道II上运动经过 A 点和 B 点的速度之比为 $\frac{r}{R}$



8.★★★(2023 海淀二模)设地球是质量分布均匀的半径为  $R$  的球体。已知地球质量为  $M$ ,引力常量为  $G$ 。

(1)推导地球第一宇宙速度  $v$  的表达式;

(2)不考虑地球自转,求地球表面重力加速度  $g$ ;

(3)设地球自转周期为  $T$ ,求地球同步卫星距离地面的高度  $h$ ;

(4)考虑地球自转并设地球自转周期为  $T$ ,求将质量为  $m$  的物体,从北极运至赤道的过程中,其对地面的压力的变化量  $\Delta F$ 。

## 练习八 (人造卫星 宇宙速度)

1.★★(2024 西城一模) 2023 年,我国首颗超低轨道实验卫星“乾坤一号”发射成功。“乾坤一号”是一颗绕地球做圆周运动的近地卫星。关于它的运动,下列说法正确的是( )

- A.角速度大于地球自转的角速度
- B.线速度大于地球的第一宇宙速度
- C.线速度小于地球表面物体随地球自转的线速度
- D.向心加速度小于地球表面的物体随地球自转的向心加速度

2.★★(2025 西城一模)北斗卫星导航系统中包含地球静止卫星,即相对地面静止的卫星。静止卫星的( )

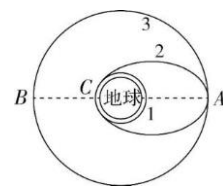
- A.周期大于地球自转的周期
- B.线速度大于地球的第一宇宙速度
- C.向心加速度大于地球表面的重力加速度
- D.向心加速度大于地球表面物体随地球自转的向心加速度

3.★★(2021 丰台二模)2021 年 2 月 10 日 19 时 52 分“天问一号”探测器在距火星 400 km 的位置瞬间变速,成功被火星捕获,完成了环绕火星飞行的任务。“火星捕获”是火星探测任务中风险最高的环节之一,如变速后速度过快,探测器会脱离火星的吸引;速度过慢,则会一头扎到火星上。已知火星的第一宇宙速度和第二宇宙速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ ,火星的半径为 3 400 km,设“天问一号”瞬间变速后速度为  $v$ ,下列说法正确的是( )

- A. $v$  一定小于  $v_1$
- B. $v$  可以大于  $v_2$
- C. $v$  可以大于  $v_1$
- D. $v$  一定在  $v_1$  和  $v_2$  之间

4.★★(2024 北师大附中零模)2022 年 10 月 31 日,搭载梦天实验舱的长征五号 B 遥四运载火箭发射取得圆满成功。火箭发射可简化为三个轨道,如图所示,先由近地圆轨道 1 进入椭圆轨道 2,再调整至圆轨道 3。轨道上 A、B、C 三点与地球中心在同一直线上,A、C 两点分别为轨道 2 的远地点与近地点。下列说法正确的是( )

- A.卫星在轨道 2 上 C 点的速度大于第一宇宙速度
- B.卫星在轨道 2 上运行的周期小于在轨道 1 上运行的周期
- C.卫星在轨道 2 上的 A 点和轨道 3 上 B 点受到的万有引力相同
- D.卫星在轨道 2 上 C 点的速度小于在轨道 3 上 B 点的速度



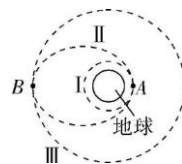
5.★★★(2023 丰台一模)2022 年 5 月,我国成功完成了天舟四号货运飞船与空间站的对接,形成的组合体在地球引力作用下绕地球的运动可看作匀速圆周运动,组合体距地面的高度约为 400 km,地球同步卫星距地面的高度约为  $3.6 \times 10^4$  km。下列说法正确的是( )

- A.组合体的线速度大于第一宇宙速度
- B.组合体的周期大于地球同步卫星的周期
- C.组合体的线速度大于地球同步卫星的线速度
- D.组合体的加速度小于地球同步卫星的加速度

6.★★★(2024 海淀二模)地球同步卫星的发射过程可以简化如下:卫星先在近地圆形轨道 I 上运动,在 A 点

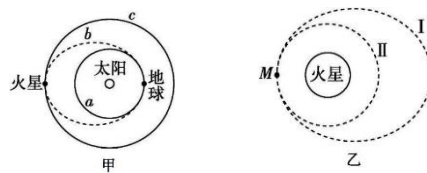
时点火变轨进入椭圆轨道Ⅱ,到达轨道的远地点 B 时,再次点火进入同步轨道Ⅲ绕地球做匀速圆周运动。设卫星质量保持不变,下列说法正确的是( )

- A. 卫星在轨道Ⅰ上运动经过 A 点时的加速度小于在轨道Ⅱ上运动经过 A 点时的加速度
- B. 卫星在轨道Ⅰ上的机械能等于在轨道Ⅲ上的机械能
- C. 卫星在轨道Ⅰ上和轨道Ⅲ上的运动周期均与地球自转周期相同
- D. 卫星在轨道Ⅱ上运动经过 B 点时的速度小于地球的第一宇宙速度



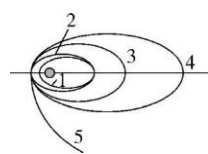
7.★★★(2021 丰台二模)如图甲所示,“天问一号”探测器从地球发射后,立即被太阳引力俘获,沿以太阳为焦点的椭圆轨道 b 运动到达火星,被火星引力俘获后环绕火星飞行,轨道 b 与地球公转轨道 a、火星公转轨道 c 相切。如图乙所示,“天问一号”由椭圆轨道Ⅰ进入圆轨道Ⅱ,进行预选着陆区探测。下列说法正确的是 ( )

- A. “天问一号”的发射速度  $v$  满足  $7.9 \text{ km/s} < v < 11.2 \text{ km/s}$
- B. “天问一号”的发射速度  $v$  满足  $11.2 \text{ km/s} \leq v < 16.7 \text{ km/s}$
- C. “天问一号”在轨道Ⅱ上的速度大于火星的第一宇宙速度
- D. “天问一号”在椭圆轨道Ⅰ上经过 M 点的速度小于在圆轨道Ⅱ上经过 M 点的速度



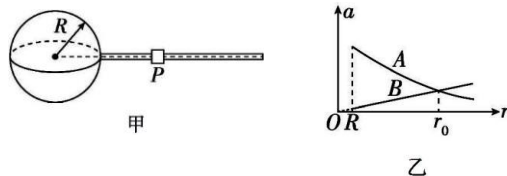
8.★★★(2024 东城一模)嫦娥 1 号奔月卫星与长征 3 号火箭分离后,进入绕地运行的周期约为 16 小时的椭圆轨道,称为 16 小时轨道(如图中曲线 1 所示)。随后,为了使卫星离地越来越远,星载发动机先在远地点点火,使卫星进入图中曲线 2 所示新轨道,以抬高近地点。后来又连续三次在抬高以后的近地点点火,使卫星加速和变轨,抬高远地点,相继进入 24 小时轨道、48 小时轨道和地月转移轨道(分别如图中曲线 3、4、5 所示)。卫星最后进入绕月圆形轨道,距月面高度为  $h$ ,周期为  $T$ 。已知月球半径为  $r$ ,引力常量为  $G$ ,则以下说法正确的是( )

- A. 卫星在 16 小时轨道上运行时,在近地点的机械能比在远地点的机械能小
- B. 24 小时轨道与 48 小时轨道的半长轴之比为  $1 : \sqrt[3]{4}$
- C. 卫星在地月转移轨道上运行时速度大于第二宇宙速度
- D. 月球的质量为  $\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$



9.★★★(2023 朝阳一模)科幻电影曾出现太空电梯的场景。如图甲所示,设想在赤道上建造一个始终与地表垂直的太空电梯,航天员可通过梯仓 P 缓慢地到达太空中某一位置,设该位置距地心的距离为  $r$ ,地球半径为  $R$ ,图乙中曲线 A 为地球引力对航天员产生的加速度大小随  $r$  变化的图线;直线 B 为航天员的向心加速度大小随  $r$  变化的图线。下列说法正确的是 ( )

- A. 航天员在  $R$  处的速度等于地球的第一宇宙速度
- B. 乙图中的  $r_0$  小于地球同步卫星的轨道半径
- C. 航天员在  $r_0$  位置时处于完全失重状态
- D. 在小于  $r_0$  的范围内,航天员越接近  $r_0$  的位置对梯仓的压力越大



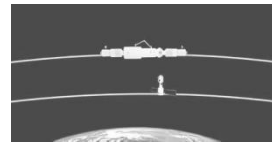
### 练习九 (万有引力定律的综合应用)

1.★★(2024 西城一模)2023 年春节期间,中国科幻电影《流浪地球 2》热映。《流浪地球》系列影片设定:若干年后,太阳上的氢元素将被耗尽,太阳由“氢核聚变”阶段进入“氦核聚变”阶段,并成为一颗红巨星,地球将被太阳吞没、气化。因此,人类启动了“流浪地球”计划。人类自救之旅的第一阶段是“刹车阶段”,利用 2 000 台安装在地球赤道上的“转向式行星发动机”,通过喷射高能高压的粒子流,推动地球停止自转;第二阶段是“逃逸阶段”,利用“推进式行星发动机”推动地球加速,增大公转速度,逐渐脱离太阳系,开启“流浪”之旅。根据以上素材,结合所学,判断下列说法正确的是( )

- A.不考虑其他因素,地球停止自转的过程中,赤道上的物体所受重力逐渐减小
- B.不考虑其他因素,地球停止自转的过程中,南北极处的物体所受重力逐渐增大
- C.“转向式行星发动机”的喷射方向应该与自转速度方向相反,“推进式行星发动机”的喷射方向应该与公转速度方向相反
- D.聚变要克服原子核之间的库仑斥力,因此氦核聚变比氢核聚变需要的温度更高

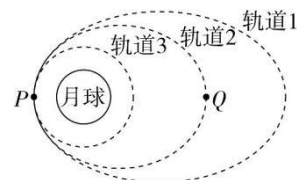
2.★★(2025 丰台一模)2024 年 4 月 25 日,神舟十八号载人飞船与距地表约 400 km 的空间站顺利完成径向对接。对接前,飞船在空间站正下方 200 m 的“停泊点”处调整为垂直姿态,并保持相对静止,如图所示,随后逐步上升到“对接点”,与空间站完成对接形成组合体,组合体在空间站原轨道上做匀速圆周运动。下列说法正确的是( )

- A.飞船在“停泊点”时,其运动速度大于空间站的运动速度
- B.飞船在“停泊点”时,万有引力提供向心力
- C.相比于对接前,对接稳定后空间站速度会变小
- D.相比于在“停泊点”,对接稳定后飞船的机械能增加



3.★★★(2025 海淀一模)2024 年 6 月,“嫦娥六号”探测器成功着陆在月球背面预选着陆区,开启人类探测器首次在月球背面实施的样品采集任务。“嫦娥六号”被月球捕获进入月球轨道的部分过程如图所示:探测器在椭圆轨道 1 运行经过 P 点时变轨进入椭圆轨道 2,在轨道 2 上经过 P 点时再次变轨进入圆轨道 3。三个轨道相切于 P 点,Q 点是轨道 2 上离月球最远的点。下列说法正确的是 ( )

- A.探测器从轨道 1 进入轨道 2 的过程中,需点火加速
- B.探测器在轨道 2 上从 P 点运行到 Q 点的过程中,机械能越来越大
- C.探测器分别沿着轨道 2 和轨道 3 运行,经过 P 点时的加速度相同
- D.探测器在轨道 3 上运行的周期大于其在轨道 1 上运行的周期



4.★★★(2025 朝阳一模)如图所示,若质量为  $m$  的“祝融号”火星车悬停在火星表面上方,受到竖直向上的升力  $F$ ,已知火星的半径为  $R$ ,引力常量为  $G$ ,忽略火星的自转,则下列说法正确的是( )



A.火星表面的重力加速度大小为 $\frac{G}{m}$

B.火星的第一宇宙速度大小为 $\sqrt{\frac{FR}{m}}$

C.火星的质量为 $\frac{Fm}{GR^2}$

D.火星的平均密度为 $\frac{4F}{3G\pi mR^2}$

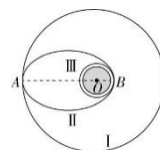
5.★★★(2022 东城二模)“嫦娥四号”月球探测器登陆月球背面的过程可以简化为如图所示的情景:“嫦娥四号”首先在半径为 $r$ 、周期为 $T$ 的圆形轨道I上绕月球运行,某时刻“嫦娥四号”在A点变轨进入椭圆轨道II,然后在B点变轨进入近月圆形轨道III。轨道II与轨道I、轨道III的切点分别为A、B两点,A、B两点与月球的球心O在一条直线上。已知引力常量为 $G$ ,月球的半径为 $R$ ,体积 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$ ,则( )

A.月球的平均密度为 $\frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$

B.探测器在轨道II上A、B两点的线速度之比为 $\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$

C.探测器在轨道II上A、B两点的加速度之比为 $\left(\frac{r}{R}\right)^2$

D.探测器从A点运动到B点的时间为 $T\left(\frac{R+r}{2r}\right)^{\frac{3}{2}}$



6.★★★(2025 东城一模)两黑洞绕其连线上的某一点做匀速圆周运动,组成一个孤立的双星系统,两黑洞的质量分别为 $m_1$ 、 $m_2$ ,两者间距为 $r$ ,引力常量为 $G$ 。

(1)求两黑洞做匀速圆周运动的角速度的大小 $\omega$ 。

(2)科研人员观测到上述黑洞系统会向外辐射引力波,随着时间的推移,两个黑洞会缓慢靠近,系统的机械能 $E$ 逐渐减小。已知机械能 $E$ 随时间 $t$ 的变化率为 $\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{Gm_1 m_2}{2r^2} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta t} (\Delta t \rightarrow 0)$ ,其中 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 可以定义为两黑洞的

靠近速度 $v_r$ 。由广义相对论可知,该系统辐射引力波的功率 $P = \frac{32}{5}G^4(m_1 m_2)^2(m_1 + m_2)c^{-5}r^\alpha$ ,其中 $c$ 为电磁波在真空中的传播速度。当 $r$ 较大时,靠近速度 $v_r$ 很小,不计两黑洞各自质量的变化。

a.求 $\alpha$ 的值;

b.请推导 $v_r$ 的表达式。

7.★★(2025 丰台一模)牛顿运动定律适用于惯性系。相对于惯性系有加速度的参考系称为“非惯性系”,在非惯性系中,为使牛顿运动定律形式上仍然成立,可认为物体都多受一个“惯性力( $f_{\text{惯}}$ )”。 $f_{\text{惯}}=-ma$ ,  $m$  为被研究物体的质量,  $a$  为非惯性系相对于惯性系的加速度,“-”号表示  $f_{\text{惯}}$  与  $a$  反向。

(1)我国空间站所在轨道高度处的重力加速度为  $g'$ , 空间站中航天员质量为  $m$ 。根据题干提供的信息,完成下面的表格。

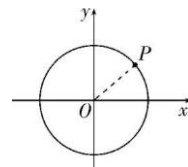
参考系	地球(忽略自转)	空间站
对航天员进行受力分析  (可将航天员视为质点)		
航天员的运动状态(填“平衡状态”或“非平衡状态”)		

(2)将地球和月球看作一个孤立系统,忽略地球自转。二者球心绕连线上某点做匀速圆周运动,该点可视为惯性系。地球上的“潮汐”现象是由月球引力与惯性力的合力造成,该合力称为“引潮力”。已知引力常量为  $G$ ,地球质量和月球质量分别为  $M$  和  $m$ ,半径分别为  $R$  和  $r$ ,二者球心间距为  $L$ ,可认为  $L>R$ 。请写出地球上离月球最远,质量为  $m_0$  的质点所受“引潮力”的表达式,并判断方向。

(3)大天体对小天体的引潮力有可能将小天体“撕碎”。2024 年 12 月,科学家首次发现近地小行星“2024YR4”,并预测它大约将在 2032 年 12 月与地球相距最近。如果小行星内部物质仅由万有引力聚集在一起,半径为  $r'$ ,密度  $\rho_m=3\times 10^3\text{ kg/m}^3$ ,忽略小行星自转。地球的半径为  $R$ ,密度  $\rho_M=5.5\times 10^3\text{ kg/m}^3$ ,请通过计算说明,小行星到达地球表面之前能否被引潮力撕碎?(提示:已知地球质量远大于小行星质量,无论小行星到达地球表面前能否被撕碎,都有二者球心间距远大于  $r'$ 。本题可能用到的数学工具:当  $x\rightarrow 0$  时, $\frac{1}{(1+x)^n}\approx 1-nx$ )

8.★★(2024 海淀一模)1610 年,伽利略用他制作的望远镜发现了木星的四颗主要卫星。根据观察,他将其一颗卫星 P 的运动视为一个振幅为 A、周期为 T 的简谐运动,并据此推测,他观察到的卫星振动是卫星圆运动在某方向上的投影。

如图所示,是伽利略推测的卫星 P 运动的示意图,在  $xOy$  平面内,质量为  $m$  的卫星 P 绕坐标原点 O 做匀速圆周运动。已知引力常量为  $G$ ,不考虑各卫星之间的相互作用。



(1)若认为木星位于坐标原点 O,根据伽利略的观察和推测结果:

①写出卫星 P 做圆周运动的向心力大小  $F_n$  的表达式;

②求木星的质量  $M$ ;

③物体做简谐运动时,回复力应该满足  $F=-kx$ 。请据此证明:卫星 P 绕木星做匀速圆周运动在  $x$  轴上的投影是简谐运动。

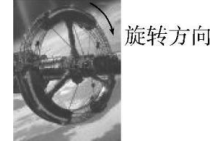
(2)若将木星与卫星 P 视为双星系统,彼此围绕其连线上的某一点做匀速圆周运动,计算出的木星质量为  $M'$ 。请分析比较(1)②中得出的质量  $M$  与  $M'$  的大小关系。



## 练习十 (圆周运动与万有引力定律)

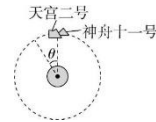
1.★★(2024 海淀一模)在空间站中,航天员长期处于失重状态,为缓解这种状态带来的不适,科学家设想建造一种环形空间站,如图所示。圆环形旋转舱绕中心匀速旋转,航天员站在旋转舱内的侧壁上,可以受到与他站在地球表面时相同大小的支持力,航天员可视为质点。下列说法正确的是( )

- A.航天员可以站在旋转舱内靠近旋转中心的侧壁上
- B.以地心为参考系,航天员处于平衡状态
- C.旋转舱的半径越大,转动的角速度应越小
- D.航天员的质量越大,转动的角速度应越小



2.★★(2022 考前适应性考试)如图所示,已知“神舟十一号”“天宫二号”对接后,组合体在时间  $t$  内沿圆形轨道绕地球转过的角度为  $\theta$ ,组合体轨道半径为  $r$ ,地球表面重力加速度为  $g$ ,引力常量为  $G$ ,不考虑地球自转。则下列各物理量不能求出的是( )

- A.地球的质量
- B.地球的平均密度
- C.组合体做圆周运动的线速度
- D.组合体受到地球的万有引力

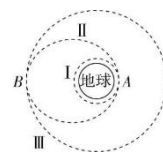


3.★★(2023 十二中模拟)科幻电影《流浪地球》讲述了这样的故事:太阳即将毁灭,人类在地球上建造出巨大的推进器,使地球经历了停止自转、加速逃逸、匀速滑行、减速入轨等阶段,最后成为比邻星的一颗行星。假设若干年后,地球流浪成功。设比邻星的质量为太阳质量的  $\frac{1}{4}$ ,地球质量在流浪过程中损失了  $\frac{1}{4}$ ,地球绕比邻星运行的轨道半径为地球绕太阳运行轨道半径的  $\frac{1}{2}$ ,则地球绕比邻星运行与绕太阳运行相比较,下列关系正确的是( )

- A.公转周期之比为  $T_{\text{比}} : T_{\text{日}} = 1 : 1$
- B.向心加速度之比为  $a_{\text{比}} : a_{\text{日}} = 3 : 4$
- C.动能之比为  $E_{k\text{比}} : E_{k\text{日}} = 3 : 8$
- D.万有引力之比为  $F_{\text{比}} : F_{\text{日}} = 3 : 8$

4.★★★(2022 丰台二模)2022 年 3 月 23 日,“天宫课堂”进行了第二次授课活动。授课过程中信号顺畅不卡顿,主要是利用天链系列地球同步卫星进行数据中继来实现的。如图所示,天链卫星的发射过程可以简化如下:卫星先在近地圆形轨道 I 上运动,到达轨道的 A 点时点火变轨进入椭圆轨道 II,到达轨道的远地点 B 时,再次点火进入圆形同步轨道 III 绕地球做匀速圆周运动。设地球半径为  $R$ ,地球表面的重力加速度为  $g_0$ (忽略地球自转的影响),卫星质量保持不变。则下列说法正确的是( )

- A.卫星在轨道 I 和轨道 III 运动的周期均与地球自转周期相同
- B.卫星在轨道 II 和轨道 III 运动经过 B 点的加速度大小不同
- C.卫星在轨道 III 上的运行速率小于  $\sqrt{g_0 R}$
- D.卫星在轨道 I 上的机械能大于在轨道 II 上的机械能



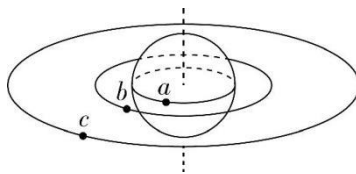
5.★★★(2024 海淀模拟)如图所示,a 为地球赤道上的物体,b 为沿地球表面附近轨道做匀速圆周运动的人造卫星,c 为地球同步卫星。关于 a、b、c 做匀速圆周运动的说法错误的是( )

A. a、b、c 都仅由万有引力提供向心力

B. 周期关系为  $T_a = T_c > T_b$

C. 线速度的大小关系为  $v_a < v_c < v_b$

D. 向心加速度的大小关系为  $a_b > a_c > a_a$



6.★★★(2022 朝阳一模)2021 年 4 月 29 日,中国空间站天和核心舱发射升空,准确进入预定轨道。核心舱绕地球飞行的轨道可视为圆轨道,轨道离地面的高度约为地球半径的  $\frac{1}{16}$ 。下列说法正确的是( )

A. 核心舱进入轨道后所受地球的万有引力大小约为它在地面时的  $\frac{16}{17}$

B. 核心舱在轨道上飞行的速度大于 7.9 km/s

C. 核心舱在轨道上飞行的周期小于 24 h

D. 后续加挂实验舱后,空间站由于质量增大,轨道半径将变小

7.★★★(2024 西城一模)如图 1 所示,长为  $R$  且不可伸长的轻绳一端固定在  $O$  点,另一端系一小球,使小球在竖直面内做圆周运动。由于阻力的影响,小球每次通过最高点时速度大小不同。测量小球经过最高点时速度的大小  $v$  和绳的拉力大小  $F$ ,作出  $F-v^2$  的关系图像如图 2 所示。下列说法正确的是( )

A. 根据图像可以得出小球的质量  $m = \frac{aR}{b}$

B. 根据图像可以得出重力加速度  $g = \frac{a}{R}$

C. 绳长不变,用质量更小的球做实验,得到的图线斜率更大

D. 用更长的绳做实验,得到的图线与横轴交点的位置不变

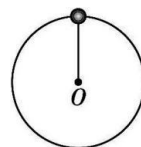


图 1

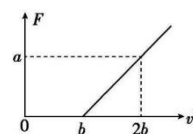


图 2

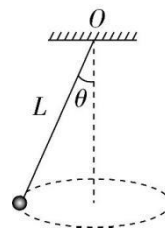
8.★★★(2024 一零一中学模拟)如图所示,轻细线与竖直方向夹角为  $\theta$ ,长为  $L$ ,下端悬挂质量为  $m$  的小球,小球在水平面内做匀速圆周运动,忽略小球运动中受到的阻力,将小球视为质点,重力加速度为  $g$ 。则( )

A. 轻细线对小球的拉力  $F = mg \cos \theta$

B. 小球做匀速圆周运动的周期  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

C. 小球做匀速圆周运动的线速度大小  $v = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$

D. 在半个周期内,合力对小球的冲量大小  $I_{\text{合}} = m\sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$

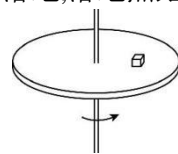


9.★★★(2023 丰台一模)如图所示,一圆盘在水平面内绕过圆盘中心的轴匀速转动,角速度是  $2.0 \text{ rad/s}$ 。盘面上距圆盘中心  $10 \text{ cm}$  的位置有一个质量为  $0.1 \text{ kg}$  的小物体随圆盘一起做匀速圆周运动。小物体与圆盘之间的动摩擦因数  $\mu = 0.4$ ,两者之间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。求:

(1) 小物体随圆盘匀速转动时所需向心力的大小  $F$ ;

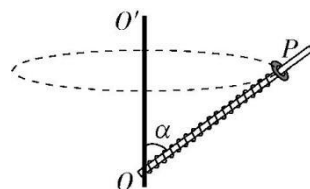
(2) 要使小物体在圆盘上不发生相对滑动,圆盘转动的角速度的最大值  $\omega_{\text{max}}$ ;

(3)若圆盘由静止开始转动,逐渐增大圆盘的角速度,小物体从圆盘的边缘飞出,经过 0.4 s 落地,落地点距飞出点在地面投影点的距离为 40 cm。在此过程中,摩擦力对小物体所做的功  $W$ 。



10.★★(2024 人大附中三模)一种离心测速器的简化工作原理如图所示。细杆的一端固定在竖直转轴  $OO'$  上的  $O$  点,并可随轴一起转动。杆上套有一轻质弹簧,弹簧一端固定于  $O$  点,另一端与套在杆上的圆环相连。当测速器稳定工作时,圆环将相对细杆静止,通过圆环的位置可以确定细杆匀速转动的角速度。已知细杆长度  $l=0.2\text{ m}$ ,杆与竖直转轴的夹角  $\alpha$  始终为  $60^\circ$ ,弹簧原长  $x_0=0.1\text{ m}$ ,弹簧劲度系数  $k=100\text{ N/m}$ ,圆环质量  $m=1\text{ kg}$ ;弹簧始终在弹性限度内,重力加速度大小取  $10\text{ m/s}^2$ ,摩擦力可忽略不计。

- (1)若细杆和圆环处于静止状态,求圆环到  $O$  点的距离;
- (2)求弹簧处于原长时,细杆匀速转动的角速度大小;
- (3)求圆环处于细杆末端  $P$  时,细杆匀速转动的角速度大小。



## 练习十一 (圆周运动与万有引力定律)

11.★★(2025 东城二模)开普勒行星运动定律是描述行星运动的基本规律。

开普勒第一定律:所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆,太阳处在椭圆的一个焦点上。

开普勒第二定律:对任意一个行星来说,它与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积相等。

开普勒第三定律:所有行星轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比都相等。

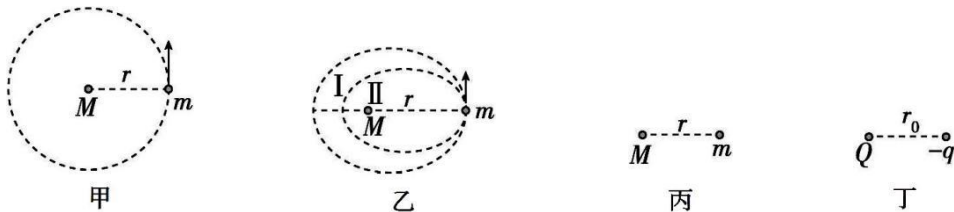
这三条规律也适用于卫星绕行星的运动。

(1)一个质量为  $m$  的探测器绕某行星  $P$  做匀速圆周运动,轨道半径为  $r$ ,如图甲所示。行星  $P$  的质量为  $M(M \gg m)$ ,引力常量为  $G$ 。行星  $P$  和探测器均视为质点。

a.设探测器做匀速圆周运动的周期为  $T$ ,求  $\frac{r^3}{T^2}$  的表达式;

b.探测器在极短的时间内沿运动方向喷射高温气体减速制动,其运动轨迹变为椭圆,如图乙中的轨道 I 所示;若制动后的速度越小,则椭圆越扁,椭圆轨道的长轴越短,如图乙中的轨道 II 所示。假设探测器在极短的时间内减速到  $v$ ,  $v$  趋近于零。请结合开普勒第二定律,分析并计算探测器的“近  $P$  点”到行星  $P$  的距离  $d$ ;

c.假设探测器在极短的时间内制动减速至零,其在万有引力的作用下向行星  $P$  做变加速直线运动,如图丙所示。请结合开普勒第三定律,求探测器到达行星  $P$  所用的时间  $t$ 。



(2)真空中固定着一带正电的点电荷,所带电荷量为  $Q(Q > 0)$ ,距离为  $r_0$  处有一质量为  $m_0$ 、带电荷量为  $-q(q > 0)$  的点电荷,该电荷由静止释放,如图丁所示。静电力常量为  $k$ 。库仑力与万有引力都与距离的二次方成反比,结合运动与相互作用观,类比(1),求带电荷量为  $-q$  的点电荷仅在静电力的作用下到达  $Q$  所用的时间  $\tau$ 。不计带电荷量为  $-q$  的点电荷运动过程中的电磁辐射。

12.★★(2025 西城二模)物理模型对研究有重要意义,研究中要根据解决问题的需要对模型进行改进,以提高其可靠性和实用性。已知地球质量为  $M$ , 可视为质量均匀分布的半径为  $R$  的球体, 引力常量为  $G$ , 不考虑地球自转。

(1) 在地球表面将物体以初速度  $v_0$  竖直上抛

a. 若忽略万有引力的变化, 物体上升过程的  $v$ - $t$  图像如图 1 所示。求重力加速度的大小  $g$  及物体上升到最高点所用的时间  $t_1$ 。

b. 若考虑万有引力的变化, 在图 1 中定性画出物体上升阶段的图像, 标出物体上升到最高点的时间  $t_2$ 。

(2) 在地球赤道表面向北极发射洲际导弹

a. 若忽略万有引力大小的变化, 某同学提出将导弹的运动分解为绕地心的匀速圆周运动与垂直地球表面的匀变速直线运动。若导弹发射速度的大小为  $v_1$ , 方向与地面的夹角为  $\theta$ , 如图 2 所示。推导导弹距地面的高度  $h$  随运动时间  $t$  变化的关系式。

b. 若考虑万有引力的变化, 导弹仅在地球引力作用下的运动轨迹是椭圆, 地心  $O$  为椭圆的一个焦点, 如图 3 所示。已知取无穷远处的引力势能为 0, 质量为  $m$  的物体在距地心为  $r$  ( $r \geq R$ ) 处的引力势能  $E_p = -G\frac{Mm}{r}$ , 该物体在地球引力作用下做椭圆运动时, 其机械能  $E$  (动能与引力势能之和) 与椭圆轨迹的半长轴长度  $a$  的关系为  $E = -G\frac{Mm}{2a}$ , 椭圆上任意一点到两个焦点的距离之和为  $2a$ 。求发射导弹到北极的最小速度  $v_2$ 。

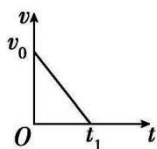


图 1

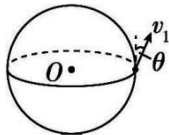


图 2

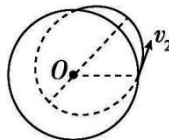


图 3

## 练习十二 (功和功率)

1.★★(2024 海淀一模反馈)细心的同学会发现商场里安装供顾客上、下楼的电梯主要有如图所示两种:台阶式如图甲,斜面试如图乙。下列对某同学分别乘坐两种电梯的过程,描述正确的是( )

- A.乘坐电梯甲匀速下降时,该同学受到水平方向的摩擦力
- B.乘坐电梯甲加速下降时,该同学所受摩擦力做负功
- C.乘坐电梯乙匀速上升时,该同学不受摩擦力作用
- D.乘坐电梯乙加速上升时,该同学受到的摩擦力做正功



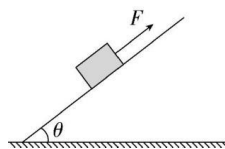
甲



乙

2.★★(2025 丰台二模)如图所示,一物体在恒力  $F$  作用下沿斜面向上加速运动,已知物体质量为  $m$ ,加速度大小为  $a$ ,物体和斜面之间的动摩擦因数为  $\mu$ ,斜面倾角为  $\theta$ ,重力加速度为  $g$ ,在物体移动距离  $x$  的过程中,下列说法正确的是( )

- A.斜面对物体的摩擦力大小为  $mg \sin \theta$
- B.斜面对物体作用力的大小为  $mg \cos \theta$
- C.斜面对物体的摩擦力做功为  $-\mu mgx$
- D.物体动能增加了  $max$



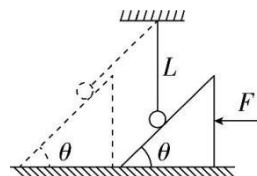
3.★★★(2024 丰台一模)出现暴风雪天气时,配备航空燃油发动机的某型号除雪车以  $20 \text{ km/h}$  的速度匀速行驶,进行除雪作业,如图所示。直径约为  $30 \text{ cm}$  的吹风口向侧面吹出速度约  $30 \text{ m/s}$ 、温度约  $700^\circ\text{C}$ 、密度约  $1.0 \text{ kg/m}^3$  的热空气。已知航空燃油的热值为  $4 \times 10^7 \text{ J/kg}$ ,根据以上信息可以估算出以下哪个物理量 ( )

- A.除雪车前进时受到的阻力
- B.除雪车吹出热空气时受到的反冲力
- C.除雪车进行除雪作业时有用功的功率
- D.除雪车进行除雪作业时单位时间消耗的燃油质量

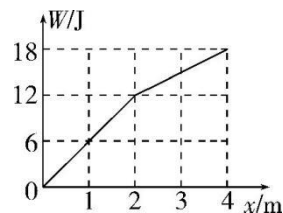


4.★★★(2025 清华附中统练)轻绳一端固定在天花板上,另一端系一个小球,开始时绳竖直,小球与一个倾角为  $\theta$  的静止三角形物块刚好接触,如图所示,现在用水平力  $F$  向左非常缓慢地推动三角形物块,直至轻绳与斜面平行,不计一切摩擦。在该过程中,下列说法正确的是( )

- A.绳中拉力先变小后增大
- B.斜面对小球的弹力不做功
- C.地面对三角形物块的支持力先增大后减小
- D.水平推力  $F$  做的功等于小球机械能的增量

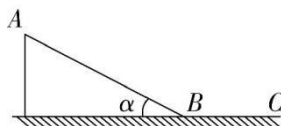


5.★★★(2024 昌平二模)质量为  $1\text{ kg}$  的物体在水平拉力的作用下,由静止开始在水平地面上沿  $x$  轴运动,出发位置为  $x=0$ 。拉力做的功  $W$  与物体坐标  $x$  的关系如图所示。物体与水平地面间的动摩擦因数为  $0.4$ ,重力加速度大小取  $10\text{ m/s}^2$ 。求:



- (1)物体在  $x=1\text{ m}$  位置时,拉力的大小  $F$ ;
- (2)物体在  $x=1\text{ m}$  位置时,拉力的功率  $P$ ;
- (3)物体从  $x=0$  运动到  $x=4\text{ m}$  过程中,速度的最大值  $v_m$ 。

6.★★★(2024 西城一模)儿童滑梯可简化为如图所示的模型。滑梯下滑区  $AB$  的长  $L=4\text{ m}$ ,倾角  $\alpha=37^\circ$ 。一个质量  $m=20\text{ kg}$  的儿童从滑梯顶部  $A$  点由静止滑下,最后停在水平缓冲区  $BC$  上。若儿童与  $AB$ 、 $BC$  部分的动摩擦因数均为  $0.5$ ,儿童经过两段连接处速度的大小不变。 $\sin 37^\circ=0.6$ , $\cos 37^\circ=0.8$ ,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ 。求:



- (1)儿童运动到  $B$  点时速度的大小;
- (2)缓冲区  $BC$  部分的最小长度  $x$ ;
- (3)整个过程中摩擦力对儿童做的功  $W_f$ 。



### 练习十三 (动能定理及其应用)

1.★★(2025 朝阳一模)物体 a、b 的质量分别为  $m_a$  和  $m_b$ ,且  $m_a < m_b$ ,它们的初动能相同。若 a 和 b 分别只受到恒定阻力  $F_a$  和  $F_b$  的作用,经过相同的时间停下来,它们的位移分别为  $x_a$  和  $x_b$ 。下列关系正确的是 ( )

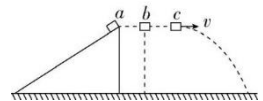
- A.  $F_a > F_b, x_a < x_b$       B.  $F_a > F_b, x_a > x_b$       C.  $F_a < F_b, x_a > x_b$       D.  $F_a < F_b, x_a < x_b$

2.★★(2024 东城阶段练)水平桌面上,一质量为  $m$  的物体在水平恒力  $F$  作用下从静止开始运动,物体通过的路程等于  $s_0$  时,速度的大小为  $v_0$ ,此时撤去  $F$ ,物体继续滑行  $2s_0$  的路程后停止运动,重力加速度为  $g$ ,则 ( )

- A. 在此过程中  $F$  所做的功为  $\frac{1}{2}mv_0^2$       B.  $F$  的大小等于物体所受滑动摩擦力大小的 2 倍  
C. 物体与桌面间的动摩擦因数等于  $\frac{v_0^2}{4gs_0}$       D. 在此过程中  $F$  的冲量大小等于  $mv_0$

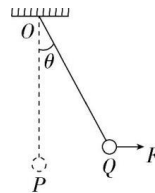
3.★★(2025 西城期末)如图所示,质量相同的三个小物块 a、b、c 处在同一高度,光滑斜面体固定在水平地面上。将 a 和 b 由静止释放,同时将 c 沿水平方向抛出。不计空气阻力,下列说法正确的是 ( )

- A. 三个物块同时落地      B. 三个物块动能的变化量相同  
C. 三个物块落地前瞬间的动能相同      D. 重力对三个物块的冲量相同



4.★★★(2025 西城一模)如图所示,一个质量为  $m$  的小球,用轻绳悬挂于 O 点,初始时刻小球静止于 P 点。第一次小球在水平拉力  $F_1$  的作用下,从 P 点缓慢地移动到 Q 点,此时轻绳与竖直方向夹角为  $\theta$ ;第二次小球在水平恒力  $F_2$  的作用下,从 P 点开始运动恰好能到达 Q 点。不计空气阻力,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是 ( )

- A. 第二次水平恒力的大小为  $mg \tan \theta$   
B. 第二次到达 Q 点时的拉力比第一次小  
C. 第二次水平力做的功比第一次多  
D. 两个过程中绳的张力均逐渐增大



5.★★★(2024 人大附中一模)如图所示,一根橡皮绳一端固定于天花板上,另一端连接一质量为  $m$  的小球(可视为质点),小球静止时位于 O 点。现给小球一竖直向下的瞬时速度  $v_0$ ,小球到达的最低点 A 与 O 点之间的距离为  $x$ 。已知橡皮绳中弹力的大小与其伸长量的关系遵从胡克定律。不计橡皮绳的重力及空气阻力。小球运动过程中不会与地板或天花板碰撞,重力加速度为  $g$ 。则下列说法正确的是 ( )

- A. 小球由 O 点运动至 A 点的过程中,天花板对橡皮绳所做的功为  $-(mgx + \frac{1}{2}mv_0^2)$   
B. 小球由 O 点运动至 A 点的过程中,小球克服合力做功为  $mgx + \frac{1}{2}mv_0^2$   
C. 小球由 O 点运动至 A 点的过程中,小球的动能一直减小  
D. 小球此后上升至最高点的位置与 A 点的间距一定等于  $2x$

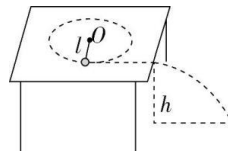


6.★★(2025 东城二模)如图所示,长为 $l$ 的细线,一端系有质量为 $m$ 的小球,另一端通过光滑的轻质小圆环套在 $O$ 点的钉子上,小球在高为 $h$ 的光滑水平桌面上做匀速圆周运动。若小球的速度缓慢增大,当细线的拉力达到 $F$ 时,细线断裂,小球垂直桌面边缘抛出。重力加速度为 $g$ ,不计空气阻力。

(1)小球从水平桌面上抛出时的速度大小 $v_0$ ;

(2)小球落地点到桌面边缘的水平距离 $s$ ;

(3)小球落地时的动能 $E_k$ 。

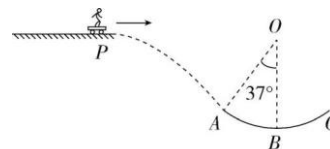


7.★★★(2025 海淀一模)如图所示,运动员以一定速度从 $P$ 点沿水平方向离开平台,恰能从 $A$ 点与轨道相切进入粗糙圆弧轨道 $AC$ ,沿圆弧轨道在竖直平面做圆周运动。已知运动员(含装备)的质量 $m=50\text{ kg}$ ,运动员进入圆弧轨道时的速度大小 $v_A=10\text{ m/s}$ ,圆弧轨道的半径 $R=4\text{ m}$ ,圆弧轨道 $AB$ 对应的圆心角 $\angle AOB=37^\circ$ 。测得运动员在轨道最低点 $B$ 时对轨道的压力是其总重力的 $3.8$ 倍。重力加速度 $g$ 取 $10\text{ m/s}^2$ , $\sin 37^\circ=0.6$ , $\cos 37^\circ=0.8$ 。将运动员视为质点,忽略空气阻力。求:

(1)运动员从 $P$ 点到 $A$ 点运动过程所用时间 $t$ ;

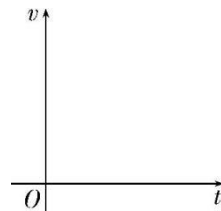
(2)运动员在 $B$ 点时的动能 $E_{kB}$ ;

(3)在圆弧轨道 $AB$ 段运动过程中,摩擦力对运动员所做的功 $W$ 。



8.★★(2024 海淀二模)热气球飞行的原理是通过改变热气球内气体的温度以改变热气球内气体的质量,从而控制热气球的升降。可认为热气球在空中运动过程中体积及形状保持不变。

设热气球在体积、形状不变的条件下受到的空气阻力  $f=kv^2$ ,其方向与热气球相对空气的速度  $v$  的方向相反, $k$  为已知常量。已知热气球的质量(含载重及热气球内的热空气)为  $m$  时,可悬浮在无风的空中,重力加速度为  $g$ ,不考虑热气球所处环境中空气密度的变化。



(1)若热气球初始时悬浮在无风的空中,现将热气球的质量调整为  $0.9m$ (忽略调整时间),设向上为正,请在图中定性画出此后热气球的速度  $v$  随时间  $t$  变化的图像。

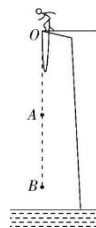
(2)若热气球初始时处在速度为  $v_0$  的水平气流中,且相对气流静止。将热气球质量调整为  $1.1m$ (忽略调整时间),热气球下降距离  $h$  时趋近平衡(可视为达到平衡状态)。

①求热气球平衡时的速率  $v_1$  及下降距离  $h$  过程中空气对热气球做的功  $W$ 。

②热气球达到平衡速率  $v_1$  后,若水平气流速度突然变为  $0$ ,经过时间  $t$  热气球再次达到平衡状态,求该过程中空气对热气球的冲量大小  $I$ 。

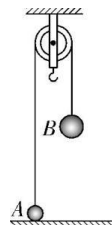
### 练习十四 (机械能守恒定律)

1.★★(2024 西城期末)如图为“蹦极”运动的示意图。弹性绳的一端固定在 O 点,另一端和人相连。人从 O 点自由下落,至 A 点时弹性绳恰好伸直,继续向下运动到达最低点 B,不计空气阻力的影响,将人视为质点。则人从 A 点运动到 B 点的过程中,下列说法正确的是( )



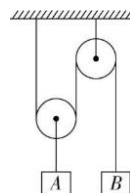
- A. 绳的拉力逐渐增大,人的速度逐渐减小
- B. 人先处于超重状态,后处于失重状态
- C. 人动能的减少量等于绳弹性势能的增加量
- D. 绳对人一直做负功,人的机械能逐渐减小

2.★★★(2024 海淀一模)如图所示,一条不可伸长的轻绳跨过定滑轮,绳的两端各系一个小球 A 和 B,B 球的质量是 A 球的 3 倍。用手托住 B 球,使轻绳拉紧,A 球静止于地面。不计空气阻力、定滑轮的质量及轮与轴间的摩擦,重力加速度用  $g$  表示。由静止释放 B 球,到 B 球落地前的过程中,下列说法正确的是( )



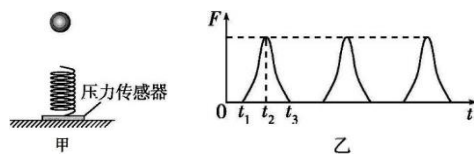
- A. A 球的加速度大小为  $2g$
- B. 拉力对 A 球做的功等于 A 球机械能的增加量
- C. 重力对 B 球做的功等于 B 球动能的增加量
- D. B 球机械能的减少量大于 A 球机械能的增加量

3.★★★(2025 丰台期末)如图所示,轻质滑轮下方悬挂重物 A 和 B,悬挂滑轮的轻质细线竖直。开始时,重物 A、B 处于静止状态,释放后 A、B 开始运动。已知 A、B 的质量相等,摩擦力和空气阻力均忽略不计,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )



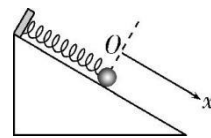
- A. 拉力对 A 做的功等于 A 的动能增加量
- B. 重力对 B 做的功等于 A、B 两物体的动能增加量
- C. B 的动能与重力势能之和减小
- D. A 的加速度大小等于  $\frac{g}{3}$

4.★★★(2024 门头沟一模)把一压力传感器固定在水平地面上,轻质弹簧竖直固定在压力传感器上,如图甲所示。 $t=0$  时,将金属小球从弹簧正上方由静止释放,小球落到弹簧上后压缩弹簧到最低点,又被弹起离开弹簧,上升到一定高度后再下落,如此反复。压力传感器中压力大小  $F$  随时间  $t$  变化图像如图乙所示。下列说法正确的是( )

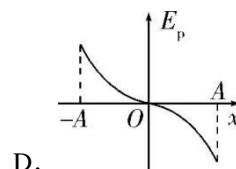
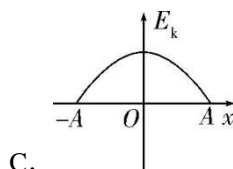
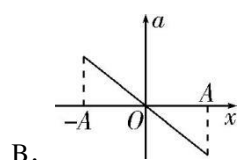
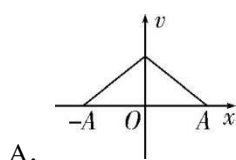


- A.  $t_1$  时刻,小球的动能最大
- B.  $t_1 \sim t_2$  时间内,小球始终处于失重状态
- C.  $t_1 \sim t_3$  时间内,小球所受合力的冲量为 0
- D.  $t_2 \sim t_3$  时间内,小球机械能的增加量等于弹簧弹性势能的减少量

5.★★(2023 海淀期中)(多选)如图所示,轻弹簧上端固定,下端连接质量为  $m$  的小球,小球静止在光滑固定斜面上。给小球一个沿斜面向下的初速度,小球便沿斜面往复运动,空气阻力可忽略,弹簧始终在弹性限度内。取平衡位置  $O$  处为原点,沿斜面向下为正方向,建立坐标系,记录小球运动过程中位置坐标为  $x$ 。规定  $O$  处重力势能为零,  $A$  表示小球离开平衡位置的最大距离。



图中可能正确反映该小球运动过程中的速度  $v$ 、加速度  $a$ 、动能  $E_k$  以及重力势能  $E_p$  随  $x$  的变化关系的是( )

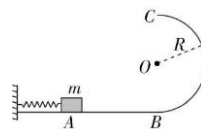


6.★★(2025 丰台二模)如图所示,光滑水平面  $AB$  与竖直面内的粗糙半圆形导轨  $BC$  在  $B$  点相接,导轨半径为  $R$ 。一个质量为  $m$  的物体将弹簧压缩至  $A$  点后由静止释放,脱离弹簧时速度为  $v_1$ ,沿半圆形导轨到达  $C$  点时速度为  $v_2$ ,此后平抛落地(落地点未画出)。不计空气阻力,重力加速度为  $g$ 。求:

(1)弹簧被压缩至  $A$  点时的弹性势能  $E_p$ ;

(2)物体在  $C$  点时受到的导轨给它的弹力  $F_N$ ;

(3)物体从  $C$  点平抛落地过程中重力的冲量大小  $I$ 。



## 练习十五 (功能关系 能量守恒)

1.★★(2024 石景山期末)“神舟 15 号”载人飞船安全着陆需经过分离、制动、再入和减速四个阶段。如图,在减速阶段,巨型的大伞为返回舱提供足够的减速阻力,设返回舱做直线运动,则在减速阶段( )

- A.伞绳对返回舱的拉力大于返回舱对伞绳的拉力
- B.伞绳对返回舱的拉力小于返回舱对伞绳的拉力
- C.合力对返回舱做的功等于返回舱机械能的变化
- D.除重力外其他力的合力对返回舱做的功等于返回舱机械能的变化



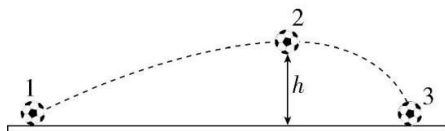
2.★★(2025 东城期末)某次短道速滑接力赛中,“接棒”的运动员甲提前站在“交棒”的运动员乙前面向前滑行。待乙追上甲时,猛推甲一把,使甲获得更大的速度向前冲出,如图所示。在乙推甲的过程中,忽略运动员与冰面在水平方向上的相互作用,则( )

- A.甲对乙的冲量与乙对甲的冲量大小、方向都相同
- B.甲、乙的动量变化量一定大小相等、方向相反
- C.甲的动能增加量一定等于乙的动能减小量
- D.甲和乙组成的系统机械能守恒



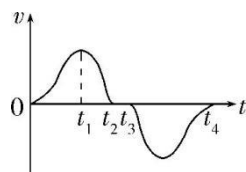
3.★★★(2025 西城一模)如图所示,质量为  $m$  的足球在地面的 1 位置由静止被踢出后落到水平地面的 3 位置,运动轨迹为虚线所示。足球在空中达到的最高点 2 的高度为  $h$ ,速度为  $v$ 。已知 1、2 位置间的水平距离大于 2、3 位置间的水平距离。足球可视为质点,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )

- A.足球在空中运动过程中机械能守恒
- B.人对足球做的功大于  $\frac{1}{2}mv^2 + mgh$
- C.足球在位置 2 时的加速度等于  $g$
- D.足球从位置 2 到位置 3,动能的增加量等于  $mgh$



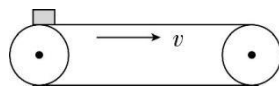
4.★★★(2024 西城二模)2023 年,我国“双曲线二号”火箭完成垂直起降飞行试验,意味着运载火箭的可重复使用技术取得了重要突破。试验过程中,火箭持续向下喷射燃气获得竖直向上的推力,若地面测控系统测出火箭竖直起降全过程的  $v-t$  图像如图所示,火箭在  $t=0$  时刻离开地面,在  $t_4$  时刻落回起点。不计空气阻力及火箭质量的变化,下列说法正确的是 ( )

- A.在  $t_1$  时刻,火箭上升到最高位置
- B.在  $0 \sim t_1$  时间内,火箭受到的推力先增大后逐渐减小为零
- C.在  $t_1 \sim t_2$  时间内,火箭动能的减少量小于重力势能的增加量
- D.在  $t_3 \sim t_4$  时间内,火箭处于失重状态



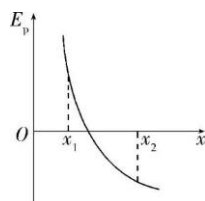
5.★★★(2025 东城二模)如图所示,水平传送带以速度  $v$  匀速运动,将质量为  $m$  的小物块无初速度地放在传送带的左端,传送带足够长,物块到达右端之前已经与传送带共速。下列说法正确的是( )

- A.物块与传送带共速后,物块受到向右的静摩擦力
- B.传送带运动速度越大,物块加速运动的时间越短
- C.物块与传送带共速前,摩擦力对物块做负功
- D.物块与传送带之间因摩擦产生的热量等于  $\frac{1}{2}mv^2$



6.★★★(2024 昌平二模)某种力做功只与物体的起始和终点位置有关,而与物体运动所经过的具体路径无关,物理学中把这种力称为保守力。保守力做功所改变的是与系统的相对位置有关的能量,这种能量称为势能,用  $E_p$  来表示。图为某物体的势能随位置变化的曲线,该物体( )

- A.在势能为 0 的位置时,受到的保守力也一定为零
- B.在  $x_1$  位置时,受到保守力的方向沿  $x$  轴的负方向
- C.从  $x_1$  位置运动到  $x_2$  位置的过程中保守力做正功
- D.在  $x_1$  位置受到保守力的大小小于在  $x_2$  位置受到保守力的大小



7.★★

(2025 海淀一模)如图 1 所示,把一个质量为  $m$  的小球连接在劲度系数为  $k$  的轻质弹簧的右端,弹簧的左端固定,小球置于光滑水平面,小球和弹簧组成的系统称为弹簧振子。以弹簧原长时小球的位置为坐标原点  $O$ ,以水平向右为正方向建立坐标轴  $Ox$ 。小球在运动过程中弹簧始终在弹性限度内,忽略摩擦阻力的影响。

(1)把小球拉向  $O$  点的右方  $x=+L$  处,然后由静止释放,小球沿着坐标轴做往复运动。

a.在图 2 中画出弹簧弹力  $F$  随  $x$  变化的示意图,并由此求出小球从  $x=+L$  处由静止释放至第一次运动到平衡位置  $O$  的过程中,弹簧对小球做的功  $W$ 。

b.求小球从  $x=+L$  处由静止释放至第一次运动到平衡位置  $O$  的过程中,弹簧对小球冲量的大小  $I$ 。

(2)动量  $p$  随位移  $x$  变化的图像在理论物理、近代数学分析的发展中扮演了重要的角色。如图 3 所示,小球运动过程的  $p$ - $x$  图线为椭圆,已知弹簧振子系统的机械能为  $E$ 。

a.求该椭圆的半长轴  $a$  和半短轴  $b$ 。

b.实际上,小球在运动过程中受到微小的阻力,在相当长的时间内可近似认为其  $p$ - $x$  图线是一系列面积不同的封闭椭圆。经过一段相当长的时间  $T$ ,椭圆的面积减小为原来的 90%,求这段时间内克服微小阻力做功的平均功率  $P$ 。(已知椭圆的面积)

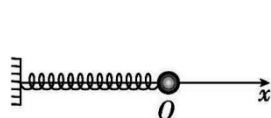


图 1

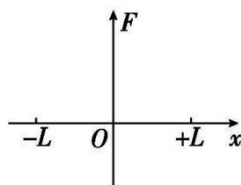


图 2

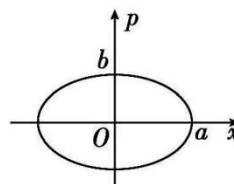
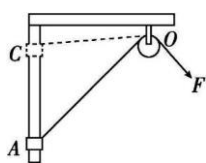


图 3

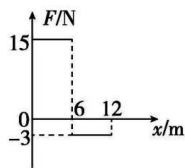


## 练习十六 (功和能)

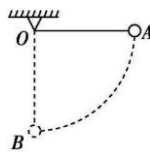
1.★★(2025 北师大附中开学考)实际问题中,有很多情况是变力在对物体做功。我们需要通过各种方法来求解力所做的功。如图,对于甲、乙、丙、丁四种情况下求解某个力所做的功,下列说法正确的是 ( )



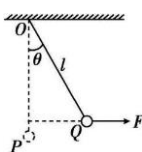
甲



乙



丙



丁

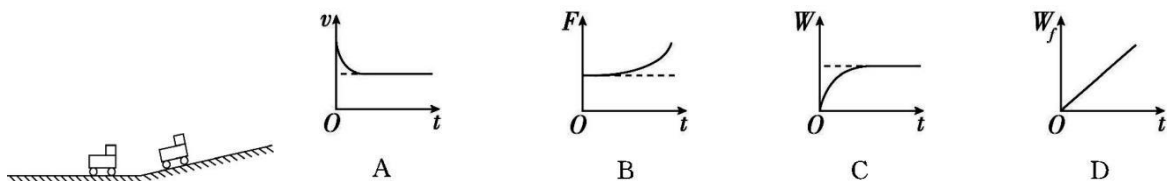
- A. 甲图中若  $F$  大小不变,物块从  $A$  到  $C$  过程中力  $F$  做的功  $W=F \cdot |AC|$
- B. 乙图中,全过程中  $F$  做的总功为  $72 \text{ J}$
- C. 丙图中,绳长为  $R$ ,若空气阻力  $f$  大小不变,小球从  $A$  运动到  $B$  过程中空气阻力所做的功  $W=\frac{1}{2}\pi Rf$
- D. 图丁中, $F$  始终保持水平,无论是  $F$  缓慢将小球从  $P$  拉到  $Q$ ,还是  $F$  为恒力将小球从  $P$  拉到  $Q$ , $F$  做的功都是  $W=Fl \sin \theta$

2.★★(2024 延庆一模)如图所示,轻质弹簧一端固定,另一端连接一小物块(可视为质点), $O$  点为弹簧在原长时物块的位置。物块由  $A$  点静止释放,沿粗糙程度相同的水平面向右运动,最远到达  $B$  点。关于物块的受力及运动特征,下列说法正确的是 ( )

- A. 从  $A$  到  $O$ ,物块所受重力的冲量为  $0$
- B. 从  $A$  到  $O$ ,物块的加速度一直减小
- C. 从  $A$  到  $B$ ,物块通过  $O$  点时的速度最大
- D. 从  $A$  到  $B$ ,弹簧弹力对物块做的功等于物块与水平面因摩擦产生的热量

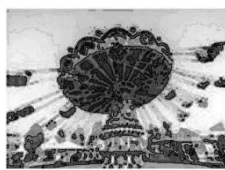


3.★★(2025 十一学校月考)如图所示,质量为  $m$  的汽车从平直公路驶上斜坡。假设汽车在水平路面上匀速行驶,驶上斜坡后,汽车的功率及所受路面的阻力与在水平路面上行驶时一致,且汽车到达坡顶前已达到稳定状态。在上坡过程中,汽车的速度  $v$ 、牵引力  $F$ 、牵引力做的功  $W$ 、克服路面阻力做的功  $W_f$  与时间  $t$  的关系图像可能正确的是 ( )

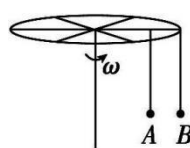


4.★★★(2025 四中期中)(多选)如图甲所示,旋转飞椅是集旋转、升降、变倾角等多种运动形式于一体的大型飞行塔类游艺机,游乐场旋转飞椅可以简化为如图乙的模型,图中的两个座椅  $A$ 、 $B$  质量相等,通过相同长度的缆绳(质量不计)悬挂在水平的旋转圆盘上,座椅  $A$  离转轴的距离较近,不考虑空气阻力的影响,静止的飞椅启动后,旋转圆盘绕竖直的中心轴转动,稳定后  $A$ 、 $B$  都在水平面内做匀速圆周运动,则下列说法正确的是 ( )

- A. 座椅  $B$  比座椅  $A$  的周期大
- B. 座椅  $B$  比座椅  $A$  的向心加速度大
- C. 悬挂座椅  $B$  的缆绳拉力比悬挂座椅  $A$  的缆绳拉力大
- D. 启动后到稳定运转过程,缆绳对座椅  $A$  做功多



甲



乙

5.★★★(2025 丰台一模)如图 1 所示,劲度系数为  $k$  的轻弹簧竖直固定在水平面上,质量为  $m$  的小球从  $A$  点自由下落,至  $B$  点时开始压缩弹簧,下落的最低位置为  $C$  点。以  $A$  点为坐标原点  $O$ ,沿竖直向下建立

x 轴,定性画出小球从 A 到 C 过程中加速度  $a$  与位移  $x$  的关系图像,如图 2 所示。重力加速度为  $g$ ,对于小球、弹簧和地球组成的系统,下列说法正确的是( )

A.小球在 B 点时的速度最大

B.小球从 B 到 C 的运动为简谐运动的一部分,振幅为  $\frac{mg}{k}$

C.小球从 B 到 C,系统的动能与弹性势能之和增大

D.图 2 中阴影部分 1 和 2 的面积大小相等

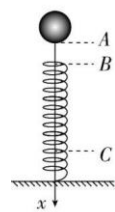


图1

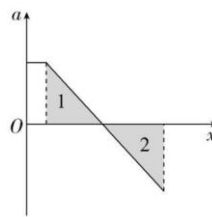


图2

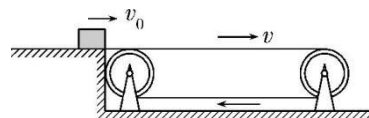
6.★★(2024 西城阶段练习)如图所示,两个皮带轮顺时针转动,带动水平传送带以恒定的速率  $v$  运行。现使一个质量为  $m$  的物体(可视为质点)沿与水平传送带等高的光滑水平面以初速度  $v_0(v_0 < v)$ ,从传送带左端滑上传送带。若从物体滑上传送带开始计时, $t_0$ 时刻物体的速度达到  $v$ , $2t_0$ 时刻物体到达传送带最右端。不计空气阻力,则( )

A. $0 \sim t_0$ 时间内,物体受到滑动摩擦力的作用, $t_0 \sim 2t_0$ 时间内物体受到静摩擦力的作用

B.电动机因传送物体多消耗的功率为  $m(v^2 - v_0^2)$

C.若减小物体的初速度  $v_0$  且物体速度达到  $v$  时未滑离传送带,则物体被传送的整个过程中传送带对物体所做的功一定增加

D.若增大物体的初速度  $v_0$  但  $v_0$  仍小于  $v$ ,则物体与传送带摩擦产生的热量可能增加

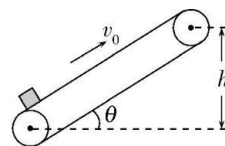


7.★★★(2024 一零一中学开学考)如图所示,绷紧的传送带与水平面的夹角  $\theta = 30^\circ$ ,传送带在电动机的带动下,始终保持  $v_0 = 2 \text{ m/s}$  的速率运行,现把一质量为  $m = 10 \text{ kg}$  的工件(可看作质点)轻轻放在传送带的底端,经过  $1.9 \text{ s}$ ,工件被传送到  $h = 1.5 \text{ m}$  的高处, $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,求:

(1)工件与传送带间的动摩擦因数;

(2)整个过程中,摩擦力对工件做的功;

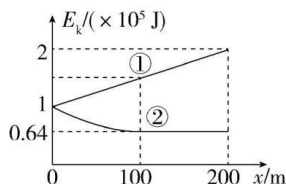
(3)电动机由于传送工件多消耗的电能(和传送带不运送工件相比)。



## 练习十七 (功和能)

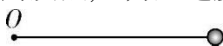
8.★★★(2025 丰台一模)“能量回收”装置可使电动车在减速或下坡过程中把机械能转化为电能。质量  $m=2\times 10^3\text{ kg}$  的电动车以  $E_{k0}=1\times 10^5\text{ J}$  的初动能沿平直斜坡向下运动。第一次关闭电动机,电动车自由滑行,动能-位移关系如图线①所示;第二次关闭电动机的同时,开启电磁制动的“能量回收”装置。电动车动能-位移关系如图线②所示,行驶  $200\text{ m}$  的过程中,回收了  $E_{\text{电}}=1.088\times 10^4\text{ J}$  的电能。求:

- (1)图线①所对应的过程中,电动车所受合力  $F_{\text{合}}$  的大小;
- (2)图线②所对应的过程中,电动车行驶到  $150\text{ m}$  处受到的电磁制动力  $F$  及其功率  $P$ ;
- (3)图线②所对应的全过程,机械能转化为电能的效率  $\eta$ 。



9.★★(2023 东城二模)利用物理模型对问题进行分析,是重要的科学思维方法。

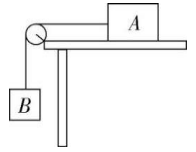
如图所示,长为  $L$  的均匀细杆的一端固定一个小球,另一端可绕垂直于杆的光滑水平轴  $O$  转动。已知小球质量为  $m_1$ ,杆的质量为  $m_2$ 。小球可视为质点,重力加速度表示为  $g$ 。



- (1)若杆的质量与小球质量相比可以忽略。把杆拉到水平位置后,将小球无初速度释放。
  - a.当杆转动至与水平方向成  $\theta$  角时( $\theta<90^\circ$ ),求小球的角速度  $\omega$ 。
  - b.若只增加杆的长度,小球由静止开始运动到最低点的过程中,所用时间是变长还是变短,通过分析定性说明。
- (2)若杆的质量与小球质量相比不能忽略。已知杆在绕  $O$  点转动时,其动能的表达式为  $E_k=\frac{1}{6}m^{\alpha}\omega^{\beta}L^{\gamma}$ 。
  - a.请你利用单位制的知识,判断  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  的数值。
  - b.把杆拉到水平位置后,将小球无初速度释放,当杆转动至与水平方向成  $\theta$  角时( $\theta<90^\circ$ ),求小球的角速度  $\omega'$ 。

### 练习十八 (动量、冲量和动量定理)

1.★★(2025 顺义期末)如图所示,绕过定滑轮的绳子将物块 A 和物块 B 相连,连接物块 A 的绳子与水平桌面平行。现将两物块由图示位置无初速度释放,经过时间  $t$ ,物块 B 未落地,物块 A 未到达滑轮位置。已知物块 A 的质量为  $2m$ ,物块 B 的质量为  $m$ ,重力加速度为  $g$ ,不计滑轮、绳子的质量和一切摩擦。下列说法正确的是( )



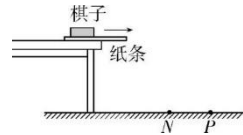
A.绳子的拉力大小为  $mg$

B.物块 A 的加速度大小为  $\frac{1}{3}g$

C.经过时间  $t$ ,物块 B 的速度大小为  $\frac{2}{3}gt$

D.经过时间  $t$ ,物块 A 动量的变化量大小为  $\frac{4}{3}mgt$

2.★★(2024 石景山一模)应用物理知识分析生活中的常见现象,解释游戏中的物理原理,可以使学习更加有趣和深入。两同学分别做了如下小游戏。如图所示,用一棋子压着一纸条,放在水平桌面上接近边缘处。甲同学第一次慢拉纸条将纸条抽出,棋子掉落在地上的 P 点;将棋子、纸条放回原来的位置,第二次快拉纸条将纸条抽出,棋子掉落在地上的 N 点。乙同学把一棋子静置于水平桌面上,然后用手指沿水平方向推棋子,棋子由静止开始运动,并且在离开手指后还会在桌面上滑行一段距离才停止运动。据此,两同学提出了如下观点,正确的是( )



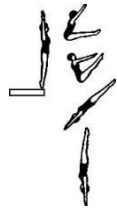
A.甲同学第一次慢拉,棋子受纸条的摩擦力更大

B.甲同学第二次快拉,棋子受纸条摩擦力的冲量更大

C.乙同学推棋子,棋子离开手指前一直做加速运动

D.乙同学推棋子,棋子的最大速度一定在与手指分离之前

3.★★★(2025 海淀期中)(多选)将如图所示的跳水过程简化为运动员沿竖直方向的运动,若运动员的质量为  $m$ ,起跳后重心上升的最大高度为  $h$ ,从最高点至入水后速度减为零的过程所用时间为  $t$ ,重力加速度为  $g$ ,不考虑空气阻力,根据题中信息,可以求得( )



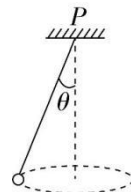
A.在上升过程中,运动员重力势能的变化量

B.从入水到速度减为零的过程中,水的阻力对运动员做的功

C.在空中运动过程中,重力对运动员的冲量大小

D.从入水到速度减为零的过程中,水对运动员作用力的冲量大小

4.★★★(2025 西城二模)如图所示,长为  $L$  的细绳上端悬于 P 点,下端拴一个质量为  $m$  的小球。小球在水平面内做匀速圆周运动,细绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,不计空气阻力,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )



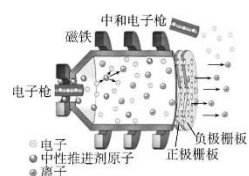
A.细绳的拉力大小等于  $mg \sin \theta$

B.小球的向心加速度等于  $g \sin \theta$

C.小球转动一周,绳的拉力的冲量为 0

D.小球转动一周,重力的冲量大小为  $2\pi m\sqrt{gL\cos\theta}$

5.★★★(2024 延庆一模)航天器离子发动机原理如图所示,电子枪发射出的高速电子将中性推进剂离子化(即电离出正离子),正离子被正、负极栅板间的电场加速后从喷口喷出,从而使航天器获得推进或调整姿态的反冲力,已知单个正离子的质量为  $m$ ,电荷量为  $q$ ,正、负极栅板间加速电压为  $U$ ,从喷口喷出的正离子所形成的电流为  $I$ ,忽略离子间的相互作用,忽略离子喷射对航天器质量的影响。该发动机产生的平均推力  $F$  的大小为( )



A.  $I\sqrt{\frac{2mU}{q}}$

B.  $I\sqrt{\frac{mU}{q}}$

C.  $I\sqrt{\frac{mU}{2q}}$

D.  $2I\sqrt{\frac{mU}{q}}$

6.★★(2024 昌平期末)我国自主研发的“天帆一号”太阳帆在轨成功验证了多项太阳帆关键技术。太阳帆可以利用太阳光的“光子流”为飞船提供动力实现星际旅行。光子具有能量,也具有动量。光照射到物体表面时,会对物体产生压强,这就是“光压”。设想一艘太阳帆飞船,在太阳光压的作用下能够加速运动,不考虑太阳以外的其他星体对飞船的作用力,下列说法不正确的是( )

- A.若光照强度和太阳光照射到太阳帆的入射角一定,太阳帆接受光的面积越大,该飞船获得的动力越大
- B.若光照强度和太阳帆接受光的面积一定,太阳光照射到太阳帆发生反射,入射角越小,该飞船获得的动力越大
- C.太阳光照射到太阳帆时,一部分被反射,另一部分被吸收,只有被反射的部分会对太阳帆产生光压
- D.若将太阳帆正对太阳,飞船无需其他动力,即可以远离太阳做加速度减小的加速运动

7.★★★(2025 丰台期末)在 2024 年 11 月 12 日开幕的第十五届中国国际航空航天博览会上,歼-35A 隐形战斗机惊艳亮相。

(1)战斗机飞行时,机翼受到空气的升力,升力垂直于机翼所在平面向上。当战斗机以速率  $v$  在水平面内做匀速圆周运动时,机翼与水平面夹角为  $\theta$ (如图所示)。求战斗机做圆周运动的半径  $R$ 。



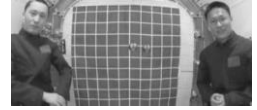
(2)战斗机在某次导弹发射训练中,以水平速度  $v_0$  挂弹飞行,接到命令后将总质量为  $M$  的导弹释放,释放后,导弹在极短时间  $t$  内向飞行的反方向喷出质量为  $m$  的气体,气体相对于地面的速率为  $v_1$ ,且方向与导弹的运动方向相反。求:

- a.喷气后导弹相对地面的速率;
- b.喷气过程中,导弹获得的平均反冲作用力  $F$  的大小。

## 练习十九 (动量守恒定律及其应用)

1.★★(2024 西城期末)2023 年 9 月,“天宫课堂”第四课在中国空间站正式开讲,神舟十六号航天员在梦天实验舱内进行授课。航天员用 0.3 kg 的大球与静止的 0.1 kg 的小球发生正碰,某同学观看实验时发现:碰撞后,大球向前移动 1 格长度时,小球向前移动 3 格的长度,忽略实验舱内空气阻力的影响。下列说法正确的是( )

- A.碰撞后大球的动量大于小球的动量      B.碰撞后大球的动能等于小球的动能  
C.大球碰撞前后的速度比为 2 : 1      D.大球碰撞前后的动能比为 2 : 1

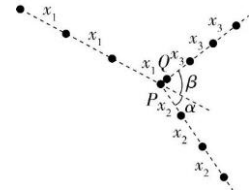


2.★★★(2025 西城期末)在水平面上,质量为  $m$ 、速度大小为  $v$  的 A 球与质量为  $3m$  的静止的 B 球发生正碰。碰撞可能是弹性的,也可能是非弹性的。下列说法正确的是( )

- A.碰撞后 A 球的速度一定反向      B.碰撞后 B 球的速度大小可能是  $0.6v$   
C.碰撞过程 A 球对 B 球的冲量最大值为  $1.5mv$       D.碰撞过程两球损失的机械能最多为  $0.5mv^2$

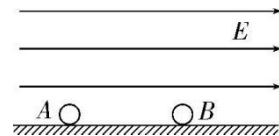
3.★★★(2025 东城一模)如图所示,某同学用频闪相机记录 P、Q 两球的碰撞过程。图中共记录了连续 7 次闪光的照片,碰撞前相邻两曝光时刻 P 球的球心间距为  $x_1$ ;碰后相邻两曝光时刻,P 球的球心间距为  $x_2$ ,Q 球的球心间距为  $x_3$ 。碰撞后 P、Q 两球的运动方向与 P 球原运动方向的夹角分别为  $\alpha$ 、 $\beta$ 。已知两球的质量相等,不计一切摩擦。下列说法正确的是( )

- A.若碰撞过程中动量守恒,则一定有  $x_1 = x_2 + x_3$   
B.若碰撞过程中动量守恒,则一定有  $x_1^2 = x_2^2 + x_3^2$   
C.若碰撞过程中机械能、动量都守恒,则一定有  $x_1 = x_2 + x_3$ ,且  $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$   
D.若碰撞过程中机械能、动量都守恒,则一定有  $x_1^2 = x_2^2 + x_3^2$ ,且  $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$

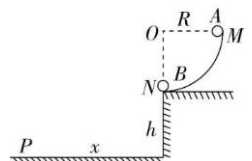


4.★★(2024 昌平二模)如图所示,在水平向右且场强大小为  $E$  的匀强电场中,两个半径相同、质量均为  $m$  的小球 A、B 静止放置在光滑的绝缘水平面上,且 A、B 所在直线与电场线平行。A 的带电荷量为  $q$  ( $q > 0$ ),B 不带电,A、B 之间的距离为  $L$ 。从  $t=0$  时刻开始,A 在电场力的作用下开始沿直线运动,并与 B 发生弹性碰撞。碰撞过程中 A、B 之间没有电荷量转移,仅在碰撞时才考虑 A、B 之间的相互作用。下列说法正确的是( )

- A.两球第一次碰撞到发生第二次碰撞的时间间隔为  $\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$   
B.两球第  $n$  次碰撞到发生第  $n+1$  次碰撞的时间间隔为  $2n\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$   
C.两球连续两次碰撞的时间间隔为  $\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$   
D.两球连续两次碰撞的时间间隔为  $2\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$

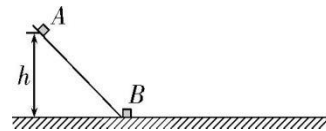


5.★★★(2025 北师大附中摸底考)如图所示,MN 是半径为  $R=0.8\text{ m}$  的四分之一光滑圆弧轨道,竖直固定在水平桌面上,轨道末端处于桌子边缘并与水平桌面相切于 N 点。把一质量为  $m=1\text{ kg}$  的小球 B 静止放于 N 点,另一完全相同的小球 A 由 M 点静止释放,经过 N 点时与 B 球发生正碰,碰后粘在一起水平飞出,落在地面上的 P 点。若桌面高度为  $h=0.8\text{ m}$ ,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ 。不计阻力,小球可视为质点。求:(1)小球 A 运动到 N 点与小球 B 碰前的速度  $v_0$  的大小;(2)小球 A 与小球 B 碰后瞬间的共同速度  $v$  的大小;(3)P 点与 N 点之间的水平距离  $x$ 。



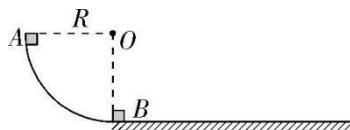
6.★★★(2024 海淀一模)如图所示,水平地面上固定着光滑斜槽,斜槽的末端和粗糙地面平滑连接,设物块通过连接处时速率不发生改变。质量  $m_1=0.4\text{ kg}$  的物块 A 从斜槽上端距水平地面高度  $h=0.8\text{ m}$  处由静止下滑,并与静止在斜槽末端的质量  $m_2=0.8\text{ kg}$  的物块 B 相碰,相碰后物块 A 立即停止运动,物块 B 滑行一段距离后停止运动。重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,两物块均可视为质点。求:

- (1)物块 A 与物块 B 碰撞前瞬间的速度大小;
- (2)物块 A 与物块 B 碰撞过程中 A、B 系统损失的机械能;
- (3)滑动摩擦力对物块 B 做的功。



7.★★★(2024 门头沟一模)如图所示,竖直平面内的四分之一光滑圆弧轨道下端与水平桌面相切。两个完全相同的小滑块 A、B 分别静止在圆弧轨道的最高点和最低点。现将 A 无初速度释放,滑块 A 以速度  $v$  在水平方向和 B 发生正碰后粘在一起,并沿桌面继续滑动。已知滑块 A、B 质量均为  $m$ ,重力加速度为  $g$ 。求:

- (1)光滑圆弧半径  $R$ ;
- (2)与 B 碰撞前瞬间 A 对轨道的压力大小  $F$ ;
- (3)碰撞过程中系统损失的机械能  $\Delta E$ 。



## 练习二十 (与动量有关的几种常见模型)

1.★★(2025 师大二附中统练)如图所示,光滑水平地面上的 P、Q 两物体质量均为  $m$ ,P 以速度  $v$  向右运动,Q 静止且左端固定一轻弹簧。当弹簧被压缩至最短时 ( )

A.P 的动量为 0

B.Q 的动量达到最大值

C.P、Q 系统总动量小于  $mv$

D.弹簧储存的弹性势能为  $\frac{1}{4}mv^2$



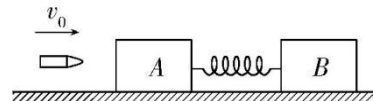
2.★★★(2024 八一中学月考)如图所示,静止在光滑水平桌面上的物块 A 和 B 用轻质弹簧拴接在一起,弹簧处于原长。一颗子弹沿弹簧轴线方向射入物块 A 并留在其中,射入时间极短。下列说法正确的是( )

A.子弹射入物块 A 的过程中,两物块的动量守恒

B.子弹射入物块 A 的过程中,子弹对物块 A 的冲量大小大于物块 A 对子弹的冲量大小

C.子弹射入物块 A 的过程中,子弹和物块 A 的机械能守恒

D.两物块运动过程中,弹簧最短时的弹性势能等于弹簧最长时的弹性势能



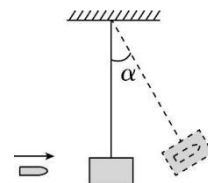
3.★★★(2025 东城二模)如图所示,将质量为  $M$  的沙箱用长为  $l$  的不可伸长的轻绳悬挂起来,一颗质量为  $m$  的子弹水平射入沙箱(未穿出),沙箱摆动的最大摆角为  $\alpha$  ( $\alpha < \frac{\pi}{2}$ )。摆动过程中,沙箱可视为质点,重力加速度为  $g$ ,则子弹将要射入沙箱时的速度大小等于( )

A.  $\frac{M+m}{M} \sqrt{2gl \cos \alpha}$

B.  $\frac{M+m}{m} \sqrt{2gl(1-\cos \alpha)}$

C.  $\sqrt{\frac{2(M+m)}{M} gl(1-\cos \alpha)}$

D.  $\sqrt{\frac{2(M+m)}{M} gl \cos \alpha}$



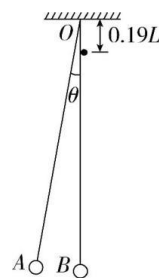
4.★★★(2025 清华附中月考)如图所示,两个摆长均为  $L$  的单摆,摆球 A、B 质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ ,悬点均为 O。在 O 点正下方  $0.19L$  处固定一小钉。初始时刻 B 静止于最低点,其摆线紧贴小钉左侧,A 从图示位置由静止释放( $\theta$  足够小),在最低点与 B 发生弹性正碰。两摆在整个运动过程中均满足简谐运动条件,摆线始终保持绷紧状态且长度不变,摆球可视为质点,不计碰撞时间及空气阻力,重力加速度为  $g$ 。下列选项正确的是( )

A.若  $m_1=m_2$ ,则 A、B 在摆动过程中上升的最大高度之比为 9:10

B.若  $m_1=m_2$ ,则每经过  $1.9\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$  时间 A 回到最高点

C.若  $m_1>m_2$ ,则 A 与 B 第二次碰撞不在最低点

D.若  $m_1<m_2$ ,则 A 与 B 第二次碰撞必在最低点



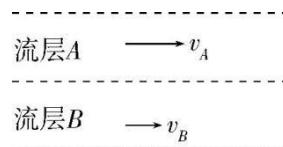
5.★★★(2024 人大附中一模)气体在流动时会出现分层流动的现象即层流(laminar flow),不同流层的气体流速不同。相邻两流层间有黏滞力,产生黏滞力的原因可以用简单模型解释:如图,某气体流动时分成 A、B 两流层,两层的交界面为平面,A 层流速为  $v_A$ ,B 层流速为  $v_B$ , $v_A>v_B$ ,由于气体分子做无规则热运动,所以 A 层的分子会进入 B 层,B 层的分子也会进入 A 层,稳定后,单位时间内从 A 层进入 B 层的分子数等于从 B 层进入 A 层的分子数,若气体分子的质量为  $m$ ,单位时间、单位面积上由 A 层进入 B 层的分子数为  $n$ ,则 B 层对 A 层气体单位面积黏滞阻力为( )

A.大小: $nm(v_A-v_B)$ , 方向:与气体流动方向相同

B.大小: $nm(v_A-v_B)$ , 方向:与气体流动方向相反

C.大小: $2nm(v_A-v_B)$ , 方向:与气体流动方向相同

D.大小: $2nm(v_A-v_B)$ , 方向:与气体流动方向相反

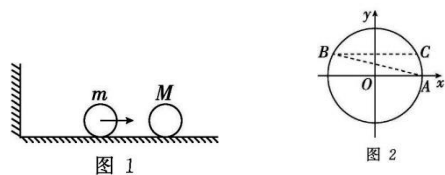




6.★★★(2025 丰台二模)如图 1 所示,光滑水平面左侧有一竖直墙壁,质量为  $m$  的小球以速度  $v_0$  与静止的质量为  $M$  的小球发生对心碰撞, $m < M$ 。 $m$  与  $M$  或墙壁之间的碰撞没有能量损失。设任意时刻两球速度分别为  $v$  和  $V$ ,令  $x = \sqrt{m}v, y = \sqrt{M}V, x^2 + y^2 = r^2$ ,其中  $r$  为定值,该函数的图像如图 2 所示,图像中的点  $(x, y)$  表示两个小球组成的系统可能的状态, A、B、C 为系统连续经历的三个状态。根据以上信息,下列说法正确的是( )

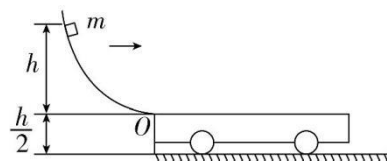
- A.从状态 A 到状态 B 过程系统动量不守恒  
B.从状态 B 到状态 C 过程两个小球发生弹性碰撞

C.直线 AB 的斜率  $k = -\sqrt{\frac{m}{M}}$   
D.图像中圆的半径  $r = \sqrt{\frac{1}{2}mv_0^2}$



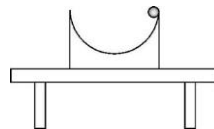
7.★★★(2024 高考模拟)如图所示,固定的光滑圆轨道下端 O 点的切线水平,距离光滑水平面的高度为  $\frac{h}{2}$ ,紧靠 O 点有一质量为  $2m$  的平板小车,上表面与 O 点等高。质量为  $m$  的小物块从距离 O 点  $h$  高处沿圆轨道由静止下滑,到 O 点后滑上平板小车。

- (1)若小物块与平板小车之间的动摩擦因数始终为  $\mu_0$ ,小物块刚好没有离开平板小车,求平板小车的长度  $L$ ;  
(2)若小物块与平板小车之间的动摩擦因数  $\mu$  与小物块离开平板小车左端的距离  $l$  之间满足  $\mu = \frac{\mu_0}{L}l$ ,求小物块落地时距离平板小车右端的水平距离  $x$ 。



8.★★★(2024 昌平期末节选)如图所示,质量为  $M$  的匀质凹槽放在光滑水平桌面上,凹槽内有一个半径为  $R$  的光滑半圆形轨道。质量为  $m$  的小球从轨道右端点由静止开始下滑。重力加速度为  $g$ 。若凹槽可以在桌面上自由滑动,且整个过程凹槽不翻转。

- (1)求小球运动到轨道最低点时的速度大小  $v_1$ ;  
 (2)若凹槽两端始终没有滑出桌面,求桌面的最小长度  $L$ 。



9.★★★(2025 西城一模)火箭的飞行应用了反冲原理,借助喷出燃气的反冲作用获得推力。已知某火箭与其所载燃料的初始总质量为  $M$ ,在  $t=0$  时刻,火箭由静止出发,竖直向上运动,如图 1 所示。火箭持续均匀向下喷射燃气,在任意的极短时间  $\Delta t$  内,喷射燃气的质量为  $\Delta m$ ,喷出的燃气相对火箭的速度恒为  $u$ 。在极短时间内,火箭喷出的燃气的重力远小于火箭的推力,火箭速度的变化量远小于燃气速度的变化量。不计空气阻力,重力加速度的大小  $g$  视为不变。

- (1)求火箭速度大小为  $v$  的瞬间受到燃气推力的大小  $F$ ,据此判断火箭在竖直上升阶段受到燃气的推力是否变化。  
 (2)若火箭在竖直上升阶段,可使用的燃料质量为  $m$ ,求该阶段火箭可获得的最大加速度的大小  $a_m$ 。  
 (3)测得火箭在竖直上升阶段,  $\frac{1}{a+g}$  随时间  $t$  变化的图线是一条倾斜直线,如图 2 所示,  $a$  为火箭加速度的大小。已知直线的纵截距为  $b$ ,斜率的绝对值为  $k$ ,为明确其物理意义,请推导  $b$ 、 $k$  的表达式。



图 1

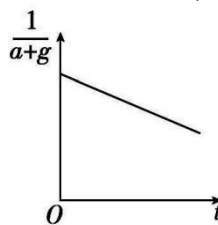


图 2

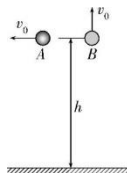
## 练习二十一 (动量)

1.★★(2025 顺义期末)篮球比赛中,质量为  $m$  的篮球以大小为  $v_1$  的水平速度撞击竖直篮板之后,被篮板水平弹回,速度大小变为  $v_2$ ,已知  $v_1 \neq v_2$ 。关于撞击过程,下列说法正确的是( )

- A.篮球受到弹力的冲量大小为  $m(v_1+v_2)$       B.篮板受到篮球的冲量为零  
C.篮球和篮板组成的系统动量守恒      D.篮球和篮板组成的系统机械能守恒

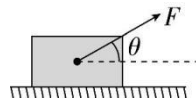
2.★★(2024 石景山阶段练习)两个完全相同的小球 A、B,质量皆为  $m$ ,在同一高度处以相同大小的初速度  $v_0$  分别水平和竖直向上抛出,不计空气阻力,重力加速度为  $g$ ,若两球落地时的速度大小分别为  $v_A$  和  $v_B$ ,则( )

- A.两球从抛出到落地,重力的冲量相等  
B.落地时,两球重力的瞬时功率分别为  $mgv_A$  和  $mgv_B$   
C. $v_A^2 - v_0^2 = v_B^2 - v_0^2$   
D.球 A 机械能越来越大,球 B 机械能先变小后变大



3.★★★(2025 海淀一模)如图所示,物体在与水平方向夹角为  $\theta$ 、大小为  $F$  的拉力作用下,从静止开始沿水平地面向右做匀加速直线运动,物体和地面之间的动摩擦因数为  $\mu$ 。在物体运动时间为  $t$  的过程中( )

- A.仅改变  $\theta$ ,拉力对物体做的功不变  
B.仅改变  $\mu$ ,合力对物体做的功不变  
C.仅改变拉力大小  $F$ ,物体受到重力的冲量不变  
D.仅改变拉力大小  $F$ ,物体受到摩擦力的冲量不变

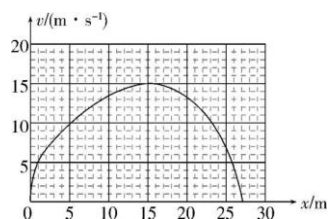


4.★★★(2025 丰台一模)乌贼在遇到紧急情况时,通过快速喷水获得速度而逃离。已知乌贼喷水前的质量为  $M$ ,速度为 0,喷水时,在极短时间内将质量为  $m$  的水以速度  $u$  水平向前喷出,获得速度向后逃离,所受水的阻力与速度成正比,比例系数为  $k$ 。下列说法正确的是( )

- A.乌贼获得的最大速度为  $\frac{mu}{M}$   
B.喷水后乌贼做匀减速直线运动  
C.喷水后乌贼向后逃离的最远距离为  $\frac{mu}{k}$   
D.喷水过程乌贼消耗的能量等于喷出水的动能

5.★★★(2023 西城二模)研究蹦极运动时,在运动员身上装好传感器,用于测量他在不同时刻下落的高度及速度。运动员身系弹性绳,从蹦极台无初速度下落,根据某次传感器测到的数据,得到如图所示的速度-位移图像。忽略空气阻力,根据图像可知( )

- A.弹性绳的原长为 15 m  
B.0~15 m 下落过程中,运动员重力势能的减少量大于动能的增加量  
C.15~27 m 下落过程中,运动员所受合力先减小后增大  
D.0~27 m 下落过程中,运动员重力冲量大于弹性绳弹力冲量



6.★★★(2025 海淀二模)对于静止的自由原子,当其从高能级向低能级跃迁发射光子时,原子会因反冲而获得一定的能量,该能量远小于原子两能级之差,所以可认为光子的能量等于两能级之差。对于静止的自由原子核,当其从高能级向低能级跃迁发出高能  $\gamma$  射线时,原子核也会因反冲而获得一定的能量。通常情况下,与  $\gamma$  射线的能量相比,原子核因反冲而获得的能量不可忽略。若将放射源和吸收源进行冷却,部分原子核被严格束缚在晶体的晶格位置,这些原子核在发射或吸收  $\gamma$  射线时,反冲可以被完全抑制。根据以上信息,对于两能级差仅为  $E$  的原子核,下列说法错误的是( )

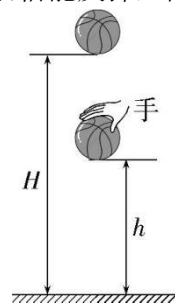
- A.自由原子核在发射或吸收  $\gamma$  射线的过程中,原子核和  $\gamma$  射线组成的系统动量守恒  
B.单个静止的自由原子核发射的  $\gamma$  射线的能量一定小于  $E$   
C.单个静止的自由原子核吸收的  $\gamma$  射线的能量一定大于  $E$   
D.单个被严格束缚在晶格位置的原子核吸收的  $\gamma$  射线的能量小于  $E$

7.★★(2024 东城二模)如图所示,台球桌上一光滑木楔紧靠桌边放置,第①次击球和第②次击球分别使台球沿平行于桌边和垂直于桌边的方向与木楔碰撞,速度大小均为  $v_0$ 。碰撞后,木楔沿桌边运动,速度大小用  $v$  表示,台球平行于桌边和垂直于桌边方向的速度大小分别用  $v_x$  和  $v_y$  表示。已知木楔质量为  $M$ , 台球质量为  $m$ ,木楔的倾角用  $\theta$  表示。不考虑碰撞过程的能量损失,则( )



- A. 第①种情况碰后  $v$  可能大于  $\frac{2m}{m+M}v_0$   
 B. 若满足  $\tan \theta = \sqrt{\frac{M}{M-m}}$ , 第①种情况  $v_x=0$ , 即碰后台球速度方向垂直于桌边  
 C. 第②种情况碰后  $v$  可能大于  $\frac{mv_0}{\sqrt{M(M+m)}}$   
 D. 若满足  $\tan \theta = \sqrt{\frac{M}{M-m}}$ , 第②种情况  $v_y=0$ , 即碰后台球速度方向平行于桌边

8.★★★(2024 西城二模)如图所示,质量  $m=0.6 \text{ kg}$  的篮球从离地高度  $H=0.8 \text{ m}$  处由静止释放,与地面发生第一次碰撞后反弹,达到最高点时离地高度  $h=0.45 \text{ m}$ ,篮球与地面发生作用的时间  $\Delta t=0.1 \text{ s}$ 。篮球反弹至最高点后,运动员通过竖直向下拍击篮球对其做功,使篮球与地面发生第二次碰撞,碰后恰能反弹至离地高度  $H=0.8 \text{ m}$  处。若篮球两次与地面碰撞损失的机械能相同,重力加速度  $g=10 \text{ m/s}^2$ ,不计空气阻力。求:



- (1) 篮球第一次与地面碰撞的过程中,损失的机械能  $E_{\text{损}}$ ;  
 (2) 篮球第一次与地面碰撞的过程中,受到地面的平均作用力的大小  $F$ ;  
 (3) 运动员拍击篮球的过程,对篮球做的功  $W$ 。

9.★★★(2024 通州期末)如图 1 所示是依附建筑物架设的磁力缓降高楼安全逃生装置,我们可以将下降过程进行如下建模:一根足够长的空心铜管竖直放置,使一枚直径略小于铜管内径、质量为  $M$  的圆柱形强磁铁从管内某处由静止开始下落,如图 2 所示,该强磁铁下落过程中,可以认为铜管中的感应电动势大小与强磁铁下落的速度成正比,且强磁铁周围铜管的有效电阻是恒定的,强磁铁机械能耗散的功率等于其受到的阻力大小与下落速度大小的乘积,已知重力加速度为  $g$ ,强磁铁在管内运动时,不与内壁摩擦,不计空气阻力。

(1)请在图 3 中定性画出该强磁铁下落过程中的  $v$ - $t$  图像;

(2)当强磁铁从静止开始下落  $t$  时间后达到最大速度  $v_1$ ,求此过程强磁铁的下落高度  $h$ ;

(3)如果在图 2 强磁铁的上面粘一个质量为  $m$  的绝缘橡胶块,推导它们下落的最大速度  $v_2$ 。



图 1

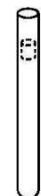


图 2

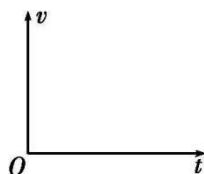


图 3

10.★★(2024 海淀期中)风洞是用来模拟物体周围气体流动情况并可量度气流对物体作用效果的实验设备。重力加速度表示为  $g$ 。

(1)在一次检验飞机性能的试验中,风洞管道竖直截面图如图 1 所示,管道中有水平向右的气流,AB 是飞机模型的截面,轻绳 OP 拉住模型,当模型在气流中保持静止时,轻绳水平绷紧,已知气流对模型的作用力垂直于模型截面,模型截面与水平面夹角为  $\theta$ 。求剪断轻绳的瞬间,模型加速度的大小。

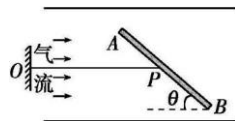


图 1

(2)为测定某火箭的力学性能,采用了缩比模型进行风洞试验,即将与火箭材料相同的火箭模型放入风洞并固定,如图 2 所示。试验时,空气由管道 1 流入管道 2,空气与模型截面垂直作用,模型单位面积所能承受的最大作用力为  $f$ ,假设空气分子与模型作用后其定向运动速度(气体流速)减为零。



图 2

①为研究问题方便,设空气分子的平均质量为  $m_0$ ,气流稳定时,管道 2 中空气分子的数密度为  $n$ 。为使模型不被破坏,求管道 2 中空气与模型截面作用前可允许的最大流速  $v$ 。

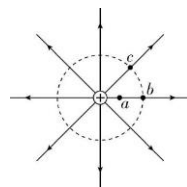
②若质量为  $M$  的火箭竖直升空,其与空气垂直作用的等效面积为  $S$ ,在火箭速度达到  $v_1$  后,发动机对火箭做功的功率  $P_0$  保持不变,火箭继续加速。此后火箭用时  $t$  上升高度  $h$  时,速度达到最大,此时其所受空气阻力为其所能承受最大作用力的一半。忽略火箭质量的变化,求火箭在上述上升高度  $h$  的过程中,空气阻力对火箭做的功。

## 练习二十二 (静电场)

1.★★(2025 朝阳期末)如图所示,实线是正点电荷产生电场的电场线,虚线是等势面。

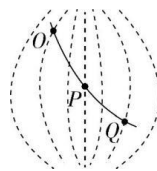
a、b、c 是电场中的三个点,这三点的电场强度大小分别为  $E_a$ 、 $E_b$ 、 $E_c$ ,电势分别为  $\varphi_a$ 、 $\varphi_b$ 、 $\varphi_c$ ,一个试探电荷在这三点受到的静电力大小分别为  $F_a$ 、 $F_b$ 、 $F_c$ 。下列选项正确的是( )

- A.  $E_a < E_b$       B.  $\varphi_a > \varphi_b$       C.  $\varphi_b < \varphi_c$       D.  $F_b < F_c$



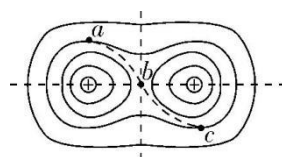
2.★★(2025 东城一模)图中虚线为某静电场的等势面,相邻等势面间的电势差相等。实线为一电子运动的部分轨迹,O、P、Q 为轨迹与等势面的交点。电子从 O 点运动到 Q 点的过程中,仅受静电力作用。下列说法正确的是( )

- A. 电子加速度一直减小  
B. 电子速度先减小后增大  
C. 电子在 O 点电势能比在 Q 点电势能小  
D. 电子从 O 点到 P 点与从 P 点到 Q 点的动能增量相等



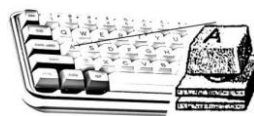
3.★★★(2024 朝阳二模)如图所示,实线为两个固定的等量正点电荷电场中的等势面,虚线 abc 为一带电粒子仅在静电力作用下的运动轨迹,其中 b 点是两点电荷连线的中点。下列说法正确的是( )

- A. 该粒子可能带正电  
B. 该粒子经过 a、c 两点时的速度大小相等  
C. a、b、c 三点的电场强度大小关系为  $E_a > E_b > E_c$   
D. 该粒子在 b 点的电势能大于在 a 点的电势能



4.★★★(2024 昌平二模)如图所示是一种电容式键盘,键盘上每个键帽下面都连有一块小金属片,与该金属片隔有一定空气间隙的是另一块固定的小金属片,这样两块金属片就组成一个小电容器。该电容器的电容可用公式  $C = \epsilon \frac{S}{d}$  计算,其中  $\epsilon$  为一常量,S 表示金属片的正对面积,d 表示两金属片间的距离。连接电源,按下某个键时,与之相连的电子线路就给出与该键相关的信号,此时该电容器的( )

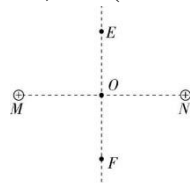
- A. 电容不变      B. 极板所带的电荷量变大  
C. 极板间的电压变小      D. 极板间的场强不变



5.★★★(2025 西城期末)如图所示,两个带等量正电的点电荷位于 M、N 两

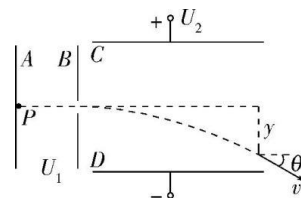
点,E、F 是 MN 连线中垂线上的两点,O 为 EF、MN 的交点。一带负电的试探电荷在 E 点由静止释放后,仅在静电力作用下,恰好运动至 F 点。若两个点电荷的电荷量均变为原来的两倍,则 ( )

- A. E 点的电场强度变为原来的 4 倍  
B. E 点和 O 点的电势差变为原来的  $\sqrt{2}$  倍  
C. 试探电荷运动到 O 点的动能变为原来的 4 倍  
D. 试探电荷运动到 F 点的时间变为原来的  $\frac{1}{\sqrt{2}}$



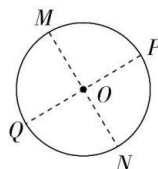
6.★★★(2024 人大附中一模)如图所示,有质子( ${}^1_1\text{H}$ )、氘核( ${}^2_1\text{H}$ )、氚核( ${}^3_1\text{H}$ )和氦核( ${}^4_2\text{He}$ )四种带电粒子,先后从加速电压是  $U_1$  的加速电场中的 P 点由静止释放,被加速后从 B 板的小孔射出,沿 C、D 间的中线进入偏转电压为  $U_2$  的偏转电场,都能够从偏转电场的另一端射出。如果不计重力的影响,以下判断中正确的是( )

- A. 质子( ${}^1_1\text{H}$ )的偏转位移 y 最大  
B. 氘核( ${}^2_1\text{H}$ )的速度偏转角  $\theta$  最小  
C. 氦核( ${}^4_2\text{He}$ )射出偏转电场时的动能最大  
D. 氚核( ${}^3_1\text{H}$ )射出偏转电场时的速度最大



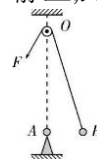
7.★★★(2025 海淀二模)如图所示,实线是竖直面内以 O 点为圆心的圆,MN 和 PQ 是圆的两条相互垂直的直径,在竖直面内存在由 Q 点指向 P 点的匀强电场。从 O 点在竖直面内向各个方向以大小相同的初速度发射电荷量和质量完全相同的带正电小球,通过圆上各点的小球中,经过 N 点的小球速度最大。不计空气阻力及小球间的相互作用。下列说法正确的是( )

- A. 沿 OP 方向发射的小球可以沿 OP 方向做直线运动  
B. 沿 ON 方向发射的小球不会沿 ON 方向做直线运动



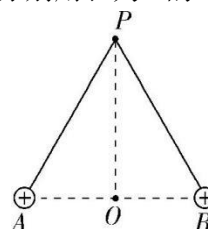
- C.通过圆上 P、Q 两点的小球机械能相等  
D.通过圆上 M、N 两点的小球机械能相等

8.★★(2024 朝阳二模)如图所示,水平面上固定一个绝缘支杆,支杆上固定一带电小球 A,小球 A 位于光滑小定滑轮 O 的正下方,绝缘细线绕过定滑轮与带电小球 B 相连,在拉力 F 的作用下,小球 B 静止,此时两球处于同一水平线。假设两球的电荷量均不变,现缓慢释放细线,使球 B 移动一小段距离。在此过程中,下列说法正确的是( )



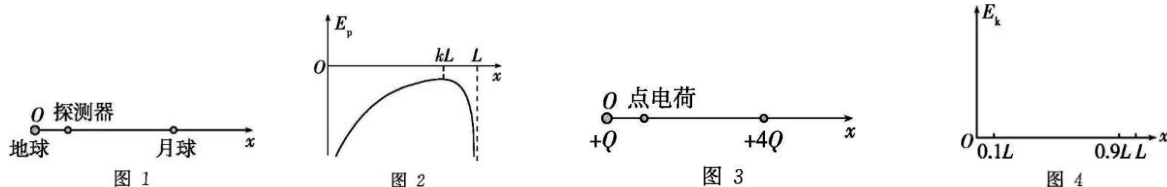
- A.细线中的拉力一直减小  
B.球 B 受到的库仑力先减小后增大  
C.球 A、B 系统的电势能保持不变  
D.拉力做负功,库仑力做正功

9.★★(2024 东城二模)如图所示,真空中 A、B 两个完全相同的带正电小球(可视为质点)分别用长为 1 的轻细线系住,另一端悬挂在 P 点,电荷量  $q_A = q_B = q_0$ 。OP 为 A、B 连线的中垂线,当 A、B 静止时,  $\angle PAO = 60^\circ$ 。已知静电力常量为 k,求:



- (1)轻细线拉力的大小  $F_T$ 。  
(2)P 点电场强度的大小 E 和方向。  
(3)若把电荷量为  $q = 2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$  ( $q \ll q_0$ ) 的正试探电荷从 P 点移到 O 点,克服电场力做了  $1.0 \times 10^{-7} \text{ J}$  的功,求 P、O 两点间的电势差  $U_{PO}$ 。

10.★★(2024 西城期末节选)a.如图 1 所示,地月距离为 L。以地心作为坐标原点,沿地月连线建立 x 轴,在 x 轴上有一个探测器。由于地球和月球对探测器的引力做功与路径无关,探测器具有与其位置相关的引力势能。仅考虑地球和月球对探测器的作用,可得探测器引力势能  $E_p$  随位置变化关系如图 2 所示。探测器在  $x = kL$  处引力势能最大,已知 k,求地球与月球的质量之比。



b.类比引力作用。真空中有两个点电荷固定在 x 轴上,  $+Q$  位于坐标原点,  $+4Q$  位于  $x = L$  处,如图 3 所示。一质量为 m,带电荷量为  $-q$  的点电荷以一足够大的初速度从  $x = 0.1L$  处沿 x 轴正方向运动。在图 4 中画出该点电荷从  $0.1L$  运动到  $0.9L$  的过程中,它的动能  $E_k$  随位置 x 变化的图像,并在 x 轴上标出你能确定的关键点的坐标。

### 练习二十三 (静电场)

11.★★(2024 海淀一模)在量子力学诞生以前,玻尔提出了原子结构假说,建构了原子模型:电子在库仑力作用下绕原子核做匀速圆周运动时,原子只能处于一系列不连续的能量状态中(定态),原子在各定态所具有的能量值叫作能级,不同能级对应于电子的不同运行轨道。

电荷量为 $+Q$ 的点电荷A固定在真空中,将一带电荷量为 $-q$ 的点电荷从无穷远处移动到距A为 $r$ 的过程中,库仑力做功 $W=k\frac{Qq}{r}$ 。

已知电子质量为 $m$ 、元电荷为 $e$ 、静电力常量为 $k$ 、普朗克常量为 $h$ ,规定无穷远处电势能为零。

(1)若已知电子运行在半径为 $r_1$ 的轨道上,请根据玻尔原子模型,求电子的动能 $E_{k1}$ 及氢原子系统的能级 $E_1$ 。

(2)为了计算玻尔原子模型的这些轨道半径,需要引入额外的假设,即量子化条件。物理学家索末菲提出了“索末菲量子化条件”,它可以表述为:电子绕原子核(可看作静止)做圆周运动的轨道周长为电子物质波波长(电子物质波波长 $\lambda$ 与其动量 $p$ 的关系为 $\lambda=\frac{h}{p}$ )的整数倍,倍数 $n$ 即轨道量子数。

①请结合索末菲量子化条件,求氢原子轨道量子数为 $n$ 的轨道半径 $r_n$ 及其所对应的能级 $E_n$ 。

②玻尔的原子模型除了可以解释氢原子的光谱,还可以解释核外只有一个电子的一价氦离子( $\text{He}^+$ )的光谱。已知氢原子基态的能级为 $-13.6\text{ eV}$ ,请计算为使处于基态的 $\text{He}^+$ 跃迁到激发态,入射光子所需的最小能量。



12.★★(2025 海淀二模)与磁通量  $\Phi_B=BS$  类似,在静电场中同样可以建立电通量的概念,若将式中的磁感应强度  $B$  替换成电场强度  $E$ ,就可以用  $\Phi_E=ES$  来计算电通量。物理学家发现,穿过任意闭合曲面的电通量,与该曲面内包含的所有电荷量的代数和成正比,且比例系数为常量。已知静电力常量为  $k$ 。

(1)以电荷量为  $+Q$  的点电荷为球心,以  $r$  为半径建立球面。求穿过该球面的电通量  $\Phi_E$ 。

(2)二极管是由 P 型半导体和 N 型半导体制成的电子器件,如图 1 所示。由于扩散作用,N 型区的部分自由电子会进入 P 型区,在接触面两侧形成如图 2 所示的净剩电荷分布的示意图(正视图),其中“●”代表自由电子(电荷量为  $-e$ )、“○”代表空穴(电荷量为  $+e$ )。电子和空穴在半导体内部所产生的“内建电场”对自由电子的扩散起到了抑制作用,最终空穴和自由电子的分布达到稳定。以两种半导体接触面处为坐标原点,以水平向右为正方向建立  $x$  轴,坐标轴上标记的  $a$ 、 $b$ 、 $c$  均为已知量。

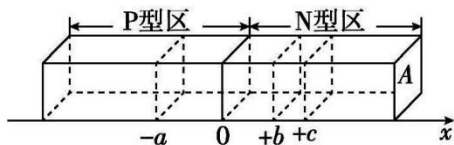


图 1

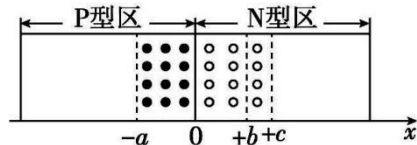


图 2

查阅资料得知:

稳定后,内建电场只分布在  $-a < x < +c$  的范围内,且沿  $x$  轴负方向, $x=-a$  和  $x=+c$  处内建电场的电场强度为零。净剩电荷在其所在区域都均匀分布。

已知半导体材料的横截面积为  $A$ ,稳定后在  $0 < x < +c$  范围内单位体积内的净剩电荷数目为  $n$ 。根据上述信息进行分析。

a.分别以  $x=+b$  和  $x=+c$  两处的横截面为左、右边界构建一长方体,长方体的六个面构成闭合曲面,求该闭合曲面内净剩电荷的电荷量及  $x=+b$  处的内建电场的电场强度大小  $E_b$ 。

b.写出  $0 < x < +c$  范围内,内建电场的电场强度大小  $E_x$  随位置  $x$  变化的关系式。

c.若某自由电子能从  $x > +c$  的 N 型区沿  $x$  轴负方向穿越内建电场到达  $x < -a$  的 P 型区。忽略其他因素的影响,求该自由电子的初始动能  $E_k$  至少为多大。

13.★★★(2025 朝阳二模)大气电场强度是大气电学领域的基本参数,监测大气电场强度对研究大气物理变化、灾害天气预防具有重大意义。通常情况下,地面附近的电场分布如图 1 所示,低空大气与地球表面可视为平行板电容器。已知静电力常量为  $k$ 。

(1)空气中平行板电容器的电容  $C = \frac{S}{4\pi k d}$ ,其中  $S$  表示电容器极板的正对面积, $d$  表示板间的距离。

a.若地面单位面积上的电荷量为  $\sigma$ ,请推导地球表面电场强度  $E = 4\pi k \sigma$ ;

b.地面附近某空间的电场强度  $E = 130 \text{ V/m}$ ,已知地球半径  $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ ,静电力常量  $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 。请结合 a 中结论,估算地球表面带电荷量的数量级。

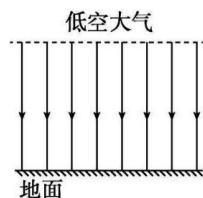


图 1

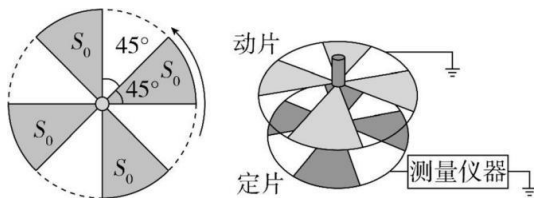


图 2

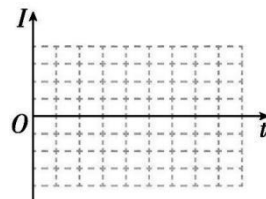


图 3

(2)电场强度计能够探测大气电场强度的变化,其结构可简化为图 2:平行且靠近的动片和定片中心在一条竖直轴上,动片在上、定片在下,动片接地且与定片绝缘。动片和定片形状相同,均由 4 个扇形金属片构成,每个扇形金属片的面积为  $S_0$ 。定片保持静止,动片由马达驱动,以角速度  $\omega$  匀速转动,使定片被交替地遮挡。定片未被遮挡部分处于大气电场中,由于静电感应,其上产生均匀分布的感应电荷。

a.求定片被交替遮挡的周期  $T_0$ ;

b.定片上感应电荷随时间的变化会产生周期性的电流,这一电流通过测量仪器就能显示大气电场强度  $E$  的数值。从定片被动片完全遮挡开始计时,结合(1)a 中结论,推导电流  $I$  与大气电场强度  $E$  的大小关系,并在图 3 中画出大气电场强度恒定时电流  $I$  随时间  $t$  变化的图像。

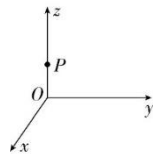
## 练习二十四 (磁场)

1.★★(2025 朝阳期末)关于电场与磁场,下列选项正确的是( )

- A.沿电场线方向电场强度越来越小
- B.沿磁感线方向磁感应强度越来越小
- C.电场强度和磁感应强度都是矢量
- D.电场线和磁感线是可以形象描述场的强弱和方向的客观存在的曲线

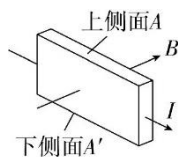
2.★★(2025 海淀期末)有一束电子流沿  $x$  轴的正方向高速运动,如图所示,电子流在  $z$  轴上的  $P$  点处所产生的磁场方向沿( )

- A. $y$  轴正方向
- B. $y$  轴负方向
- C. $z$  轴正方向
- D. $z$  轴负方向



3.★★★(2025 海淀一模)如图所示,一定厚度和宽度的半导体板放在匀强磁场中,当半导体板通过一定电流,且电流与磁场方向垂直时,在上侧面  $A$  和下侧面  $A'$  之间会产生一定的电势差  $U_H$ 。将这种半导体板制成磁敏元件,可用来探测某空间的磁场。下列说法正确的是( )

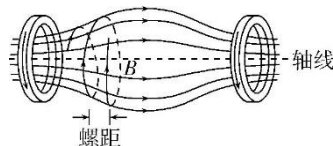
- A.若半导体板内载流子为电子,则上侧面  $A$  的电势比下侧面  $A'$  的电势高
- B.探测空间磁场时, $U_H$  与被测磁场的磁感应强度成线性关系
- C.探测空间磁场时,磁敏元件的摆放方向对  $U_H$  的数值无影响
- D.在图示情况下,半导体板单位体积中载流子数目越大, $U_H$  越大



4.★★★(2023 朝阳期末)在现代研究受控热核反应的实验中,需要把  $10^7 \sim 10^9 \text{ K}$  的高温等离子体限制在一定空间区域内,这样的高温下几乎所有构成容器的固体材料都将熔化,利用磁约束装置可以使高温等离子体与容器壁隔开。如图所示,科学家设计了一种中间弱、两端强的磁场,该磁场由两侧通有等大同向电流的线圈产生。假定一带正电的粒子(不计重力)从左端附近以斜向纸内的速度进入该磁场,其运动轨迹为图示的螺旋线(未全部画出)。此后,该粒子将被约束在左右两端之间来回运动,就像光在两个镜子之间来回“反射”一样,不能逃脱。这种磁场被形象地称为磁瓶,磁场区域的两端被称为磁镜。

根据上述信息并结合已有的知识,可以推断该粒子( )

- A.从左端到右端的运动过程中,沿磁瓶轴线方向的速度分量逐渐变小
- B.从靠近磁镜处返回时,在垂直于磁瓶轴线平面内的速度分量为最大值
- C.从左端到右端的运动过程中,其动能先增大后减小
- D.从左端到右端的运动过程中,其运动轨迹的螺距先变小后变大



5.★★(2025 西城二模)超导体是一种在温度降低到特定温度以下,电阻会突然降为零,且完全排斥磁场的材料。超导体从有电阻的正常态转变为零电阻的超导态,有两个重要的临界参数:临界温度  $T_c$  和临界磁场强度  $H_c$ 。临界温度  $T_c$  是在没有外磁场干扰的理想条件下,超导体从正常态转变为超导态的温度。临界磁场强度  $H_c$  是超导体在特定温度下能够承受的最大外部磁场强度,超过该值后,超导体将从超导态转变为正常态。已知某类超导体的临界磁场强度  $H_c$  与热力学温度  $T$  的关系为  $H_c = H_{c0} \left[ 1 - \left( \frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$ ,式中  $H_{c0}$  是理论上达到绝对零度时的临界磁场强度。下列说法正确的是( )

- A.若温度低于  $T_c$ ,超导体一定处于超导态
- B.若温度逐渐升高但不超过  $T_c$ ,可以通过减小磁场强度的方式来维持超导态
- C.若外部磁场强度大于  $H_{c0}$ ,且温度低于  $T_c$ ,则超导体处于超导态
- D.若外部磁场强度小于  $H_{c0}$ ,且温度高于  $T_c$ ,则超导体处于超导态

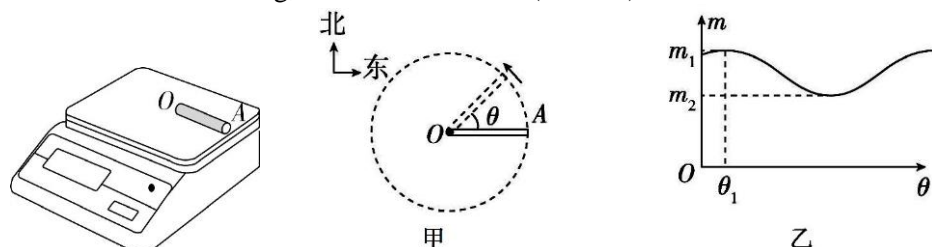
6.★★(2025 海淀期末)(多选)为了测定某沿水平方向的匀强磁场的磁感应强度(远大于地磁场的磁感应强度),某同学在北京地区利用如图所示装置进行了如下操作:

①在水平地面放置的灵敏电子秤的绝缘托盘上,沿东西方向放置一根金属直杆 OA,杆的两端与外电源相连(图中未画出);

②在杆内通以沿 OA 方向、大小为  $I$  的恒定电流后,绕 O 点沿逆时针改变杆的摆放角度,俯视图如图甲所示;

③测量杆与正东方向的夹角  $\theta$  及对应的电子秤示数  $m$ ,绘制出图乙所示的  $m-\theta$  图像,图线上对应的最大值和最小值分别为  $m_1$  和  $m_2$ ,  $m_1$  对应的角度为  $\theta_1$  ( $\theta_1 < 90^\circ$ )。

已知杆的长度为  $L$ 、重力加速度为  $g$ ,下列说法正确的是( )



A. 金属直杆的质量为  $m_2$

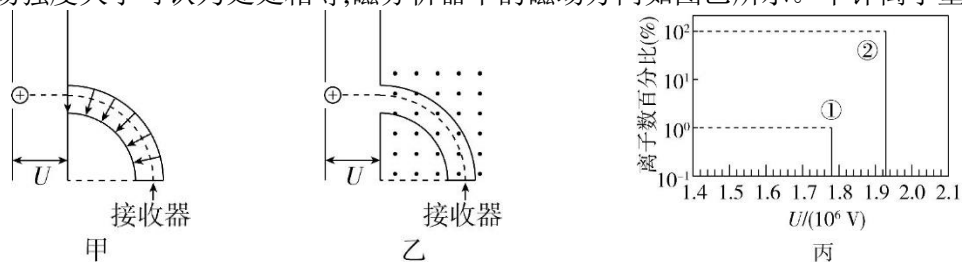
B. 待测磁场的方向与正东方向的夹角为  $\theta_1$

C. 待测磁场的磁感应强度大小为  $\frac{(m_1 - m_2)g}{2IL}$

D. 若考虑地磁场,通过该方法测得的磁感应强度偏小

7.★★★(2025 东城二模)在物理实验中,静电分析器或者磁分析器都可将比荷不同的带电粒子分离。

已知质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的正离子由静止释放,经过电压  $U$  加速后分别进入静电分析器或磁分析器的细管中,该离子在细管中均做半径为  $R$  的匀速圆周运动,如图甲、乙所示。静电分析器细管中离子通过位置的电场强度大小可认为处处相等,磁分析器中的磁场方向如图乙所示。不计离子重力。



(1)求静电分析器细管中离子通过位置的电场强度大小  $E$ ;

(2)求磁分析器中匀强磁场的磁感应强度大小  $B$ ;

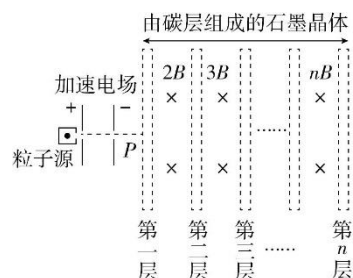
(3)为了分离  $^{12}_6\text{C}$  和  $^{13}_6\text{C}$  两种同位素,将它们都电离成三价正离子( $\text{C}^{3+}$ 离子),采用磁分析器分离。保持磁场不变,改变加速电压,接收器可以在不同的加速电压下分别接收到其中的一种同位素离子,如图丙所示。请分析判断图丙中的①②哪条线对应  $^{12}_6\text{C}$  的  $\text{C}^{3+}$  离子。

8.★★(2025 顺义期末)如图所示,粒子源产生初速度不计的带电粒子。带电粒子经加速电场加速后,垂直射入由单碳原子层组成的石墨晶体,在每两个碳层之间有垂直纸面向里的匀强磁场,第一与第二碳层间的磁感应强度为  $2B$ ,第二与第三碳层间的磁感应强度为  $3B$ ,磁感应强度逐层递增。粒子从  $P$  点垂直射入第一碳层,并与该层一个静止的碳原子碰撞而结合形成一个新粒子。此后,新粒子每经过一层碳层都会再与一个碳原子碰撞而结合形成一个更新的粒子。上述所有碰撞过程动量守恒。已知带电粒子质量为  $m$ ,所带电荷量为  $+q$ ,碳原子的质量也为  $m$ ,加速电场电压为  $U$ 。不计粒子和碳原子的重力及粒子间除碰撞外的相互作用,碳层厚度忽略不计。

(1)求粒子从加速电场射出时的速度大小  $v_0$ ;

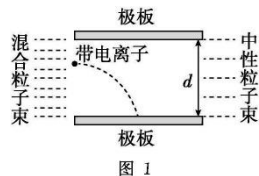
(2)求粒子在第一和第二碳层之间做圆周运动的半径大小  $R_1$ ;

(3)由于粒子在磁场中做曲线运动,恰好无法穿过第  $n$  层碳层,求从粒子进入第一层至到达第  $n$  层碳层所用的时间  $t$ 。

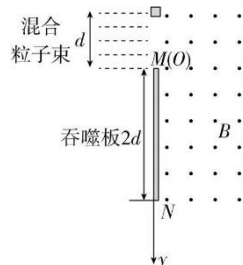


9.★★(2025 丰台一模)2025 年 1 月 20 日,我国有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST),首次完成 1 亿摄氏度 1 066 秒“高质量燃烧”。对人类加快实现聚变发电具有重要意义。EAST 通过高速运动的中性粒子束加热等离子体,需要利用“偏转系统”将带电离子从混合粒子束中剥离出来。已知所有离子均带正电,电荷量均为  $q$ ,质量均为  $m$ 。忽略重力及离子与粒子间的相互作用。

(1)“偏转系统”的原理简化图如图 1 所示,包含中性粒子和带电离子的混合粒子进入由一对平行带电极板构成的匀强电场区域,混合粒子进入电场时速度方向与极板平行,离子在电场区域发生偏转,中性粒子继续沿原方向运动。已知两极板间电压为  $U$ ,间距为  $d$ ,若所有离子进入电场时的速度大小均为  $v$ ,且都被下极板吞噬,求偏转极板的最短长度  $L$ 。



(2)“偏转系统”还可以利用磁偏转进行带电离子的剥离,如图 2 所示。吞噬板 MN 的长度为  $2d$ ,混合粒子束宽度为  $d$ ,垂直于吞噬板射入匀强磁场,磁感应强度大小为  $B$ ,且范围足够大。



a.要使所有离子都打到吞噬板上,求带电离子速度大小的范围。

b.在满足所有离子都打到吞噬板上的前提下,以吞噬板上端点为坐标原点,竖直向下为  $y$  轴正方向建立坐标系,如图 2 所示。单位时间内通过  $y$  轴单位长度进入磁场的离子数为  $n$ 。假设不同速度大小的离子在混合粒子束中都是均匀分布的,则落在吞噬板上的数量分布呈现一定的规律。设单位时间内落在吞噬板  $y$  位置附近单位长度上的离子数量为  $n_y$ ,写出  $n_y$  随  $y$  变化规律的表达式(不要求推导过程),并在图 3 中作出  $n_y$ - $y$  图像。

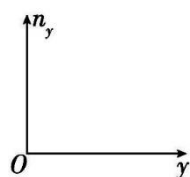


图 3

10.★★(2024 东城一模)天文学家范·艾伦发现在地球大气层之外存在着一个辐射带包裹着地球,这一辐射带被命名为“范·艾伦辐射带”,它是由于地球磁场捕获了大量带电粒子而形成,分为内层和外层,如图 1 所示。由于地球两极附近区域磁场强,其他区域磁场弱,当宇宙射线进入地磁场后会使带电粒子沿磁感线做螺旋运动,遇到强磁场区域被反射回来,在地磁两极间来回“弹跳”,被“捕获”在地磁场中。不过还是有一些宇宙射线粒子可以“溜进”地球大气层,它们和空气分子的碰撞产生的辐射就形成了绚丽多彩的极光。大气中最主要的成分是氮和氧,波长  $557.7\text{ nm}$  的绿色极光和  $630\text{ nm}$  附近的红色极光主要由氧原子发出,波长高于  $640\text{ nm}$  的红色极光由氮气分子发出。(计算时普朗克常量取  $h=6.6\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ ,真空中光速  $c$  取  $3\times 10^8\text{ m/s}$ )

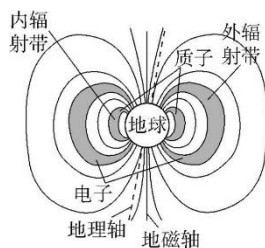


图 1

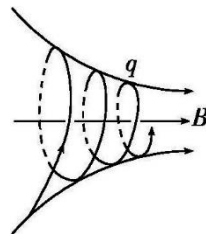


图 2

(1)a.求放出一个波长为  $630\text{ nm}$  的红色光子时,氧原子的能量变化  $\Delta E$  大小(结果取 1 位有效数字)。

b.请说明带电粒子和空气分子碰撞产生辐射的过程中能量是如何转化的。

(2)图 2 所示的是质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带电粒子在具有轴对称性的非均匀磁场中做螺旋运动的示意图,若将粒子沿轴线方向的分速度用  $v_{\parallel}$  表示,与沿轴线方向垂直的平面内的分速度用  $v_{\perp}$  表示。

a.某时刻带电粒子的  $v_{\parallel}=v_1, v_{\perp}=v_2$ ,所在处磁感应强度大小为  $B$ ,如果将粒子从此刻起在垂直平面内做圆周运动的一个周期时间内,所到达区域的磁场按匀强磁场(方向沿轴线)进行估算,求粒子在垂直平面内做圆周运动的半径  $r$  和在一个周期时间内沿轴线前进的距离(螺距) $d$ 。

b.实际上带电粒子的运动半径和螺距都会不断变化,已知带电粒子在从弱磁场区向强磁场区运动的同时,在与轴线垂直平面内的速度  $v_{\perp}$  会变大,在此已知的基础上请用高中物理的知识解释为什么带电粒子在从弱磁场区向强磁场区螺旋前进时,分速度  $v_{\parallel}$  会减小到零,并继而沿反方向前进。