

## 北大附中 2022-2023 学年第 2 学期期中试卷

## 物理必修 2 (国家必修)

## 注意事项

1. 考试时间: 90 分钟。满分: 100 分。
2. 所有试题答案都写在答题纸的规定位置, 超出范围无效。
3. 使用黑色字迹的签字笔或钢笔答题, 不得使用铅笔答题。不能使用涂改液、胶带纸、修正带修改。
4. 只呈交答题纸, 试卷自己留存。

**一. 单项选择题(每小题 3 分, 共 30 分。在每小题给出的四个选项中, 只有一项是符合题意的。)**

1. 如图 1 所示, 修正带的核心部件是两个半径不同的齿轮, 两个齿轮通过相互咬合进行工作,  $A$  和  $B$  分别为两个齿轮边缘处的点。若两齿轮匀速转动, 下列说法正确的是 ( )  
 A.  $A$ 、 $B$  两点的转速相等  
 B.  $A$ 、 $B$  两点的线速度大小相等  
 C.  $A$ 、 $B$  两点的角速度大小相等  
 D.  $A$ 、 $B$  两点的向心加速度大小相等
2. 如图 2 所示, 长 0.50m 的轻质细杆一端  $O$  有光滑的固定转动轴, 另一端固定有一个质量为 3.0kg 的小球, 当杆绕  $O$  在竖直平面内作圆周运动, 小球通过最高点时的速率为 2.0m/s, 则此时小球受到杆对它的作用力的情况是 ( ) (取  $g=10\text{m/s}^2$ )  
 A. 受 6N 的拉力  
 B. 受 6 N 的支持力  
 C. 受 24N 的拉力  
 D. 受 54N 的支持力
3. 用起重机将物体匀速吊起一段距离, 作用在物体上的各力做功的情况是 ( )  
 A. 重力做正功, 拉力做负功, 合力做功为零  
 B. 重力做负功, 拉力做正功, 合力做正功  
 C. 重力做负功, 拉力做正功, 合力做功为零  
 D. 重力不做功, 拉力做正功, 合力做正功
4. 汽车在平直公路上行驶, 它受到的阻力大小不变, 若发动机的功率保持恒定, 汽车在加速行驶的过程中, 它的牵引力  $F$  和加速度  $a$  的变化情况是 ( )  
 A.  $F$  逐渐减小,  $a$  也逐渐减小  
 B.  $F$  逐渐增大,  $a$  逐渐减小  
 C.  $F$  逐渐减小,  $a$  逐渐增大  
 D.  $F$  逐渐增大,  $a$  也逐渐增大
5. 研究表明, 地球自转在逐渐变慢, 3亿年前地球自转的周期约为 22 小时。假设这种趋势会持续下去, 地球的其他条件都不变, 未来人类发射的地球同步卫星与现在相比 ( )  
 A. 距地球的高度变大  
 B. 向心加速度变大  
 C. 线速度变大  
 D. 角速度变大



图 1

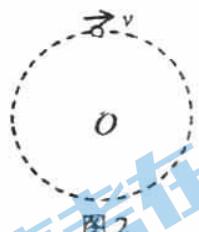


图 2

6.木星有多颗卫星,下表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 $r/km$	卫星质量 $m/kg$
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

7. 向心力演示器是用来探究小球做圆周运动所需向心力  $F$  的大小与质量  $m$ 、角速度  $\omega$  和半径  $r$  之间的关系实验装置,如图 3 所示。两个变速塔轮通过皮带连接,匀速转动手柄使长槽和短槽的压力提供向心力,钢球对挡板的反作用力通过横臂的杠杆作用使弹簧测力筒下降,从而露出标尺,标尺上的黑白相间的等分格显示出两个钢球所受向心力的大小关系。如图是探究过程中某次实验时装置的状态,两个钢球质量和运动半径相等,图中标尺上黑白相间的等分格显示出钢球 A 和钢球 C 所受向心力的比值为 1:4, 则与皮带连接的变速塔轮 1 和变速塔轮 2 的半径之比为( )

- A. 1:2
- B. 1:4
- C. 4:1
- D. 2:1

8. 如图 4 所示,卫星沿圆形轨道 I 环绕地球运动。当其运动到 M 点时采取了一次减速制动措施,进入椭圆轨道 II 或 III。轨道 I、II 和 III 均与地球赤道面共面。变轨后( )

- A. 卫星沿轨道 III 运动
- B. 卫星经过 M 点时的速度小于 7.9km/s
- C. 卫星经过 M 点时的加速度变大
- D. 卫星环绕地球运动的周期变大

9. 如图 5 所示,高速公路上汽车定速巡航(即保持汽车的速率不变,忽略空气阻力和摩擦阻力)大小的变化。汽车沿拱形路面上坡的过程中( )

- A. 牵引力大小不变
- B. 牵引力逐渐增大
- C. 输出功率保持不变
- D. 输出功率逐渐减小

10.一个质量为  $m$  的小物块静止在表面粗糙的圆锥形漏斗的内表面,如图 6 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  $\omega$  增大,先增大后减小

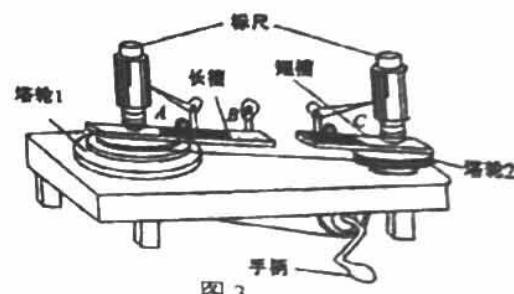


图 3

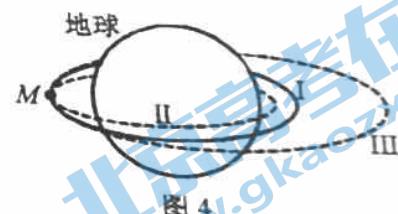


图 4



图 5

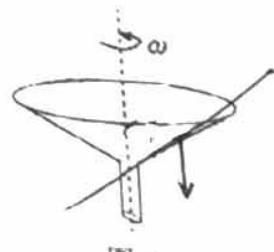


图 6

**二. 不定项选择题(每小题 3 分, 共 9 分。在每小题给出的四个选项中, 至少有一个选项正确。选对得 3 分, 选对但不全得 2 分, 错选、多选, 该小题不得分)**

11. 如图 7 所示, 半径为  $R$ , 表面光滑的半圆柱体固定于水平地面, 其圆心在  $O$  点。位于竖直面内的曲线轨道  $AB$  的底端水平, 与半圆柱相切于圆柱面顶点  $B$ 。质量为  $m$  的小滑块沿轨道滑至  $B$  点时的速度大小为  $\sqrt{gR}$ , 方向水平向右。滑块落在水平地面上的落

点为  $C$  (图中未画出), 不计空气阻力, 则 ( )

- A. 滑块将沿圆柱体表面始终做圆周运动滑至  $C$  点
- B. 滑块将从  $B$  点开始作平抛运动到达  $C$  点
- C.  $OC$  之间的距离为  $\sqrt{2} R$
- D.  $OC$  之间的距离为  $R$

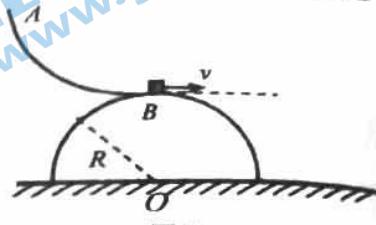


图 7

12. 宇宙中, 两颗靠得比较近的恒星, 只受到彼此之间的万有引力作用互相绕转, 称之为双星系统。设某双星系统  $A$ 、 $B$  绕其连线上的  $O$  点做匀速圆周运动, 如图 8 所示。若  $AO > OB$ , 则 ( )

- A. 星球  $A$  的质量一定大于  $B$  的质量
- B. 星球  $A$  的线速度一定大于  $B$  的线速度
- C. 双星间距离一定, 双星的质量之和越大, 其转动周期越大
- D. 双星的质量之和一定, 双星之间的距离越大, 其转动周期越大



图 8

13. 如图 9 所示,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三个相同的小球,  $a$  从光滑斜面顶端由静止开始自由下滑, 同时  $b$ 、 $c$  从同一高度分别开始自由下落和平抛, 最后都落在同一水平面上。下列说法正确的有 ( )

- A. 小球  $a$ 、 $b$  在运动过程中重力的平均功率相等
- B. 小球  $b$ 、 $c$  在运动过程中重力的平均功率相等
- C. 小球  $a$ 、 $b$  落地时重力的瞬时功率不相等
- D. 小球  $b$ 、 $c$  落地时重力的瞬时功率相等

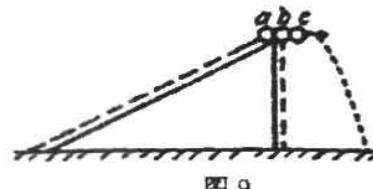


图 9

### 三. 实验题(20 分)

14. (3 分) 通常情况下, 地球上的两个物体之间的万有引力是极其微小以至于很难被直接测量, 人们在长时间内无法得到引力常量的精确值。在牛顿发现万有引力定律一百多年以后的 1789 年, 英国物理学家卡文迪许巧妙地利用如图 10 所示的扭秤装置, 才第一次在实验室里比较精确地测出了万有引力常量。

(1) (2 分) 在图 11 所示的几个实验中, 与“卡文迪许扭秤实验”中测量微小量的思想方法最相近的是\_\_\_\_\_。(选填“甲”、“乙”或“丙”)

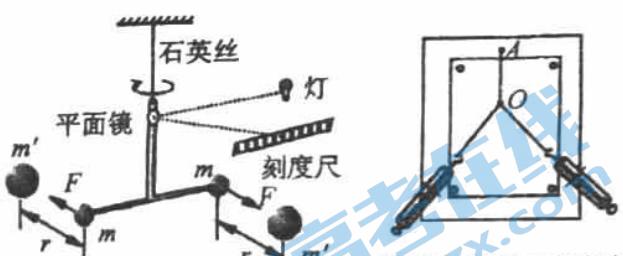
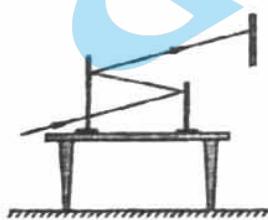
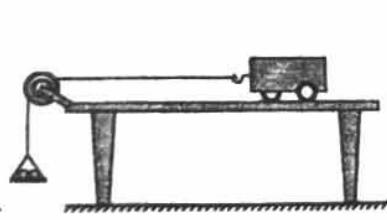
研究力的合成的规律  
甲观察桌面的形变  
乙探究加速度与力、质量的关系  
丙

图 10

图 11

(2) (1 分) 引力常量的得出具有重大意义, 比如: \_\_\_\_\_。(说出一条即可)

15. (17分) 某同学探究平抛运动的特点。

(1) 用如图12所示装置探究平抛运动竖直分运动的特点。用小锤打击弹性金属片后，A球沿水平方向飞出，同时B球被松开并自由下落，比较两球的落地时间。

① (3分) 关于该实验，下列说法正确的是\_\_\_\_\_ (选填选项前的字母)

- A. A、B两球应选用体积小、质量大的小球
- B. 打击弹性金属片后两球需要落在同一水平面上
- C. 比较两球落地时间必须要测量两球下落的高度

② (6分) 多次改变A、B两球释放的高度和小锤敲击弹性金属片的力度，

发现每一次实验时都只会听到一下小球落地的声响，由此\_\_\_\_\_说明A球竖直方向分运动为自由落体运动，\_\_\_\_\_说明A球水平方向分运动为匀速直线运动。(选填“能”或“不能”)



图12

(2) 用如图13所示装置研究平抛运动水平分运动的特点。

将白纸和复写纸对齐重叠并固定在竖直硬板上。A球沿斜槽轨道PQ滑下后从斜槽末端Q飞出，落在水平挡板MN上。由于挡板靠近硬板一侧较低，钢球落在挡板上时，A球会在白纸上挤压出一个痕迹点。移动挡板，依次重复上述操作，白纸上将留下一系列痕迹点。

① (3分) 下列操作中，必要的是\_\_\_\_\_ (选填选项前的字母)

- A. 通过调节使斜槽末端保持水平
- B. 每次需要从不同位置静止释放A球
- C. 通过调节使硬板保持竖直
- D. 尽可能减小A球与斜槽之间的摩擦

② (3分) 某同学用图13的实验装置得到的痕迹点如图14所示，其中一个偏差较大的点产生的原因，可能是该次实验\_\_\_\_\_ (选填选项前的字母)

- A. A球释放的高度偏高
- B. A球释放的高度偏低
- C. A球没有被静止释放
- D. 挡板MN未水平放置

(3) (2分) 某同学用平滑曲线连接这些痕迹点，得到图15所示A球做平抛运动的轨迹。请利用该轨迹和(1)中得出的平抛运动竖直方向分运动的特点，说明怎样确定平抛运动水平分运动是匀速直线运动。

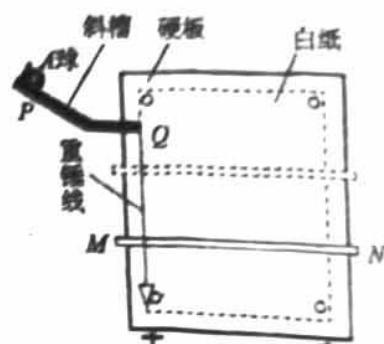


图13



图14



图15

**四、计算题（共 41 分。要求写出必要的文字说明、方程式和演算步骤。有数值计算的题，答案必须明确写出数值和单位）**

16. (12 分) 发射地球同步卫星时，先将卫星发射到距地面高度为  $h_1$  的近地圆轨道上，在卫星经过 A 点时点火实施变轨进入椭圆轨道，最后在椭圆轨道的远地点 B 点再次点火将卫星送入同步轨道，如图 16 所示。已知同步卫星的运动周期为  $T$ ，地球的半径为  $R$ ，地球表面重力加速度为  $g$ ，引力常量为  $G$ ，忽略地球自转的影响。求：

- (1) (3 分) 地球的质量  $M$ ；
- (2) (3 分) 第一宇宙速度大小  $v$ ；
- (3) (3 分) 卫星在近地点 A 的加速度大小  $a$ ；
- (4) (3 分) 远地点 B 距地面的高度  $h_2$ 。

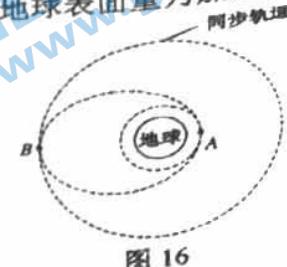


图 16

17. (10 分) 如图 17 所示，质量  $m=2\text{kg}$  的物体，在斜向下与水平方向夹角  $\alpha=37^\circ$ 、大小为  $10\text{N}$  的力  $F$  的作用下，从静止开始运动，通过的位移  $s=2\text{m}$ ，已知物体与水平面间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ ，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ ，求：

- (1) (3 分) 力  $F$  对物体做多少功；
- (2) (3 分) 物体受到的支持力的大小；
- (3) (4 分) 摩擦力对物体做多少功。

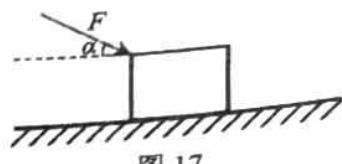


图 17

18. (19 分) 如图 18 所示，水平圆盘上质量  $m_A=4m$  与  $m_B=m$  的 A、B 两个物块，用一根不可伸长的轻绳连在一起，轻绳经过圆盘圆心。AB 一起随圆盘绕竖直中心轴  $OO'$  转动，转动角速度  $\omega$  从零开始缓慢增大，直到有物块相对圆盘运动为止。A、B 两物块转动半径  $r_A=r$ ， $r_B=2r$ 。两物块与圆盘间的动摩擦因数均为  $\mu$ ，取最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为  $g$ 。

- (1) (5 分) 若先将轻绳去掉，将 A、B 两物块先后单独放到图 18 所示位置，分别求出 A、B 相对圆盘静止时圆盘转动的最大角速度？若将 A、B 两物块同时放到图 18 所示位置（无轻绳），逐渐增大圆盘转动角速度，哪个物块先滑动？
- (2) (5 分) 在 A、B 两物块间加上轻绳，如图 18 所示，随着圆盘转动角速度逐渐增大，绳上的力从无到有，使得物块相对圆盘保持静止的时间延长。求当角速度  $\omega_1$  为多大时，A 受到的静摩擦力达到最大值？

(3) (3 分) 求当角速度继续增大至  $\omega_2=\sqrt{\frac{2\mu g}{r}}$  时，B 受到的静摩擦力的大小？

(4) (6 分) 当角速度继续增大至  $\omega_3$  时，AB 物块组成的系统相对圆盘开始滑动，求  $\omega_3$  的大小？并将物块 B 受到的摩擦力  $f_B$  与  $\omega^2$  的分段函数关系图像画在图 19 中（取指向转轴的方向为摩擦力的正方向，图像中要有重要的横纵坐标值）。

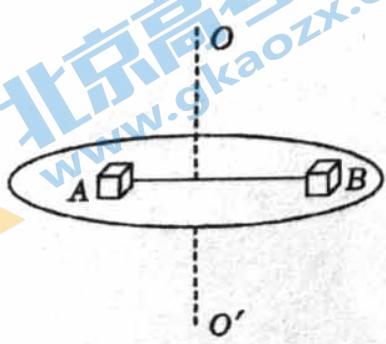


图 18

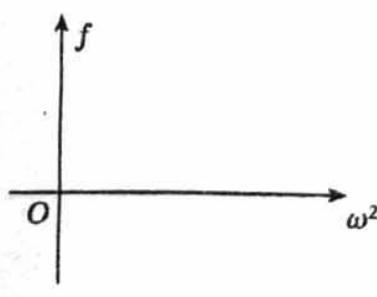


图 19

2022-2023 学年第 2 学期期中试卷答案详解

一. 单选题

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	B	C	A	A	B	D	B	D	C

1. B

解析:

根据传动规律可知 A、B 两点线速度大小相等，  
根据  $v=\omega r$  可知 A 点的角速度小于 B 点的角速度，  
根据  $\omega=2\pi n$  可知 A 点的转速小于 B 点的转速，

根据  $a = \frac{v^2}{r}$  可知 A 点的向心加速度小于 B 点的向心加速度，故 B 正确，ACD 错误。

2.B

解析:

设在最高点杆子表现为拉力，则有  $F + mg = m \frac{v^2}{r}$ ，代入数据得， $F=-6N$ ，

则杆子表现为支持力，大小为 6N，故 B 正确。

3.C

解析:

物体匀速上升，重力方向与位移方向相反，重力做负功，拉力竖直向上，拉力与位移方向相同，拉力做正功，物体做匀速直线运动，处于平衡状态，所受合力为零，在合力做功为零；故 C 正确。

4.A

解析:

根据  $P=Fv$ ，发动机的功率不变，汽车加速行驶的过程中，速度增大，则牵引力减小，根据  $F-f=ma$ ，阻力不变，加速度减小，故 A 正确。

5.A

解析:

因地球的自转周期在增大，故未来人类发射的同步卫星周期也将增大；

由万有引力公式可知  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{m4\pi^2r}{T^2}$ ，解  $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$ ，周期变大，轨道半径变大，即距地球高度变大，故 A 正确；

由万有引力公式可知  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2r = ma$

解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ， $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ， $a = \frac{GM}{r^2}$ ，

$v, \omega, a$  均随着 r 增大而减小，故 BCD 错误。

6.B

解析:

根据万有引力公式:  $F = \frac{GMm}{r^2}$ , 由题意可知木卫一和木卫二均绕木星运动即 G, M 相等, 木

卫一质量大于木卫二, 轨道半径小于木卫 1, 代入可得  $F_1 > F_2$ , 故 A 错误;

$$\text{由万有引力公式可知 } \frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = \frac{m4\pi^2 r}{T^2} = ma$$

解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 木卫一轨道半径小于木卫二, 即线速度 v 和向心加速度 a 大于木卫二, 周期 T 小于木卫二; 故 B 正确, CD 错误。

7. 向心力演示器是用来探究小球做圆周运动所需向心力 F 的大小与质量 m、角速度  $\omega$  和半径 r 之间的关系实验装置, 如图 3 所示。两个变速塔轮通过皮带连接, 匀速转动手柄使长槽和短槽分别随变速塔轮 1 和变速塔轮 2 匀速转动, 槽内的钢球就做匀速圆周运动。横臂的挡板对钢球的压力提供向心力, 钢球对挡板的反作用力通过横臂的杠杆作用使弹簧测力筒下降, 从而露出标尺, 标尺上的黑白相间的等分格显示出两个钢球所受向心力的大小关系。如图是探究过程中某次实验时装置的状态, 两个钢球质量和运动半径相等, 图中标尺上黑白相间的等分格显示出钢球 A 和钢球 C 所受向心力的比值为 1:4, 则与皮带连接的变速塔轮 1 和变速塔轮 2 的半径之比为 ( )

- A. 1 : 2
- B. 1 : 4
- C. 4 : 1
- D. 2 : 1

【答案】D

【解析】根据

$$F = m\omega^2 r$$

两球的向心力之比为 1:4, 半径和质量相等, 则转动的角速度之比为 1:2, 因为靠皮带传动, 变速轮塔的线速度大小相等, 根据

$$v = \omega r$$

可知与皮带连接的变速轮塔对应的半径之比为 2:1。故选 D。

8. 如图 4 所示, 卫星沿圆形轨道 I 环绕地球运动。当其运动到 M 点时采取了一次减速制动措施, 进入椭圆轨道 II 或 III。轨道 I、II 和 III 均与地球赤道面共面。变更轨道后 ( )

- A. 卫星沿轨道 III 运动
- B. 卫星经过 M 点时的速度小于 7.9km/s
- C. 卫星经过 M 点时的加速度变大
- D. 卫星环绕地球运动的周期变大

【答案】B

【解析】A. 卫星运动到 M 点时减速, 万有引力大于向心力, 卫星做近心运动, 卫星沿轨道 II 运动, A 错误;

B. 卫星在近地轨道运动的速度约为 7.9km/s, 在轨道 I 的半径大于近地轨道的半径, 根据

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

得

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

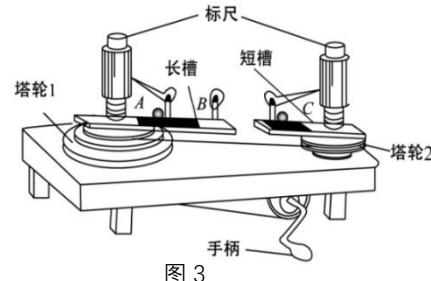


图 3

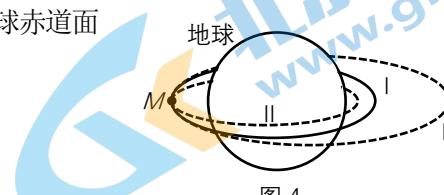


图 4

可知，卫星在轨道 I 上经过 M 点时的速度小于 7.9km/s，减速变轨后，速度也小于 7.9km/s，  
B 正确；

C. 根据

$$\frac{GMm}{r^2} = ma$$

得

$$a = \frac{GM}{r^2}$$

由于变轨前后 M 点离地球的距离不变，卫星经过 M 点时的加速度大小不变，C 错误；

D. 根据开普勒第三定律，轨道 II 的半长轴小于轨道 I 的半径，故从轨道 I 变到轨道 II，  
卫星环绕地球运动的周期变小，D 错误。

故选 B。

9. 如图 5 所示，高速公路上汽车定速巡航（即保持汽车的速率不变），忽略空气阻力和摩擦  
阻力大小的变化。汽车沿拱形路面上坡的过程中（ ）

- A. 牵引力大小不变
- B. 牵引力逐渐增大
- C. 输出功率保持不变
- D. 输出功率逐渐减小

【答案】D

【详解】AB. 设坡面与水平面夹角为  $\theta$ ，汽车速率不变，有

$$F_{牵} = f + mg \sin \theta$$

因上坡过程坡度越来越小， $\theta$  角在减小，空气阻力和摩擦阻力的大小不变，则牵引力变  
小，故 AB 错误；

CD. 由功率公式

$$P = F_{牵}v$$

可知，汽车速率不变，输出功率变小，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

10. 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 6 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  $\omega$  增大，先增大后减小

【答案】C

【详解】小物块静止在表面粗糙的圆锥形漏斗的内表面，受重力，支持力，沿斜面向上的  
静摩擦力，当漏斗转动的角速度  $\omega$  缓慢增大时，受力如图所示

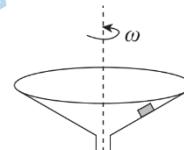


图 6

由牛顿第二定律有

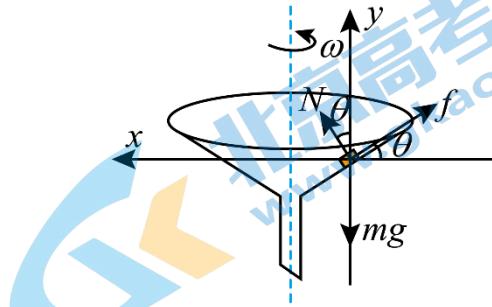
$$N \sin \theta - f \cos \theta = m\omega^2 r$$

$$N \cos \theta + f \sin \theta = mg$$

解得

$$N = mg \cos \theta + m\omega^2 r \sin \theta$$

$$f = mg \sin \theta - m\omega^2 r \cos \theta$$



随着角速度  $\omega$  增大，支持力  $N$  逐渐增大，摩擦力  $f$  先减小后增大，故选 C。

## 二. 多选题

11	12	13
BC	BD	BCD

11. 如图 7 所示，半径为  $R$ 、表面光滑的半圆柱体固定于水平地面，其圆心在  $O$  点。位于竖直面内的曲线轨道  $AB$  的底端水平，与半圆柱相切于圆柱面顶点  $B$ 。

质量为  $m$  的小滑块沿轨道滑至  $B$  点时的速度大小为  $\sqrt{gR}$ ，方向水平向右。滑块落在水平地面上的落点为  $C$ （图中未画出），不计空气阻力，则（ ）

- A. 滑块将沿圆柱体表面始终做圆周运动滑至  $C$  点
- B. 滑块将从  $B$  点开始作平抛运动到达  $C$  点
- C.  $OC$  之间的距离为  $\sqrt{2} R$
- D.  $OC$  之间的距离为  $R$

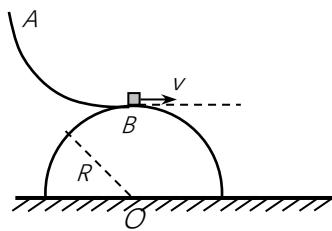


图 7

【答案】BC

【详解】小球运动到  $B$  点时，如果球与圆柱体间有压力，则小球会沿圆柱体表面下滑一段距离；如果球与圆柱体间没有压力，则小球将做平抛运动。

不妨设小球在  $B$  点受到向上的支持力  $N$ ，由向心力公式可得

$$mg - N = m \frac{v^2}{R}$$

由于

$$v = \sqrt{gR}$$

所以

$$N=0$$

因此小球将做平抛运动

竖直方向上

$$R = \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

水平方向上

$$x = vt = \sqrt{2} R$$

故选 BC。

12. 宇宙中，两颗靠得比较近的恒星，只受到彼此之间的万有引力作用互相绕转，称之为双星系统。设某双星系统 A、B 绕其连线上的 O 点做匀速圆周运动，如图 8 所示。若  $AO > OB$ ，则（ ）

- A. 星球 A 的质量一定大于 B 的质量
- B. 星球 A 的线速度一定大于 B 的线速度
- C. 双星间距离一定，双星的质量之和越大，其转动周期越大
- D. 双星的质量之和一定，双星之间的距离越大，其转动周期越大



图 8

【答案】BD

【详解】A. A、B 绕 O 点运动的周期相同、角速度相同，且二者的向心力均由之间的万有引力提供，所以大小相等，即

$$m_A \omega^2 r_A = m_B \omega^2 r_B$$

因为  $r_A > r_B$ ，所以  $m_A < m_B$ ，故 A 错误；

B. A、B 绕 O 点运动的周期相同、角速度相同，根据  $v = \omega r$ ，因为  $r_A > r_B$ ，所以

$v_A > v_B$ ，故 B 正确；

CD. 双星之间的距离为

$$L = r_A + r_B$$

设双星周期为 T，根据牛顿第二定律有

$$G \frac{m_A m_B}{L^2} = m_A \frac{4\pi^2}{T^2} r_A = m_B \frac{4\pi^2}{T^2} r_B$$

联立以上两式可得

$$m_A + m_B = \frac{4\pi^2 L^3}{GT^2}$$

根据上式可知，双星间距离一定，双星的总质量越大，其转动周期越小；双星的质量之和一定，双星之间的距离越大，其转动周期越大，故 C 错误，D 正确。

故选 BD

13. 如图 9 所示，a、b、c 三个相同的小球，a 从光滑斜面顶端由静止开始自由下滑，同时 b、c 从同一高度分别开始自由下落和平抛，最后都落在同一水平面上。下列说法正确的有（ ）

- A. 小球 a、b 在运动过程中重力的平均功率相等
- B. 小球 b、c 在运动过程中重力的平均功率相等
- C. 小球 a、b 落地时重力的瞬时功率不相等
- D. 小球 b、c 落地时重力的瞬时功率相等

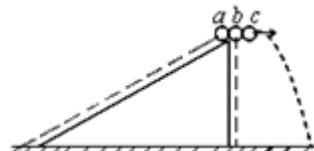


图 9

【答案】BCD

【详解】AB. 重力做功可用重力与在重力方向上的位移的相乘计算，a、b、c 三个小球所受重力相同，在重力方向上的位移也相同，所以重力对三个球做功相等。

b、c 从同一高度分别开始自由下落和平抛运动，两球下落时间相同，根据

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

解得

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

设斜面倾角为  $\theta$ ，则光滑斜面下滑，对  $a$  的加速度

$$mg \sin \theta = ma$$

$$\frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2} at^2$$

解得

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta}}$$

$a$  的运动的时间要比  $b$ 、 $c$  的长，由于重力对三个小球做功相等，根据功率公式

$$P = \frac{W}{t}$$

可得

$$P_b = P_c > P_a$$

故 A 错误，B 正确；

CD.  $b$ 、 $c$  从同一高度分别开始自由下落和平抛运动，竖直方向均为自由落体运动，则

$$2gh = v^2$$

可得  $b$ 、 $c$  竖直方向分速度为

$$v_{by} = v_{cy} = \sqrt{2gh}$$

$a$  沿斜面做匀加速直线运动，因此

$$2a \frac{h}{\sin \theta} = v_a^2$$

可得  $a$  落地时的速度为

$$v_a = \sqrt{2gh}$$

则  $a$  落地时的竖直方向分速度为

$$v_{ay} = \sqrt{2gh} \sin \theta$$

因此落地时重力的瞬时功率分别为

$$P_a = mgv_{ay} = mg\sqrt{2gh} \sin \theta$$

$$P_b = mgv_{by} = mg\sqrt{2gh}$$

$$P_c = mgv_{cy} = mg\sqrt{2gh}$$

故 CD 正确；

故选 BCD。

### 三.实验题(20分)

14.(3分)通常情况下,地球上的两个物体之间的万有引力是极其微小以至于很难被直接测量,人们在长时间内无法得到引力常量的精确值。在牛顿发现万有引力定律一百多年以后的1789年,英国物理学家卡文迪许巧妙地利用如图10所示的扭秤装置,才第一次在实验室里比较精确地测出了万有引力常量。

(1)(2分)在图11所示的几个实验中,与“卡文迪许扭秤实验”中测量微小量的思想方法最相近的是乙。(选填“甲”、“乙”或“丙”)

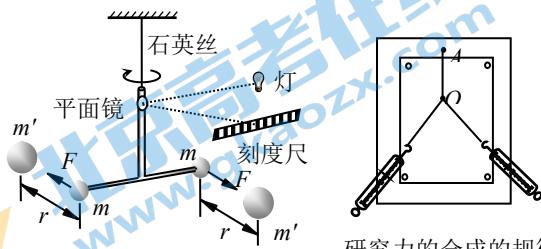


图10

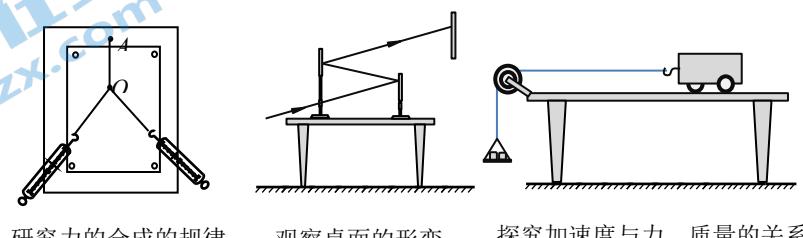


图11

(2)(1分)引力常量的得出具有重大意义,比如:用实验证明了万有引力的存在;测量地球的质量;引力常量的普适性证明了万有引力定律的正确性。(说出一条即可)

**【答案】**(1)乙 (2)引力常量的普适性证明了万有引力定律的正确性

**【分析】**(1)“卡文迪许扭秤实验”中测量微小量的思想方法为放大法,而甲中采用的等效替代法,乙采用的放大法,丙采用的控制变量法,故答案为乙;

(2)引力常量的普适性证明了万有引力定律的正确性;同时引力常量的得出使得可以正确计算万有引力的大小;同时可以使人们可以方便地计算出地球的质量。

**【点睛】**本题考查对引力常量测量的研究情况,要注意明确引力常量的测出证明了万有引力定律的正确,从而更好的研究天体的运动。

15.(17分)某同学探究平抛运动的特点。

(1)用如图12所示装置探究平抛运动竖直分运动的特点。用小锤打击弹性金属片后,A球沿水平方向飞出,同时B球被松开并自由下落,比较两球的落地时间。

①(3分)关于该实验,下列说法正确的是AB (选填选项前的字母)。

- A. A、B两球应选用体积小、质量大的小球
- B. 打击弹性金属片后两球需要落在同一水平面上
- C. 比较两球落地时间必须要测量两球下落的高度

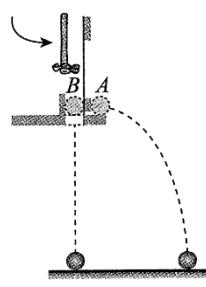


图12

②(6分)多次改变A、B两球释放的高度和小锤敲击弹性金属片的力度,

发现每一次实验时都只会听到一下小球落地的声响,由此能说明A球竖直方向分运动为自由落体运动,不能说明A球水平方向分运动为匀速直线运动。(选填“能”或“不能”)

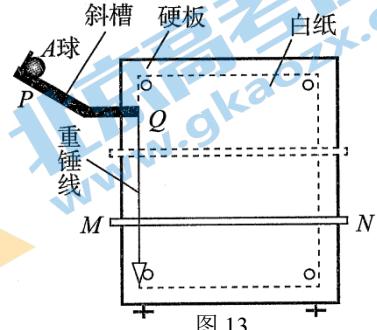


图 13

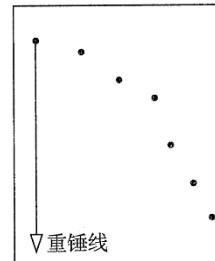


图 14

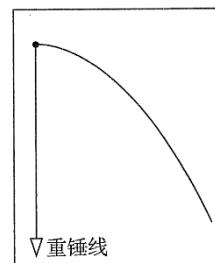


图 15

(2) 用如图 13 所示装置研究平抛运动水平分运动的特点。将白纸和复写纸对齐重叠并固定在竖直硬板上。*A* 球沿斜槽轨道 *PQ* 滑下后从斜槽末端 *Q* 飞出，落在水平挡板 *MN* 上。由于挡板靠近硬板一侧较低，钢球落在挡板上时，*A* 球会在白纸上挤压出一个痕迹点。移动挡板，依次重复上述操作，白纸上将留下一系列痕迹点。

①(3 分)下列操作中，必要的是 AC (选填选项前的字母)。

- A. 通过调节使斜槽末段保持水平
- B. 每次需要从不同位置静止释放 *A* 球
- C. 通过调节使硬板保持竖直
- D. 尽可能减小 *A* 球与斜槽之间的摩擦

②(3 分)某同学用图 13 的实验装置得到的痕迹点如图 14 所示，其中一个偏差较大的点产生的原因，可能是该次实验 AC (选填选项前的字母)。

- A. *A* 球释放的高度偏高
- B. *A* 球释放的高度偏低
- C. *A* 球没有被静止释放
- D. 挡板 *MN* 未水平放置

(3) (2 分)某同学用平滑曲线连接这些痕迹点，得到图 15 所示 *A* 球做平抛运动的轨迹。请利用该轨迹和(1)中得出的平抛运动竖直方向分运动的特点，说明怎样确定平抛运动水平分运动是匀速直线运动。

**【答案】**(1) ①AB ②能，不能 (2) ①AC ②AC

**【分析】**

(1) ①A. 为了减小空气阻力对实验的影响，应选用体积小，密度大的小球，故 A 正确；

B. 打击弹性金属片后两球需要落在同一水平面上，以确保小球落高度相同，故 B 正确；

C. 比较两球落地时间不需要测量两球下落的高度，C 错误。

故选 AB。

②多次改变 *A*、*B* 两球释放的高度和小锤敲击弹性金属片的力度，发现每一次实验时都只会听到一下小球落地的声响，由此可能 A 球竖直方向分运动为自由落体运动，不能说明 A 球水平方向分运动为匀速直线运动。

(2) ①A. 由于“研究平抛物体的运动”斜槽的末端必须保持水平，A 正确；

B. 由于每次小球运动轨迹相同，因此每次小球必须从同一位置，由静止释放，B 错误；

C. 平抛运动的轨迹位于竖直方向，因此硬板应保持竖直，C 正确；

D. *A* 球每次从同一位置静止释放即可，不需要减小 *A* 球与斜槽之间的摩擦，D 错误。

故选 AC。

③通过图像可知，这个偏差较大的点处水平的速度相比其他的点较大，故产生的原因，可能是该次实验 *A* 球释放的高度偏高或 *A* 球没有被静止释放，故 AC 正确，BD 错误。

故选 AC。

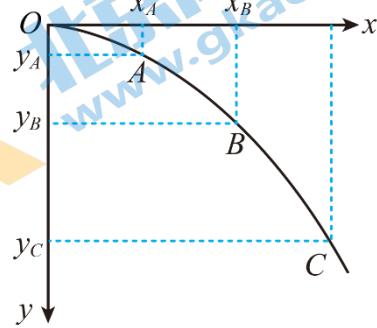
(3) 如图所示，在曲线 *OP* 上取 *A*、*B*、*C*、*D* 四点，这四个点对应的坐标分别  $(x_A, y_A)$ ， $(x_B, y_B)$ ， $(x_C, y_C)$ ， $(x_D, y_D)$ ，使

$$y_A:y_B:y_C:y_D = 1:4:9:16$$

若

$$x_A : x_B : x_C : x_D = 1 : 2 : 3 : 4$$

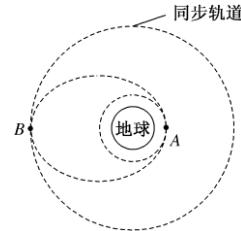
则说明钢球在  $x$  方向的分运动为匀速直线运动。



四、计算题（共 41 分。要求写出必要的文字说明、方程式和演算步骤。有数值计算的题，答案必须明确写出数值和单位）

16. (12 分) 发射地球同步卫星时，先将卫星发射到距地面高度为  $h_1$  的近地圆轨道上，在卫星经过  $A$  点时点火实施变轨进入椭圆轨道，最后在椭圆轨道的远地点  $B$  点再次点火将卫星送入同步轨道，如图所示。已知同步卫星的运动周期为  $T$ ，地球的半径为  $R$ ，地球表面重力加速度为  $g$ ，引力常量为  $G$ ，忽略地球自转的影响。求：

- (1) (3 分) 地球的质量  $M$ ；
- (2) (3 分) 第一宇宙速度大小  $v$ ；
- (3) (3 分) 卫星在近地点  $A$  的加速度大小  $a$ ；
- (4) (3 分) 远地点  $B$  距地面的高度  $h_2$ 。



【答案】(1)  $\frac{R^2 g}{(R+h_1)^2}$ ; (2)  $\sqrt[3]{\frac{g R^2 T^2}{4\pi^2}} - R$

【详解】

(1) 若忽略地球自转，则地表物体受到的万有引力近似等于重力：

即  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  (2 分)

解得： $M = \frac{gR^2}{G}$  (1 分)

(2)  $mg = m \frac{v^2}{R}$  (2 分)

则第一宇宙速度  $v = \sqrt{gR}$  (1 分)

(3) 设地球质量为  $M$ ，卫星质量为  $m$ ，万有引力常量为  $G$ ，卫星在  $A$  点的加速度为  $a$ ，由牛顿第二定律得

$$G \frac{Mm}{(R+h_1)^2} = ma \quad (2 \text{ 分})$$

卫星在地球赤道表面上受到的万有引力等于重力，则

$$G \frac{Mm}{R^2} = mg$$

解以上两式得

$$a = \frac{gR^2}{(R+h_1)^2} \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 设远地点  $B$  距地面高度为  $h_2$ , 卫星在同步轨道上运动时受到的万有引力提供向心力, 由牛顿第二定律得

$$G \frac{Mm}{(R+h_2)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h_2) \quad (2 \text{ 分})$$

由②④两式解得

$$h_2 = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}} - R \quad (1 \text{ 分})$$

2. (10分) 如图所示, 质量  $m=2\text{kg}$  的物体, 在斜向下与水平方向夹角  $\alpha=37^\circ$ 、大小为  $10\text{N}$  的力  $F$  的作用下, 从静止开始运动, 通过的位移  $s=2\text{m}$ , 已知物体与水平面间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ , (重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ ) 求:

- (1) (3分) 力  $F$  对物体做多少功?  
(2) (3分) 物体受到的支持力的大小?  
(3) (4分) 摩擦力对物体做多少功?

【答案】(1)  $16\text{J}$ ; (2)  $26\text{N}$ ; (3)  $-10.4\text{J}$

【详解】(1)由功的定义可得力  $F$  对物体做的功为

$$W = Fs \cos \alpha \quad (2 \text{ 分})$$
$$W = 16\text{J} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)由平衡条件可知:

$$N = F \sin 37^\circ + mg \quad (2 \text{ 分})$$
$$= 10 \times 0.6 + 2 \times 10$$
$$= 26\text{N} \quad (1 \text{ 分})$$

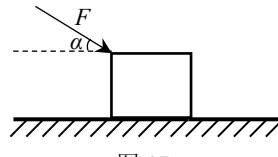


图 17

(3) 摩擦力为

$$f = \mu N \quad (1 \text{ 分})$$

摩擦力对物体做的功为

$$W_f = -\mu N \cdot s \quad (2 \text{ 分}, \text{没有负号不扣分})$$

联立解得

$$W_f = -10.4\text{J} \quad (1 \text{ 分}, \text{没有负号不给分})$$

18. (19分) 如图 18 所示, 水平圆盘上质量  $m_A=4m$  与  $m_B=m$  的  $A$ 、 $B$  两个物块, 用一根不可伸长的轻绳连在一起, 轻绳经过圆盘圆心。 $AB$  一起随圆盘绕竖直中心轴  $OO'$  转动, 转动角速度  $\omega$  从零开始缓慢增大, 直到有物块相对圆盘运动为止。 $A$ 、 $B$  两物块转动半径  $r_A=r$ ,  $r_B=2r$ 。两物块与圆盘间的动摩擦因数均为  $\mu$ , 取最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 重力加速度为  $g$ 。求:

- (1) (5分) 当绳上恰好出现拉力时, 圆盘角速度  $\omega_1$  的大小;  
(2) (5分) 当角速度  $\omega_2$  为多大时,  $A$  受到的静摩擦力达到最大值?

(3) (3分) 当角速度继续增大至  $\omega_3 = \sqrt{\frac{2\mu g}{r}}$  时, B 受到的静摩擦力为多大?

(4) (6分) 当角速度继续增大至  $\omega_4$  时, AB 物块组成的系统相对圆盘开始滑动, 求  $\omega_4$  的大小? 并将物块 B 受到的摩擦力  $f_B$  与  $\omega^2$  的分段函数关系图像画在图 19 中 (取指向转轴的方向为摩擦力的正方向, 图像中要有重要的横纵坐标值)。

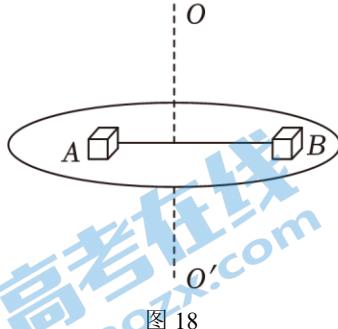


图 18

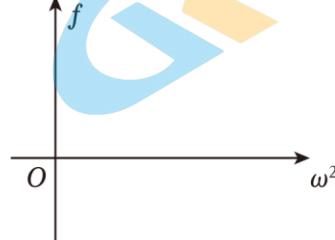


图 19

解: (1)

对物块 A: 当  $\mu \cdot 4mg = 4m\omega_A^2 r$  (1分) 时, 即  $\omega_A = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$  (1分) 时, A 开始滑动。

对物块 B: 当  $\mu mg = m\omega_1^2 \cdot 2r$  (1分) 时, 即  $\omega_B = \sqrt{\frac{\mu g}{2r}}$  (1分) 时, B 开始滑动。

因为  $\omega_B < \omega_A$ , 所以当两物块同时随圆盘转动时物块 B 最先滑动 (1分)。

(2) 当 B 的角速度  $\frac{\mu g}{2r} < \omega^2 < \omega_1^2$  时绳上有拉力, 且在该角速度范围内 B 受到的静摩擦力始终为最大静摩擦力。即  $f_B = \mu mg$ 。

当  $f_A = 4\mu mg$  时

对 A 有:  $T_1 + 4\mu mg = 4m\omega_1^2 r$  (2分)

对 B 有:  $T_1 + \mu mg = m\omega_1^2 \cdot 2r$  (2分)

联立解得:  $\omega_1 = \sqrt{\frac{3\mu g}{2r}}$  (1分)

(3) 当 AB 所受的静摩擦力均达到最大值后, 若  $\omega$  再增大, 因 A 所需向心力大于 B 所需向心力, 但绳上的拉力 T 相同, 则 B 的静摩擦力将减小。

对 A 有:  $T_2 + 4\mu mg = 4m\omega_2^2 r$  (1分)

对 B 有:  $T_2 + f_B = m\omega_2^2 \cdot 2r$  (1分)

解得:  $f_B = 0$  (N) (1分)

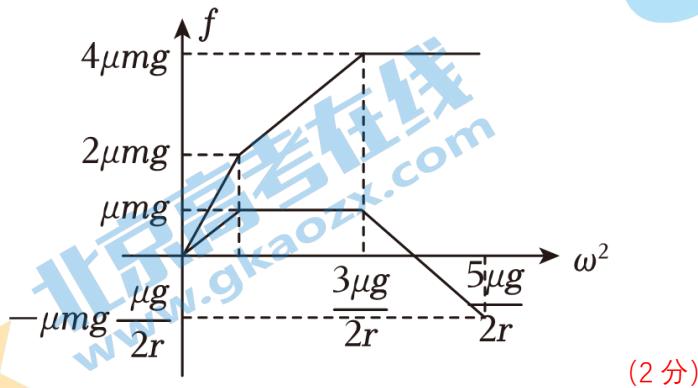
(4) 当角速度大于  $\omega_2$  时, B 受到的静摩擦力反向, 即背离圆心, 设当反向后的静摩擦力达

到最大值时圆盘的角速度为  $\omega_3$

故对 A 有:  $T_3 + 4\mu mg = 4m\omega_3^2 r$  (1 分)

对 B 有:  $T_3 - \mu mg = m\omega_3^2 2r$  (2 分)

联立解得:  $\omega_3^2 = \frac{5\mu g}{2r}$  (1 分)



基础: 1-6、16、17。共 40 分

中等: 7-9, 11、18 (1)、(2)、(3)。共 25 分

实验: 14、15。共 20 分

难: 10、12、13、18 (4)。共 15 分

## 关于我们

北京高考在线创办于 2014 年，隶属于北京太星网络科技有限公司，是北京地区极具影响力中学升学服务平台。主营业务涵盖：北京新高考、高中生涯规划、志愿填报、强基计划、综合评价招生和学科竞赛等。

北京高考在线旗下拥有网站门户、微信公众平台等全媒体矩阵生态平台。平台活跃用户 40W+，网站年度流量数千万量级。用户群体立足于北京，辐射全国 31 省市。

北京高考在线平台一直秉承 “ 精益求精、专业严谨 ” 的设计理念，不断探索 “K12 教育 + 互联网 + 大数据 ” 的运营模式，尝试基于大数据理论为广大中学和家长提供新鲜的高考资讯、专业的高考政策解读、科学的升学规划等，为广大高校、中学和教科研单位提供 “ 衔接和桥梁纽带 ” 作用。

平台自创办以来，为众多重点大学发现和推荐优秀生源，和北京近百所中学达成合作关系，累计举办线上线下升学公益讲座数百场，帮助数十万考生顺利通过考入理想大学，在家长、考生、中学和社会各界具有广泛的口碑影响力。

未来，北京高考在线平台将立足于北京新高考改革，基于对北京高考政策研究及北京高校资源优势，更好的服务全国高中家长和学生。



微信搜一搜

Q 北京高考资讯