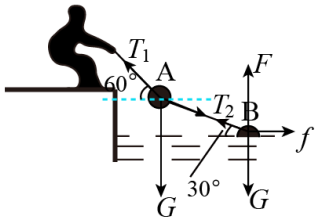
《相互作用》补充练习参考答案

1．D

【解析】

【详解】

对球 A 和球 B 受力分析如图所示



AB．对球 A 由平衡条件得

$$T_1\sin 60^\circ = G + T_2\sin 30^\circ$$

$$T_1\cos 60^\circ = T_2\cos 30^\circ$$

解得

$$T_2 = G$$

$$T_1 = \sqrt{3}G$$

故 AB 错误；

CD．对球 B 由平衡条件得

$$T_2\sin 30^\circ + F = 2G$$

$$T_2\cos 30^\circ = f$$

解得

$$F = \frac{3}{2}G$$

$$f = \frac{\sqrt{3}}{2}G$$

由勾股定理得沙对球 B 的作用力大小为

$$F_{沙} = \sqrt{F^2 + f^2} = \sqrt{3}G$$

故 C 错误，D 正确。

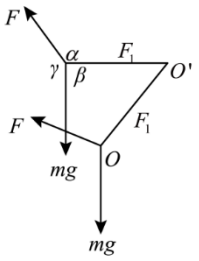
故选 D。

2．C

【解析】

【详解】

A. 结点 O 转动过程中，动态分析如图，则



$$\frac{mg}{\sin\alpha} = \frac{F}{\sin\beta} = \frac{F_1}{\sin\gamma}$$

由于 α 不变，结点 O 转动至水平的过程中，β 角一直减小至直角，γ 从 60°一直增大到 150°，可得，F 一直增大，绳子的拉力 F_1 先增大后减小，故 A 错误；

B．斜面的倾角没变，A 物体的重力沿斜面向下的分力不变，B 对 C 的摩擦力等于 A 物体的重力沿斜面向下的分力不变，故 B 错误；

大鹏老师

C．对 B、C 整体受力分析可知，绳子的拉力先增大后减下，但是不清楚开始状态绳子的拉力与物体 B、C 重力沿斜面向下方向分力大小关系，所以根据平衡条件可知，斜面对 B 的摩擦力可能先增大后减小，故 C 正确；

D．对 B、C 整体受力分析可知，绳子对整体水平方向的拉力先增大后减下，则地面对斜面体的摩擦力先增大后减小，故 D 错误。

故选 C。

3．A

【解析】

【详解】

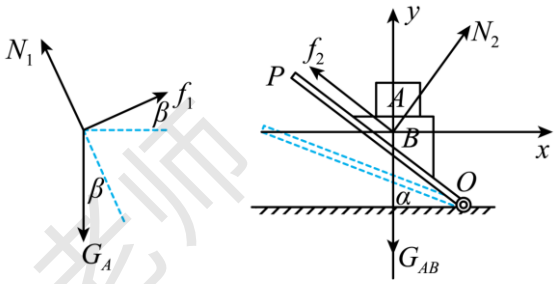


图1　　图2

AB．以 A 为研究对象，A 原来只受到重力和支持力而处于平衡状态，所以 B 对 A 的作用力与 A 的重力大小相等，方向相反；当将 P 绕 O 点缓慢旋转到虚线所示位置，B 的上表面不再水平，A 受力情况如图 1，A 受到重力和 B 的支持力、摩擦力三个力的作用，其中 B 对 A 的支持力、摩擦力的和仍然与 A 的重力大小相等，方向相反，则 B 对 A 的作用力保持不变。开始时物体 A 不受 B 对 A 的摩擦力，B 对 A 的支持力大小与重力相等；后来时设 B 的上表面与水平方向之间的夹角是 β，B 对 A 的支持力、摩擦力的和仍然与 A 的重力大小相等，方向相反，又因为 B 对 A 的作用力保持不变，由于支持力与摩擦力相互垂直

$$N_1 = G_{\mathrm{A}} \cdot \cos\beta$$

所以 A 受到的支持力一定减小了。故 A 正确 B 错误；

C．以 AB 整体为研究对象，分析受力情况如图 2：总重力 G_{AB}、板的支持力 N_2 和摩擦力 f_2，板对 B 的作用力是支持力 $N2$ 和摩擦力 f_2 的合力。由平衡条件分析可知，板 P 对 AB 整体的作用力大小与其总重力大小相等，保持不变。故 C 错误；

D．以 AB 整体为研究对象，分析受力情况如图 2，则

$$f_2 = G_{\mathrm{AB}} \sin\alpha$$

α 减小，f_2 减小。故 D 错误。

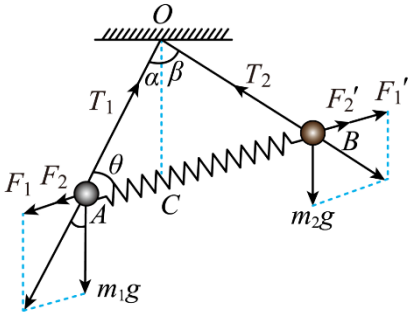
故选 A。

4．C

【解析】

【详解】

对两小球受力分析如图



F_1、F_1' 为 A、B 两小球之间的库仑力，F_2、F_2' 为两小球之间的弹簧弹力，满足

$$F = F_1 + F_2 = F' = F_1' + F_2'$$

对A球受力分析，F、T_1、m_1g、三力满足相似三角形，则有

$$\frac{m_1g}{OC}=\frac{T_1}{OA}=\frac{F}{AC}$$

同理对B球亦有

$$\frac{m_2g}{OC}=\frac{T_2}{OB}=\frac{F'}{BC}$$

当A球的电荷量增大则两球距离会增大，夹角α、β增大，但仍有

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{m_1}{m_2},\quad \frac{AC}{BC}=\frac{m_2}{m_1}$$

绳长不变，C点上移，OC长度变小。

故选C。

5．D

【解析】

【详解】

A．对导线b受力分析，a、b导线间为斥力时b导线才能平衡，根据“同向电流吸引，反向电流排斥”，可知b中的电流方向为垂直纸面向外，故A错误；

C．b导线受力分析如图1所示，$\triangle Oab$与力的矢量三角形相似，有

$$\frac{mg}{Oa}=\frac{T}{Ob}=\frac{F_{安}}{ab}$$

$\frac{mg}{Oa}$不变，而Ob长度也不变，所以拉力T不变，故C错误；

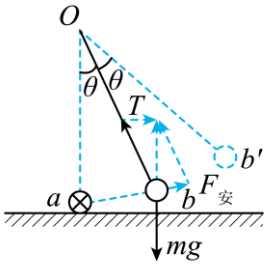


图1

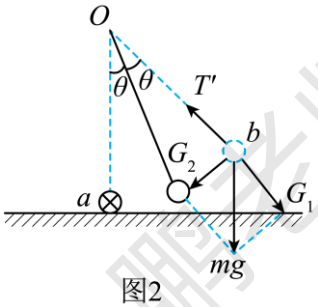


图2

B．ab长度变长，$F_{安}$也得变大，但是到达虚线位置后$ab'<2ab$，由题目可知，a导线在b'处、b处产生的磁感应强度大小之比为

$$\frac{B_b'}{B_b}=\frac{ab}{ab'}$$

又

$$\frac{F_{安}'}{F_{安}}=\frac{ab'}{ab}$$

则

$$\frac{B_b'I_b'}{B_bI_b}=\frac{ab'}{ab}$$

整理得到

$$\frac{I_b'}{I_b}=\left(\frac{ab'}{ab}\right)^2<4$$

故 B 错误；

D．若在虚线位置将电路断开，使 b 中无电流，b 受到的安培力变为零，b 受重力和细线的拉力开始做圆周运动，受力分析如图 2 所示，沿半径方向

$$T'=mg\cos 2\theta$$

沿切线方向

$$mg\sin 2\theta=ma$$

所以加速度为

$$a=g\sin 2\theta$$

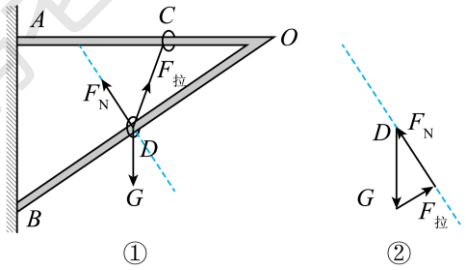
故 D 正确。

故选 D。

6．D

【解析】

【详解】



BC．对 D 单独进行受力分析可知，D 受到重力，绳子的拉力以及杆子的弹力。在 C 环缓慢向左移动的过程中，C 受到的重力不变，杆子给的弹力的方向垂直于杆，如图所示，题意可知三个力处于平衡状态。可知其中绳子的拉力 F_1 由竖直向上偏右，慢慢变为竖直向上偏左，一直增大。杆子给的弹力先减小为 0，然后再增大，方向由竖直向上偏左，减为 0，然后竖直向下偏右。BC 正确；

D．图中可知拉力 F_1 的方向不可能到垂直于杆。垂直于杆时，有

$$OC=\frac{L}{\sin 30^\circ}=2L$$

初始时，OC 为 L，故运动距离小于 L，D 错误；

A．对 C、D 整体进行受力分析，受重力，杆子的弹力，外力。在竖直方向上，重力与 C，D 受到的弹力竖直方向分力平衡。C 受到的弹力竖直向上，由上面分析可知，D 受到的杆子弹力竖直分力先向上，慢慢减小，然后竖直分力向下，慢慢增大。所以 C 受到的弹力一直增大。A 正确；

故选 D。

7．A

【解析】

【详解】

A．作示意图如图 1 所示，设重物所在位置为 C 点，则钢索在 A 点夹角为

$$\angle CAB=90^\circ-\alpha+\theta=\frac{\pi-2\alpha+2\theta}{2}$$

定滑轮只改变钢索拉力的方向，不改变力的大小，则钢索对滑轮的作用力方向沿着∠CAB的角平分线，即

$$F_{合}=2Mg\cos(\frac{\pi-2a+2\theta}{4})$$

由牛顿第三定律可知，滑轮对钢索的作用力

$$F'_{合}=2Mg\cos(\frac{\pi-2a+2\theta}{4})$$

故 A 正确；

B．由题意可知，物体缓慢向上运动，钢索拉力

$$F=Mg$$

故 B 错误；

C．以 B 点为研究对象，受力分析如图 2 所示，可知

$$Mg\cos(\alpha-\theta)=F_B\sin\alpha$$

解得

$$F_B=Mg\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}$$

故 C 错误；

D．以整体为研究对象，钢索也与底座接触，底座对整体的支持力大于$(M+m)g$，故 D 选项错误。

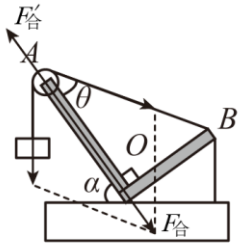


图1

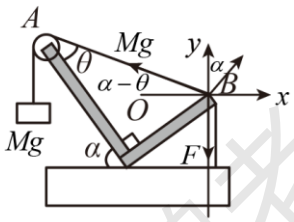


图2

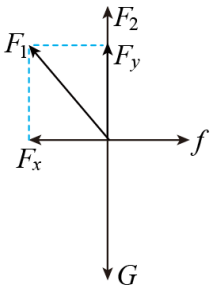
故选 A。

8．C

【解析】

【详解】

飞机受到重力 G、发动机推力 F_1、升力 F_2 和空气阻力 f，重力的方向竖直向下，升力 F_2 的方向竖直向上，空气阻力 f 力的方向与 F_2 垂直，如图



歼−20 战斗机沿水平方向超音速匀速巡航，则有水平方向

$$F_x=f$$

竖直方向

$$F_2+F_y=G$$

$$F_2=kf$$

解得

$$F_y = G - kf$$

则

$$F_1^2 = F_x^2 + F_y^2 = (k^2+1)f^2 - 2kGf + G^2$$

F_1^2 与 f 的函数图像为开口向上的抛物线，其对称轴为

$$f = \frac{kG}{k^2+1}$$

所以当 $f = \frac{kG}{k^2+1}$ 时，F_1^2 取最小值，所以解得最小推力是

$$F_{1\min} = \frac{G}{\sqrt{1+k^2}}$$

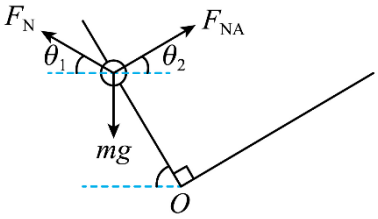
故选 C。

9．D

【解析】

【详解】

AB．如图所示



受力分析小球 a，设弹簧对小球的弹力大小为 F_N，OA 杆对小球 a 的弹力大小为 F_{NA}，设 F_N 与水平方向的夹角为 θ_1，F_{NA} 与水平方向的夹角为 θ_2。根据图中的几何关系有

$$\theta_1=\theta_2=30°$$

根据物体的平衡条件有

$$F_N\cos\theta_1=F_{NA}\cos\theta_2，F_N\sin\theta_1+F_{NA}\sin\theta_2=mg$$

求得

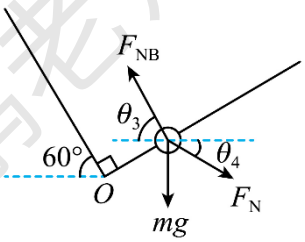
$$F_N=F_{NA}=mg$$

根据胡克定律，有弹簧的压缩量为

$$\Delta x = \frac{F_N}{k} = \frac{mg}{k}$$

故 AB 正确；

C．如图所示



受力分析小球 b，根据如上分析，其所受弹簧的弹力 F_N 也为 mg，OB 杆对小球 b 的弹力为 F_{NB}，设 F_{NB} 与水平方向的夹角为 θ_3，F_N 与水平方向的夹角为 θ_4。根据图中的几何关系有

$$\theta_3=60°，\theta_4=30°$$

根据物体的受力平衡条件有

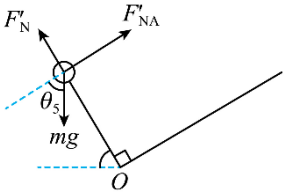
$$F_{NB}\cos\theta_3=F_N\cos\theta_4$$

求得

$$F_{NB}=\sqrt{3}mg$$

故 C 正确；

D．如图所示



当将小球 b 移动至 O 点后对小球 a 受力分析，设 mg 与垂直于 OA 杆方向的夹角为 θ_5。根据图中的几何关系有

$$\theta_5=60°$$

根据物体的受力平衡条件有

$$F'_N=mg\sin\theta_5$$

求得

$$F'_N=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$$

根据胡克定律，有弹簧的压缩量为

$$\Delta x'=\frac{F_N}{k}=\frac{\sqrt{3}mg}{2k}$$

故 D 错误。

故选 D。

10．C

【解析】

【详解】

设开始时 MB 的长度为 L，则开始时刻 M 对地面的压力

$$N=mg-kL$$

设某一时刻绳子与水平直方向的夹角为 θ，则绳子的弹力为

$$F'=k\frac{L}{\sin\theta}$$

其向上分力

$$F_y=F'\sin\theta=kL$$

故物体对地面的压力为

$$N'=mg-kL=N$$

保持不变；因

$$f=\mu N$$

故摩擦力也保持不变，C 正确，ABD 错误。

故选 C。

11．D

【解析】

【详解】

AB．对小球乙受力分析如图 1 所示，由相似三角形知识得

$$\frac{mg}{2R}=\frac{N}{R}=\frac{T}{\sqrt{3}R}$$

解得拴接小球乙的轻绳拉力大小

$$T=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$$

小球乙受到的支持力为

$$N=\frac{1}{2}mg$$

根据牛顿第三定律可知，小球乙对半圆柱体的压力大小为 $\frac{1}{2}mg$，故 AB 错误；

大鹏老师

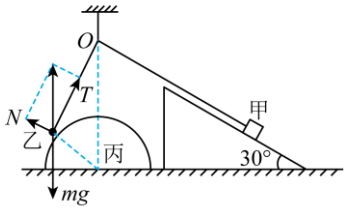


图1

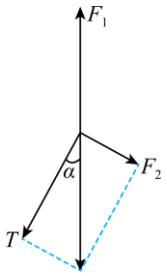


图2

C．设拴接小球乙的轻绳与竖直方向的夹角为 α，由几何关系可知

$$（2R）^2=R^2+（\sqrt{3}R）^2$$

所以连接乙球的轻绳与半圆柱体相切

$$\sin\alpha=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$$

解得

$$\alpha=30°$$

以结点 O 为研究对象，对其受力分析如图 2 所示，拉力 T 和 F_2 的合力与 F_1 等大反向，由平衡关系得

$$F_2=T\tan\alpha$$

代入数据解得

$$F_2=\frac{1}{2}mg$$

物块甲的重力沿斜面向下的分力大小为

$$2mg\sin30°=mg>\frac{1}{2}mg$$

则物块甲所受的摩擦力沿斜面向上，故 C 错误；

D．以小球乙和半圆柱体丙整体为研究对象，由力的平衡条件可知，半圆柱体丙所受的摩擦力方向水平向左，大小等于拉力 T 沿水平向右方向的分力，即

$$f=T\sin\alpha=\frac{\sqrt{3}}{2}mg\times\frac{1}{2}=\frac{\sqrt{3}}{4}\mathrm{mg}$$

故 D 正确。

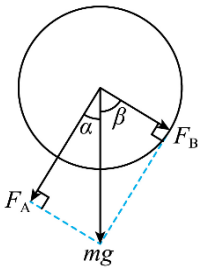
故选 D。

12．C

【解析】

【详解】

空心球对 A、B 的压力如图所示



则空心球对 A 与 B 的压力为

$$F_A=mg\cos\alpha$$

$$F_B=mg\cos\beta$$

A.A、B 静止在水平地面上，则受到的摩擦力分别为

$$f_A=F_A\sin\alpha$$

$$f_{\mathrm{B}}=F_{\mathrm{B}}\sin\beta$$

则 A、B 对地面的摩擦力之比为1：1，故 A 错误；

B.A、B 静止在水平地面上，地面对 A、B 的支持力分别是

$$N_{\mathrm{A}}=mg+F_{\mathrm{A}}\cos\alpha$$

$$N_{\mathrm{B}}=mg+F_{\mathrm{B}}\cos\beta$$

代入数据解得

$$\frac{N_{\mathrm{A}}}{N_{\mathrm{B}}}=\frac{41}{34}$$

故 B 错误；

C.若往球内注入质量为m的水，A、B 仍不滑动，对 A 与 B 的压力为

$$F_{\mathrm{A}}'=2mg\cos\alpha$$

$$F_{\mathrm{B}}'=2mg\cos\beta$$

地面对 A、B 的支持力分别是

$$N_{\mathrm{A}}'=mg+F_{\mathrm{A}}'\cos\alpha$$

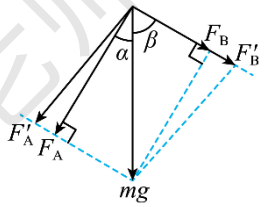
$$N_{\mathrm{B}}'=mg+F_{\mathrm{B}}'\cos\beta$$

则

$$\frac{\Delta N_{\mathrm{A}}}{\Delta N_{\mathrm{B}}}=\frac{16}{9}$$

故 C 正确；

D.如图



适当减小 A、B 间距离，则α增大，则球对 A 的压力增大、球对 B 的压力增大，故 D 错误。

故选 C。

【点睛】

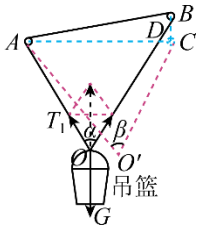
本题考查了共点力的平衡问题，解答此类问题的一般步骤是：确定研究对象、进行受力分析、利用平行四边形法则进行力的合成或者是正交分解法进行力的分解，然后在坐标轴上建立平衡方程进行解答。对于非直角三角形问题，可以根据三角形相似法研究。

13．A

【解析】

【详解】

AB．设未调整前吊篮与细线的交点为 O，BO 与 AC 交于 D 点，调整后吊篮与细线的交点为O'，钉子在 B 处时绳子的拉力为 T_1，$\angle AOB=\alpha$，钉子在 C 处后绳子的拉力为 T_2，$\angle AO'C=\beta$，如下图



由于细线是跨在钉子上，细线上的力的大小处处相等，根据力的平衡条件和平行四边形法则可知，$AO=DO$，$AO'=CO'$，且

$$2T_1\cos\frac{\alpha}{2}=G$$

$$2T_2\cos\frac{\beta}{2}=G$$

因此

$$T_1=\frac{G}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$$

$$T_2=\frac{G}{2\cos\frac{\beta}{2}}$$

由于细线的总长度不变，因此△ABO与△ACO'周长相等，根据几何关系可得

$$\alpha>\beta$$

因此

$$T_1>T_2$$

故调整后细线的张力大小比调整前要小，故 A 正确，B 错误；

CD．设细线在钉子处的夹角为θ，根据上面的分析同理可得，细线对钉子的作用力为

$$F=2T\cos\frac{\theta}{2}$$

其中 T 为细绳的拉力。对于 A 处钉子，由于调整后细线的拉力 T 变小，而 A 钉子处细线的夹角变小，$\cos\frac{\theta}{2}$ 的值变大，因此调整后细线对 A 钉的作用力与该处细线的夹角有关，不能明确是变大还是变小。对于 B 处钉子，调整到 C 处后，细绳拉力变小，细线的夹角增大，$\cos\frac{\theta}{2}$ 的值变小，因此调整后细线对该钉子的作用力变小，故 CD 错误。

故选 A。

14．A

【解析】

【详解】

因为

$$\alpha=30°$$

所以

$$\theta=180°-\alpha=150°$$

因为

$$F_1=F_2$$

根据正弦定理得

$$\frac{F_1}{\sin\beta_1}=\frac{F_2}{\sin\beta_2}$$

解得

$$\beta_1=\beta_2$$

因为

$$\theta+\beta_1+\beta_2=360°$$

大鹏老师

所以

$$\beta_1=\beta_2=105°$$

根据正弦定理得

$$\frac{m_{甲}g}{\sin\beta_2}=\frac{m_{乙}g}{\sin\theta}$$

解得

$$\frac{m_{甲}}{m_{乙}}=\frac{97}{50}$$

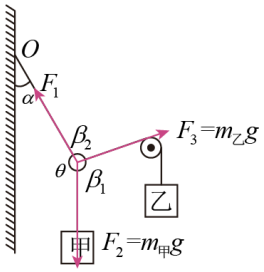
故选 A。

15．D

【解析】

【详解】

设拉力与水平方向夹角为 θ，对石墩受力分析，正交分解，在水平方向



$$T\cos\theta=f$$

在竖直方向

$$T\sin\theta+N=mg$$

又

$$f=\mu N$$

整理得

$$T=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\varphi)}$$

其中

$$\tan\varphi=\frac{1}{\mu}$$

可得

$$\varphi=53^{\circ}$$

当

$$\theta+\varphi=90^{\circ}$$

时，拉力 T 取得最小值，解得

$$\theta=37^{\circ}$$

故选 D。

16．C

【解析】

【详解】

A．初始时轻绳拉力为 T，对小球 Q 受力分析有

$$T=mg=15\text{N}$$

对 P 受力分析有

$$F_{\text{f}}=T\sin37°=9\text{N}$$

故 A 错误；

B．设此过程中小球 Q 与滑轮 1 间的轻绳与竖直方向夹角为θ有

$$T\cos\theta = mg$$

在小球 Q 缓慢移动的过程中θ逐渐增大，$\cos\theta$逐渐减小，所以绳子拉力 T 逐渐增大，故 B 错误；

C．当小球 Q 与滑轮 1 间的轻绳与竖直方向的夹角最大时轻绳拉力最大，对物块 P 受力分析有

$$F_{\mathrm{N}} + T_{\mathrm{m}}\cos 37° = Mg$$

$$T_{\mathrm{m}}\sin 37° = F_{\mathrm{f}}$$

$$F_{\mathrm{f}} = \mu F_{\mathrm{N}}$$

解得

$$T_{\mathrm{m}} = 25\mathrm{N}$$

此时对 Q 受力分析有

$$\cos\theta = \frac{mg}{T_{\mathrm{m}}}$$

解得

$$\theta = 53°$$

故 C 正确；

D．对滑轮 1 受力分析可知，轴对滑轮 1 的作用力大小为

$$F_{\text{轮}} = \sqrt{\left(T\cdot\cos\theta\right)^2 + \left(T - T\cdot\sin\theta\right)^2}$$

又因为

$$T = \frac{mg}{\cos\theta}$$

联立可得

$$F_{\text{轮}} = mg\sqrt{\frac{2}{1+\sin\theta}}$$

故$\theta = 0$时，轴对滑轮 1 的作用力最大，此时

$$F_{\text{轮m}} = \sqrt{2}mg = 15\sqrt{2}\mathrm{N}$$

故 D 错误。

故选 C。

17．C

【解析】

【详解】

A．受力分析如图 1 所示，由正弦定理可得

$$\frac{mg}{\sin\beta} = \frac{F_{\mathrm{T_1}}}{\sin(\beta-\alpha)} = \frac{F_{\mathrm{T_2}}}{\sin\alpha}$$

在重物向上移动的过程中α、β均增加，α增加的角度为β的 2 倍，故

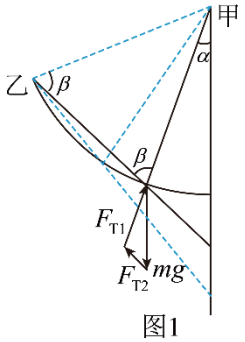


图1

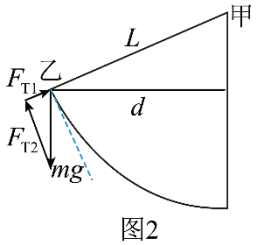


图2

大鹏老师

$$\frac{F_{T_1}}{mg}=\frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin\beta}$$

减小，即 F_{T_1} 始终减小，A 错误；

B．因为α、β始终为锐角，且α始终小于β，由三角函数关系可知

$$\frac{F_{T_2}}{mg}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}<\frac{\sin(\alpha+\theta)}{\sin(\beta+\theta)}<\frac{\sin(\alpha+2\theta)}{\sin(\beta+\theta)}=\frac{F'_{T_2}}{mg}$$

即

$$F_{T_2}<F'_{T_2}$$

即 F_{T_2} 始终增大，B 错误；

CD．如图 2 所示，当重物接近乙时，乙与重物的连线逐渐与重物的轨迹相切，两绳间的夹角逐渐趋近 90°，可认为两拉力垂直，由相似三角形可得

$$\frac{mg}{L}=\frac{F_{T2}}{d}=\frac{F_{T1}}{\sqrt{L^2-d^2}}$$

解得

$$F_{T_1}=\frac{mg\sqrt{L^2-d^2}}{L}$$

$$F_{T_2}=\frac{mgd}{L}$$

C 正确，D 错误。

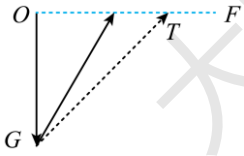
故选 C。

18．C

【解析】

【详解】

AB．根据题意可知 M、N 均保持平衡状态，进行受力分析可知，N 受到竖直向下的重力及水平方向的拉力 F，变化的绳子拉力 T，如下图所示



向左拉动时，绳子拉力 T 和水平拉力 F 都不断增大，故 AB 错误；

CD．对于 M 的受力，开始时可能是

$$T=mg\sin\theta-f$$

当 T 不断增大的时候，f 减少；当 $T>mg\sin\theta$ 时，随着 T 的增大，f 将反向增大，所以沿斜面的摩擦力 f 可能先减小后增大；也可能是

$$T=mg\sin\theta+f$$

当 T 不断增大的时候，摩擦力 f 增大，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

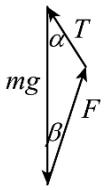
19．B

【解析】

【详解】

大鹏老师

AB．设 OD 绳拉力为 T，与竖直方向夹角为 α，工人拉 CD 绳子的力为 F，与竖直方向夹角为 β，如图所示



由几何关系可知

$$\alpha+2\beta=\frac{\pi}{2}$$

由正弦定理得

$$\frac{T}{\sin\beta}=\frac{F}{\sin\alpha}=\frac{mg}{\sin(\frac{\pi}{2}+\alpha)}\ ①$$

随着王进从 C 点缓慢运动到 E 点的过程中，α 减小，β 增加，可得 F 减小，T 增加

C．由于王进缓慢运动，受力平衡，OD、CD 两绳拉力的合力等于 mg，C 错误；

D．当 β=30º 时，α=30º，代入①可得工人对绳的拉力

$$F=mg\tan 30^{\circ}=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$$

D 错误。

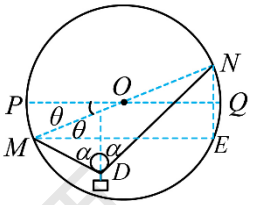
故选 B。

20．C

【解析】

【详解】

AB．左右为同一根绳子，拉力相等，设绳子与竖直方向夹角为 α，并作出辅助线，如图所示



由几何关系可知

$$ME=2R\cos\theta$$

又

$$ME=MD\sin\alpha+DN\sin\alpha=L\sin\alpha$$

整理得

$$\sin\alpha=\frac{2R}{L}\cos\theta\ ①$$

对物体进行受力分析

$$2T\cos\alpha=mg$$

因此

$$T=\frac{mg}{2\cos\alpha}=\frac{mg}{2\sqrt{1-(\frac{2R}{L}\cos\theta)^2}}=\frac{mgL}{2\sqrt{L^2-4R^2\cos^2\theta}}\ ②$$

当转到水平位置时，$\theta=0$，代入②式可得

$$T=\frac{mgL}{2\sqrt{L^2-4R^2}}$$

A、B 错误；

C．由于 α、θ 均为锐角，由①可得，θ 越小，α 越大，当转到水平位置时，$\theta=0$，此时 α 取得最大值，因此 α 先增大，后减小，C 正确；

D．由②可得 θ 越小，绳子拉力越大，因此当 $\theta=0$ 时，绳子拉力最大，因此圆环从图示位置顺时针缓慢转过 2θ 的过程中，轻绳的张力先增大后减小，D 错误。

故选 C。

大鹏老师

21．C

【解析】

【详解】

A．设橡皮条的拉力大小为 T，对 C 有

$$2T\cos 30°=F$$

可知

$$T=\frac{\sqrt{3}}{3}F$$

若 F'沿水平方向，小环只受橡皮条的拉力和 F'，由平衡条件知

$$F'=T=\frac{\sqrt{3}}{3}F$$

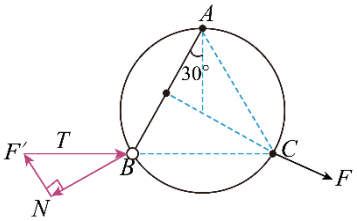
A 错误；

B．若 F'沿竖直方向，则有

$$F'=T\tan 30°=\frac{1}{3}F$$

B 错误；

CD．作出小环的受力图，如图所示



由几何知识知，当 $F'\perp N$ 时，F'有最小值，且最小值为

$$F_{min}'=T\sin 30°=\frac{\sqrt{3}}{6}F$$

C 正确；

D．根据平行四边形定则可知 F'无最大值，D 错误。

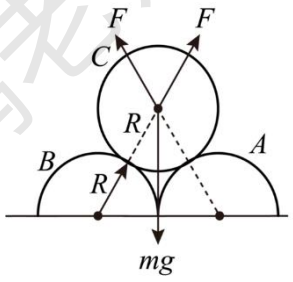
故选 C。

22．C

【解析】

【详解】

B．未拉 A 前，C 受力平衡，如图所示：



根据平衡条件可得

$$2F\cos 30°=mg$$

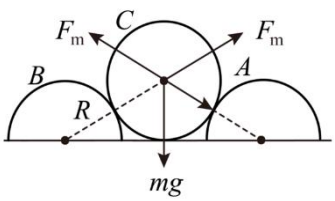
解得 C 受到 B 作用力的大小为

$$F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$$

选项 B 错误；

A．在 A 向右缓慢移动过程中，C 受力平衡，AB 对 C 的支持力 F 的竖直分量不变，始终等于 mg，则 C 对 AB 压力的竖直分量不变，所以 A、B 对地面的压力不变，则地面对 B 的支持力不变，选项 A 错误；

C．C 降落到地面前瞬间，B 对 C 支持力最大为 F_m，如图所示：



则根据力的平衡可得

$$2F_{\mathrm{m}}\cos 60°=mg$$

解得

$$F_{\mathrm{m}}=mg$$

最大静摩擦力至少为

$$f_{\mathrm{m}}=F_{\mathrm{m}}\cos 30^{\circ}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$$

B 对的地面的压力为

$$F_{\mathrm{N}}=m_{\mathrm{B}}g+\frac{1}{2}m_{\mathrm{C}}g=mg$$

B 受地面的摩擦力为

$$f=\mu mg$$

根据题意有

$$f_m=f$$

解得

$$\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$$

所以动摩擦因数的最小值为 $\mu_{\min}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，选项 C 正确；

D．A 移动的整个过程中，A 的位移为

$$x=2(\sqrt{3}-1)R$$

则摩擦力做功大小为

$$W_{\mathrm{f}}=fx=2(\sqrt{3}-1)\mu mgR$$

选项 D 错误。

故选 C。

23．C

【解析】

【详解】

A．由于三个小球质量和电荷量均相等，由对称性可知，三个小球必构成等边三角形，且每个小球受到的电场力相等，设绳的拉力为 T，与水平方向夹角为 θ，两小球之间的距离为 r、一个小球受到另外两个小球的电场力的合力为 F，对其中一个小球受力分析可得

$$T\sin\theta=mg$$

$$T\cos\theta=F=\frac{\sqrt{3}kq^2}{r^2}$$

解得

$$F=\frac{\sqrt{3}kq^2}{r^2}=\frac{mg}{\tan\theta}$$

由几何关系可知，

$$\tan\theta=\frac{\sqrt{L^2-\frac{r^2}{3}}}{\frac{\sqrt{3}}{3}r}=\frac{\sqrt{3L^2-r^2}}{r}$$

整理得

$$F=\frac{\sqrt{3}kq^2}{r^2}=\frac{mgr}{\sqrt{3L^2-r^2}}$$

对比情形 1 和 2 可知，并应用上式可得

$$F_1=\frac{\sqrt{3}kq_1^2}{r_1^2}=\frac{mgr_1}{\sqrt{3L^2-r_1^2}}=\frac{\sqrt{3}mg}{3}$$

$$F_2=\frac{\sqrt{3}kq_2^2}{r_2^2}=\frac{mgr_2}{\sqrt{3(2L)^2-r_2^2}}=\frac{\sqrt{3}mg}{3}$$

解得

$$r_1=\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

$$r_2=\sqrt{3}L$$

故电荷量之间的关系为

$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{1}{2}$$

故 A 错误；

B．同理，分析情形 3 可知

$$F_3=\frac{\sqrt{3}kq_3^2}{r_3^2}=\frac{2mgr_3}{\sqrt{3L^2-r_3^2}}=\frac{2\sqrt{3}mg}{3}$$

解得

$$r_3=\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

故

$$\frac{q_3}{q_2}=\sqrt{2}\frac{r_3}{r_2}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

故 B 错误；

C．同理，分析情形 4 可知

$$F_4=\frac{\sqrt{3}kq_4^2}{r_4^2}=\frac{mgr_4}{\sqrt{3L^2-r_4^2}}=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$$

解得

$$r_4=\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

故

$$\frac{q_4}{q_3}=\frac{\sqrt{2}r_4}{2r_3}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

故 C 正确；

D．以三个小球为整体可知，小球受到的弹力应该等于其总重力，故小球质量越大，弹簧弹力越大，故情形③下弹簧的伸长量最大，故 D 错误；

故选 C。

24．D

大鹏老师

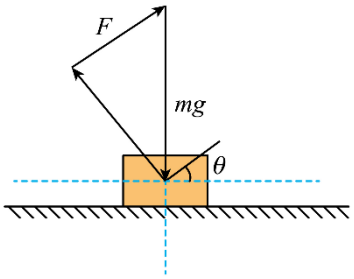
【解析】
【详解】
设地面对物体的支持力和摩擦力的合力与竖直方向夹角为α，可知

$$\tan\alpha=\frac{\mu F_N}{F_N}=\frac{\sqrt{3}}{3}$$

可知

$$\alpha=30^\circ$$

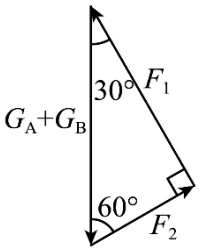
由于物体所受的合力为零，根据力的三角形，当外力F与支持力与摩擦力的合力垂直时，力F取最小值，如图



拉力F的最小值

$$F_{\min}=mg\sin\alpha=10\text{N}$$

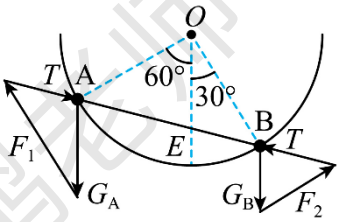
故选 D。
25．D
【解析】
【详解】
AB．如图所示



以两个小球为整体，则有

$$\tan 60^\circ=\frac{F_1}{F_2}=\frac{\sqrt{3}}{1}$$

故 AB 错误。
CD．如图



由几何关系可得

$$\frac{G_A}{F_1}=\frac{OE}{OB},\quad \frac{G_B}{F_2}=\frac{OE}{OA}$$

又

$$OA=OB$$

可得

$$\frac{G_A}{G_B}=\frac{F_1}{F_2}=\sqrt{3}$$

故 C 错误，D 正确。
故选 D。
26．C
【解析】
【详解】
A．以三个物体组成的整体为研究对象，整体只受到重力和桌面的支持力，水平方向不受摩擦力．A 错误；
C．选取 ab 作为整体研究，根据平衡条件，则石块 c 对整体的作用力与整体的重力平衡，则石块 c 对 b 的作用力一定竖直向上，C 正确；
BD．石块 b 对 a 的支持力与其对 a 的静摩擦力的合力，跟 a 受到的重力是平衡力，则 b 对 a 的支持力和静摩擦力的合力方向竖直向上，b 对 a 的支持力与 a 受到的重力不是平衡力，也不等于 a 的重力，故 BD 错误；

大鹏老师

故选 C。
27．D
【解析】
【分析】
【详解】
在水平拉力 F 作用下小球 a 从图示虚线（最初是竖直的）位置开始缓慢向右移动，设细绳与水平方向的夹角为θ，则有
竖直方向有

$$2mg\sin\theta = mg + N$$

水平方向有

$$F = 2mg\cos\theta + f$$

$$f = \mu N$$

联立解得

$$F = 2mg\left(\cos\theta + \mu\sin\theta\right) - \mu mg$$

代入数据整理得

$$\cos\theta + \mu\sin\theta = \frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\theta + 60^\circ\right)$$

由于θ从90°开始逐渐减小，则$\left(\theta + 60^\circ\right)$从$150^\circ$ 逐渐减小时，$\sin\left(\theta + 60^\circ\right)$逐渐增大，则拉力 F 越来越大
当$\theta < 30^\circ$后
竖直方向有

$$2mg\sin\theta + N = mg$$

水平方向有

$$F = 2mg\cos\theta + f$$

$$f = \mu N$$

联立解得

$$F = 2mg\left(\cos\theta - \mu\sin\theta\right) - \mu mg$$

代入数据整理得

$$\cos\theta - \mu\sin\theta = \frac{2}{\sqrt{3}}\cos\left(\theta + 60^\circ\right)$$

由于θ从30°开始逐渐减小，则$\left(\theta + 60^\circ\right)$从$90^\circ$逐渐减小时，$\cos\left(\theta + 60^\circ\right)$逐渐增大，则拉力 F 还是越来越大
所以 D 正确；ABC 错误；
故选 D。
28．A
【解析】
【分析】
【详解】
设 ABO 平面与水平面的夹角为θ，做 AB 中点 E，设 AB=2a，则

$$OE = \sqrt{4a^2 - a^2} = \sqrt{3}a$$

设OO'垂直于ABC所在平面，且O'在ABC所在平面内，则可得

$$O'E=\frac{\sqrt{3}}{3}a$$

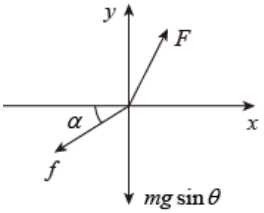
$$OO'=\frac{2\sqrt{6}}{3}a$$

则

$$\sin\theta=\frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\cos\theta=\frac{1}{3}$$

将重力分解成沿平面和垂直于平面，在平面上受力分析如图



f在OA方向，可知$\alpha=30°$，有

$$f=\mu mg\cos\theta$$

$$F_x=f\cos\alpha=\frac{\sqrt{6}}{12}G$$

$$F_y=mg\sin\theta+f\sin\alpha=\frac{3\sqrt{2}}{4}G$$

解得

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\sqrt{\frac{7}{6}}mg$$

故选 A。

29．A

【解析】

【分析】

【详解】

合力大小不变，等于mg，方向不变，两个分力的夹角不变，根据三角形法则作图，如图所示

由图可知，当OA从水平位置转到到竖直位置的过程中，F_A先增大后减小，FB一直减小。

故选 A。

30．D

【解析】

【详解】

A．若黑板擦是沿黑板向上做匀速直线运动的，当F_1的方向沿斜面向上时，F的值最小，

由平衡条件得

$$F=mg\sin60°+f$$

又

$$f=\mu\left(mg\cos60°+F_{磁}\right)$$

联立解得

$$F=(\frac{4\sqrt{3}}{3}-1)\ \mathrm{N}$$

大鹏老师

故 A 错误；

BC．若存在当$F=0$时黑板擦能够做匀速运动的可能，当F_1的方向沿斜面向下时，F_1的值最小，由平衡条件得

$$F_1+mg\sin 60°=f$$

又

$$f=\mu(mg\cos 60°+F_{磁})$$

解得

$$F_1=\frac{\sqrt{3}}{3}$$

由 B 可知 C 错误，故 BC 错误；

D．若存在确定的F_1，使得黑板擦沿黑板向上、向下做匀速直线运动时所需要的力F最小值相同，当F_1方向沿斜面向上时能满足，匀速向上时，由平衡条件得

$$F_1+F=mg\sin 60°+\mu(mg\cos+F_{磁})60°$$

匀速向下时

$$F+mg\sin 60°=F_1+\mu(mg\cos+F_{磁})60°$$

联立解得

$$F_1=\frac{\sqrt{3}}{2}\mathrm{N}$$

故 D 正确。

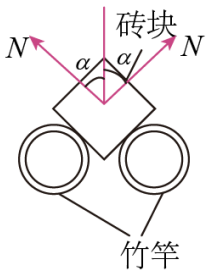
故选 D。

31．B

【解析】

【详解】

A．假定两竹竿与地面倾角为θ、砖块的质量为m，每一根竹竿对砖块的支持力为N，以砖块为研究对象，只在垂直于竹竿平面内对其受力分析，如图所示，依题意有



$$2N\cos\alpha=mg\cos\theta$$

则有

$$N=\frac{mg\cos\theta}{2\cos\alpha}$$

若仅将两竹竿间距增大一些，由于支持力垂直于接触面，α角保持不变，则N不变，故 A 错误；

B．假定砖块与竹竿的动摩擦因数为μ，则摩擦力为

$$f=2\mu N$$

据前面分析，由于N不变，则下滑过程中竹竿对砖块的摩擦力变大，故 B 正确；

C．根据牛顿第二定律有

$$ma=mg\sin\theta-f$$

大鹏老师

解得

$$a=g\sin\theta-\frac{\mu g\cos\theta}{\cos\alpha}$$

由于α角不变，则下滑的加速度不变，故 C 错误；

D．由于下滑加速度变小，根据匀变速直线运动规律，$x=\frac{1}{2}at^2$，则下滑时间不变，故 D 错误。

故选 B。

32．AD

【解析】

【详解】

A．开始时，A 处于静止状态，受重力和弹力作用平衡，则有

$$mg=kx_0$$

可得弹簧的劲度系数为$\frac{mg}{x_0}$，A 正确；

D．若要恰好能使物体 B 离开地面但不继续上升，则此时需要 A 速度恰好为零，且弹簧弹力等于物体 B 的重力，即

$$2mg=kx_1$$

可得

$$x_1=2x_0$$

则该过程中 A 上升高度为$3x_0$，根据能量守恒定律有

$$F\cdot 3x_0=mg\cdot 3x_0+\frac{1}{2}k(2x_0)^2-\frac{1}{2}kx_0{}^2$$

可得

$$F=\frac{3}{2}mg$$

D 正确；

C．由题目分析可知，A 首先做加速度减小的加速运动，再做加速度增大的减速运动，最终速度变为 0，当受力平衡时，速度最大，此时水平恒力等于 A 的重力与弹簧向下的弹力之和，故弹簧不处于原长状态，C 错误；

B．运动过程中，当弹簧向下的弹力超过水平恒力后，A 的机械能开始减小，B 错误。

故选 AD。

33．BC

【解析】

【详解】

A．根据$h-t$图象可知，下落的距离随时间均匀变化，所以小球近似做匀速直线运动，选项 A 错误；

B．小球近似做匀速直线运动，则受力平衡，所以小球运动过程中所受阻力与浮力之和大小等于重力大小，选项 B 正确；

C．根据$h-t$图象可知小球下落的速度为

$$v=\frac{40\times10^{-2}\text{m}}{6\text{s}}=\frac{1}{15}\text{m/s}$$

小球下落过程中受到竖直向下的重力，竖直向上的浮力和阻力，小球做匀速直线运动，受力平衡

$$mg = kv + \rho gV$$

式中 ρgV 表示液体对小球的浮力，代入数据可得比例系数

$$k = \frac{mg - \rho gV}{v} = \frac{4.0\times10^{-6}\times9.8 - 8.0\times10^{2}\times9.8\times5.0\times10^{-10}}{\frac{1}{15}}\text{kg/s} = 5.292\times10^{-4}\text{kg/s}$$

选项 C 正确；

D．若选择一个密度更大，体积相同的小球，浮力 ρgV 不变，根据 $m=\rho V$ 可知小球的质量增大，根据平衡方程

$$mg = kv + \rho gV$$

可知小球的速度增大，所以在相同的时间内小球下落的高度增大，所以该直线可能是图象中的①虚线，选项 D 错误。

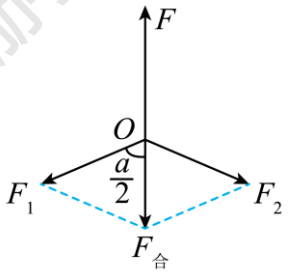
故选 BC。

34．AD

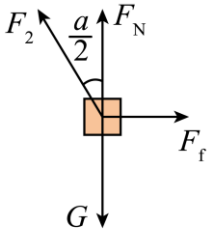
【解析】

【详解】

A．设连接 A、B 的轻绳间夹角为 α，对结点 O 受力分析，如图甲所示



甲



乙

由平衡条件得

$$F_1 = F_2 = \frac{F}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$$

再对物体 B 受力分析，如图乙所示，物体缓慢靠近的过程，水平方向满足

$$F_2\sin\frac{\alpha}{2} = \mu F_N$$

竖直方向满足

$$F_2\cos\frac{\alpha}{2} + F_N = G = mg$$

联立解得

$$F = \frac{2\mu mg}{\mu + \tan\frac{\alpha}{2}}$$

当两物体缓慢靠近的过程，α 逐渐减小，拉力 F 一直增大，A 正确；

BC．设绳子与地面夹角为 θ 时绳子拉力最小，根据平衡条件可得

$$F_2\cos\theta = f = \mu(mg - F_2\sin\theta)$$

大鹏老师

解得

$$F_2=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{\mu mg}{\sqrt{\mu^2+1}\left(\frac{1}{\sqrt{\mu^2+1}}\cos\theta+\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2+1}}\sin\theta\right)}$$

令

$$\sin\beta=\frac{1}{\sqrt{\mu^2+1}}$$

则 β=60°，所以有

$$F_2=\frac{\mu mg}{\sqrt{\mu^2+1}\sin(\beta+\theta)}$$

当

$$\beta+\theta=90°$$

即 θ=30°时，F_2最小，此时两物体相距

$$x=2\times\frac{L}{2}\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

由于绳子拉力先变小再变大，所以 A 或 B 受到的摩擦力可表示为

$$f=F_2\cos\theta$$

由于 θ 增大，$\cos\theta$ 减小，所以摩擦力先减小，并不会一直增大，以整体为研究对象，拉力 F 一直增大，竖直方向受力平衡，则地面对两个物体的支持力一直减小，BC 错误；

D．当两物体间的距离为$\frac{\sqrt{3}}{2}L$时，即

$$\beta+\theta=90°$$

绳上的拉力为

$$F_2=\frac{\mu mg}{\sqrt{\mu^2+1}}=\frac{1}{2}mg$$

D 正确。

故选 AD。

35．AC

【解析】

【详解】

B．开始时物块处于静止状态，弹簧处于压缩状态，此时

$$kx=mg=10\text{N}\ ①$$

当$t=0$时，对物块受力分析，根据牛顿第二定律

$$F+kx-mg=ma\ ②$$

得

$$a=1\text{m/s}^2$$

故 B 错误；

A．当$t=0.1\text{s}$时，对物块受力分析，由于 $F<mg$，则根据牛顿第二定律

$$F+k(x-\Delta x)-mg=ma\ ③$$

因为物块向上做初速度为零的匀加速直线运动，在$t=0.1\text{s}$内

$$\Delta x=\frac{1}{2}at^2=0.005\text{m}$$

联立①②③得

$$k=1000\text{N/m}$$

故 A 正确；

C．当拉力的大小刚好等于物块重力时，弹簧弹力提供外力

$$k(x-\Delta x')=ma$$

得

$$\Delta x'=0.009\text{m}$$

$$\Delta E_{\text{p增}}=mg\cdot\Delta x'=0.09\text{J}$$

故 C 正确；

D．物块的动能增量刚好等于拉力和重力做功之和时，说明弹簧弹力做功为 0，开始时弹簧压缩 x，弹簧弹力做功为 0，则弹簧需伸长 x，即位移 $2x$

$$2x=\frac{1}{2}at'^2$$

$$v=at'$$

物块的动能大小为

$$E_{\text{k}}=\frac{1}{2}mv^2=0.02\text{J}$$

故 D 错误。

故选 AC。

36．BC

【解析】

【详解】

A．在从 0.4m 上升到 0.7m 范围内，只有重力做功，机械能守恒，有

$$\Delta E_{\text{k}}=-mg\Delta h$$

图线的斜率绝对值为

$$k=-mg=\frac{-0.30}{0.7-0.4}\text{N}=-1\text{N}$$

解得

$$m=0.1\text{kg}$$

故 A 错误；

B．根据图乙可知，物块在距离地面的高度为 0.4m 时离开弹簧，物块在距离地面的高度为 0.36m 时速度最大，此时弹簧弹力和重力相等，所以物块在平衡位置处弹簧压缩

$$\Delta x=0.4\text{m}-0.36\text{m}=0.04\text{m}$$

根据胡克定律可得

$$k\Delta x=mg$$

解得

$$k=25\text{N/m}$$

故 B 正确；

C．根据能量守恒定律可知，当物块上升至最大高度时，增加的重力势能等于刚释放物块

时刻弹簧的弹性势能，则

$$E_{\mathrm{p0}}=mg\Delta h'=0.1\times10\times\left(0.70-0.20\right)\mathrm{J}=0.5\mathrm{J}$$

故 C 正确；

D．弹簧和物块组成的系统机械能守恒，以地面为零势能面，初始状态系统的机械能为

$$E=E_{\mathrm{p0}}+mgh_0=0.5\mathrm{J}+0.1\times10\times0.20\mathrm{J}=0.7\mathrm{J}$$

由图乙可知，当 $h=0.36\mathrm{m}$ 时的动能最大为 $E_{km}=0.32\mathrm{J}$，动能最大时，滑块的重力势能与弹簧的弹性势能总和最小，则最小的势能总和为

$$E_{\mathrm{Pmin}}=E-E_{\mathrm{km}}=0.7\mathrm{J}-0.32\mathrm{J}=0.38\mathrm{J}$$

故 D 错误。

37．BD

【解析】

【详解】

A．设轻绳 MP 段长为 L，M、P 两点间的水平距离为 d，由数学关系可得

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\frac{d}{L}$$

将轻绳右端从 P 点沿大圆环缓慢移至 P' 点过程中，L 不变，d 先增大后减小，所以 α 先增大后减小，A 错误；

B．轻绳中的弹力记为 F_{T}，分析轻质动滑轮 C 处的受力情况，有

$$2F_{\mathrm{T}}\cos\frac{\alpha}{2}=m_{\mathrm{B}}g$$

由 α 先增大后减小可知 F_{T} 先增大后减小，B 正确；

C．分析物块 A 的受力情况，由于斜面倾角及动摩擦因数未知，A、B 的质量大小也未知，无法明确 A 所受的摩擦力 F_{fA}，故在轻绳中的弹力先增大后减小的过程中，F_{fA} 的大小变化情况存在多种可能，C 错误；

D．设斜面倾角为 θ，斜面体与水平面之间的摩擦力为 F_{f}，对物块 A 和斜面体整体进行受力分析，正交分解后可得

$$F_{\mathrm{f}}=F_{\mathrm{T}}\cos\theta$$

由于 θ 不变、F_{T} 先增大后减小，所以 F_{f} 先增大后减小，D 正确。

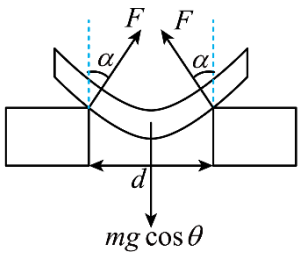
故选 BD。

38．AC

【解析】

【详解】

ABC．檩条给瓦片的支持力如下图所示



两檩条给瓦片的支持力与檩条垂直向上的夹角为 α，则有

$$2F\cos\alpha=mg\cos\theta$$

减小檩条间的距离 d 时，夹角 α 变小，则两檩条给瓦片的支持

大鹏老师

F 力变小，故瓦片与檩条间的弹力变小，最大静摩擦力变小，则瓦片可能下滑，故 AC 正确，B 错误；

D．由于上分析可知，增大檩条间的距离 d 时，夹角 α 变大，瓦片与檩条间的弹力变大，最大静摩擦力变大，则瓦片不可能下滑，处于静止状态，则根据平衡条件可知，瓦片与檩条间的摩擦力将总等于 $mg\sin\theta$ 保持不变，故 D 错误。

故选 AC。

39．AD

【解析】

【详解】

A．在星球表面，根据万有引力等于重力可得

$$\frac{GMm}{R^2}=mg$$

则

$$GM=R^2g$$

所以有

$$G\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3=R^2g$$

解得

$$\rho=\frac{3g}{4G\pi R}$$

根据图像可知，在 A 星球表面的重力加速度为

$$g_{\mathrm{A}}=2a_0$$

在 B 表面的重力加速度为

$$g_{\mathrm{B}}=a_0$$

星球 A 的半径是星球 B 的 2 倍，则 A 与 B 的密度相等，故 A 正确；

B．加速度为零时，受力平衡，根据平衡条件可得

$$m_{\mathrm{P}}g_{\mathrm{A}}=kx_0,\quad m_{\mathrm{Q}}g_{\mathrm{B}}=2kx_0$$

解得

$$\frac{m_{\mathrm{Q}}}{m_{\mathrm{P}}}=\frac{4}{1}$$

故 B 错误；

C．根据运动的对称性可知，P 下落过程中弹簧最大压缩量为 $2x_0$，Q 下落过程中弹簧最大压缩量为 $4x_0$，Q 下落过程中弹簧的最大压缩量是 P 的 2 倍，故 C 错误；

D．根据动能定理可得

$$ma\cdot x=E_{\mathrm{k}}$$

根据图像的面积可得

$$E_{\mathrm{kP}}=\frac{1}{2}m_{\mathrm{P}}\cdot 2a_0\cdot x_0,\quad E_{\mathrm{kQ}}=\frac{1}{2}m_{\mathrm{Q}}a_0\cdot 2x_0$$

所以

$$\frac{E_{\mathrm{kQ}}}{E_{\mathrm{kP}}}=\frac{m_{\mathrm{Q}}}{m_{\mathrm{P}}}=\frac{4}{1}$$

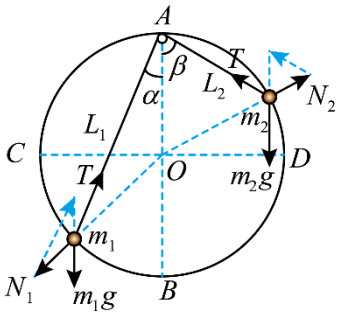
故 D 正确。

故选 AD。

40．AD

【解析】

【详解】



A．如图所示两小球受力如下

可以发现两个小球的受力矢量三角形与对应的几何三角形相似，则对小球 m_1 有

$$\frac{m_1g}{AO}=\frac{N_1}{Om_1}=\frac{T}{L_1}$$

对小球 m_2 有

$$\frac{m_2g}{AO}=\frac{N_2}{Om_2}=\frac{T}{L_2}$$

若 $m_1=m_2$，则小球静止时满

$$L_1=L_2$$

而细绳的长度可调，所以小球可以静止在轨道上关于 AB 对称的任意处，故 A 正确；

B．上式联立可得小球静止时满足

$$m_1g:m_2g=L_2:L_1$$

即

$$m_1:m_2=L_2:L_1$$

故 B 错误；

C．若 α=30°，β=60°，则

$$\frac{AO}{\sin 30^\circ}=\frac{L_1}{\sin 120^\circ}$$

$$\frac{AO}{\sin 60^\circ}=\frac{L_2}{\sin 60^\circ}$$

可得

$$L_1:L_2=\sqrt{3}:1$$

则

$$m_1:m_2=1:\sqrt{3}$$

故 C 错误；

D．若 α=30°，β=60°，则

$$\frac{N_1}{N_2}=\frac{T\cdot Om_1}{L_1}:\frac{T\cdot Om_2}{L_2}$$

可得

$$\frac{N_1}{N_2}=1:\sqrt{3}$$

故 D 正确。

大鹏老师

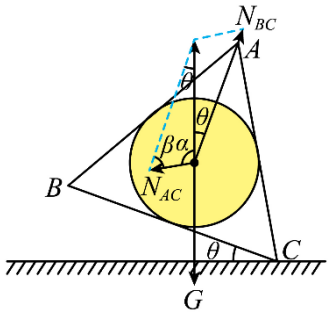
故选 AD。

41．ACD

【解析】

【详解】

对正三角形内部的小球受力分析，如图



由几何关系，随着角 θ 从 0º 到 120º 增大的过程中，角 α 与角 θ 之和保持不变，且

$$\alpha+\theta=120°$$

所以 β 角也保持不变

$$\beta=60°$$

由平衡条件和正弦定理得

$$\frac{G}{\sin\beta}=\frac{F_{AC}}{\sin\theta}=\frac{F_{BC}}{\sin(120°-\theta)}$$

所以球对 AC 边的压力

$$F_{AC}{}'=F_{AC}=\frac{G}{\sin\beta}\sin\theta=\frac{G}{\sin 60°}\sin\theta=\frac{2\sqrt{3}}{3}G\sin\theta$$

球对 BC 边的压力

$$F_{BC}{}'=F_{BC}=\frac{G}{\sin\beta}\sin(120°-\theta)=\frac{G}{\sin 60°}\sin(120°-\theta)=\frac{2\sqrt{3}}{3}G\sin(120°-\theta)$$

角 θ 从 0º 到 120º 增大的过程中，$\sin\theta$ 和 $\sin(120°-\theta)$ 都是先增大后减小，所以球对 AC 边的压力和对 BC 边的压力都是先增大后减小。

当 AC 竖直时

$$\theta=30°$$

解得 BC 边受到的压力为

$$F_{BC}{}'=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$$

当

$$\theta=90°$$

AC 边所受压力最大，为

$$F_{AC}{}'=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$$

故 ACD 正确，B 错误。

故选 ACD。

42．AD

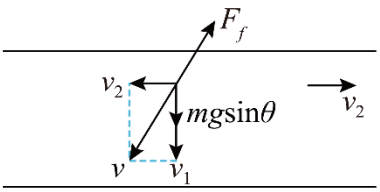
【解析】

【详解】

ABC．设行李箱滑上传送带时的速度为v_1，转盘的速度为v_2，倾斜转盘与水平方向的夹角为θ,则行李箱相对转盘的速度方向如图中的v所示，滑动摩擦力的方向与相对运动方向相反，如图中F_f所示，行李箱所受摩擦力的方向与转盘运动方向不相同。

大鹏老师

沿转盘所在斜面，行李箱受重力分力与滑动摩擦力作用，这两个力的合力方向与行李箱相对转盘的初速度 v、行李箱的对地初速度 v_1 都不在一条直线上，所以行李箱相对转盘和相对地面均做曲线运动，故 A 正确，BC 错误；



D．转盘与行李箱间的摩擦力为滑动摩擦力，增大转盘的转速不会增加二者间的正压力，摩擦力大小不变，故 D 正确。

故选 AD。

43．AC

【解析】

【详解】

设 AC 绳与竖直方向的夹角为 α，整个装置缓慢转动，故一直保持平衡状态，有

$$F_1\sin\alpha = F_2\sin(\theta-\alpha)$$

$$F_1\cos\alpha + F_2\cos(\theta-\alpha) = G$$

得到

$$F_1 = \frac{G\sin(\theta-\alpha)}{\sin\theta}，\quad F_2 = \frac{G\sin\alpha}{\sin\theta}$$

由题意可知，α 由 90°变到 0°，θ 不变，故 F_1 先变大后减小，F_2 逐渐减小，直到当 α=0° 时，F_2 减小到 0。

故选 AC。

44．AC

【解析】

【详解】

A．对物块进行分析，原来物块以 $v_0 = 2.0\ \text{m/s}$ 匀速下滑，受到重力、支持力和摩擦力，合力为零，施加 F 后，合力即为 F，力 F 为变力，根据动量定理有

$$Ft = mv - mv_0$$

在 F-t 图象中面积代表冲量，即

$$Ft = 10\text{N}\cdot\text{s}$$

联立解得

$$v = 12\text{m/s}$$

则小物块到达斜面底端时的动能为

$$E_\text{k} = \frac{1}{2}mv^2 = 72\text{J}$$

故 A 正确；

B．若把小物块下滑看作匀加速直线运动，则位移为

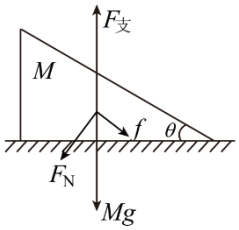
$$x = \frac{v_0+v}{2}t = 14\text{m}$$

但实际上不是匀加速直线运动，故位移不等于 14m，故 B 错误；

C．对斜面体受力分析，如图

大鹏老师

根据牛顿第三定律，可知其中压力 F_N 与摩擦力 f 的合力大小等于小物块的重力 mg，而变力 F 并不会影响斜面体受力，则有



$$F_{支}=Mg+mg=60\text{N}$$

由牛顿第三定律可知，斜面体对水平面的压力大小始终为 60N，故 C 正确；

D．由上面受力分析可知，水平面对斜面体没有摩擦力，故 D 错误。

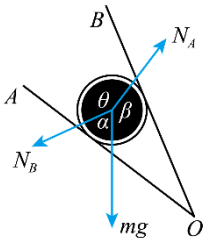
故选 AC。

45．BC

【解析】

【详解】

AB.支架转动过程中，对小球受力分析及各个力的夹角如图



由拉密定理

$$\frac{mg}{\sin\theta}=\frac{N_A}{\sin\alpha}=\frac{N_B}{\sin\beta}$$

因为整个装置以 O 点为轴顺时针缓慢转动（$\angle AOB$ 保持不变），故 $\frac{mg}{\sin\theta}$ 保持不变。在 AO 由水平转动 90°到竖直的过程中，α 从锐角增大到钝角，$\sin\alpha$ 先增大后减小，故挡板 AO 的弹力先增大后减小，B 正确，A 错误；

CD.β 从 180°减小到 90°，$\sin\beta$ 一直增大，故挡板 BO 的弹力一直增大，D 错误，C 正确。

故选 BC。

46．BD

【解析】

【详解】

AB．设绳子与竖直方向的夹角为 θ，桶口的半径为 R，以桶为研究对象由平衡条件得

$$F=\frac{G}{4\cos\theta}$$

根据空间几何关系可得

$$\cos\theta=\frac{\frac{3}{2}R}{2R}=\frac{3}{4}$$

解得

$$F_1=\frac{G}{3}$$

A 错误，B 正确；

CD．仅将四根绳变长，两手及所拉绳子在平面与桶口所在的平面夹角仍为 60°。绳子与竖直方向的夹角变小，绳受到的拉力变大，故 C 错误、D 正确；

故选 BD。

47．　5.80　AC　变小　变大

【解析】

【详解】

（1）[1]弹簧测力计 a 的分度值为 0.1N，需要估读到 0.01N，所以示数为 5.80N。

（2）[2]A．实验中要验证的是弹簧测力计 a、b 对 O 点的拉力用平行四边形定则合成后，与重物 Q 对 O 点的拉力是否等大反向，而 Q 对 O 点的拉力与 Q 的重力相等，所以应测量

大鹏老师

重物 Q 所受的重力，故 A 正确；

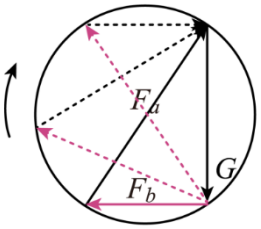
B．弹簧测力计 a、b 对 O 点的拉力的合力与重物 Q 的重力是一对平衡力，而不是同一个力，故 B 错误；

C．连接弹簧测力计 a、b 以及重物 Q 的细线不必等长，但三根细线应与木板平行，以减小作图误差，故 C 正确；

D．改变拉力，进行多次实验，每次 O 点静止时，Q 对 O 点的作用效果与 O 点的位置无关，所以不要求每次都使 O 点静止在同一位置，故 D 错误。

故选 AC。

（3）[3][4]方法一：由题意，根据几何关系可知，弹簧测力计 a、b 对 O 的拉力 Fa、Fb 以及 Q 对 O 的拉力 G 组成的矢量三角形内接于圆内，如图所示，可知在弹簧测力计 a、b 均绕 O 点顺时针缓慢转动直到弹簧测力计 a 方向水平的过程中，弹簧测力计 a 的示数变小，弹簧测力计 b 的示数会变大。



方法二：由题意可知重物对 O 拉力的的对角（即力作用线的反向延长线所在的夹角）始终为 120°，设 F_a 的对角为 α，F_b 的对角为 β，由于三个力中任意两个力的合力一定与另外一个力等大反向，所以根据几何关系以及余弦定理可得

$$\frac{G}{\sin 120^\circ}=\frac{F_a}{\sin\alpha}=\frac{F_b}{\sin\beta}$$

在弹簧测力计 a、b 均绕 O 点顺时针缓慢转动直到弹簧测力计 a 方向水平的过程中，α 由 90°增加至 150°，β 由 150°减小至 90°，所以 F_a 变小，F_b 变大。

48. $\frac{P_0 g}{2\pi d}$　7.96×10^2 N/m　CAEFD　$\frac{g}{6}\left(\frac{P_1}{l_1-l_0}+\frac{P_2}{l_2-l_0}+\frac{P_3}{l_3-l_0}\right)$

【解析】

【详解】

(1)[1]①弹簧的伸长量与齿条下降的距离相等，而齿条下降的距离与齿轮转过的角度对应的弧长相等，齿轮转动一周对应的弧长即为齿轮周长，即托盘中物品质量为 $P_0=5$ kg 时弹簧的伸长量：

$$\Delta x=\pi d$$

因此只要测出齿轮的直径 d 即可计算其周长，然后由胡克定律得：

$$2k\Delta x=P_0 g$$

解得 $k=\frac{P_0 g}{2\pi d}$；

[2]②游标卡尺读数为 0.980 cm，代入：

$$k=\frac{P_0 g}{2\pi d}$$

得 $k=7.96\times10^2$ N/m；

(2)[3]直接测出不同示数下弹簧的伸长量也可以进行实验，即按 CAEFD 进行操作，实验不需要测量齿轮和齿条的齿数，GH 是多余的；

[4]求解形变量

$$\Delta x_1=l_1-l_0$$
$$\Delta x_2=l_2-l_0$$
$$\Delta x_3=l_3-l_0$$

则：

$$k_1=\frac{P_1 g}{2\Delta x_1}$$

$$k_2=\frac{P_2 g}{2\Delta x_2}$$

$$k_3=\frac{P_3 g}{2\Delta x_3}$$

则：

$$k=\frac{k_1+k_2+k_3}{3}$$

联立解得：$k=\frac{g}{6}\left(\frac{P_1}{l_1-l_0}+\frac{P_2}{l_2-l_0}+\frac{P_3}{l_3-l_0}\right)$。

49．（1）$250\sqrt{3}$，900N；（2）$\frac{5}{12}$，与水平方向夹$\arctan\left(\frac{5}{12}\right)$

【解析】

【详解】

（1）当工人斜向下推割草机时，水平方向有

$$F\cos 30°=f$$

代入题中数据可得割草机所受阻力

$$f=250\sqrt{3}\text{N}$$

在竖直方向上有

$$F_{\text{N1}}=mg+F\sin 30^{\circ}$$

解得

$$F_{\text{N1}}=900\text{N}$$

由牛顿第三定律可得，割草机作用在地面上向下的压力大小

$$F'_{\text{N1}}=F_{\text{N1}}=900\text{N}$$

（2）由平衡条件知，在水平方向上

$$F\cos\alpha=\mu F_{\text{N}}$$

在竖直方向上有

$$F_{\text{N}}+F\sin\alpha=mg$$

联立可得

$$F=\frac{\mu mg}{\cos\alpha+\mu\sin\alpha}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\alpha+\varphi)}$$

$$\tan\varphi=\frac{1}{\mu}$$

所以当

$$\alpha+\varphi=90^{\circ}$$

即

$$\tan\alpha=\mu$$

时，F 有最小值为

$$F_{\min}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

代入数据可得

$$\mu=\frac{5}{12}$$

$$\alpha=\arctan\left(\frac{5}{12}\right)$$

50．（1）$\mu=0.75$，$\Delta L_2=4\text{cm}$；（2）$10\sqrt{3}\text{N}$，方向水平向左

【解析】

【详解】

（1）未施加力 F 时，对 Q 受力分析

$$F_{\text{T}}=Mg\sin37°$$

对 P 受力分析

$$F_{\text{T}}=mg$$

联立，可得

$$M=\frac{5}{3}\text{kg}$$

施加外力后对物体 P 受力分析有

$$F_T'\cos60°=mg$$

对 P 受力分析

$$F_T'=Mg\sin37°+\mu Mg\cos37°$$

联立，可得

$$\mu=0.75$$

由胡克定律有

$$F_{\text{T}}=k\Delta L_1，\quad F_{\text{T}}'=k\Delta L_2$$

联立，可得

$$\Delta L_2=4\text{cm}$$

（2）斜面体及 P、Q 组成的整体在水平方向受力平衡

$$F=F_{\text{f}}，\quad F=mg\tan60°$$

解得

$$F_{\text{f}}=10\sqrt{3}\text{N}$$

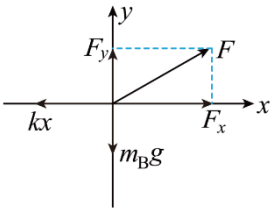
大鹏老师

由牛顿第三定律有，地面受到的摩擦力大小为$10\sqrt{3}$N，方向水平向左。

51.（1）$3\sqrt{3}$cm；（2）摩擦力f的大小为 5N，方向沿斜面向下

【解析】

【详解】



（1）以轻绳 OB 和物块 B 为研究对象，受力如图并正交分解

根据平衡条件，在 x 上有

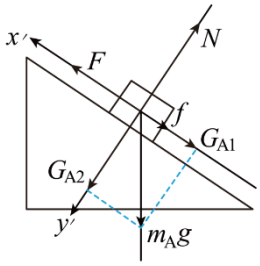
$$kx - F\sin 60° = 0$$

在 y 轴上有

$$F\cos 60° - mBg = 0$$

联立解得

$$F=30\text{N},\quad x=3\sqrt{3}\text{cm}$$



（2）物块 A 受力如图并正交分解

据平衡条件，在 x 方向上有

$$F - mAg\sin 30° - f = 0$$

解得

$$f=5\text{N}$$

方向沿斜面向下

52.（1）0.75；（2）17N；（3）$F_2=\dfrac{240}{7}$N；$\mu_2=\dfrac{4}{7}$

【解析】

【详解】

(1)木块在木楔斜面上匀速向下运动时，有

$$mg\sin\theta = \mu_1 mg\cos\theta$$

即

$$\mu_1 = \tan\theta = 0.75$$

(2)木块在力 F_1 作用下沿斜面向上加速运动，根据牛顿第二定律有

$$F_1 - mg\sin\theta - f_1 = ma$$
$$f_1 = \mu_1 mg\cos\theta$$

解得

$$F_1 = 17\text{N}$$

(3)木块在力 F_2 作用下沿斜面向上匀速运动，根据平衡条件有

$$F_2\cos\theta = mg\sin\theta + f_2$$
$$f_2 = \mu_2(F_2\sin\theta + mg\cos\theta)$$

解得

$$F_2 = \frac{240}{7}\text{N}$$

大鹏老师

因为木块及木楔均处于平衡状态，整体受到地面的摩擦力等于 F_2，即

$$f_{地}=F_2=\frac{240}{7}\text{N}$$

整体受到地面的支持力

$$F_{N地}=(M+m)g=60\text{N}$$

动摩擦因数的最小值

$$\mu_2=\frac{f_{地}}{F_{N地}}=\frac{4}{7}$$

53．(1)向右　(2) $\frac{\sqrt{2}kx}{1-2\mu-\mu^2}$　(3)0.41

【解析】

【详解】

(1)设锁舌 D 下表面受到的静摩擦力为 F_{f1}，则其方向向右。

(2)设锁舌 D 受锁槽 E 的最大静摩擦力为 F_{f2}，正压力为 F_N，下表面的正压力为 F，弹力为 kx，如图所示，由力的平衡条件可知

$$kx+F_{f1}+F_{f2}cos45°-F_{N}sin45°=0$$

$$F-F_{N}cos45°-F_{f2}sin45°=0$$

$$F_{f1}=\mu F$$

$$F_{f2}=\mu F_{N}$$

联立上式解得正压力大小

$$F_{N}=\frac{\sqrt{2}kx}{1-2\mu-\mu^2}$$

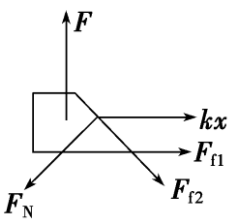
(3)令 F_N趋近于∞，则有

$$1-2\mu-\mu^2=0$$

解得

$$\mu=\sqrt{2}-1\approx0.41$$

54．（1）$\frac{\sqrt{3}-1}{2}R$；（2）见解析



【解析】

【详解】

（1）当$\theta=30°$时，绳中点 C 距圆心 O 距离为

$$OC=\frac{\sqrt{3}}{2}R$$

大鹏老师

$$AC=\frac{R}{2}$$

环静止于 D 点时，设 AD 与对称轴夹角为 α ,由重物处于静止，有

$$T=mg$$

对环 C 受力分析，根据平衡条件有

$$\frac{Mg}{2}=T\cos\alpha$$

$$\cos\alpha=\frac{Mg}{2T}=\frac{\sqrt{2}mg}{2mg}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

解得

$$\alpha=45^{\circ}$$

$$CD=AC\cot 45^{\circ}=\frac{R}{2}$$

三者均处于静止状态时环 C 的位置 D 为 O 正上方

$$OD=OC-CD=\frac{\sqrt{3}-1}{2}R$$

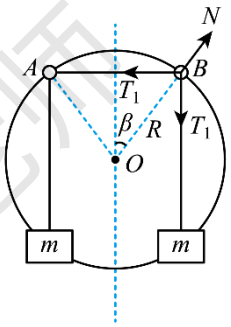
（2）系统可以处于的平衡状态有

①两环同时位于大圆环底端；

②两环同时位于大圆环顶端；

③两环一个位于大圆环顶端，一个位于大圆环底端

④系统平衡时两小环 A、B 的位置关于大圆环竖直对称轴对称，设平衡时两小环在大圆环竖直对称轴两侧 β 位置上，如图所示对重物 m 有



$$T_1=mg$$

对小环 A 受力如图，由共点力平衡条件，绳拉力合力与支持力 N 等大反向

$$\beta=45°$$

55．(1)150N，方向沿木棍向上；(2)0.6；(3) 480N

【解析】

【详解】

(1)从右侧视角分析，在沿斜坡方向根据平衡条件

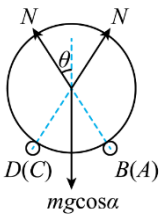
$$2f=mg\sin\alpha$$

解得

$$f=150\text{N}$$

方向沿木棍向上

(1)由底部沿木棍向上看，受力关系如图所示



图中 θ 角满足

$$\sin\theta=\frac{d}{2R}$$

解得

$$\theta=37°$$

根据平衡条件

$$2N\cos\theta=mg\cos\alpha$$

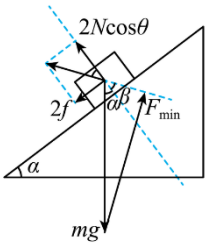
解得

$$N=250\text{N}$$

所以动摩擦因数

$$\mu=\frac{f}{N}=0.6$$

(3)从右侧视角受力分析，如图所示



因木棍提供的支持力合成为$2N\cos\theta$，摩擦力合成为

$$2f=2\mu N$$

故这两个力的合力方向固定，图中β角满足

$$\tan\beta=\frac{2f}{2N\cos\theta}=\frac{\mu}{\cos\theta}=\frac{3}{4}$$

故

$$\beta=37°$$

现问题变为“物体受重力、木棍提供的力和拉力三力平衡，拉力最小值为多少”，根据力学平衡的矢量三角形得

$$F_{\min}=mg\sin 74^{o}$$

解得

$$F_{\min}=480\text{N}$$

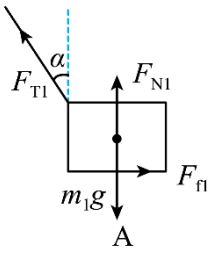
56．(1)10N；(2)5.2N；(3)28N

【解析】

【详解】

(1)由B与E之间由绳连接，当E向左发生滑动时必定拖着B向右滑动，且B仅在水平方向上移动，所以A静止不动， A与B之间存在滑动摩擦。

对A进行受力分析如图，除重力m_1g和绳子的张力F_{T1}外，还受到来自B的支持力F_{N1}和滑动摩擦力F_{f1}，在水平方向上受力平衡



$$F_{\text{f1}}-F_{\text{T1}}\sin\alpha=0$$

竖直方向上受力平衡

$$F_{\text{T1}}\cos\alpha+F_{\text{N1}}-m_1g=0$$

以及由滑动摩擦力规律

$$F_{\text{f1}}=\mu_1F_{\text{N1}}$$

解得

$$F_{\text{T1}}=\frac{\mu_1m_1g}{\mu_1\cos\alpha+\sin\alpha}=10\text{N}$$

(2)由上一问求得A对B的压力

$$F_{\text{N1}}=m_1g-F_{\text{T1}}\cos\alpha=12\text{N}$$

大鹏老师

ABCDE 均在竖直方向上受力平衡，设 B 对 C 的压力大小为 F_{N2}，C 对 D 的压力大小为 F_{N3}，D 对 E 的压力大小为 F_{N4}，E 对地面的压力大小为 F_{N5}，分别对 BCDE 在竖直方向上受力平衡应有

$$F_{N1}+m_2g-F_{N2}=0$$

即

$$F_{N2}=F_{N1}+m_2g=22\text{N}$$

由

$$F_{N2}+m_2g-F_{N3}=0$$

即

$$F_{N3}=F_{N2}+m_2g=32\text{N}$$

由

$$F_{N3}+m_2g-F_{N4}=0$$

即

$$F_{N4}=F_{N3}+m_2g=42\text{N}$$

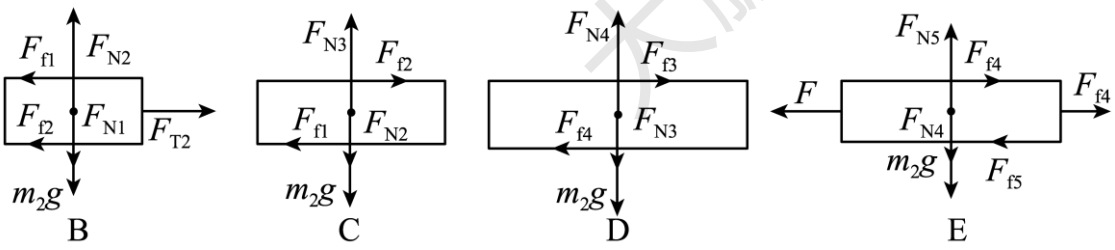
由

$$F_{N4}+m_2g-F_{N5}=0$$

即

$$F_{N5}=F_{N4}+m_2g=52\text{N}$$

(3)设 *BE* 间绳子张力为 F_{T2}，画出 BCDE 的完整受力分析图



（其中 F_{f2} 与 F_{f4} 的方向可以如此得到：假设 *BC* 之间光滑，则 B 有相对于 C 向右运动的趋势，则 B 对 C 的摩擦力方向向右，同理亦可得 D 对 E 的摩擦力方向向右）

其中，由 *CD* 的水平方向受力平衡可以得到

$$F_{f2}=F_{f3}=F_{f4}$$

而 *BC*、*CD*、*DE* 间的最大静摩擦分别为

$$F_{f2max}=\mu_2F_{N2}=8.8\text{N}$$

$$F_{\mathrm{f3max}}=\mu_3 F_{\mathrm{N3}}=9.6\mathrm{N}$$

$$F_{\mathrm{f4max}}=\mu_4 F_{\mathrm{N4}}=8.4\mathrm{N}$$

可以看出 *DE* 间最大静摩擦力最小，在 *BC* 、 *CD* 、 *DE* 之间， *DE* 最先发生滑动，即

$$F_{\mathrm{f}2}=F_{\mathrm{f3}}=F_{\mathrm{f4}}=F_{\mathrm{f4max}}=8.4\mathrm{N}$$

由 *B* 水平方向受力平衡得

$$F_{\mathrm{f1}}+F_{\mathrm{f}2}-F_{\mathrm{T2}}=0$$

由 *E* 水平方向受力平衡得

$$F-F_{\mathrm{f4}}-F_{\mathrm{T2}}-F_{\mathrm{f5}}=0$$

且由第一问得

$$F_{\mathrm{fl}}=F_{\mathrm{T1}}\sin\alpha=6\mathrm{N}$$

解得

$$F=F_{\mathrm{f4}}+F_{\mathrm{f1}}+F_{\mathrm{f}2}+F_{\mathrm{f5}}=28\mathrm{N}$$

大鹏老师

大鹏老师