



重点突破

重点一 平衡



重点

研析

物体在力的作用下的平衡,是高中物理的基础内容,也是高中物理的重点内容之一。首先要建立起平衡状态和平衡条件的因果关系:加速度为零的状态为平衡状态,它包括静止和匀速直线运动状态,这里要特别区别:速度为零的瞬间不一定是平衡状态,因为它可能存在瞬时加速度,合力为零是物体处于平衡状态的条件。其次是要会解决实际情形下物体的平衡状态的相关问题。纵观各种形式的高考题,平衡问题是常考问题,通常以选择题的形式出现或在大题中以第一问的方式出现。对于物体的平衡,实际上要解决两大类问题:第一,已知物体的受力情况,判断物体是否处于平衡状态;第二,已知物体处于平衡状态(或要求物体处于平衡),研究物体的受力情形(某力的大小和方向)。解决上述问题时,通常可采用整体法和隔离法、计算法和图像法,还要能用平行四边形定则(最好学会用三角形法则)和正交分解法去处理有关力的合成和分解,需要时还要用力的独立作用原理和等效变换的思想去分析、简化、解决各种情形下的物体的平衡。



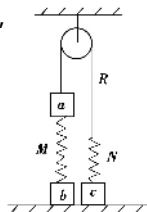
典

例

考点一 弹簧参与的平衡问题

调研

【调研1】如图1-1-1所示, a 、 b 、 c 为三个物块, M 、 N 为两个轻质弹簧, R 为跨过光滑定滑轮的轻绳,它们连接如图并处于平衡状态。



- A. 有可能 N 处于拉伸状态而 M 处于压缩状态
 B. 有可能 N 处于压缩状态而 M 处于拉伸状态
 C. 有可能 N 处于不伸不缩状态而 M 处于拉伸状态
 D. 有可能 N 处于拉伸状态而 M 处于不伸不缩状态。

解析 对于轻绳,它只能提供拉力或不提供力,因此轻质弹簧 N

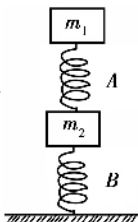
图 1-1-1

不能处于压缩状态,选项 B 错误。当 N 处于自然长度时,轻绳的拉力为零,所以物块 a 的重力与弹簧 M 的弹力相等,故选项 C 错误。当 N 处于拉伸状态,若拉力与物块 a 的重力相等,则选项 D 正确;若拉力小于物块 a 的重力,则选项 A 正确。综上所述,选项 AD 正确。

知识链接 轻绳和轻弹簧的施力比较:轻绳只能提供拉力或不提供力(松弛或直而不绷状态),不能提供推力,在发生形变的瞬间,绳的张力可以发生突变;轻弹簧既可以提供拉力或不提供力(处于原长状态),也可以提供推力,发生形变的瞬间,弹力不突变。



【调研2】如图1-1-2所示,劲度系数为 k_1 的轻质弹簧A两端分别与质量为 m_1 、 m_2 的物块1、2拴接,劲度系数为 k_2 的轻质弹簧B上端与物块2拴接,下端压在桌面上(不拴接),整个系统处于平衡状态,现施力将物块1缓慢地竖直上提,直到弹簧B的下端刚脱离桌面,求:在这一过程中物块1的高度增加了多少?



解析 如图的平衡状态下,弹簧A和B均处于压缩状态,设A的压缩量为 x_1 ,对A而言,由平衡方程 $m_1g = k_1x_1$ 得 $x_1 = \frac{m_1g}{k_1}$;又设B的

压缩量为 x_2 ,对B而言,由平衡方程 $(m_1 + m_2)g = k_2x_2$ 得 $x_2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2}$.在施力将物块1缓慢地竖直上提时,可视为平衡状态,当弹簧B的下端刚脱离桌面时,弹簧A应处于拉伸状态,而弹簧B则刚好处于自然长度.设此时A的拉伸量为 x_3 ,其拉力大小应为物块2的重力,故有 $x_3 = \frac{m_2g}{k_1}$.在这一过程中物块1的高度增加为 $x = x_1 + x_2$

$$+ x_3 = \frac{m_1g}{k_1} + \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2} + \frac{m_2g}{k_1} = (m_1 + m_2)g \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right).$$

技巧点拨 在涉及弹簧的平衡问题中,要注意(1)弹簧所处的状态,即拉伸、压缩和自然长度状态;(2)形变量是针对自然长度而言的,在仅知道弹力的大小时,要注意多解.

考点二 电场力参与的平衡问题

【调研3】如图1-1-3所示,质量、电量分别为 m_1 、 m_2 、 q_1 、 q_2 的两个小球,用绝缘细线悬吊于同一点,静止后它们恰好位于同一水平面上,细线与竖直方向间夹角 $\alpha > \beta$,由此可知

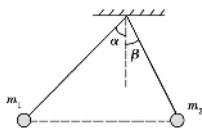


图1-1-3

A. $m_1 = m_2$; $q_1 < q_2$, 且 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$

B. $m_1 = m_2$; $q_1 < q_2$, 且 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

C. $q_1 < q_2$; $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$

D. q_1 、 q_2 不一定相等; $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$

解析 m_1 、 m_2 均受三个力的作用(重力、拉力和库仑力)而处于平衡状态,由平衡条件知:重力和库仑力的合力与绳的拉力

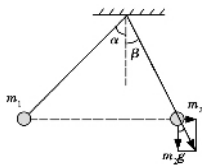


图1-1-4

等值反向.如图1-1-4所示,在直角三角形中, $\tan \beta = \frac{F_{12}}{m_2g}$...①.对于 m_1 同理可得:

$$\tan \alpha = \frac{F_{21}}{m_1g} \dots \text{②} \quad \text{其中 } F_{12} = F_{21} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad \text{联立①②得: } \frac{m_1}{m_2} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \quad \text{等式与 } q_1、q_2 \text{ 的大}$$

小无关,选项 D 正确。

方法探究 上述解法是建立在两球静止后它们恰好位于同一水平面上的,若两球静止在任意位置,则重力和库仑力的合力与拉力等值反向的力所构成的是一个斜三角形,那么就要用正弦定理解答。对于三力作用下的平衡问题,可以将三力置于同一三角形之中,用三角函数关系就可以建立关于力的平衡的等式,这样解答简洁且无需用正交分解来求。

考点三 磁场力(安培力、洛伦兹力)参与的平衡问题

【调研 4】在倾角为 θ 的光滑斜面上,水平放置一根长为 L 、质量为 m 的通电导体棒,电流的方向由 a 到 b ,如图 1-1-5 所示。欲使导体棒 ab 静止在斜面上,则所加匀强磁场的磁感应强度 B 和磁场方向是

- A. $B = mg \sin \theta / IL$, 垂直斜面向上
 B. $B = mg \sin \theta / IL$, 垂直斜面向下
 C. $B = mg \tan \theta / IL$, 竖直向上
 D. $B = mg / IL$, 水平向左

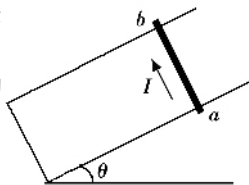


图 1-1-5

解析 依题意,静止在光滑斜面上的通电导体棒受三个力的作用而处于平衡状态,即重力、支持力和安培力。作出该通电导体棒受力的侧视图,如图 1-1-6 所示。显然,安培力的方向只有在竖直向上和垂直斜面向下(右偏)之间时,导体棒才有可能静止在光滑的斜面上。由此可判定选项 B 错误。现在由平衡条件来判定力的大小,当安培力竖直向上且与重力相等时,即 $BIL = mg$, $B = mg / IL$, 选项 D 正确;当安培力沿

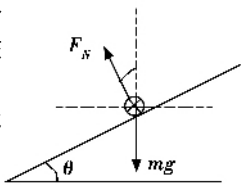


图 1-1-6

斜面向上且与重力沿斜面向下的分力相等时,即 $BIL = mg \cdot \sin \theta$, $B = mg \sin \theta / IL$, 选项 A 正确;当安培力水平向右时,则重力与安培力的合力与支持力等值反向,即 $\tan \theta = \frac{BIL}{mg}$, $B = mg \tan \theta / IL$, 选项 C 正确。综合以上分析,选项 ACD 正确。

评价探究 本题中已知一个力的大小和方向(重力),另一个力的方向已知(垂直斜面向上),由三力平衡的条件可判定出第三个力的方向所在的范围(安培力),这样就能确定符合题设的安培力,再由力的平衡条件可求出磁感应强度的大小。若进一步拓展的话,还可以研究导体棒 ab 静止在斜面上时,所需的磁感应强度的最小值及其方向。

考点四 平衡问题的动态分析

【调研 5】用与竖直方向成 θ 角($\theta < 45^\circ$)的倾斜轻绳 a 和水平轻绳 b 共同固定一个小球,这时绳 b 的拉力为 F_1 。现保持小球在原位置不动,使绳 b 在原竖直平面内逆时针转过 θ 角固定,绳 b 的拉力变为 F_2 ,再转过 θ 角固定,绳 b 的拉力变为 F_3 ,如图 1-1-7 所示,则

- A. $F_1 = F_3 > F_2$
 B. $F_1 < F_3 < F_2$
 C. $F_1 = F_3 < F_2$
 D. $F_1 < F_2 < F_3$

解析 由题给条件知:小球的位置始终不动,只改变绳 b 的拉力的方向,所以该过程属于动态平衡.作出力的矢量三角形如图 1-1-8 所示,重力 G 、两绳的拉力 F_a 、 F_b 组成封闭的矢量三角形,当绳 b 由水平转过 θ 角时, F_2 与 F_a 垂直,此时 F_2 取最小值,再转过 θ 角时,绳 b 的拉力变为 F_3 ,根据对称性, F_3 与 F_1 的大小相等.因此用动态的观点看,当绳 b 在竖直平面内逆时针转动时, F_b 先减小后增大,而 F_a 单调减小,从图中可以清楚地看出这一变化趋势,故选项 A 正确.

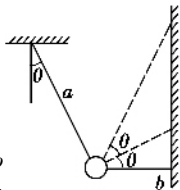


图 1-1-7

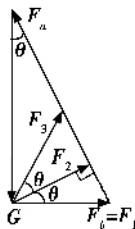


图 1-1-8

方法探究 动态平衡问题最常见的解决方法有两种:第一,图像法(一般为三个力).根据力的平衡条件,将两个力合成后与第三个力(该力为恒力)等值反向,或三个力首尾依次相连组成一个封闭三角形.按照某个力的变化趋势作出变化后的封闭三角形,便可以判断各力的变化情况.同时也可以数学计算的方法确定力的大小关系.第二,计算法.根据力的平衡条件,建立力的平衡方程(可用正交分解法建立 x 和 y 方向的平衡方程),解方程便可得到各力与变量间的关系,从而可知道动态变化的趋势或走向.

考点五 平衡中的临界、极值问题

【调研 6】用细绳 AC 和 BC 吊起一重物,两绳与竖直方向的夹角如图 1-1-9 所示, AC 能承受的最大拉力为 100 N , BC 能承受的最大拉力为 150 N ,为使绳子不断裂,所吊重物的重力不得超过多少牛?

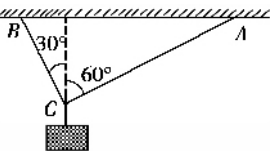


图 1-1-9

解析 对于结点 C ,受三个力的作用,即竖直向下的拉力(大小等于重物的重力)、沿细绳向上的拉力 T_A 和 T_B .将 T_A 和 T_B 合成后必与重物的重力等值反向,如图 1-1-10 所示.在直角三角形中由三角函数的关系得: $T_A = T_B \cdot \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} T_B$.

当 $T_B = 150\text{ N}$ 时, $T_A = \frac{\sqrt{3}}{3} \times 150\text{ N} = 50\sqrt{3}\text{ N} < 100\text{ N}$,所以为使绳子不断裂,当 BC 能承受的最大拉力为 150 N 时,所对应的重物的重力为

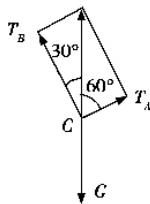


图 1-1-10

其最大值. 由三角函数关系得 $G_{\max} = \frac{T_{B\max}}{\cos 30^\circ} = \frac{150}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \text{ N} = 100\sqrt{3} \text{ N}$.

方法探究 本题属于多条件问题, 首先要作出合理的判断, 即要判断哪根绳子先断. 可从计算的角度, 也可以从图像的角度. 然后以先断的绳达最大值为临界条件, 用平衡问题的研究方法计算出重物的最大值.



强化闯关

1. (经典题) 如图 1-1-11 所示, 一个物体 M 放在粗糙的斜面上保持静止. 现用由零逐渐增大的水平的外力 F 推物体时, M 仍保持静止状态, 则

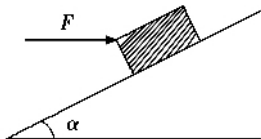


图 1-1-11

- A. 物体 M 受到的静摩擦力一定减小
- B. 物体和斜面间的摩擦系数 μ 增大
- C. 物体所受合外力增大
- D. 物体受到的斜面支持力一定增大

2. (基础题) 如图 1-1-12 所示, OP 为粗糙的水平杆, OQ 为光滑的竖直杆, 质量相同的两个小环 a 、 b 通过细线连接套在杆上. a 环在 A 位置时平衡, 当 a 环移到 A' 位置也恰好平衡. 在 A 位置时水平杆受到的压力为 N_1 , 细线的拉力为 T_1 , 在 A' 位置时水平杆受到的压力为 N_2 , 细线的拉力为 T_2 . 则下述结论正确的是

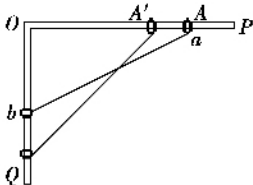


图 1-1-12

- A. $N_1 > N_2$, $T_1 = T_2$
- B. $N_1 = N_2$, $T_1 > T_2$
- C. $N_1 = N_2$, $T_1 < T_2$
- D. $N_1 > N_2$, $T_1 > T_2$

3. (创新题) 如图 1-1-13 所示, 带有等量异种电荷的 A 、 B 两球用线悬吊, 现将该装置放置在方向斜向上方的匀强电场中, 当两球稳定后可能是哪个图

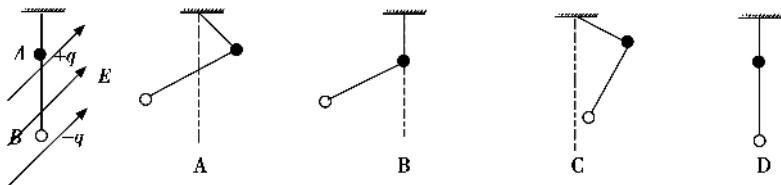


图 1-1-13

4. (拔高题) 如图 1-1-14 所示, OA 为遵从胡克定律的弹性轻绳, 其一端固定于天花板上的 O 点, 另一端与静止在动摩擦因数恒定的水平地面上的滑块 A 相连. 当绳处



于竖直位置时,滑块 A 对地面有压力作用. B 为紧挨绳的一光滑水平小钉,它到天花板的距离 BO 等于弹性绳的自然长度. 现有一水平力 F 作用于 A ,使 A 向右缓慢地沿直线运动,则在运动过程中

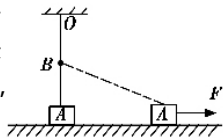
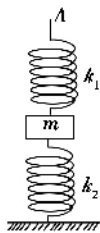


图 1-1-14

- A. 水平拉力 F 保持不变
 B. 地面对 A 的摩擦力保持不变
 C. 地面对 A 的摩擦力变小
 D. 地面对 A 的支持力保持不变

5. (拔高题)劲度系数为 k_2 的轻弹簧竖直地固定在桌面上,上端连一质量为 m 的物块,另一劲度系数为 k_1 的轻弹簧竖直地固定在物块上,如图 1-1-15 所示. 现将弹簧 k_1 的上端 A 竖直地向上提高一段距离 L 后,弹簧 k_2 的受力大小恰好为 $\frac{2}{3}mg$, 求 A 提高的距离 L .



6. (拔高题)设在地面上方的真空室内,存在匀强电场和匀强磁场,已知电场强度和磁感应强度的方向是相同的,电场强度的大小 $E = 4.0 \text{ N/C}$, 磁感应强度的大小 $B = 0.15 \text{ T}$. 今有一带负电的质点以 $v = 20 \text{ m/s}$ 的速度在此区域内沿垂直场强方向做匀速直线运动,求此带电质点的电量与质量之比 $\frac{q}{m}$ 以及磁场的有可能方向(角度可用反三角函数表示).

7. (经典题)一光滑的球,重量为 G , 半径为 R , 靠着墙静止在水平地面上. 现在用一厚为 h ($h < R$) 的木块塞在球的左下边,如图 1-1-16 所示,若用水平力 F 推木块,忽略各接触面间的摩擦力,则当 F 至少为多少时,才能将球从地面上顶起?

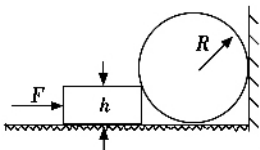


图 1-1-16

参考答案

1. D 作出物体 M 的受力图,如图 1-1-17 所示. 将三个力分解在沿斜面和垂直斜面的方向上,若 $F \cdot \cos \alpha = G \cdot \sin \alpha$, 则物体没有运动趋势,此状态的静摩擦力为零——临界状态;若 $F \cdot \cos \alpha > G \cdot \sin \alpha$, 则物体有沿斜面向上的运动趋势,静摩擦力方向沿斜面向下,其大小 $F_{\text{静}} = F \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha$; 若 $F \cdot \cos \alpha < G \cdot \sin \alpha$, 则物体有沿斜面向下的运动趋势,静摩擦力方向沿斜面向上,其大小 $F_{\text{静}} = G \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha$. 从以上的分析可知,选项 A、B、C 错误. 对于物体受到的斜面支持力,研究垂直斜面方向,该方向上的合力也必为零,所以有: $F_N = \sqrt{G^2 + F^2}$, 当 F 增大时,物体受到的斜面支持力一定增大. 所以选项 D 正确.

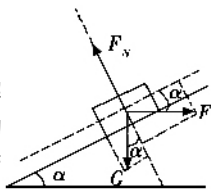
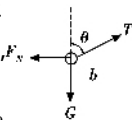


图 1-1-17

2. B 对两个小环 a 、 b 和连接它们的细线组成的系统,由竖直方向的平衡方程得 $N - 2mg = 0$,所以当 a 环移动时,水平杆受到的压力不变, F_N 等于两环的重力之和. 对于 b 环,受三个力作用,如图 1-1-18 所示.



由竖直方向的平衡方程有 $T \cdot \cos \theta - G = 0$,当 a 环移到 A' 位置时, θ 角变小, $\cos \theta$ 变大,由上述方程知,拉力 T 变小,故选项 B 正确.

图 1-1-18

3. B 对于带正电的 A 球,它所受的电场力与场强方向相同,而带负电的 B 球,它受的电场力则与场强方向相反. 对于 A 球、 B 球和细线组成的系统,两球所受的电场力的合力为零,仅受到重力和悬线的拉力,故 A 球上方的细线必竖直, A 球的状态只能是 B、D 中的状态,故淘汰 A、C 选项. 对于 B 球,其受力情况如图 1-1-19,显然只有在如此的情况下, B 球才能处于平衡状态,即 A 、 B 间的细线斜向下方,选项 B 正确.

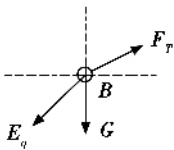


图 1-1-19

4. BD 在竖直位置时,由平衡条件得:

$$F_N + k \cdot AB - G = 0 \dots \textcircled{1}$$

A 沿水平面缓慢运动到任意位置 C 时,如图 1-1-20 所示,依题意 A 在运动过程中,处于动态平衡,故有:

$$\text{水平方向: } F - F_f - F_T \cdot \sin \alpha = 0 \dots \textcircled{2}$$

$$\text{竖直方向: } F_N + F_T \cdot \cos \alpha - G = 0 \dots \textcircled{3}$$

$$\text{而 } F_T = k \cdot BC \text{ 代入 } \textcircled{3} \text{ 得 } F_N + k \cdot BC \cdot \cos \alpha - G = 0 \dots \textcircled{4}$$

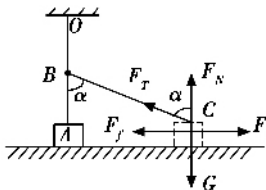


图 1-1-20

在三角形中 $AB = BC \cdot \cos \alpha$,比较①和④可以看出,在 A 向右缓慢地沿直线运动的过程中,地面对 A 的支持力保持不变. 由 $F_f = \mu F_N$ 知,地面对 A 的摩擦力也保持不变. 由方程②知,水平拉力 F 变大,故正确选项为 BD.

5. 弹簧 k_2 的受力大小恰好为 $\frac{2}{3}mg$,说明弹簧 k_2 可能处于拉伸状态或压缩状态,因此

有两种情况. 初始状态时,弹簧 k_2 处于压缩状态,其压缩量 $\Delta x_2 = \frac{mg}{k_2}$,而弹簧 k_1 处于原长状态. 将弹簧 k_1 的上端 A 竖直地向上提高一段距离 L 后,第一种情况 k_2 处于

拉伸状态,拉力的大小为 $\frac{2}{3}mg$,则弹簧 k_2 的伸长量 $\Delta x_3 = \frac{\frac{2}{3}mg}{k_2} = \frac{2mg}{3k_2}$. 而对于物块

m ,由平衡条件得 $F_1 - mg - \frac{2}{3}mg = 0$,所以 $F_1 = \frac{5}{3}mg$,弹簧 k_1 的伸长量 $\Delta x_1 =$

$$\frac{\frac{5}{3}mg}{k_1} = \frac{5mg}{3k_1}. \text{ 故弹簧 } k_1 \text{ 的上端 } A \text{ 竖直地向上提高的距离 } L = \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_1 = \frac{mg}{k_2}$$

$+ \frac{2mg}{3k_2} + \frac{5mg}{3k_1} = \frac{5mg}{3} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)$. 第二种情况 k_2 处于压缩状态,弹力的大小为 $\frac{2}{3}mg$,



则其压缩量为 $\Delta x_2' = \frac{2}{3} \frac{mg}{k_2} = \frac{2mg}{3k_2}$, 而对于物块 m , 由平衡条件得 $:F_1' + \frac{2}{3}mg - mg = 0$, 所以 $F_1' = \frac{1}{3}mg$, 则弹簧 k_1 伸长量 $\Delta x_1' = \frac{1}{3} \frac{mg}{k_1} = \frac{mg}{3k_1}$, 故弹簧 k_1 的上端 A 竖直向上提高的距离 $L = \Delta x_2 - \Delta x_2' + \Delta x_1' = \frac{mg}{k_2} - \frac{2mg}{3k_2} + \frac{mg}{3k_1} = \frac{mg}{3} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)$.

6. 根据带电质点做匀速直线运动的条件 , 得知此带电质点所受的重力、电场力和洛伦兹力的合力必定为零. 由此推知这三个力在同一竖直平面内 , 如图 1-1-21 所示 , 质点速度方向垂直纸面向外. 设磁场方向与重力方向之间的夹角为 θ , 由合力为零的条件 , 可得

$$\text{水平方向 } qE \sin \theta = qvB \cos \theta \quad (1)$$

$$\text{竖直方向 } qE \cos \theta + qvB \sin \theta = mg \quad (2)$$

解得 $\frac{q}{m} = \frac{g}{\sqrt{v^2 B^2 + E^2}}$, 代入数据得 $:\frac{q}{m} = 1.96 \text{ C/kg}$

$$\tan \theta = \frac{vB}{E} = \frac{20 \times 0.15}{4.0} = 0.75 \quad \theta = \arctan 0.75$$

即磁场方向是与重力方向成夹角 $\theta = \arctan 0.75$, 且斜向下的一切方向.

7. 当用水平力推木块时 , 对于光滑球来说 , 受重力、地面的支持力、木块的弹力和竖直墙的压力作用 , 如图 1-1-22 所示. 当推木块的水平力 F 增大时 , 木块对球的作用力 F_1 必增大 , 所以其竖直方向的分量增大 , 对于球来说 , 竖直方向的平衡方程有 $:F_1 \cdot \sin \alpha + F_N - G = 0$. 当地面对球的支持力 $F_N = 0$, 即球处于从地面上顶起的临界状态时 , 有 $:F_1 \cdot \sin \alpha - G = 0 \dots \dots (1)$, 此时对应着推木块的最小值. 对于木块 : 由水平方向的平衡方程得 $:F_{\min}$

$$- F_1 \cdot \cos \alpha = 0 \dots \dots (2) . \text{ 联立 } (1)(2) \text{ 得 } : F_{\min} = G \cdot \cot \alpha = G \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R - h} .$$

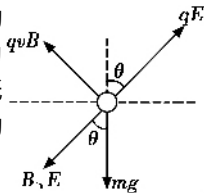


图 1-1-21

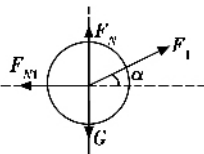


图 1-1-22