

绳子、弹簧和杆产生的弹力特点

模型特点：

1. 轻绳

(1) 轻绳模型的特点

“绳”在物理学上是个绝对柔软的物体，它只产生拉力（张力），绳的拉力沿着绳的方向并指向绳的收缩方向。它不能产生支持作用。

它的质量可忽略不计，轻绳是软的，不能产生侧向力，只能产生沿着绳子方向的力。它的劲度系数非常大，以至于认为在受力时形变极微小，看作不可伸长。

(2) 轻绳模型的规律

轻绳各处受力相等，且拉力方向沿着绳子；

轻绳不能伸长；

用轻绳连接的系统通过轻绳的碰撞、撞击时，系统的机械能有损失；

轻绳的弹力会发生突变。

2. 轻杆

(1) 轻杆模型的特点

轻杆的质量可忽略不计，轻杆是硬的，能产生侧向力，它的劲度系数非常大，以至于认为在受力时形变极微小，看作不可伸长或压缩。

(2) 轻杆模型的规律

轻杆各处受力相等，其力的方向不一定沿着杆的方向；

轻杆不能伸长或压缩；

轻杆受到的弹力的方式有拉力或压力。

3. 轻弹簧

(1) 轻弹簧模型的特点

轻弹簧可以被压缩或拉伸，其弹力的大小与弹簧的伸长量或缩短量有关。

(2) 轻弹簧的规律

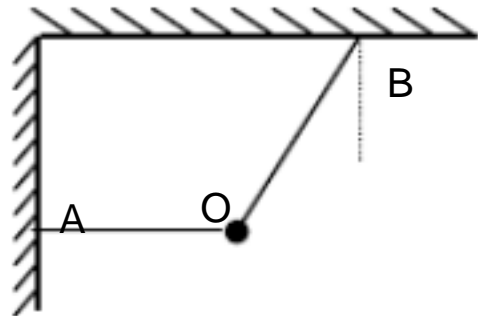
轻弹簧各处受力相等，其方向与弹簧形变的方向相反；

弹力的大小为 $F=kx$ ，其中 k 为弹簧的劲度系数， x 为弹簧的伸长量或缩短量；

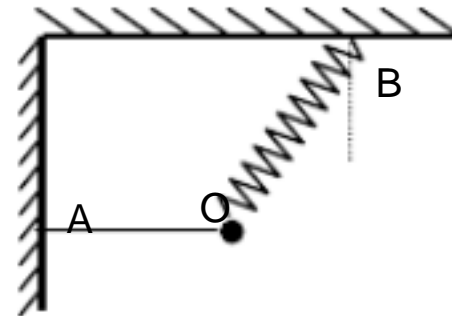
弹簧的弹力不会发生突变。

案例探究：

【案例 1】如图所示，一质量为 m 的物体系于长度分别为 L_1 、 L_2 的两根细绳 OA、OB 上，OB 一端悬挂在天花板上，与竖直方向夹角为 θ ，OA 水平拉直，物体处于平衡状态，现在将 OA 剪断，求剪断瞬间物体的加速度，若将绳 OB 换为长度为 L_2 的弹簧，结果又如何？



甲

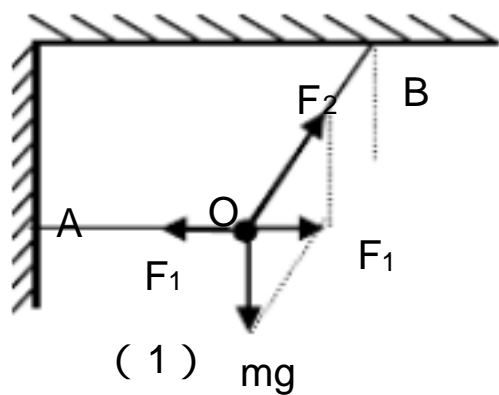


乙

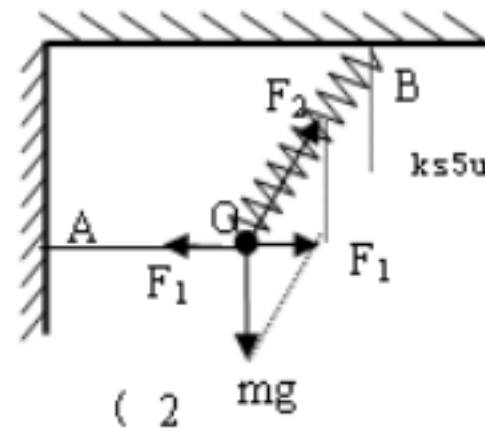
分析与解答：

为研究方便，我们两种情况对比分析。

(1) 剪断前，两种情况小球受力一样，分别如图 (1)、(2) 所示，利用平衡条件，则 mg 与 F_2 的合力与 F_1 大小相等，方向相反，可以解得 $F_1 = mgtg\theta$ 。



(1) mg

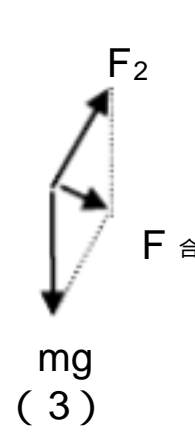


(2) mg

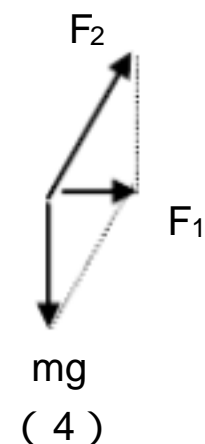
(2) 剪断后瞬间，绳 OA 产生的拉力 F_1 消失，

对绳来说，其伸长量很微小，可以忽略不计，不需要形变恢复时间，因此，绳子中的张力也立即发生变化，这时 F_2 将发生瞬时变化， mg 与 F_2 的合力将不再沿水平方向，而是由于小球下一时刻做单摆运动沿圆弧的切线方向，与绳垂直，如图 (3) 所示， $F_{\text{合}} = mgsin\theta$ ，所以 $a = gsin\theta$ 。

对弹簧来说，其伸长量大，形变恢复需要较长时间，认为弹簧的长度还没有发生变化。这时 F_2 不发生变化，故 mg 与 F_2 的合力仍然保持不变，与 F_1 大小相等，



(3)



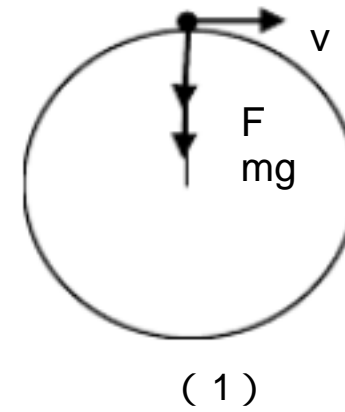
(4)

方向相反，如图（4）所示，所以 $F_{合} = F_1 = mg \sin \theta$ ，
 $a = g \sin \theta$ 。

【案例 2】一根细绳，长度为 L ，一端系一个质量为 m 的小球，在竖直面内做圆周运动，求小球通过最高点时的速度至少是多少？若将绳换为一根匀质细杆，结果又如何？

分析与解答：

（1）对绳来说，是个柔软的物体，
 它只产生拉力，不能产生支持作用，
 小球在最高点时，



弹力只可能向下，如图（1）所示。

$$\text{这种情况下有 } F + mg = \frac{mv^2}{L} \geq mg$$

即 $v \geq \sqrt{gL}$ ，否则不能通过最高点。

（2）对细杆来说，是坚硬的物体，它的弹力既可能向上又可能向下，速度大小 v 可以取任意值。

可以进一步讨论：

当杆对小球的作用力为向下的拉力时，如图（2）所示：

$$F + mg = \frac{mv^2}{L} > mg \quad \text{所以 } v > \sqrt{gL}$$

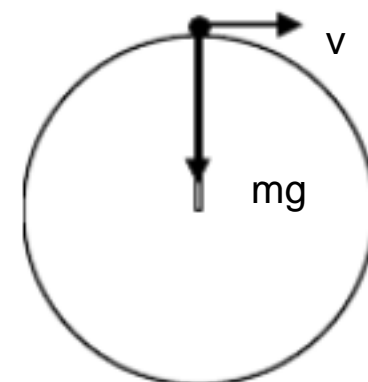
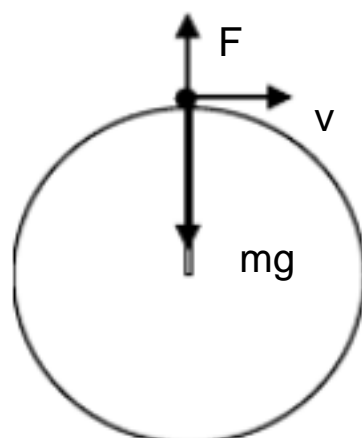
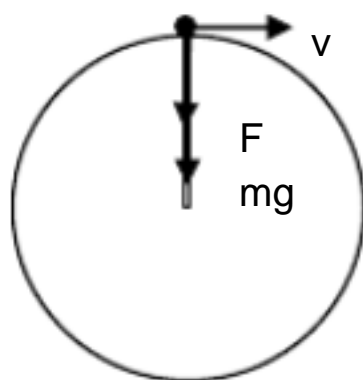
当杆对小球的作用力为向上的支持力时，如图（3）所示：

$$mg - F = \frac{mv^2}{L} < mg \quad \text{所以 } v < \sqrt{gL}$$

当 $N = mg$ 时， v 可以等于零。

当弹力恰好为零时，如图（4）所示：

$$mg = \frac{mv^2}{L} \quad \text{所以 } v = \sqrt{gL}$$

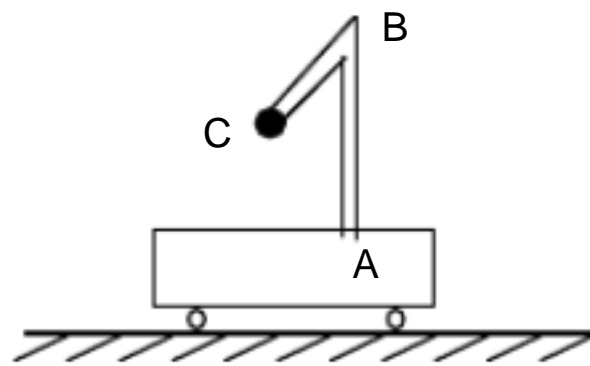


(2)

(3)

(4)

【案例 3】如图所示，小车上固定一弯折硬杆 ABC，C 端固定质量为 m 的小球，已知 $\angle ABC = 30^\circ$ 恒定。当小车水平向左以 $v = 0.5 \text{ m/s}$ 的速度匀速运动时，BC 杆对小球的作用力的大小是 _____，方向是 _____；当小车水平向左以 $a = g$ 的加速度作匀加速运动时，BC 杆对小球的作用力的大小是 _____，方向是 _____。

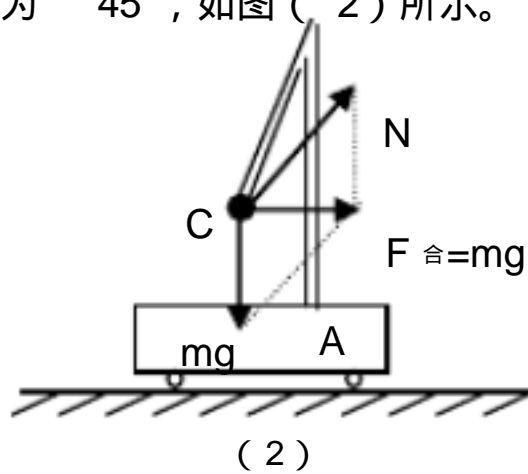
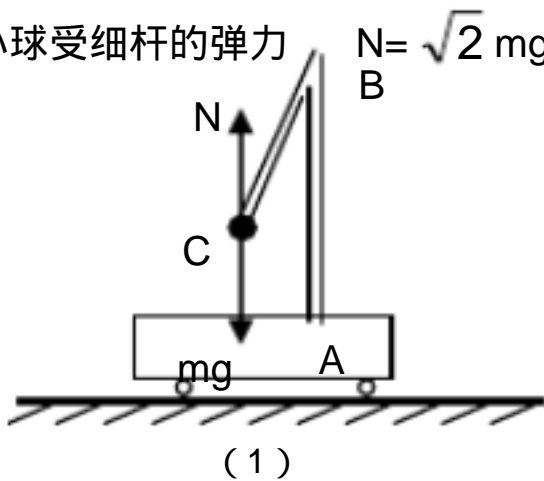


分析与解答：

对细杆来说，是坚硬的物体，可以产生与杆垂直的横向的力，也可以产生与杆任何夹角的弹力

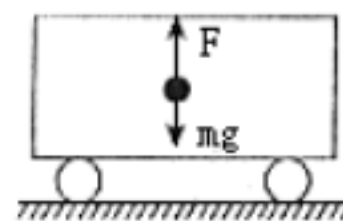
(1) 当小车水平向左以 $v = 0.5 \text{ m/s}$ 的速度匀速运动时，由平衡条件，细杆对小球的作用力必定与重力等大反向，如图 (1) 所示。

(2) 当小车水平向左以 $a = g$ 的加速度作匀加速运动时，小球所受合力 $F_{\text{合}} = ma$ 沿水平方向，则小球受细杆的弹力 $N = \sqrt{2} mg$ ，与水平方向夹角为 45° ，如图 (2) 所示。

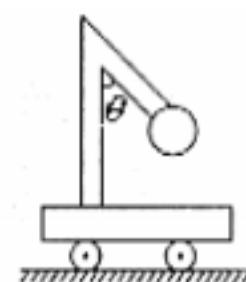


精品练习：

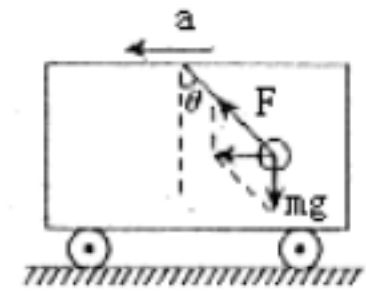
1. 如图所示，有一质量为 m 的小球用轻绳悬挂于小车顶部，小车静止或匀速直线运动时，求绳子对小球作用力的大小和方向。



2. 如图所示，小车上有一弯折轻杆，杆下端固定一质量为 m 的小球。当小车处于静止或匀速直线运动状态时，求杆对球的作用力的大小和方向。

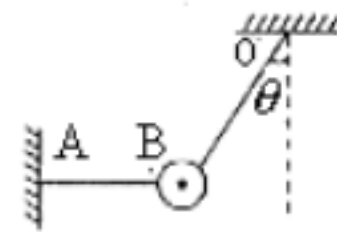


3. 如图所示，一质量为 m 的小球用轻绳悬挂在小车顶部，小车向左以加速度 a 做匀加速直线运动时，求轻绳对小球的作用力的大小和方向。

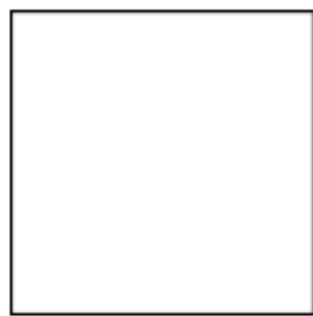


4. 若将上题中的轻绳换成固定的轻杆，当小车向左以加速度 a 做匀加速直线运动时，求杆对球的作用力的大小及方向。

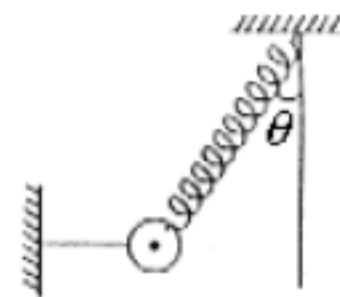
5. 如图 6 所示，小球在细线 OB 和水平细线 AB 的作用下而处于静止状态，则在剪断水平细线的瞬间，小球的加速度多大？方向如何？



6. 如图 9 所示，一轻质弹簧和一根细线共同提住一个质量为 m 的小球，平衡时细线是水平的，弹簧与竖直方向的夹角是



，若突然剪断细线，则在剪断的瞬间，弹簧拉力的大小是 _____，小球加速度与竖直方向夹角等于 _____。



精品练习答案：

1.解析：小车静止或匀速直线运动时，小球也处于静止或匀速直线运动状态。由平衡条

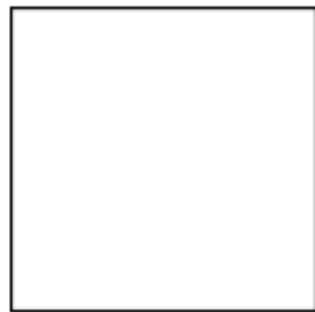
件可知，绳子对小球的弹力为



，方向是沿着绳子向上。

若将轻绳换成轻弹簧，其结果是一样的。

2.解析：以小球为研究对象，可知小球受到杆对它一个的弹力和重力作用，由平衡条件可知小球受力如图所示。则可知杆对小球的弹力为



，方向与重力的方向相反即竖直向上。



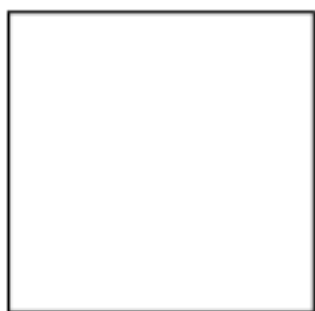
注意：在这里杆对小球的作用力方向不是沿着杆的方向。

3.解析：以小球为研究对象进行受力分析，如图 4 所示。根据小球做匀加速直线运动可

得在竖直方向



在水平方向



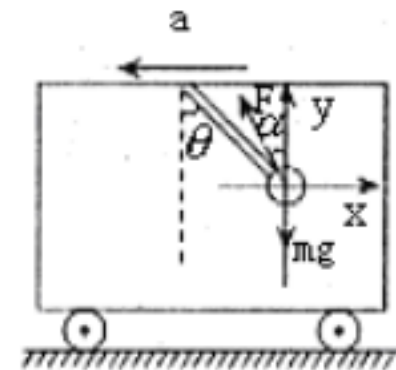
解之得



轻绳对小球的作用力大小随着加速度的增大而增大，它的方向沿着绳子，与竖直方向的

夹角为 。

4.解析：如图，小球受到重力和杆对它的弹力 F 作用而随小车一起向左做匀加速直线运动。



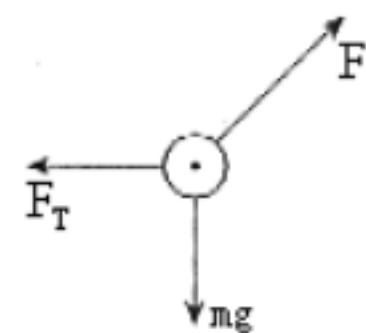
在竖直方向

在水平方向

解之得 。

由解答可知，轻杆对小球的作用力大小随着加速度的增大而增大，它的方向不一定沿着杆的方向，而是随着加速度大小的变化而变化。只有

时， F 才沿着杆的方向。

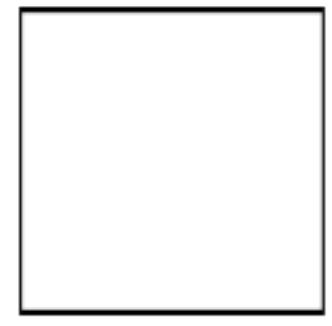


5.解析：在没有剪断之前对小球进行受力如图所示，由平衡

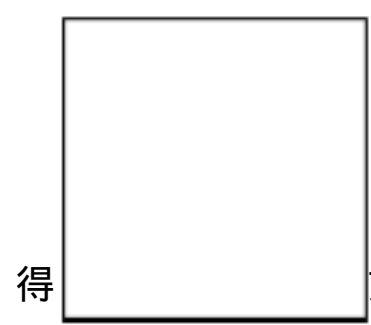
条件可得 ，。

当剪断水平细线 AB 时，此时小球由于细线 OB 的限制，在沿 OB 方向上，小球不可能运动，故小球只能沿着与 OB 垂直的方向运动，也就是说小球所受到的重力，此时的作用效

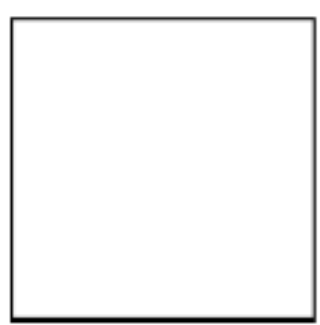
果是拉绳和沿垂直绳的方向做加速运动，其受力如图所示。由图可知



，则可



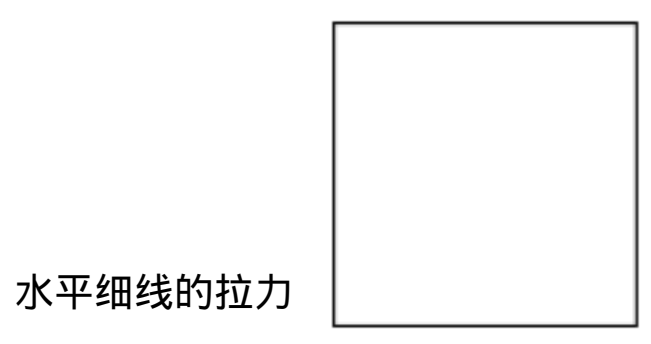
得 方向垂直于 OB 向下。绳 OB 的拉力



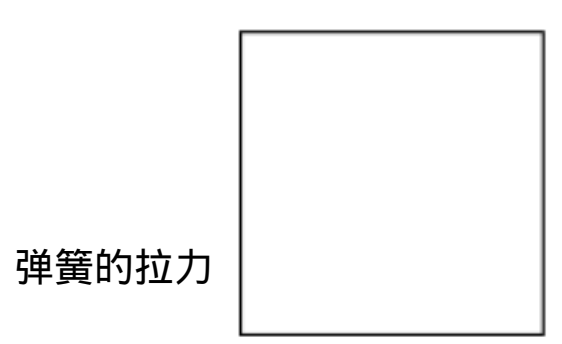
，则可知当剪断水平

细线 AB 时，细线 OB 的拉力发生了突变。

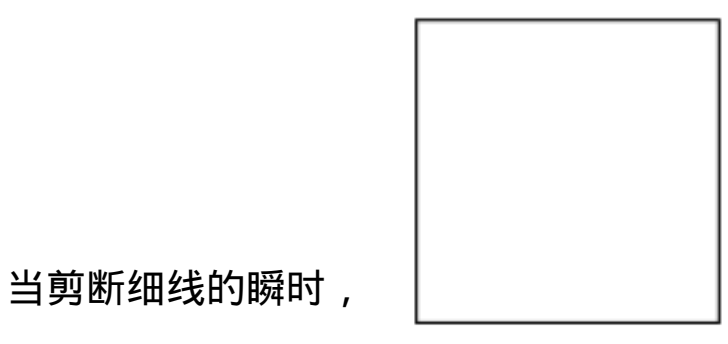
6.解析：在细线未剪断前，由平衡条件可得



水平细线的拉力

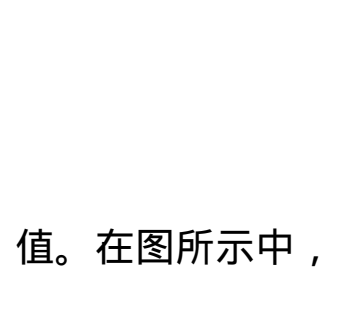


弹簧的拉力



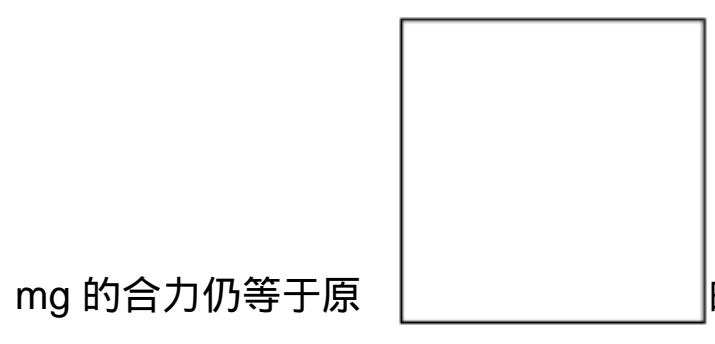
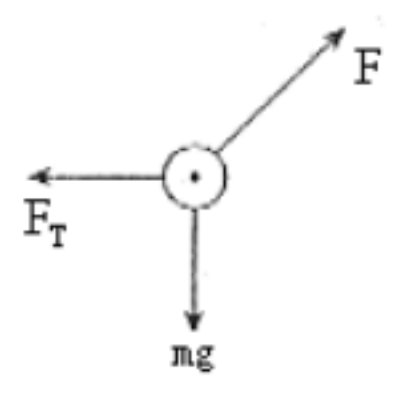
当剪断细线的瞬时，

，而弹簧形变不能马上改变，故弹簧弹力 F 保持原



值。在图所示中，

。所以在剪断细线的瞬时 F 和



mg 的合力仍等于原

的大小，方向水平向右。则可

知小球的加速度方向沿水平向右， 即与竖直成 角，其大小为 。