



知识点二 牛顿运动定律

【内容预览】

知识体系	具体知识点	解题要点
牛顿三定律	牛顿第一定律：任何物体都将保持静止或匀速直线运动状态，直至其他物体的作用强迫它改变这种状态为止。	利用牛顿第二定律计算力或加速度，牢记牛顿第二定律公式
	牛顿第二定律： $F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \xrightarrow{m \text{ 为定值}} m \frac{dv}{dt} = ma$	
	牛顿第三定律：两个物体间的作用力 F 和反作用力 F' ，大小相等、方向相反，并在同一直线。	
基本力和常见力	万有引力、电磁力、强相互作用力、弱相互作用力	1. 结合弹簧求弹力，牢记胡克定律 2. 求摩擦力大小或确定摩擦力方向，大小根据公式 $f = \mu F_N$ ，方向根据相对运动的趋势
	重力、弹性力、摩擦力	
非惯性系	牛顿定律对非惯性系不成立	1. 计算惯性力大小，根据 $F = ma_M$ 2. 计算科里奥利力： $F = 2mv \times \omega$
	平动惯性力、惯性离心力、科里奥利力	

【知识清单】

§2.1 牛顿运动定律

一、牛顿第一定律（惯性定律）

1. 牛顿第一定律：任何物体都将保持静止或匀速直线运动状态，直至其他物体的作用强迫它改变这种状态为止。

2. 两个概念：(a) 任何物体都有保持原有的静止或匀速直线运动状态的性质，这种性质称为**惯性**。

(b) 物体与物体之间的相互作用称为**力**。

提示：牛顿第一定律是从大量观察和实验事实中抽象概括出来的，不能直接用实验证明。

二、牛顿第二定律

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \xrightarrow{m \text{ 为定值}} m \frac{dv}{dt} = ma$$

易错： $F = ma$ 只适用于质量一定的情况，如果质量也是变化的，即变质量物体运动，则要用牛顿第二定律最基本的公式： $F = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}$ ，例如，当一根绳子从上方垂直落下来到水平板上，因为有质量的变化， $v \frac{dm}{dt}$ 是不可忽略的。

三、牛顿第三定律

两个物体间的作用力 \boldsymbol{F} 和反作用力 \boldsymbol{F}' ，大小相等、方向相反，并在同一直线。

§2.2 基本力和常见力

一、基本力

1. 万有引力：任何两个物体之间都存在的吸引力； $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ， $G = 6.672 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
2. 电磁力：包括存在于静止电荷之间的电场力以及存在于运动电荷之间的电场力和磁场力。
3. 强相互作用力：在核子、介子和超子之间存在的一种很强的、作用范围很短的作用力。
4. 弱相互作用力：在微观粒子之间存在的另一种作用范围短的，很弱的作用力。

☞注意：在四种基本作用力中，最强的是强相互作用力，其次是电磁力，然后是弱相互作用力，最小的是万有引力。其中万有引力和电磁力是长程力，强力和弱力是短程力。常见的弹力，摩擦力，气体的压力、浮力、粘滞阻力等都是电磁力的一种。

二、常见力

1. 重力；
2. 弹力：对弹簧有 $F = -kx$ （胡克定律）；
3. 摩擦力： $F = \mu F_N$

§2.3 非惯性系

一、惯性系和非惯性系

1. 惯性系：牛顿运动定律在其中成立的参考系；也就是匀速直线运动或静止的参考系。
2. 非惯性系：牛顿运动定律在其中不成立的参考系；也就是有加速度的参考系。

二、惯性力

1. 平动惯性力：在一个作平动加速运动的参考系中受到的假想的力： $\boldsymbol{F} = -m\boldsymbol{a}_0$
2. 惯性离心力：在转动参考系中受到的假想的力： $\boldsymbol{F} = m\omega^2 R\boldsymbol{e}_r$
3. 科里奥利力：物体在匀速转动的参考系中以 \boldsymbol{v} 作相对运动，在该转动参考系中的观察者看到物体会受到科里奥利力： $\boldsymbol{F} = 2m\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}$

☞注意：惯性力很少会单独考，惯性力更多地算是一种做题方法，在某些非惯性系中解题，运用假想的惯性力会更简单。

【常考题型】

题型 1: 牛顿第二定律

1. 牢记牛顿第二定律公式; 2. 注意变质量动力学

例 2-1 用手拿住匀质重绳的上端, 使绳下端刚好着地。突然放开, 使绳竖直下落,

如图 2.1 所示, 某时刻, 绳子下落了 x , 求此时地面的受力。

解: 取已经落到地上的一部分为研究对象, 这是一个变质量物体运动。

则:
$$N_x = m_x g + v \frac{dm}{dt}$$

其中, $m_x g = \frac{mgx}{l}$, 表示已经在地上的绳子的重力, $v \frac{dm}{dt}$ 是质量增加需要的力,

根据运动学公式:
$$mgx = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gx}$$

又因为
$$dm = \frac{dx}{l}m = \frac{vdt}{l}m$$

所以
$$N_x = \frac{x}{l}mg + \frac{v^2 m}{l} = \frac{x}{l}mg + \frac{2mgx}{l} = \frac{3mgx}{l}, \text{ 方向向下}$$

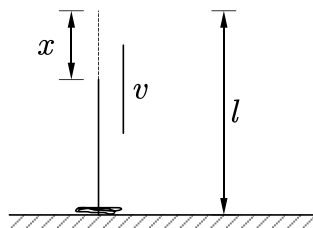


图 2.1

★解题技巧: 该题可以认为有两部分, 一部分是已经在地上的绳子, 另一部分是还在下降的绳子; 显然地上的绳子会有重力, 还在下降的绳子会有动量, 而改变这动量的力也是。

例 2-2 在升降机天花板上拴有轻绳, 其下端系一重物, 当升降机以加速度 a_1 上升时, 绳中的张力正好等于绳子所能承受的最大张力的一半, 问升降机以多大加速度上升时, 绳子刚好被拉断?

A. $2a_1$

B. $2(a_1 + g)$

C. $2a_1 + g$

D. $a_1 + g$

解: 设绳子承受的最大张力为 T , 则
$$\frac{T}{2} - mg = ma_1$$

当绳子刚好被拉断的时候
$$T - mg = ma_2$$

结合两个式子可得:
$$a_2 = 2a_1 + g \quad \text{所以选 C}$$

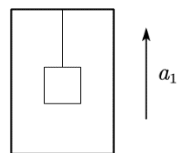


图 2.2

题型 2: 惯性力

1. 惯性力大小 $F = ma_M$; 2. 惯性离心力 $F = m\omega_M^2 r$; 3. 科里奥利力 $F = 2mv \times \omega$

例 2-3 半径为 R 的轮子以恒定的速度 v 在水平面上沿直线作无滑动滚动。将一质量为 m 的小石子轻轻地放到轮子的顶端。试问: 再经过多少时间小石子与轮子之间发生相对滑动。已知小石子与轮子之间静摩擦系数为 μ 。

解: 以轮子为参考系, 此时轮子参考系是一个非惯性系, 所以小石子将会受到一个惯性离心力, 此时小石子受力如图:

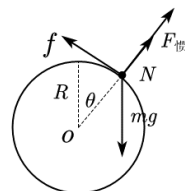


图 2.3

滑动时, 摩擦力恰好等于 μN :

$$f = \mu N$$

平衡方程:

$$mg \cos \theta = N + \frac{mv^2}{R}, \quad mg \sin \theta = \mu N$$

联立得:

$$\mu \cos \theta - \sin \theta = \frac{\mu v^2}{gR}$$

设

$$\tan \varphi = \mu$$

则:

$$\sin (\varphi - \theta) = \frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}} \frac{v^2}{gR}$$

$$\Rightarrow \theta = \varphi - \arcsin \left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}} \frac{v^2}{gR} \right) = \arcsin \left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}} \right) - \arcsin \left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}} \frac{v^2}{gR} \right)$$

所以

$$t = \frac{\theta}{\omega} = \frac{R\theta}{v}$$

讨论: θ 显然要大于零, 此时 $v^2 < gR$, 当 $v^2 \geq gR$ 时, 小石子刚放上就飞走, 此时 $t=0$.

◆ **解题技巧:** 在非惯性系中利用惯性力解题显然十分简单, 如果以地面为参考系, 还要考虑到相对运动, 会变得复杂; 实际上, 惯性力可以认为是根据相对运动得出的一个结论, 所以在使用的時候会省下很多的步骤。

【精选习题】



微信扫码关注公众号“学解”, 回复“大物习题”即可获取