

高中力学

基本概念与解题思路

北京师范大学出版社

目 录

怎样认识力	(1)
什么原因使地球绕太阳转	(1)
为什么物体有重量	(3)
弹力	(5)
一、弹力的概念	(5)
二、弹力的大小和方向	(6)
(一) 对水平支承面的压力或对竖直悬绳的拉力总等于 物体的重量吗?	(6)
(二) 弹力的大小和物体运动状态的变化情况有关	(7)
(三) 弹力的大小不一定和物体的重量有关	(8)
(四) 物体间弹力的大小和物体受其它力的关系	(9)
(五) 物体对斜面的压力总等于 $G\cos\alpha$ 吗?	(10)
(六) 弹力的方向问题	(12)
(七) 绳子中的张力	(13)
摩擦力种种	(15)
一、摩擦力	(16)
二、“摩擦力的方向永远和运动方向相反”这是个极错的认 识	(17)
三、没有计算静摩擦力的公式	(18)
什么情况下有电场力	(22)
带电体在磁场中都受磁场力吗?	(23)
物体受哪些力?	(29)
漫谈运动	(37)

匀速圆周运动是匀速的吗？	(37)
变速运动的轨迹不总是曲线	(37)
匀变速运动不单由轨迹来判定	(38)
任何圆周运动都不可能是匀变速运动	(40)
描述运动的量和运动规律	(41)
运动学中的图线	(48)
运动的合成	(58)
物体运动状态变化的原因	(60)
惯性永不会消失	(60)
维持运动的原因是力吗？	(62)
力是使物体运动状态变化的原因	(63)
一、加速度的实质	(63)
二、牛顿第二定律	(64)
三、正确运用牛顿第二定律	(65)
物体的平衡	(73)
一、关于有固定转动轴物体平衡的三个实际问题	(74)
二、当系统平衡时常见的几种解题方法	(77)
三、用 $\Sigma F = 0$ 和 $\Sigma M = 0$ 哪个条件解题好？	(80)
力学中的两大定理	(85)
力都可以做功吗？	(85)
速度、动量、动能	(90)
物理学中的两大定理	(91)
一、功和冲量有质的区别	(91)
二、动能定理	(91)
三、动量定理	(95)
四、讨论三个问题	(99)
物理学中的守恒定律	(110)

运动(变化)和守恒	(110)
动量守恒定律	(110)
一、问题的提出	(110)
二、推导	(111)
三、谈谈运用动量守恒定律解决有关问题	(112)
四、打铁和打桩	(115)
五、关于碰撞	(116)
机械能守恒定律	(121)
一、机械能	(121)
二、系统的机械能间可以转换	(122)
三、机械能守恒的条件	(123)
四、物体沿竖直圆的脱离	(130)
能量的转换和守恒定律	(137)
一、由两个简单问题说起	(137)
二、结论	(138)
三、电场中带电粒子电势能和动能间的转换和守恒	(139)
四、理想气体在四个特定过程中能量的转换和守恒	(140)
简谐振动和简谐波	(144)
回复力属什么性质?	(144)
判断是否简谐振动的一个依据	(144)
简谐振动的周期公式	(147)
利用参考圆记简谐振动的公式	(148)
功能关系	(150)
相和相差	(151)
简谐振动的振动图线和简谐波的波形图线	(153)

怎样认识力

教室里的课桌静止在地面上，车间里的机床在切削工件，田野里的拖拉机在耕地，飞机由你的屋顶上空掠过，马路上的公共汽车在忙碌地输送乘客……。我们周围能见到的，和远离我们的见不到的任何事物，无论内容千差万别，形式各种各样，但有一个共同点，那就是，它们都存在物体间的相互作用，也就是存在力。

什么原因使地球绕太阳转

尽管谁也没有自我感觉，但我们确实每时每刻都随地球绕太阳转动，速率竟达30公里/秒，太阳对地球的吸引力是维持转动的原因。

自然界中任何两个物体间都存在这种吸引力，叫万有引力。牛顿在1687年提出了著名的万有引力定律，他是由实验找到决定万有引力大小的因素的， $F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$ 就是任意两

个可视为质点(注)的物体间万有引力大小的决定式，式中 G 称为万有引力恒量，由实验测得 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ ，

(注) 当二物体间的距离比物体的大小要大得多时，可不考虑物体的大小和形状，把物体看成一个点，叫质点。

引力的方向沿二质点的连线。

由万有引力定律可以看出，任何二质点间的吸引力总是大小相等，方向相反，那么为什么太阳和地球没有吸到一起？为什么不是太阳绕地球转？太阳周围的九大行星间也没有互相绕着转呢？

由计算可知太阳周围各行星的总质量约为太阳质量的 $\frac{1}{700}$ ，因此某行星受其它行星的引力和受太阳的引力比起来是很小的，这是它们都绕太阳转的原因。但是相邻的行星间由于距离较近，它们之间的吸引力会对某行星绕太阳的运转轨道有所影响，历史上，天文学家曾分别在1846年和1930年利用万有引力定律成功地先由理论上计算出了海王星和冥王星的轨道，随后才发现了它们的存在。

至于地球未和太阳吸在一起，太阳不绕地球转的原因，应当指出：在地球形成时就有一个和太阳给它的万有引力方向相垂直的速度，那么，太阳对地球的引力就只能改变地球速度的方向，也就是这个引力作为地球绕太阳转动的向心力。

火箭技术不断完善的二十世纪，人类已经于1957年首次把人造地球卫星送上了轨道，我国也在1970年第一次成功地发射了自己设计和制造的人造地球卫星。我们知道，需用多级火箭运送才能使卫星在进入轨道时具有7.9公里/秒的水平速度。要紧的是起码具有这个速度，才可使卫星在地面附近沿圆轨道绕地球运行，这个速度可由运动定律求出： $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ ，具体说是 $F_{\text{向心}} = m_P a_{\text{向心}}$ ，即：
$$\frac{GM_{\text{地}} \cdot m_P}{R_{\text{地}}^2} = \frac{m_P \cdot v^2}{R_{\text{地}}}$$
 则

$v = \sqrt{\frac{GM_{\text{地}}}{R_{\text{地}}}}$, 带入地球质量及半径数, 可求出 $v \approx 7.9 \text{ km/s}$.

万有引力客观存在于宇宙中任意两个物体之间, 正因此, 物体受到周围一些物体给它的引力的合力经常是不显著的, 可以不去考虑它。在微观世界中, 一个电子和一个质子间的静电吸引力是他们之间万有引力的 $2.3 \times 10^3^9$ 倍, 所以在研究微观带电粒子间的相互作用时, 是不提万有引力的。但是, 在研究天体间的问题时, 万有引力一定不能忽略, 因为维持行星绕恒星, 卫星绕行星转动的原因就是它们间的万有引力。

为什么物体有重量

如果问: 物体为什么有重量? 有人会说: 物体有重量是很自然的事; 也有人会说: 物体由物质组成, 物体有质量, 根据 $G = mg$ 的公式, 所以有重量。

前者没有回答问题, 后者没有完全答出问题。重量就是物体受的重力, 只要弄清重力是怎样产生的, 问题就解决了。

众所周知, 地球在绕太阳公转的同时, 还绕本身过南北极的轴由西向东自转, 那么处在地球某处的物体就会绕地轴作圆周运动, 图 1--1 表示物体在 A 处随地球自转, 物体受地球给的万有引力 F_1 指向地心, F_1 的一个分力 F_2 指向物体圆周运动的圆心 O' , $F_2 = F_{\text{向心}} = mR'\omega^2$,

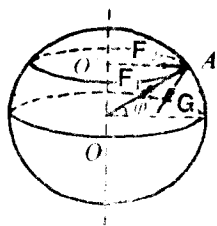


图 1--1

ω 为地球自转的角速度, R' 为圆运动半径, 可见 $R' = R_{\text{地}} \cdot \cos\varphi$, F_1 的另一个分力垂直指向物体所在 A 处的地平面, 这就是物体受的重力 G 。为了简化问题, 可认为处在地球上纬度为 φ 的某物体受力情况有 $F_1^2 = G^2 + F_2^2$ 的关系, 则

$$G = \sqrt{F_1^2 - F_2^2} = \sqrt{\left(\frac{GM_{\text{地}} \cdot m}{R_{\text{地}}^2}\right)^2 - (mR_{\text{地}} \cdot \cos\varphi \cdot \omega^2)^2},$$

由此式可看出, 物体的重力随纬度的升高而增大; 在两极处物体的重力就是物体受地球的万有引力。

还应说明: 地球实际上是扁圆的, 赤道处半径最大, 由 $F_2 = mR\omega^2 = 1 \times 64 \times 10^5 \times (7.3 \times 10^{-5})^2 = 3.4 \times 10^{-2} \text{ N}$ 算出了质量 1 公斤的物体在赤道附近自转时需要的向心力, 在赤道处它受的万有引力则为 $F_1 = G \frac{Mm}{R^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times$

$$\frac{6 \times 10^{24} \times 1}{(64 \times 10^5)^2} = 9.77 \text{ N}。那么该物体在赤道附近受的重力 $G =$$$

$F_1 - F_2 \approx 9.77 \text{ N}$, 而当纬度越高, 地球半径越小物体随地球自转半径也越小, 所以我们可以粗略认为物体在地球上各处受的重力值等于物体在该处受的万有引力值。“重力就是重量, 是由于地球的吸引而使物体受到的力”这句话应当这样理解: 重量是重力的量度, 重力是万有引力的分力。

最后谈谈某人举出 $G = mg$ 的公式来说明因为物体有质量, 所以物体有重量的问题。物体的质量是不会由所处的位置的变化而变化, 质量是 1 公斤的物体在地球上任何位置、高度或在其它天体上都还是 1 公斤, 但此物体的重量由 $G = mg$ 而定。可见, 用牛顿作单位时重量的大小随 g 的数值的变化而变化。例如质量是 3kg 的物体在地球上重量为 29.40N,

在月球上质量仍是 3kg ，重量则变为 $3 \times 1.634 = 4.902\text{N}$ 。

弹 力

一、弹力的概念

重物为什么能静止在水平桌面上？这个问题提得太简单了，谁都能说出理由：因为重物受两个等值反向的力，向下的是地球给的重力，向上的是桌面给的支撑力。如果进一步问：支撑力是怎么回事？不见得谁都能说清楚吧。

由于物体作用在与它接触的桌面，使桌面发生形变，夸大画出示意图 1—2，形变了物体总要产生一个恢复原来形状的力，此力作用于使它形变的另一物体上，这个力叫弹力。概括地说：相互接触的物体间有相对形变时所产生的恢复原状的力叫弹力。弹簧形变后产生的恢复原状的弹力叫弹性力。



图 1—2

体重计刻度盘上指示出的数值是什么意思？这又提了一个太简单的问题，同样谁也会说是被称物体的重量。实际上不是那么简单。由于某甲有重量，站在体重计上给它的底板一个压力，体重计的构造使其刻度盘上显示了这个压力的大小，压力是弹力，方向向下，大小是 F ，同时某甲受体重计底板给他一个向上的大小是 F' 的支撑力，这也是弹力。只要某甲保持平衡状态，必然满足 $G = -F'$ 的条件，另一方面由牛顿第三定律 $F = -F'$ ，所以在此条件下就有 $F = G$ ，即当人在体重计上保持平衡态时，人对体重计的压力在数值上等于人自身的重量，看来称体重时，人的姿势无关紧要，关键是

身体上任何部分不要接触体重计外的其它东西，再有就是“别乱动”。请读者思考以下两个问题：1. 原来蹲在体重计上的人，在读示数时突然起立，那么读出的数值还等于人的实重吗？为什么？2. 在什么情况下，用弹簧秤称不出物体的重量，即视重等于零？

经以上讨论，我们得出结论：“在物体静止的时候，它受到的重力的大小就等于物体拉紧竖直悬绳的力或压在水平支持物上的力”。

二、弹力的大小和方向

对于有弹性形变的物体，在弹性限度内可以根据胡克定律 $F = -kx$ 求弹力，但是在很多情况下物体形变的状态不易具体判定，因之经常要依物体受力情况及运动状态的变化情况，由运动定律来求弹力。

(一) 对水平支承面的压力或对竖直悬绳的拉力总等于物体的重量吗？

分别把两个重物放在升降机地板上 and 挂在升降机的天花板上，当升降机匀速向上或向下运动时，地板受的压力，悬绳受的拉力和物体重量有什么关系？

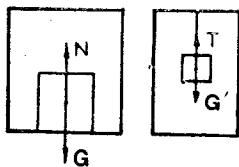


图 1—3

如图 1—3，重物处于平衡状态，所以受的两个力等值反向 $G = -N, G' = -T$ ，地板受的压力 $F' = -N = G$ ，悬绳受的拉力 $T' = -T = G'$ 。

如果升降机以加速度 a 向上加速运动时又如何呢？

在图 1—3 中，对重物来说 $N - G = ma, T - G' = m'a$ 。

所以 $N > G$, $T > G'$ 地板受的压力和 N 等值反向, 悬绳受的拉力和 T 等值反向。

请分析:

1) 如升降机以加速度 a 向下匀减速运动, 向下匀加速运动; 向上匀减速运动时答案又各如何?

2) 假如升降机失灵自由落下答案又如何?

3) 用两根橡皮筋连起来, 下端拴一重物, 手提另一端, 先分析突然向上举, 或突然向下动的过程中橡皮筋的伸长量应如何变化, 然后实际做一下看分析的是否对。

(二) 弹力的大小和物体运动状态的变化情况有关

可通过机动车辆的大桥, 一般都建成拱形, 原因之一是考虑了桥所承受的压力问题。

图 1—4 表示一个水平桥, 质量为 M 的车子以速率 v 通过桥, 在桥上任何位置对桥的压力在数值上都等于车的重量, 与速度的大小无关。



图 1—4

如桥是拱形的 (如图 1—5), 当车以速率 v 通过桥的顶端 A 时, 由运动定律在竖直方向上有 $G - N = \frac{Mv^2}{R}$, 所以

$$N = Mg - \frac{Mv^2}{R} < G, \text{ 桥受的压力和 } N \text{ 等值反向 (} R \text{ 为 } A \text{ 处的}$$

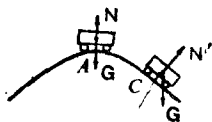


图 1—5

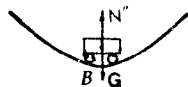


图 1—6

曲率半径)；当车以速率 v 通过其它位置如 C 处时，在沿半径方向上有 $G\cos\theta - N' = \frac{Mv^2}{R'}$ ，则 $N' = G\cos\theta - \frac{Mv^2}{R'} < G$ ，桥受的的压力和 N' 等值反向(θ 为 C 处的半径和竖直方向间的夹角)。

如桥是凹形的如图1—6，当车以速率 v 通过桥的底端 B 时，在竖直方向上有 $N'' - Mg = \frac{Mv^2}{R_B}$ ，则 $N'' = Mg + \frac{Mv^2}{R_B} > G$ ，桥受的的压力和 N'' 等值反向。

三种情况桥受的的压力不同，是因为在垂直桥的方向上车的运动状态的变化情况不同。

高中物理课本上册 p. 207 例3 告诉我们：在图1—7中要使小球滑到光滑的离心轨道顶端时不落下，至少必由斜轨上等于离心轨道半径的2.5倍高处滑下，也就是当 $H = 2.5R$ 时，球由 H 高处滑到顶端 B 时和轨道间无弹力的作用。

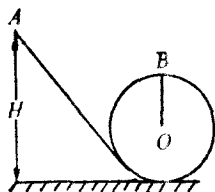


图1—7

请同学们参照课本解法求下列情况下，球滑到 B 端时，轨道给球的弹力的大小和方向。

1. 当 $H > 2.5R$ 时； 2. 当 $H = 3R$ 时； 3. 当 $H > 3R$ 时；
4. 当 $2.5R < H < 3R$ 时。(答案： $N = \frac{mv^2}{R} - mg$, $N = mg$, $N > mg$, $0 < N < mg$.)

(三) 弹力的大小不一定和物体的重量有关

测力计自由落下的过程中，和被测重物之间无弹力作用，即重物的视重等于零。

拿半块砖头平贴在墙上，一只手压紧它，墙受的压力和砖的重量是无关的，当手压砖的力减小后砖会滑下去，那是因为此时砖的重量大于墙和手给砖的最大静摩擦力的和，这个力只与手压砖的力有关系。

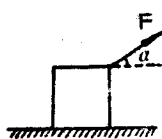


图 1—8

站在地面上的人用一只手去拉箱子（如图 1—8）手的拉力 F 可以变化，变化情况和人本身重量没有什么必然关系。

上述三例说明物体间的弹力不一定必和物体的重量有关。

（四）物体间弹力的大小和物体受其它力的关系

上面讲到，人对箱的拉力与人本身重量无关，但箱对地的压力却和人对箱的拉力的大小、方向有密切关系。由图 1—8 分析力后很易得出箱对地的压力 $N = mg - F \cdot \sin \alpha$ ，并请你写出当人以和水平成 α' 角的力 F' 推箱时，不论箱子作什么运动，箱对地的压力的大小的表达式。

试做一下：把铅笔盒放在伸平的手掌上，感觉到有压力，请一位同学用手压铅笔盒，他越“用劲”，你会越感到铅笔盒“重”。如果改变做法，你自己用另一只手向上提起铅笔盒，直到盒既未离手掌，却又感到没压力，分析前次手掌受的压力和后次另一只手用多大力提起盒子？

图 1—9 (a) 表示长度为 l 的细绳上端固定，下端拴一个质量为 m 的小球，小球又被另一细绳水平固定不动，当用火柴烧断绳的前后两瞬间，悬绳 l 受的拉力是否相同？

只要正确分析这两瞬间球受的力由图 1—9 (b) 可求烧

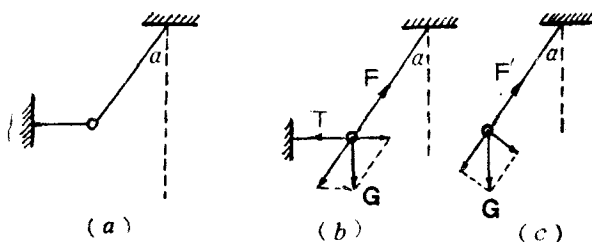


图 1—9

断水平绳前悬绳 l 受的力在数值上等于 F , $F = mg/\cos\alpha$; 由图 1—9 (c) 则可求出水平绳被烧断后一瞬间悬绳 l 受的拉力在数值上等于 F' , $F' = mg\cos\alpha$.

物体间的弹力的大小和物体受其它力的大小和方向都有密切关系。

(五) 物体对斜面的压力总等于 $G\cos\alpha$ 吗?

提这样的问题是因为同学们太熟悉这个结论了, 那么有例外吗?

如重物在斜面上受一个水平推力如图 1—10(a), 分析在下述各情况时重物对斜面的压力。

1. 当重物 A 静止在光滑的斜面上, A 受的力如图 1—10(b) 所示; A 在三个力 G 、 N 、 F 作用下平衡, 所以, $N = G/\cos\alpha$, A 对斜面压力和 N 等值反向。

2. 当重物 A 静止在不光滑的斜面上, 物体既不沿斜面下滑也不沿斜面上滑, 水平推力有个取值范围; $F_1 \leq F \leq F_2$ 参考图 1—10(c), 图 1—10(d), 而 A 对斜面的压力其大小则是 $G\cos\alpha + F \cdot \sin\alpha$ 。(提示: $F_1 = \frac{\sin\alpha - \mu_s \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu_s \sin\alpha} G$, $F_2 =$

$$\frac{\sin\alpha + \mu_s \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu_s \sin\alpha} G \cdot)$$

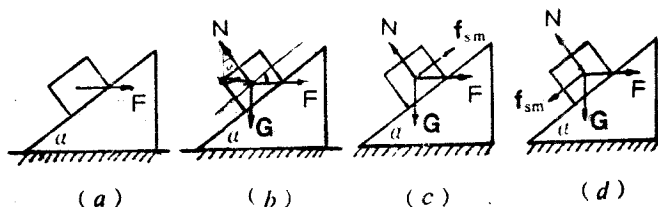


图 1—10

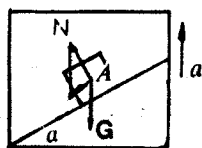


图 1—11

又如，在升降机地板上固定一个斜面，放重物 A 于斜面上，当升降机以加速度 a 向上匀加速运动时 A 和斜面间无相对滑动， A 对斜面的压力多大？由图 1—11， A 只受两个力 G 、 N 且必然满足 $N/\cos\alpha - G = ma$ 的关系，那么 $N = m(g+a)\cos\alpha$ ， A 就以大小为 $m(g+a)\cos\alpha$ 的力压斜面。

在火车车厢的地面上固定一个斜面，上放重物 A 见图 1-12(a)，当火车有向左的加速度 $a(a < a_0, a_0$ 为 A 刚开始下滑时车的加速度) 运动时， A 就会从斜面上滑下，已知 A 和斜面间的静摩擦系数 μ_s ，求火车以 a_0 向左加速时， A 对斜面的压力多大？

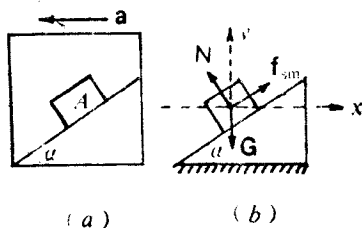


图 1—12

由图 1—12(b) 分析, A 受三个力 G 、 N 、 f_{sm} , 选正交轴并列方程:

$$x \text{ 方向 } N \sin \alpha - \mu_s N \cos \alpha = ma_0 \quad (1)$$

$$y \text{ 方向 } N \cos \alpha + \mu_s N \sin \alpha = mg \quad (2)$$

由 (1)、(2) 可解 $N = \frac{G}{\cos \alpha + \mu_s \sin \alpha}$, A 对斜面压力与 N 等

值反向。

结论 物体对斜面的压力只有在特定情况下其大小等于重物重量和斜面倾角余弦的乘积。

(六) 弹力的方向问题

压力的方向: 当物体间以平面相接触, 则压力垂直指向接触平面; 当支撑面是曲面, 它受的压力垂直指向过接触点的切平面。

拉力的方向: 拉力方向总是沿着绳的方向。

杆件受支撑面的作用力要具体分析。图 1—13(a)、(b)、(c) 中系统平衡, (c) 图中 BC 为绳或杆均可, 但忽略其重量。

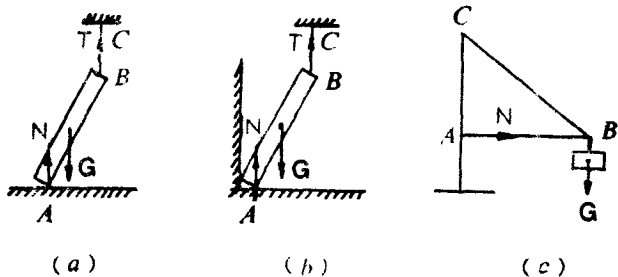


图 1—13