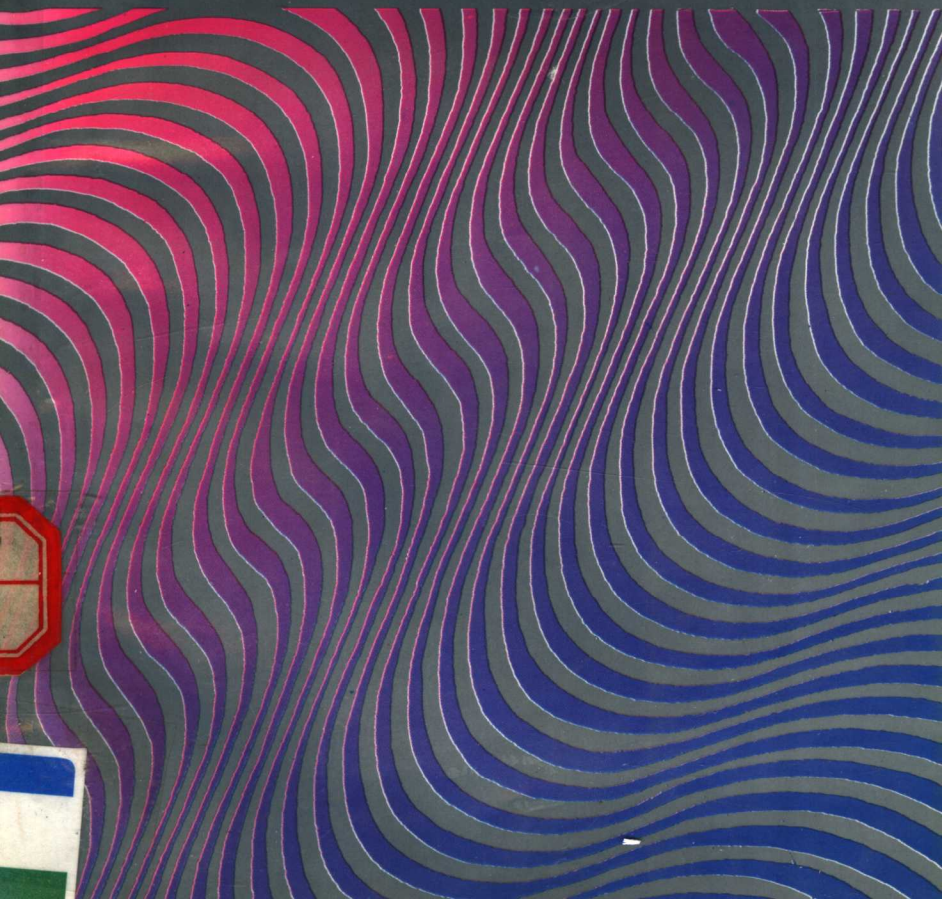


中学物理专题分析

● 欧阳聪 卓振堂

● 广东教育出版社



G633.7

中学物理专题分析

● 欧阳聪 卓振堂

● 广东教育出版社

粤新登字03号

中学物理专题分析

欧阳聪 卓振堂 编

*

广东教育出版社出版发行

广东省新华书店经销

韶关新华印刷厂印刷

(韶关市新华北路14号)

787×1092毫米 32开本 9.25印张 1插页 180,000字

1993年2月第1版 1993年2月第1次印刷

印数1—1,300册

ISBN7-5406-1681-4/G·1671

定价 3.25元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与本厂联系调换。

出版说明

本书根据中学物理教学实际，以专题的形式，结合典型例题和思考题，对中学物理中的重点、难点进行深入的分析 and 讨论，力求解决教学中教师和学生存在的问题，增强中学物理教师处理和驾驭中学物理教材的能力，提高他们的实际教学水平。

本书可作为中学物理教师继续教育的教材和中学物理教学参考书，同时也是中学生的一本很好的辅助读物。

本书力学、热学和分子物理学部分由欧阳聪编写，电磁学、光学和原子物理学部分由卓振堂编写。

目 录

第一部分 力学	1
一、力 几种常见的力.....	1
二、速度和速率.....	16
三、匀变速直线运动.....	29
四、牛顿运动定律.....	44
五、匀速圆周运动.....	59
六、功.....	66
七、功率.....	75
八、质点的动能定理.....	81
九、机械能守恒定律.....	87
十、动量和动量定理.....	95
十一、动量守恒定律.....	104
十二、简谐振动.....	114
第二部分 热学和分子物理学	133
一、温度和温标.....	133
二、理想气体的状态方程.....	138
三、大气压.....	144
第三部分 电磁学	148
一、电场和电场强度.....	148
二、电势和电势差.....	157
三、电容.....	171

四、电功和电功率 焦耳—楞次定律.....	178
五、全电路欧姆定律.....	184
六、磁场 磁感应强度.....	190
七、安培力.....	200
八、法拉第电磁感应定律与楞次定律.....	208
第四部分 光学	217
一、光的反射定律与折射定律.....	217
二、透镜成像.....	227
三、光的干涉.....	239
四、光的衍射.....	250
五、光的偏振.....	263
第五部分 原子物理学	275
一、玻尔的原子理论.....	275
二、原子核的结合能.....	285

第一部分 力 学

一、力 几种常见的力

(一)力的概念和量度

力的观念始于人们做推、拉、提、抛等动作时肌肉紧张的感受。当人们因为提起物体或者推动物体而肌肉紧张，产生抵抗的意识的时候，力的观念也就与物体联系起来了。阿里士多德最早使用力的这一术语，不过他认为力是引起物体运动的原因。直到伽利略才明确指出，力的作用效果不是引起物体的运动，而是改变物体的运动速度。牛顿所建立的经典力学就是以力与速度的改变之间的联系作为基础的。力是物体之间的相互作用，物体受力后才能获得加速度，所以力是使物体获得加速度的原因。物体产生形变也是力的作用效果。但这并不是说，任何一个力都能使物体产生加速度。例如，在粗糙水平面上的物体 M 受到某水平力 F 的作用仍静止在水平面上，这时， F 并没有使物体 M 产生加速度。物体受到的合外力不为零时才能使该物体产生加速度。

力的量度方法，常见的有静力学方法和动力学方法。

在某个选定的地点（国际上约定在纬度为 45° 的海平面）。把标准物体挂在弹簧下面，记下弹簧的伸长，然后以

使这个弹簧作同样的伸长为准，造出多个该物体的复制品，再用不同数量的复制品挂在弹簧下面，结果可以发现弹簧的伸长量在一定范围内与所挂的复制品的个数成正比。所以，只要按弹簧的伸长量标记出力的大小，就能得到一个弹簧测力计。这就是量度力的静力学方法。

力的静力学量度方法曾经是静力学发展的基础，也是伽利略、牛顿建立动力学的基础。人们在对动力学的研究中，又建立了力的动力学量度方法，即用力所引起的物体运动状态的变化来量度力的方法。其根据是：既然力的作用效果在于产生加速度，因此有理由利用力产生的加速度来量度力。这其中一种基本办法是：选定任一标准物体(质点)，使物体受到一定的作用力而相对于惯性系作加速运动。既然加速度是力作用于物体的结果，我们有理由根据观察作出假设：对于标准物体，加速度越大，力也应该越大。物体所受的力的数值与它产生的加速度成正比，即

$$F \propto a \quad (1.1.1)$$

例如测出标准物体加速度为一个单位，便可定义使它产生这一加速度的力为一单位力。

为了具体实现对任意物体的作用力的量度，现令弹簧的一端固定，拉伸或压缩弹簧并使之与标准物体相联结，使标准物体受弹簧力产生加速度。依(1.1.1)式，标准物体一定的加速度不但与一定的力相对应，也对应于弹簧一定的伸长量或压缩量，这样，我们就可以根据弹簧使标准物体产生的加速度数值，相应地对弹簧进行刻度，这就得到一个弹簧测力计。

力是矢量。大小、方向和作用点是力的三要素。作用在

同一物体上的力具有可叠加性，力的叠加遵循矢量合成法则。

(二) 万有引力和重力

在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中，牛顿提出了万有引力定律：任何二物体间均存在相互吸引力。若物体可视为质点，则两质点的相互吸引力 f 沿二质点的连线方向作用，与两质点的质量 m_1 和 m_2 成正比，与它们之间距离 r 的平方成反比，即

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.1.2)$$

G 为一普适常数，称为万有引力常数，对任何物体都适用。万有引力定律只适用于质点，即只有在物体的大小远小于物体间的距离 r 时，物体间的吸引力才能使用上式计算。如果物体的大小与物体间的距离相差不大，计算两物体间吸引力的方法是把每一个物体分成许多小部分，使每一部分都可视为质点，利用上式求出第一个物体各小部分与第二个物体各小部分之间的引力，每个物体所受的引力等于其各部分所受引力的矢量和。可以证明，若物体为球体，且密度均匀分布（体密度为常数）或按球层均匀分布（体密度为 r 的函数），它们之间的引力仍然可用上式计算，但其中 r 表示两球球心之间的距离，而引力则沿两球球心的连线。例如地球和月球之间的引力，就用地球中心和月球中心间距离来计算。

万有引力常数（又称引力恒量），其值与作为考察对象的两个物体无关，它是自然界的一个普适常数。首先用实验室

方法测出 G 值的是英国物理学家卡文迪许，它使用的仪器叫做扭称。现在公认的 G 值为

$$G = 6.6720 \times 10^{-11} \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{千克}^2$$

由于万有引力常数的数值很小，所以日常所见的物体之间的相互吸引力极小，通常可以忽略不计。

现在讨论重力和重量。当质点以线悬挂并相对于地球静止时，质点所受重力的方向沿悬线且竖直向下，其大小在数值上等于质点对悬线的拉力。实际上，重力是悬线对质点拉力的平衡力。重量的大小与质量的大小有关($\vec{W} = m\vec{g}$)，但不能将重量和质量混为一谈。质量反映物体被当作质点时的惯性，是任何物体本身所固有的属性。重量是物体所受重力的大小，属于相互作用的范畴。这是质量和重量最本质的区别。物体总是具有质量的，但若物体失去重力的作用，例如当星际飞船远离地球和其他行星的时候，重量就没有意义了。

在中学课本里，对重力的概念是这样表述的：由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力。但严格地说，物体受到重力只是物体所受地球吸引力的一个分力。由于地球的自转，地球并不是精确的惯性系，若以地球为参照系，还需考虑离心惯性力，这时，重力和地球引力将有微小的差别。

将质量为 m 的质点悬挂于线的末端且相对于地球静止，它受到三个力，即线的拉力 $\vec{T}$ ，地球引力 $\vec{f}$ 以及离心惯性力 $\vec{f}_o = m\omega^2 \vec{R}$ ， ω 为地球自转的角速率， $\vec{R}$ 为自地球自转轴引向质点的矢量，它与地球自转轴垂直，如图(1-1-1)所示。此三力平衡，得

$$\vec{T} + \vec{f} + \vec{f}_o = 0$$

根据重力定义, $\vec{W} = -\vec{T}$ 得

$$\vec{W} = \vec{f} + m\omega^2 \vec{R}$$

可见, 更精确地说, 质点重力为地球引力与离心惯性力的合力。

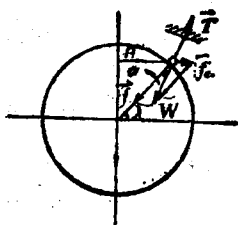


图1-1-1

根据上式, 质点所在纬度不同, 质点到地球自转轴的距离 R 也不同, 离心惯性力也就不相同, 由此导致重量因纬度的改变而改变。

首先讨论重力偏离引力的角度, 如图1-1-1, 对图中的三角形应用正弦定理,

$$\frac{\sin \alpha}{f_o} = \frac{\sin \lambda}{W}$$

解出 $\sin \alpha$,

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{f_o}{W} \sin \lambda = \frac{m\omega^2 R_{\text{地}} \cos \lambda}{mg} \sin \lambda \\ &= \frac{\omega^2 R_{\text{地}} \sin 2\lambda}{2g} \quad (1.1.3) \end{aligned}$$

$R_{\text{地}}$ 表示地球半径, 将 $\omega = 7.3 \times 10^{-5}$ 弧度/秒, $R_{\text{地}} = 6.4 \times 10^6$ 米以及 $g = 9.8$ 米/秒² 代入, 若 α 很小, 则 $\alpha \approx \sin \alpha$, 即

$$\alpha \approx \sin \alpha \approx 1.74 \times 10^{-8} \sin 2\lambda \text{ 弧度}$$

例如取 $\lambda = 45^\circ$, 则 $\alpha \approx 6'$ 。可见重力与引力之间的夹角是很小的。

下面再讨论重力的大小随纬度的变化。仍对图1-1-1中的三角形应用正弦定理

$$\frac{W}{\sin \lambda} = \frac{f}{\sin(180^\circ - \lambda - \alpha)}$$

$$= \frac{f}{\sin(\lambda + \alpha)}$$

解出 W ，并认为 $\cos \alpha \doteq 1$ ，得

$$W \doteq f(1 + \operatorname{ctg} \lambda \sin \alpha)^{-1}$$

将(1.1.3)式代入上式，得

$$W \doteq f \left(1 + \frac{\omega^2 R_{\text{地}} \cos^2 \lambda}{g} \right)^{-1}$$

括号内第二项是小量，由幂级数展开得

$$W \doteq f \left(1 - \frac{\omega^2 R_{\text{地}}}{g} \cos^2 \lambda \right)$$

这就是重量随纬度变化的公式。在赤道上， $\lambda = 0$ ， W 最小，

在两极 $\lambda = \pm \frac{\pi}{2}$ ， W 最大，且 $W = f$ ，即重量等于地球引力；

在其他纬度， W 在最大最小之间。但总的来说， W 和 f 相差不多，例如在 $\lambda = 45^\circ$ 处

$$W \doteq f(1 - 0.00174)$$

由于重力与引力的夹角很小，离心惯性力的大小与重力大小相比又微乎其微，故重力是地球引力的主要成分，将重力看作地球引力的误差和将地球视作惯性系所引起的误差是相当的。

(三) 弹性力

当物体发生形变时，在弹性体内部所产生的企图恢复原来形状的反抗力，称为弹性力(又叫弹力)。

弹簧被拉伸或压缩时，形状发生变化，其内部就产生一种企图恢复原来形状的弹性力。在弹性限度内，弹性力的大小和物体的形变成正比例关系，但比例系数因材料和形状的不同而不同。弹性力的方向总是反抗产生该力的物体形变。例如：绳子被拉伸时所产生的张力，当两个物体接触时垂直于接触面的相互作用力，发生形变的弹簧所产生的力等，都是弹性力。

两物体互相挤压时有正压力产生，其方向沿接触面的法线。正压力的大小与运动状态有关(如升降机中的物体与升降机底板间的正压力就与升降机的加速度有关)。不要认为倾角为 α 的斜面上的物体 m 与斜面间的正压力总等于 $mg\cos\alpha$ ，如果斜面相对地面作加速运动，则正压力数值将要改变。绳上的张力就是绳上各相邻部分的相互拉力。在一般情况下，用力拉绳，绳上各处的张力不一定相等。只有在绳的质量可以忽略不计时，或绳作水平方向的匀速运动(或静止)时，绳上各处的张力才相等，且沿绳的方向。

弹簧的弹力是力学中研究得较多的一种弹性力。图1-1-2表示弹簧一端固定，另一端与一质点相连。弹簧既不伸长也不缩短的状态叫自然伸展状态(弹簧为原长时)。以弹簧自由伸展时质点的位置为坐标原点，沿弹簧轴线建立坐标系 $0-x$ ， x 表示质点坐标(亦即自原点开始的位移)，用 f_x 表示作用于质点的弹性力，在 x 不太大的条件下(弹性限度内)，有

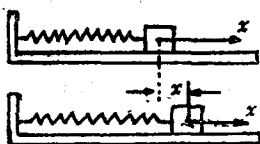


图1-1-2

$$f_x = -kx \quad (1.1.4)$$

即弹簧弹性力的大小与物体相对于坐标原点的位移成正比，而方向与位移方向相反。比例系数 k 叫做弹簧的倔强系数(又叫刚度系数)，即弹簧受到单位外力作用时的形变长度，它是描述弹簧性质的物理量。式中 x 的数值实际上就是弹簧的形变长度(伸长或压缩量)。

值得注意的是，式(1·1·4)中的 x 并不是在任何情况下都为质点的坐标，只有取弹簧自由伸展时质点的位置为坐标原点，且坐标轴沿弹簧轴线时，式中的 x 才表示质点的坐标。

(四)摩擦力

固体间的摩擦叫干摩擦。干摩擦力包括静摩擦力和滑动摩擦力。

1. 静摩擦力。在相互挤压的物体的接触面间有相对滑动趋势，但还没有发生相对滑动的时候，接触面间便出现阻碍发生相对滑动的力，这个力就叫做静摩擦力。静摩擦力总是沿接触面作用的，并与接触面间相对滑动趋势的方向相反。应注意这里说的是“接触面间的相对滑动趋势”，一个运动物体对另一与之接触的物体不一定有相对滑动趋势。例如，一物体放在小车上，一起沿水平方向作匀速直线运动，物体与小车相对静止。这时，虽然该物体相对地面作匀速直线运动，但它和与之接触的小车之间没有相对运动趋势，也就没有摩擦力。静摩擦力的大小由物体所受其他力及物体运动状态而定，它没有“独立自主”的大小和方向，处于“被动地位”。但静摩擦力并不能无限制地增加，当物体处在从接触物间相对的“静”到“动”的临界状态时，静摩擦力达到最大

值，叫做最大静摩擦力。摩擦力和许多因素有关，很难用简单的公式精确描述它所服从的规律。当讨论一般力学问题时，人们通常采用库仑提出的近似经验公式来计算最大静摩擦力

$$f_{0max} = \mu_0 N \quad (1.1.5)$$

f_{0max} 表示最大静摩擦力， N 表示接触面间的正压力，静摩擦系数 μ_0 为一无量纲的纯数。 μ_0 与接触面的材料、表面光滑程度、干湿程度、表面温度等有关。

认为摩擦力总等于 $\mu_0 N$ 是错误的。用 f_0 表示静摩擦力，根据物体的受力和运动状态， f_0 的可能取值范围为

$$0 \leq f_0 \leq f_{0max} = \mu_0 N$$

静摩擦力的特性可以这样概括：在不超过最大静摩擦力的前提下，为了防止接触面发生相对滑动，需要多大静摩擦力，就会产生多大静摩擦力，需要它沿哪个方向，它就沿哪个方向。

一提到摩擦力，一些人就把它说成“摩擦阻力”，这是不对的。摩擦力不一定是阻力，有时它可以是使物体加速运动的“动力”。如图1-1-3所示，物体 m_1 放在物体 m_2 上面， m_2 与水平桌面接触。 m_2 受到水平力 $\vec{F}$ 的作用而与 m_1 一起作加速

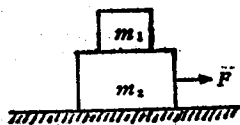


图1-1-3

运动(即 m_1 相对 m_2 静止)。物体 m_1 之所以能够和 m_2 一起向右加速运动，就是由于受到 m_2 对它的静摩擦力的作用。在这里，静摩擦力对 m_1 起着“动力”的作用。

2. 滑动摩擦力。相互接触的物体发生相对滑动时，在接触面上阻止物体间相对滑动的摩擦力称为滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总和物体相对运动的方向相反。例如一物体在静止的水平桌面上向右运动，则作用于物体的滑动摩擦力向左。

滑动摩擦力可用下面的近似公式计算：

$$f = \mu N \quad (1.1.6)$$

其中 μ 为无量纲的比例常数，叫滑动摩擦系数，它与摩擦材料、表面光滑程度、干湿程度、表面温度等因素有关。滑动摩擦系数 μ 要比静摩擦系数 μ_0 小一些。一般计算时可认为 $\mu = \mu_0$ 而不加区别。

万有引力或重力等，有其“独立自主”的方向和大小，不受质点运动状态和质点所受其他力的影响，从而处于“主动地位”，在力学问题中，常作为已知力出现。摩擦力、绳内张力以及物体间的挤压弹性力则常常没有自己“独立自主”的方向和大小，要由受力质点的运动状态和所受到的其他力以至其他条件来决定，从而处于“被动地位”。如升降机中物体受到的支承力将因重力和升降机的运动状态决定。在力学问题中，被动力常常作为未知力出现。

(五) 研究摩擦力时应注意的几个问题

1. 相对运动趋势的指向，可以理解为假设摩擦力消失时，物体在其他力作用下所具有的接触面相对运动的方向。

2. 在(1.1.5)和(1.1.6)式中的正压力 N 是指接触面作用于物体的法向力。这个正压力不一定与物体所受的重力等

值(见例1)。

3. 静摩擦力的大小有一个可能取值范围。在接触面的相对运动即将发生(临界状态)时,静摩擦力的大小由(1.1.5)式决定,在其他情况下,它要由力学条件决定。例如,质量为 m 的物体在水平传送带上随传送带一起运动(无相对滑动),若运动是匀速的,则摩擦力为零;若运动是加速的,且加速度为 a ,则物体 m 所受的静摩擦力为 $f_0 = ma$ 。

(六)例题

例1 试求图1-1-4中所示六种情况下木块对支持面的正压力。

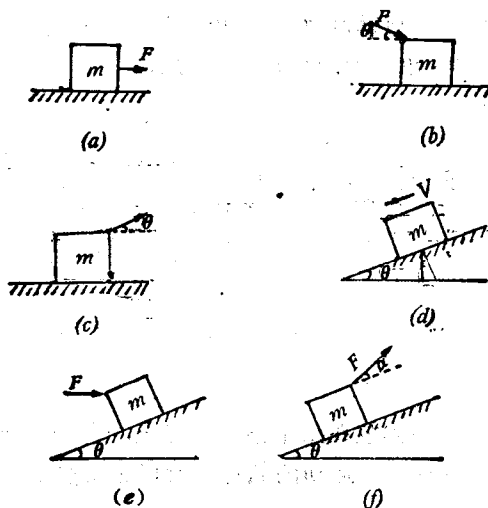


图1-1-4