

北京市西城区教育教学研究中心 编

高中物理学法指导

(上册)

力学·热学



教育科学出版社

(京)新登字第111号

高中物理学法指导 (上册)

力学·热学

北京市西城区教育教学研究中心编

责任编辑: 刘 进

教育科学出版社出版、发行 (北京·北太平庄·北三环中路46号)

新华书店北京发行所经销

廊坊人民印刷厂印装

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 10.75 字数: 232,000

1992年2月 第1版 1992年2月 第1次印刷

印数: 00,000—12,000册

ISBN 7-5041-0786-7/G·748 定价: 3.85元

前 言

高中学生中大多数都认为物理课难学，他们感觉对概念的理解难，对各种问题的分析难，对千变万化的题型掌握难，总之他们说物理知识太活，不容易掌握。为了学好物理，这些同学往往身陷“题海”，耗时费力，却收效甚微。

为了帮助高中学生解决“学习物理难”的问题，北京市西城区教育研究中心物理教研室组织本区教师对“学习物理的方法”进行了多年的研究和探索，并努力在教学实践中对学生给予具体的指导。实践证明，这种注重学法指导的教学方式，不仅有利于学生掌握基本知识和基本技能，免受“题海”之苦，更重要的是使学生提高了自学能力，学会了如何学习和如何钻研问题，同时也使学生明显地提高了学习成绩。在对“学习物理的方法”研究和实践的基础上，我们组织编写了《高中物理学法指导》一书。

《高中物理学法指导》分为上、下两册，上册是力学、热学部分，下册是电学、光学和原子物理部分。本书对每一部分物理知识的学法都从学习和应用两个方面加以具体的指导。其中“学习指导”部分着重分析如何理解和掌握物理概念、定理和定律、如何掌握知识结构和它们之间的内在联系，而“应用指导”部分结合例题着重分析解决物理问题的正确思路 and 一般方法。每部分物理知识后面附有相应的自测练习。

本书力图通过学法指导，使学生提高能力，学会如何学习。我们希望高中学生通过本书能改变物理课难学的认识，从而对学习物理的方法有所体会，并能通过适量的练习达到获得较好学习效果的目的。

参加本书编写的有：北京四中缪秉成、刘长铭，北京七中石有龙，北京八中刘千捷，北师大实验中学艾立川，北京师大二附中袁伦德，北京市西城区教研中心孙尚礼等同志。由于水平有限，本书难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1991年8月

目 录

一、力与运动·····	(1)
二、功和能·····	(72)
三、动量·····	(141)
四、机械振动和机械波·····	(195)
五、热学·····	(257)
六、选择题的一般解法(上)·····	(298)
自测练习答案与提示·····	(321)

一、力与运动

力学是物理学的基础和重点.力学的全部内容可以概括为三个主要的关系及相应的规律,即力与运动的关系和相应的牛顿运动定律;功和能的关系及相应的动能定理、机械能守恒定律;冲量和动量的关系及相应的动量定理、动量守恒定律.贯穿这三个主要关系的一条主线就是力,实际上它们都是从不同角度、不同侧面反映着力的作用效果.从这个意义上讲,力与运动又是更为基础更为重要的知识.

学习物理有一个从必然到自由的过程,这个过程中主要是体会物理学的研究方法和学习方法.谁能更主动更自觉地掌握它,就取得了学习物理的自由.

学 习 指 导

力与运动的关系包括三方面内容:力、机械运动和力与运动的关系.

(一) 力

1. 力的概念

力是物体对物体的作用.因此,没有脱离物体的力,一个孤立的物体也不存在力的作用.力是使物体发生形变和产生加速度的原因.

力是矢量.大小、方向和作用点是表述一个力不可缺少的三个要素.

2. 力的种类

不同种类的力是按产生原因不同划分的.从实质看,力分引力、电磁力、强相互作用力(如核力)和弱相互作用力.在中学则是从宏观上产生原因不同划分的,有重力(万有引力)、弹力和摩擦力,以及以后学习的电场力和磁场力等.并且不严格区分重力与万有引力的差异.

对各种力应从产生原因和方向特点上来把握.请看下面表格:

力	产生原因	方向
重力	由于地球吸引	竖直向下(指向地心)
弹力	由于形变	垂直界面,使形变恢复
摩擦力	相互挤压的物体间有相对运动或相对运动趋势	阻碍相对运动或相对运动趋势

(1) 关于重力方向,说竖直向下和说指向地心都是正确的.但是,这两种说法又是有差异的,甚至是“矛盾”的.

按“竖直向下”的说法,物体(质点)在不太大的运动范围内,在各处所受重力的方向是彼此平行的,而不考虑它们终究要交于地心的情况,这样使得解题带来很大方便,摆脱了微小角度的三角函数的运算,所得结果也是足够精确的.物理学是以实验为基础的科学,理想化的方法正是由此提炼的重要研究方法.当讨论人造地球卫星的环绕运动时,说重力的方向指向地心(因而方向不断变化)就更为贴切.

(2) 弹力和摩擦力都是相互接触的物体间的作用力.但

是, 接触的物体间又不一定有弹力或摩擦力, 这还要看物体有无形变, 有无相对运动或相对运动趋势. 而形变在物理示意图上常常没有表现, 这就要从物体的运动状态或其他受力情况来判断. 从这个意义上讲, 弹力和摩擦力又是被动力. 所以, 在对物体进行受力分析时, 往往最后分析接触力——弹力和摩擦力.

(3) 摩擦力有滑动摩擦力和静摩擦力之分. 滑动摩擦力 f 等于滑动摩擦系数 μ 与正压力 N 的乘积

$$f = \mu N$$

两个物体间有相对运动, 无论匀速还是加速运动, 都用此公式计算.

静摩擦力的取值要视物体其他受力情况和运动状态而定, 可从零到最大静摩擦力.

判断摩擦力的方向的关键是正确判断“相对运动”. 请看下面例题.

例1. 如图1-1所示, A 和 B 分别为皮带轮的主动轮和被动轮的边缘一点. 试分析工作时, 皮带对 A 、 B 的摩擦力方向.

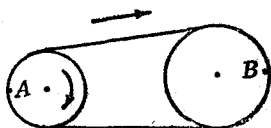


图 1-1

分析这个问题, 首先要弄清 A 、 B 两点相对皮带的运动趋势是什么方向. “假定摩擦力消失” 是判断静摩擦力方向的重要方法. 当主动轮如图示方向转动时, A 点相对皮带有向上运动的趋势, 皮带施于 A 点的静摩擦力方向应是向下的. 如果被动轮与皮带间的摩擦力消失, 则 B 点相对皮带有向上运动的趋势, 故皮带对 B 点的摩擦力的方向是向下的. 被动轮正是靠这一摩擦力的力矩, 使其开始转动的. A 点受皮带的摩擦力

方向与其运动方向相反，而B点受皮带的摩擦力方向与其运动方向相同。但是它们受的摩擦力的方向总是与它们相对皮带的运动趋势方向相反。这一点是相同的。

3. 力的合成与分解

理解合力与分力的定义是掌握力的合成与分解的前提。如果一个力作用的效果与其他几个力作用的效果相同，那么，这个力就叫那几个力的合力，那几个力就叫这个力的分力。也就是说，合力与分力是从等效的思想出发定义的。

由分力找合力的方法叫力的合成，反之叫力的分解。

实验表明二力合成遵循平行四边形法则，如图1-2所示， F_1 与 F_2 两力的合力 F 是以 F_1 和 F_2 为边的平行四边形的对角线。从图中可以看出， F_1 、

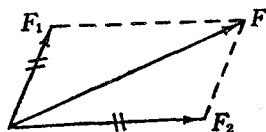


图 1-2

F_2 和它们的合力 F 的力图可构成一个三角形。在中学这一三角形多是直角三角形或等腰三角形，即主要用解直角三角形的方法来求合力与分力的数值关系。

求更多力的合力，可采用逐个求两个力的合力的方法，依次计算，求得最后的合力；也可采用正交分解法，先把各分力分别投影到两个互相垂直的方向，然后再计算在这两个方向上的合力，最后，再用勾股定理，求出最后的合力。

(二) 物体的平衡

平衡是指物体的运动状态不改变，即物体处于静止、匀速直线运动及物体围绕固定轴的匀速转动。物体受力时处于平衡，习惯上也称这些力（或力矩）处于平衡。

1. 共点力平衡条件

共点力是指一个物体所受的各个力的力线交于一点，或力线的反向延长线交于一点。

共点力平衡的问题，二力平衡条件是基础，三力平衡是重点。

如果两个共点力处于平衡，则这两个力大小相等，方向相反，作用于一条直线上。

如果三个力共点平衡，则任意两个力的合力必与第三个力大小相等，方向相反，在一条直线上。如图1-3中 (a) 所示， F_1 、 F_2 和 F_3 三力共点平衡，则 F_1 与 F_2 的合力 F_{12} 与 F_3 大小相等方向相反，在一条直线上。即这三个力可构成一个力的三角形，如图1-3 (b) 所示。

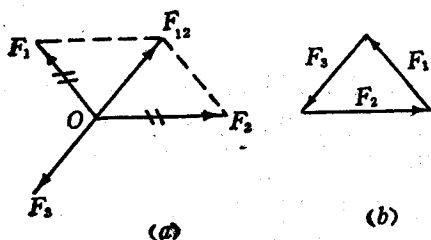


图 1-3

所以，共点力平衡的条件，可概括为这些共点力的合力为零，即 $\Sigma F = 0$ 。

在中学这个力的三角形多为直角三角形或等腰三角形。最终用解直角三角形的方法，来求解三个力的关系。

2. 力矩平衡条件

力矩是讨论物体绕固定转轴转动时，引入的概念。力矩等于力与力臂的乘积，即

$$M = FL$$

其中力臂 L 是从支点(转轴)到力线的距离。

力矩平衡的条件是合力矩为零,或顺时针方向力矩之和等于逆时针方向力矩之和。

(三) 受力分析

受力分析是学好力学的基本能力要求。正确的受力分析是解好力学习题的基础。

受力分析的一般步骤是:

(1) 确定研究对象——受力物体。分析时,只找它受的力,而不论及它施的力。

(2) 按重力(场力)、弹力和摩擦力的顺序分析研究对象的受力。每个力必须有施力物体,找不到施力物体的力是不存在的。

(3) 由于弹力和摩擦力是被动力,常常不好只用接触来判断其是否存在。这时,可通过参考物体的运动状态或看其反作用力是否存在,来进行判断。

例1. A 、 B 、 C 三个长方体重分别为 G_A 、 G_B 、 G_C ,它们迭放在水平面上,如图1-4所示。现对 B 施水平力 F ,整个装置仍保持静止。试分析物体 B 受的力。

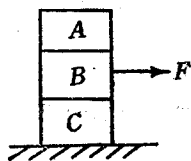
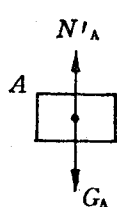
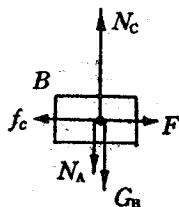


图1-4



(a)



(b)

图1-5

以物体B为研究对象, 它受已知力 F , 重力 G_B . 再分析接触力, 物体B分别与物体A、C接触, A对B有压力 N_A , 并且不难知道 $N_A = G_A$. A对B有无静摩擦力呢? 单纯看物体B, 是不能判断的, 如果冒然判断, 常常发生错误. 于是, 可先看B对A有无静摩擦力. 这就要分析物体A的受力情况. 如图1-5

(a)所示, 物体A受重力 G_A , B对A的支持力 N_A' , 且 $N_A' = G_A$ (这是一对平衡力), $N_A' = -N_A$ (这是一对作用力和反作用力). 由于A静止, 所以不可能再受B施的静摩擦力. 这说明A、B之间无相对运动趋势. 因而A对B也无静摩擦力.

进而可知, 物体C对B有支持力 N_C , 且有 $N_C = G_A + G_B$, C对B一定有静摩擦力 f , 以与力 F 平衡. 这样物体B受力如图1-5 (b) 所示.

上述分析过程实际上走了弯路. 如果一开始从整体处于平衡看: 可知水平面对物体C必有向左的静摩擦力 $f (=F)$, 可知B对C有水平向右的静摩擦力, 同时C对B也有同样大小的水平向左的静摩擦力, 以与力 F 平衡. 自然A对B只有压力 $N_A (=G_A)$ 了. 或者一开始就先对受力最简单的物体A作受力分析, 也会使解题过程来得简明.

(四) 质点的运动

质点是物理学引入的第一个理想化模型. 如果一个物体运动时, 它各个部分运动情况都相同, 那么, 在研究其运动规律时, 它的任何一点的运动, 都可以代表整体的运动. 这时物体的大小、形状都无关紧要, 就可以把物体当成一个“有质量的点”——质点.

1. 从匀速直线运动到匀变速直线运动

(1) 匀速直线运动

加速度为零,速度恒定且不为零的运动是匀速直线运动。做匀速直线运动的物体在任意相等的时间内的位移都相同。若它在时间 t 内位移为 s ,则它的速度为

$$v = s/t$$

位移

$$s = vt$$

图1-6和图1-7分别是匀速直线运动的 $v-t$ 图线和 $s-t$ 图线。

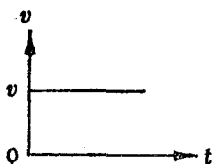


图 1-6

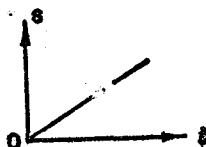


图 1-7

(2) 匀变速直线运动

变速直线运动的速度在不断变化,因此引入一些新的物理量来描述它。这就是平均速度、即时速度和加速度。

平均速度 $\bar{v}$: 做变速直线运动的物体在时间 t 内位移为 s ,则它的平均速度

$$\bar{v} = s/t$$

它从整体上概括地表述了做变速直线运动的物体运动的快慢程度。引入平均速度实际上是把变速直线运动当成以平均速度 $\bar{v}$ 为速度做匀速直线运动,两者的总体效果相同。这里体现了物理学用简单运动形式描述复杂运动,用已知运动描述未知运动的等效方法。

对于匀变速直线运动，其平均速度 $\bar{v}$ 还等于初速度 v_0 与末速度 v_t 的平均值，即

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

即时速度：做变速运动的物体通过某个位置或在某一时刻的速度，可理解为平均速度在时间 t 趋于零时的极限。

加速度 a ：描述速度变化快慢的物理量。定义

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

是即时速度随时间的变化率，所以速度随时间变化的图线的斜率即是加速度。

加速度的方向与速度变化的方向是一致的，但应注意到速度变化 $\Delta v = v_t - v_0$ 是矢量差，应用平行四边形法则运算。

匀变速直线运动是加速度恒定的运动。

匀变速直线运动的基本公式有

速度公式 $v_t = v_0 + at$ (1)

位移公式 $s = \frac{v_0 + v_t}{2} t$

或 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ (2)

(1)、(2) 两式消去 t ，可得

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

上述公式中，除时间 t 外，其他均为矢量，对于直线运动，常用正负号来表明其方向，习惯上常选定初速度 v_0 为正方向。

上述公式中共含五个物理量，有两个独立的方程（公式），故解匀变速直线运动的习题时，必须从题中找到三个

已知量（或关系），特别应注意初速度为零或末速度为零这样的已知条件。

初速度 $v_0 = 0$ 时，上述公式变为：

$$v_t = at, \quad s = \frac{1}{2}at^2 \left(s = \frac{v_t}{2}t \right), \quad v_t^2 = 2as$$

若末速度为零，则加速度必为负值。若 a 仅为加速度的大小，则有 $v_0 = at, \quad s = \frac{1}{2}at^2, \quad v_0^2 = 2as$ 。

2. 抛体运动

(1) 运动的合成和分解

一个物体同时参与两个以上的运动，这些运动彼此独立、互不干涉同时进行，故可以依照等效的观点及平行四边形法则，对其运动（速度和位移等）进行合成或分解。

如船过河的问题，过河时间只能由划船的速度决定，欲用最短时间过河，只需划速方向始终垂直岸，但它的实际运动情况如图 1-8 所示。如果要用最短位移过河，就要求划速 v_1 与水流速 v_2 的合速度方向始终垂直岸（条件是 $v_1 > v_2$ ），如图 1-9 所示。

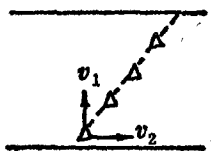


图1-8

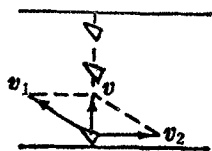


图1-9

又如，所有的抛体运动都可视为匀速直线运动与自由落

体运动的合运动。

(2) 平抛运动

平抛运动是初速度 v_0 为水平方向，加速度为重力加速度 g 的运动，可视为水平方向的匀速直线运动与自由落体运动的合运动。

按照运动独立性的观点，平抛运动落地时间由自由落体时间决定，即

$$t = \sqrt{2h/g}$$

式中 h 是落下的高度。而它的水平射程则由抛出时的速度 v_0 和落下的高度 h 共同决定，即

$$s = v_0 \sqrt{2h/g}$$

同样，平抛运动在任意时刻的速度 v_t 的水平分量都是 v_0 ，竖直分量则是随时间不断变化的 gt 。

平抛运动的速度的大小和方向都随时间不断变化，但是它的加速度始终为 g ，即速度随时间的变化率是恒定的。

3. 圆周运动

质点做圆周运动时速度的方向始终是切线方向。为此引入一些新的物理量来表述。

角速度 ω ：质点做圆周运动的半径转过的角度 ϕ （以弧度为单位）与所用时间 t 的比叫角速度，即

$$\omega = \phi/t$$

线速度 v 的大小可用质点通过的弧长与所用时间的比来计算，由弧度的定义可知

$$v = \omega r$$

式中 r 为圆周的半径。

匀速率圆周运动是角速度 ω 恒定的运动，其线速度的大

小不变，方向因始终为切线方向而在不断变化。其加速度的方向始终指向圆心（因而也不断变化），加速度的大小为

$$a = v^2 / r,$$

或

$$a = \omega^2 r = \omega v,$$

周期 T ，

$$T = 2\pi r / v,$$

或

$$T = 2\pi / \omega.$$

应注意匀速率圆周运动是加速度不断变化的变加速运动。

（五）牛顿运动定律

1. 牛顿第一定律（惯性定律）

一切物体都具有保持自己原来运动状态的性质称为惯性。所谓原来运动状态就是指静止、匀速直线运动以及一个物体绕固定转动轴的匀速转动（中学基本不涉及这种情况），惯性是物体的固有属性，不管它运动状态是否改变，物体的惯性始终存在。质量是惯性大小的量度。质量越大，惯性越大，表现为改变它的运动状态越不容易。

牛顿第一定律也称为惯性定律，通过大量观察和实验总结出：物体只有在不受外力时，才保持自己原来的运动状态。

牛顿第一定律说明维持物体的速度不需要力，改变物体的速度才需要力。它不但给力的科学定义创造了条件，而且还在一定程度上揭示了牛顿第二定律的内涵。认为牛顿第一定律是牛顿第二定律在加速度为零时的特殊情况的说法是不对的。它掩饰了牛顿第一定律的独立地位。

2. 牛顿第二定律

牛顿第二定律的内容是：物体运动的加速度跟它所受的