高等学校理工科参考书

普通物理疑难问答

邓飞帆　葛昆龄　王祖恺编著

湖 南 科 学 技 术 出 版 社

普通物理疑难问答
邓飞帆　葛昆龄　王祖恺编著
责任编辑：曾平安
*
湖南科学技术出版社出版
（长沙市展览馆路14号）
湖南省新华书店发行　湖南省新华印刷二厂印刷
*
1984年7月第1版第1次印刷
开本：787×1092毫米　1/32　印张：11.5　字数：262,000
印数：1——29,200
统一书号：13204·100　定价：1.50元

前　言

本书是为学习大学课程"普通物理学"的学生编写的。编者在多年的普通物理教学中，接触到不少学生提出来的问题，尤其是一些优秀的学生，他们往往不满足于现有教科书的内容，想多学一些知识，深钻一些问题。为此，编者在近几年中为他们开设了"普通物理课外讲座"，以满足他们的愿望。本书实际上就是在这些讲座的基础上，经过加工整理，充实提高后编写而成的。

国内已出版了不少中、外普通物理教科书和习题集（包括题解）。为了避免重复，本书在取材上，主要侧重三个方面的内容：一般书上讨论得不够完善的问题；能启发学生兴趣和思维的问题；有关重要的物理学史的问题。通过这些内容的讨论与介绍，希望学生能够更多地懂得怎样提出问题，怎样分析问题，怎样解答问题。这实际上也就是着眼于提高学生的学习兴趣和学习能力，而不是单纯地学会解几道习题。本书的"问题讨论"部分，就是服务于上述目标，并构成了本书的主要内容。

本书的另一部分内容是"精选习题"和"习题解法与讨论"。这里所选的习题，每一道都有明确的目的：或者是很富启发性或趣味性的应用题，或者是很容易出现概念错误的习题，或者是与"问题讨论"相呼应的一些例题。读者最好是先自己将某个题做一遍，并对照一下题目后面附的答案，如果不对，再好好想一想，重做一遍（这就是为什么把解题方法和习题分开编排的原因）。如果答案对了，还应该再看一看后面的解答与讨论，

在解题方法和有关的概念理解等方面，很可能有读者想不到的地方。

由本书的“问题讨论”所列的标题可以看出，这些问题绝大多数是从学生中来的。因此本书对于担任普通物理学课程的教师，可能会有帮助。他们或许能通过本书讨论的问题，了解到学生可能出现的想法，从而在教学中便于做到“有的放矢”。在本书收入的问题中，把那些概念丰富和灵活性强的问题，作为讨论课的选题或者课外补充题使用是比较适宜的。

编者水平有限，有些问题又不能脱离普通物理的水平来处理，难免在书中出现不深不透或错误的地方，希望读者给予批评和指正。

编者谨识

1983年4月于长沙

目　录

第一部分　力学

【问题讨论】

1—1　关于平均加速度的定义及有关的公式

先说明一下，我们在这里只考虑直线运动。通常用下式定义平均加速度：

$$\overline{a}=\frac{v-v_0}{t} \qquad (1—1—1)$$

式中，v_0是初速度，v是末速度，t是速度变化所经过的时间。如果把一个实际的变速运动看作匀变速运动，那么可设这个匀变速运动的加速度为$\overline{a}$；从而在t时间后，速度的增加与实际的变速运动相同。

如果$t\to 0$，平均加速度就过渡到瞬时加速度。用a表示瞬时加速度，则

$$a=\lim_{t\to 0}\frac{v-v_0}{t}=\lim_{t\to 0}\overline{a}$$

反之，如果知道瞬时加速度随时间变化的规律$a(t)$，则平均加速度可以用瞬时加速度表示出来。因为：

$$v-v_0=\int_0^t a(t)dt$$

所以　$$\overline{a}=\frac{v-v_0}{t}=\frac{1}{t}\int_0^t a(t)dt \qquad (1—1—2)$$

实际上，也可以把这个积分式子作为平均加速度的定义；它可以看作是$a(t)$对时间的积累，然后除以时间。

质点沿直线运动时，瞬时加速度也可以表示为路程 s 的函数，即 $a=a(s)$。那末，仿照前面的积分定义式，也可以将瞬时加速度对路程求平均，从而又定义出一个平均加速度来。为了区别起见，我们用$\overline{a_t}$表示对时间平均的平均加速度，用$\overline{a_s}$表示对路程平均的平均加速度，

则 $$\overline{a_s}=\frac{1}{s}\int_0^s a(s)ds \qquad (1—1—3)$$

一般说来，$\overline{a_s}$和$\overline{a_t}$不一定相等。譬如一个质点，初速度为v_0，经匀减速运动而停止，然后又经匀加速运动而达到速度v，若要问由v_0变成v 这一整个过程的$\overline{a_t}$，则要考虑到中间停顿的时间有多长。中间停顿的时间越长，则$\overline{a_t}$就越小。因为定义式中$\frac{1}{t}$在起作用，而积分值$\int_0^t a(t)dt$不受停止时间的影响。但是，从$\overline{a_s}$的定义式可知$\overline{a_s}$和中间停顿的时间无关。这个例子就说明$\overline{a_s}$与$\overline{a_t}$一般是不相同的。

$\overline{a_t}$和$\overline{a_s}$的用途也不一样。由定义式可知，

$$v=v_0+\overline{a_t}\cdot t \qquad (1—1—4)$$

这就是说，若知道初速度、知道平均加速度$\overline{a_t}$，则t时刻的末速度便可以用上式求出。但

$$\overline{a_s}=\frac{1}{s}\int_0^s a(s)ds=\frac{1}{s}\int_0^s \frac{dv}{dt}ds=\frac{1}{s}\int_{v_0}^v vdv$$

$$=\frac{1}{2s}(v^2-v_0^2)$$

所以 $$v^2=v_0^2+2\overline{a_s}\cdot s \qquad (1—1—5)$$

这是利用$\overline{a_s}$求末速度的公式，它需要知道走过的路程。(1—1—

4)和(1—1—5)式中的平均加速度很明显是不同的。

由(1—1—4)和(1—1—5)式联立，消去v，可得

$$s=\left(v_0 t+\frac{1}{2}\overline{a_t}\cdot t^2\right)\cdot\frac{\overline{a_t}}{\overline{a_s}} \qquad (1—1—6)$$

这是一个路程公式。注意这个式子与一般的匀变速运动公式不同，多一个因子$\overline{a_t}/\overline{a_s}$，而只有在匀变速运动情况下，$\overline{a_t}=\overline{a_s}=a$，这个因子才等于1。

以上的讨论告诉我们，一个变加速运动，把它等效于一个匀加速运动时，对于末速度来说，若取$\overline{a_t}$为加速度，则在时间方面等效；若取$\overline{a_s}$为加速度，则在路程方面等效。

实际上，任何一个平均量的定义，都存在“对什么平均”的问题。譬如“平均力”的定义，也可以有两种，一种是对时间平均，一种是对位移平均。两种平均方法定义出的“平均力”用途也不同。对时间平均的力用$\overline{F_t}$表示，定义为

$$\overline{F_t}=\frac{1}{t}\int_0^t F(t)dt \qquad (1—1—7)$$

它可以用来计算力在t时间内的冲量$\overline{F_t}t$。对位移平均的力用$\overline{F_s}$表示，定义为

$$\overline{F_s}=\frac{1}{s}\int_0^s F(s)ds \qquad (1—1—8)$$

用这个平均力乘时间t，并不能得出冲量来。但是，用$\overline{F_s}$乘位移，则可以得到功，

$$A=\overline{F_s}\cdot s=\int_0^s F(s)ds \qquad (1—1—9)$$

最后，再指出一点：在对$\overline{a_s}$定义时，取位移平均也可以，只是$a(s)$可能出现非单值函数的现象(同一个s可以有几个$a(s)$值)，

在积分时要注意到这一点。前面正是为了避免这一点，采用了对路程平均。

1—2　运动和力的合成与分解

在处理运动的合成与分解问题中，绝大多数是把合成运动看成两个互相垂直的分运动的合成。是不是一定要按互相垂直的方向来进行合成与分解呢？不一定。沿垂直方向分解在计算上带来一些方便，但不是一个原则问题。下面以斜向投射问题为例来说明这个问题。

抛体运动可以认为是一个水平的匀速运动和一个铅直的上抛运动的合成，这是通常用的处理方法。但是完全可以用另一

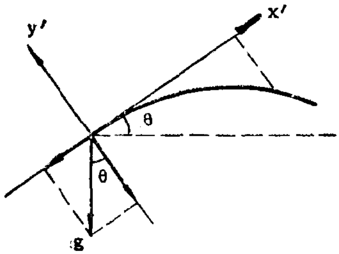

图1—2—1

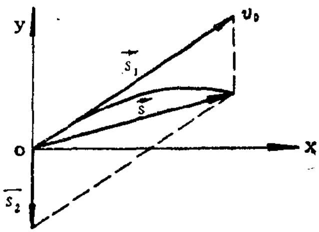

图1—2—2

种分解方法来处理这一问题：把运动看作是一个沿初速v_0方向的匀速运动与一个自由下落的匀加速运动的合成。见图1—2—1。沿v_0方向的位移用$\boldsymbol{S}_1$表示，它的大小是

$$s_1 = v_0 t$$

自由下落的位移用$\boldsymbol{S}_2$表示，它的大小是

$$s_2 = \frac{1}{2}gt^2$$

质点在t时刻的位移$\boldsymbol{S}$则是$\boldsymbol{S}_1$与$\boldsymbol{S}_2$的矢量和，

即 $\boldsymbol{S}=\boldsymbol{S}_1+\boldsymbol{S}_2$

能不能象图1—2—1那样，把通常用的水平与铅直座标转一个角度θ，使水平轴与v_0重合来处理这一类问题呢？也可以。这时v_0就可以不分解了，但是要注意，重力加速度g则要分解为$g\cos\theta$和$g\sin\theta$。这时在x'和y'方向皆为匀变速运动，运动方程为

$$x'=v_0t-\frac{1}{2}g\sin\theta t^2 \qquad (1—2—1)$$

$$y'=-\frac{1}{2}g\cos\theta t^2 \qquad (1—2—2)$$

这一组方程，一般并不比习惯用的水平和铅直座标简便，因此也很少有人采用。

再考虑一个运动分解的例子。一个木块沿斜面下滑；斜面

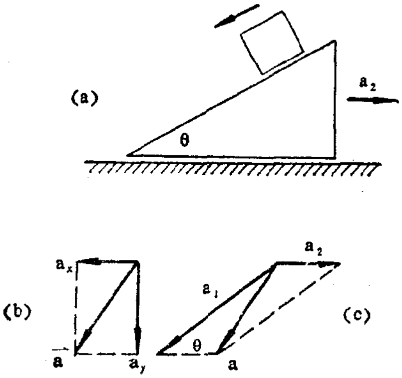

图1—2—3

同时也沿光滑水平面后退，这时木块将参与两个运动。我们可以把木块对地面的运动看成是两个运动的合成，这两个分运动怎么取法？一种是垂直分解法：木块有一个水平运动，同时

有一个铅直运动，它的加速度分别为a_x和a_y，外力也按这两个方向分解，力和加速度之间满足牛顿第二定律的关系。另一种方法是非垂直分解法：把与水平成θ角的斜面作为一个方向，水平方向为另一方向，木块的运动即是这两个方向分运动的合成。木块沿斜面方向的加速度为a_1，沿水平方向的加速度为a_2。木块对地面的加速度$\boldsymbol{a}$则为$\boldsymbol{a}_1$与$\boldsymbol{a}_2$的矢量和

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_1+\boldsymbol{a}_2$$

如果要与力联系起来，则应有

$$\sum F_1=ma_1$$

$$\sum F_2=ma_2$$

其中$\sum F_1$和$\sum F_2$是这样得到的：把力沿水平及斜面两个方向分解，将斜面方向的分力加起来就是$\sum F_1$；将水平方向的力加起来，就是$\sum F_2$。这里需要注意，a_2和前面讲到的a_x并不相同。同时在采取这样的分运动方向时，重力沿斜面的分力不再是$mg\sin\theta$，而是$mg/\sin\theta$；而且重力沿水平方向也有分力，它是$mg/\mathrm{tg}\theta$（见图1—2—4)），其它的力的分解也要按此办理。有了正确的分解方法，解这类问题就不难了。（请参考本书习题1—6)

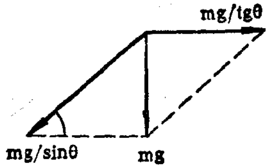

图1—2—4

1—3　为什么$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$是位移公式

对于$a>0$的匀变速直线运动，位移和路程可以认为数值总是相等的。在$a<0$的匀变速运动中，位移和路程才可能不相等。譬如铅直上抛运动，$a=-g$，起初位移和路程相等。到达最高点以后，物体开始下落，位移的数值减少而路程的数值继续增加，这时才出现差异。用$x=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$算出来的是位移还是

路程呢?这要从这个公式的来源来考察。由于上抛运动是匀变速运动，末速度公式是

$$v = v_0 - gt \qquad (1\text{—}3\text{—}1)$$

这是一个在一维情况下的矢量式子．它给出运动物体任一时刻速度的大小和方向，既可用于上升阶段，也可用于下落阶段，速度的方向是由正负号表示的。对这个式子进行时间积分，便得到

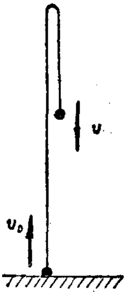

图1—3—1

$$x = \int_0^t v dt = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \qquad (1\text{—}3\text{—}2)$$

积分号中的 vdt 表示 dt 时间内移动的量。既然 v 是有方向的，因此 vdt 也是有方向的(也就是有正、负)。在 $v>0$ 时，vdt 为正(dt总是正的)；$v<0$时，vdt 就是负．这样，$\int_0^t vdt$ 就是许多小的位移迭加，这样求出来的总和当然是总的位移而不可能是路程。因此，普遍说来，$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$应看作是位移公式。譬如在斜向投射的运动中，铅直方向用这个式算出来的是铅直方向的座标(即位移)而不是铅直方向走了多少路程。

1—4　人们对惯性定律的认识

力学中的惯性定律是一个很基本的定律，在中学课本中就讲到了．可是，人类认识这个定律，却经历了漫长的实践过程．

大家都知道，天文学的发展史中有一个著名的地心说，这是二世纪科学家托勒密(～公元150年)提出来的。他认为地球是宇宙的中心，日月星辰皆绕地球而转动。他曾经想过，如果地球有移动，那末一个物体抛向空中，或者将抛体自高塔上坠

下，物体将落到后面去，因为地球向前移动了。他甚至认为，如果地球有转动，将会引起大风(因为空气相对于地面运动)消灭地球上的一切。这显然说明，托勒密的时代完全不懂得惯性的概念。甚至在哥白尼提出日心说以后，仍不断有“宇宙大风”这一类的反对议论提出来，而且都没有人能给予正确的问答。有趣的是，天文学家弟谷（1546—1601）曾经向人们解释地球的运动会造成落体向后偏移这个现象时说：这好象从正在航行的船只的桅顶丢下一块石头，石头将落到后面去。实际上，弟谷为了观察天象，经常从他的船的瞭望台上来回走动，他却从来没有用实践去检验一下他所说的话。(当然应该把风力的影响扣除掉才能得到正确的答案).最大的遗憾也许是他连想都没有想到过要去检验一下这件事，大概他觉得这是天经地义的事，根本用不着检验吧。

法国人 Camille Flammarin (1842—1925)在“大众天文学”一书中记述说，他年轻时是一个很热心的气球驾驶者，某日经过奥尔良(法国一城市)上空，投下一个文件包，结果出乎他的意料，文件包没有直接落到奥尔良城里，而是跟着气球走，沿着“一条对角线”落到罗亚尔河中去了。这清楚地说明，甚至到19世纪后期，还有些人不知道从气球上落下的东西会因惯性而继续前进，而他所谓的沿“对角线”一词，也是错的，实际物体是沿抛物线下落的。

开始触及惯性定律的是伽里略(1564—1642)。他在研究小球沿斜面滚下的规律时，发现由一个斜面的A点滚下的球(见图1—4—1)可以沿另一斜面上升达到B点，也可以沿斜度小些的斜面上升到C点或D点，A、B、C、D在同一水平面上。于是他推理：如果上升的斜度很小，几乎是一个水平面，那么小球在这个“斜面”上，也应该上升到原来的高度才停止。实际上

这一斜面没有斜度，因此小球将沿此面永不停止地滚下去。这已经有惯性定律的味道了。

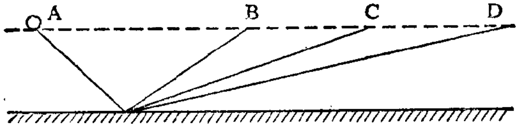

图1—4—1

但是很不幸，伽里略考虑到地球是圆的，因此任何水平面实际都是球面。他得到的结论变成：物体在不受摩擦力的情况下，将沿地球表面的球面匀速地、无限制地运动下去。相反，如果在一个真正的光滑平面上，物体沿这种平面的运动实际相当于沿斜面升高，因此速度将不断地减少(见图1—4—2)。这样，惯性定律实际上又从伽里略身旁溜走了。

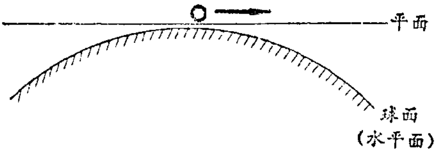

图1—4—2

真正建立起惯性定律的是牛顿(1642—1727)。他和同时代的人惠更斯(1629—1695)都研究过圆周运动，他们还找到了表示向心加速度的公式$\left(\text{即}a_n=\frac{v^2}{R}\right)$。在这些研究的基础上，牛顿扬弃了自亚里斯多德以来一直被奉为真理的看法——作匀速圆周运动是物体的本性，提出：保持匀速直线运动是物体的本性，正确的惯性概念才诞生了。

1—5 伽里略对自由落体运动的研究

16世纪的伽里略(1564—1642)是一位人们熟知的伟大科学家。他曾经在延续十几年甚至几十年的时间里研究过自由落体运动，最后在他逝世前四年(1638)出版的“新科学对话”中，才正确地阐述了这一运动的规律。现在，一个中学生就能很清楚地说明自由落体运动，而且能正确地计算出运动的时间、速度等物理量。但是对于一个处在伽里略时代的人来说，没有建立起力、质量以及它们与加速度之间的关系的概念之前。要想从复杂的自然现象中总结出自由落体的规律，可真不那么容易。下面扼要地介绍伽里略研究这一问题的思想发展梗概。

亚里斯多德(公元前384—322)早就说过，物体下落的速度是由它本身的重量决定的；重量越大，物体下落速度越快。伽里略从青年时代起就反对这一说法。他曾深入地研究过浮力原理，并且非常推崇阿基米德。伽里略最早借用浮力概念来解释物体的上升和下降。他认为，物体的比重如果大于空气，物体便下降。比重越大的物体，下降得也越快。因此，物体下落的快慢不决定于物体的重量，而决定于物体的比重。他断言，凡是比重相同的物体，下落的速度便应该一样。(他当时还没有用比重的概念，而是用同体积的重量)。

伽里略曾经用这样的推理反驳过亚里斯多德，他说：如果轻物体 m 下落的速度比重物体 M 下落的速度慢，那末把 m 与 M 用绳子连在一起会怎样呢？落得慢的 m 一定会拖住落得快的 M，结果 $M+m$ 下落的速度应在 m 与 M 的下落速度之间。可是按亚里斯多德的说法，$M+m$ 的重量大于 M 的重量，则 $m+M$ 的速度又应该比 M 快，这显然是自相矛盾的。

伽里略曾经到塔上去做实验，研究物体的下落规律。这就