

名师解惑丛书



守恒定律

官景成 编著

山东教育出版社

名师解惑丛书

守恒定律

官景成 编著

山东教育出版社

名师解惑丛书
守恒定律
官景成 编著

出版者:山东教育出版社
(济南市纬一路321号 邮编:250001)
电话:(0531)2023919 传真:(0531)2050104
网 址:<http://www.sjs.com.cn>
发 行 者:山东教育出版社
印 刷:山东新华印刷厂临沂厂
版 次:1998年9月第1版
2001年1月修订第2版
2001年1月第5次印刷
规 格:787mm×1092mm 32开本
印 张:3.75
字 数:78千字
书 号:ISBN 7-5328-2716-X/G·2494
定 价:3.60元

如印装质量有问题,请与印刷厂联系调换
地址:临沂市解放路76号 邮编:276002
联系电话:(0539) 8222161 转 3009

图书在版编目(CIP)数据

守恒定律/官景成编著. — 济南: 山东教育出版社, 1998
(2000 重印)

(名师解惑丛书)

ISBN 7-5328-2716-X

I. 守… II. 官… III. 物理课—高中—课外读物
IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 02864 号

2

B
A
B
A
B

再版说明

“名师解惑丛书”出版发行以来,以其新颖的编写体例和缜密的知识阐述,深受广大读者青睐,曾连续多次重印。

近几年来,基础教育正发生深刻的改革:“科教兴国”战略深入人心,素质教育全面推进,与此同时,以“普通高等学校招生全国统一考试试卷”为主要载体,所反映出的高考招生改革信息和发展趋势,迫切需要广大教师和莘莘学子以新的视角和思维,关注并投身到这场改革之中。

有鉴于此,我们对“名师解惑丛书”进行了全面修订。此次修订将依然保持被广大读者认同的,每一册书为一个专题讲座的模式,围绕“如何学”,“如何建立知识间的联系”,“如何学以致用”等,帮助广大学生读者解决在学习知识和考试答卷过程中可能遇到的疑难问题。更重要的是,最新修订的“名师解惑丛书”在如何培养学生的创新精神和创造能力,联系现代科学技术及其在日常生产生活中的应用方面,做了较大的充实和修订……

丛书的编写者和出版者相信,您正在翻阅的这本书,将有助于您目前的学习。

2001/10



作 者 的 话

如众所知,能量守恒定律、动量守恒定律、电荷守恒定律等守恒定律,是中学物理学习阶段内的十分重要的基本定律.

守恒定律的重要性在于,物理量守恒具有广泛的适用性,这种思想有利于人们正确认识关于时空的对称性;运用守恒定律求解实际问题时直观简捷,这是因为守恒定律与物理过程的细节无关.因此,正确理解守恒的思想,掌握进而能灵活运用守恒定律求解问题的思路和方法,在中学尤其是高中阶段就显得格外重要了.这正是编著此书之初衷.

需要说明的是,本书的例题是精选的.研读例题时应注意书中所述的例题分析和解题步骤;注意书中所归纳和总结的解题思路和解法.书后所附的练习题可以选做一些,以便通过演算习题对所学知识进行总结和检查.

2000 年 10 月

作者简介 官景成 1941 年出生, 1962 年毕业于山东师范学院物理系, 中学高级教师、中学特级教师, 现任青岛高科技工业园第二中学校长、中国教育学会物理教学研究专业委员会理事。在长期的教育实践中, 严谨治学、勤奋不辍, 逐步形成了风趣严谨、启迪思维的教学风格。曾先后被授予“人民教师”、“全国教育系统劳动模范”和“山东省优秀校长”等荣誉称号。曾出版《初中物理教学辅导》、《场》等图书多部, 在省级以上刊物上发表论文多篇。

目 录

引言	(1)
一、机械能及其守恒定律	(4)
(一)功	(4)
1. 功	(4)
2. 正功和负功	(9)
3. 示功图	(10)
(二)动能和动能定理	(15)
1. 能量	(15)
2. 动能	(15)
3. 动能定理	(17)
4. 动能定理的实质	(19)
5. 动能定理的应用	(21)
(三)势能	(29)
1. 势能	(29)
2. 重力势能是相对的	(29)
3. 重力做功与重力势能的变化	(30)
4. 弹性势能	(32)
5. 零势能面的选取	(34)
(四)机械能守恒	(38)
1. 机械能守恒的表述	(39)

2 • 名师解惑丛书

2. 机械能守恒的条件	(39)
3. 机械能守恒定律的应用	(40)
(五) 功能原理	(46)
1. 功能原理的表述	(46)
2. 功能原理的应用	(47)
二、动量守恒定律	(52)
(一) 冲量和动量	(52)
1. 冲量	(52)
2. 动量	(53)
(二) 动量定理	(56)
(三) 动量守恒	(64)
1. 动量守恒定律的表述	(64)
2. 动量守恒成立的条件	(65)
3. 动量守恒的矢量性	(67)
4. 动量守恒的 n 维表述	(68)
5. 参照系对动量守恒的影响	(70)
6. 动量守恒的普适性	(71)
7. 动量守恒与系统的质心	(74)
(四) 碰撞	(79)
1. 弹性碰撞	(79)
2. 完全非弹性碰撞	(82)
3. 非弹性碰撞	(83)
(五) 机械运动的两种量度	(91)
练习题	(94)
参考答案	(108)

引 言

物理学中存在着许多守恒定律. 其中, 有一些在中学阶段就要熟悉, 如能量守恒定律、动量守恒定律、电荷守恒定律等. 也有一些在中学并未涉及, 如动量矩守恒定律等. 还有一些人们不太熟悉而在微观世界里却经常遇到的守恒定律, 如重子数守恒、奇异数守恒、同位旋守恒、宇称守恒等定律.

这么多的守恒定律的存在, 决不是偶然的, 更不是人们所杜撰的, 它们是物理规律具有多种对称性的自然结果.

人们认识守恒定律, 最初都是作为大量实验事实的推广, 通过实验途径确立起来的. 后来, 人们才逐渐认识到守恒定律是跟时间、空间的对称性相联系的. 例如, 从时间的均匀性(对称性)可合乎逻辑地导出能量守恒定律; 从空间的均匀性可导出动量守恒定律. 动量矩守恒定律则跟空间的

各向同性相联系.可以说,守恒定律源于时空的对称性.基于这种认识,人们才理解了守恒定律有别于其他物理规律的特有的普遍性——正是这种普遍性,使守恒定律在物理研究中具有重要的意义.

某些物理量守恒的想法渊源于西方的哲学思想.千百年来,人们通过对天体的观测,发现了宇宙天体的运动并没有减少的迹象.所以,在 16~17 世纪,许多哲学家都认为,宇宙间运动的总量是不变的.笛卡尔和莱布尼茨都是这种思想的宣传者,而且都致力于寻求一个合适的物理量来量度运动,以表达宇宙运动量的守恒.笛卡尔提出,质量和速率的乘积是一个合适的物理量.后来,牛顿把这个量改为质量和速度的乘积,并把这个量叫做“运动量”.现在通常把这个量叫做动量,并且已经确立了动量守恒定律.可以说,笛卡尔是动量守恒定律发现的先导.莱布尼茨也相信某种与运动有关的量是守恒的,这就是他所说的“力”.他认为,应该用 mv^2 来量度力,并称 mv^2 为“活力”.他还认为,物体静止了“活力”并没有损失掉,而是以某种形式储存起来.他把这种与静止状态相联系而储存起来的“力”称为“死力”.莱布尼茨的观点是机械能守恒定律的萌芽.此后近 200 年的历史中,物理学界始终存在着 mv 和 mv^2 (1829 年将 mv^2 改为 $\frac{1}{2}mv^2$) 哪一个才是真正的量度运动的量的争论.直到 19 世纪,恩格斯科学地论述了两者的区别和适用范围,才结束了这场争论.

今天重温这段历史,既有利于我们了解科学概念和规律的建立是经过多么漫长曲折的道路,同时又有助于我们借鉴

前人的成功之道, 正确地掌握物理规律.

守恒定律是物理学的重要基本定律. 其重要性不仅仅是它的广泛适用性, 还由于运用守恒定律解决问题的简捷直观, 致使许多物理学家在求解未知问题时, 首选的方法是运用有关的守恒定律, 就是因为守恒定律与物理过程的细节无关. 在力学范围内, 如果所有的力都是已知的, 并且我们既有能力又有速度和容量足够大的计算机, 以至可以求出所有质点的轨道, 那么运用牛顿运动定律就足以解决问题了. 这时, 守恒定律并不能多给我们什么新的发现. 但由于守恒定律不需要考虑过程的细节, 这就比考虑过程细节简捷得多. 更何况在某些问题中对过程的细节是无须了解, 或是无法了解的. 例如, 在基本粒子物理学中, 即使在对基本粒子相互作用的机制尚不十分清楚的情况下, 仍然可用有关的守恒定律解决问题, 这是其他方法不可比拟的.

一、机械能及其守恒定律

(一)功

1. 功

在日常生活中,“功”这个字应用比较广泛,如“用功”、“功劳”、“功夫”等等.在这些表述中都模糊地含有“工作”的意义.在某些国家的语言中“功”和“工作”是同一个词,如英语中的 WORK,俄语中的 РАБОТА 等.这说明,功和工作有某些相似之处.然而,物理学中的“功”却不同于日常语言中含义模糊的“功”,它是具有严格界定、含义确切的科学概念.

在物理学中,力和在力的方向上发生的位移,是做功的两个不可缺少的要素,做功的多少就等于力和在力的方向上的位移的乘积.如果用 F 表示力的大小,用 s 表示物体在力的方向上的位移大小,用 W 表示力所做的功,则

$$W = F \cdot s, \quad (1-1)$$

从上述关于功的概念,可以明确以下几点.

(1) 功有确切的内涵

物理概念的功有确切的内涵,不同于日常词汇中的工作.例如,你的同学在粉刷墙壁,你帮他提着涂料桶,应该说你做了工作.但是,你虽提着桶用了力,但桶并没有发生位移,所以,从物理意义来讲,你确确实实没有做功.即使你提着桶,跟随你的同学水平地移动了一段距离,你仍然没有做功.这是因为,你用力的方向是向上的,而涂料桶的位移是水平的,在力的方向上没有位移,所以你没有做功.只有当你把涂料桶从地面提起的过程中你才是做了功.对照功的概念你不难理解为什么只有在这种情况下才算做了功.

(2) 功是力的累积效应

做功必须有力的作用,但有力的作用却不一定做功,还必须沿力的方向通过一段位移的累积.也就是说,功是一个过程量,是力在空间的累积效应.这跟力作用于物体立刻就产生加速度不一样,加速度是力的即时效应,它表示物体正处于运动速度改变的状态下,它是一个状态量.尽管功跟力密切相关,但决不能把它们混为一谈.历史上就曾有过把功和力混为一谈的时期:1686年,著名的数学家莱布尼茨曾提出,力应该用它产生的效果来量度,把1kg物体举高4m和把4kg的物体举高1m,需要同样大小的“力”.在这里,莱布尼茨所说的“力”显然是力所做的功.应该说在他所列举的两种事例中,力所做的功是相同的.

(3) 功是标量

功是只有大小的区别而没有方向的物理量. 尽管构成功的两要素的力和位移都是矢量, 而作为两者乘积的功却是标量, 这在矢量的运算中称为矢量的标积(或点积). 标积的大小等于两矢量的大小跟两矢量间夹角余弦的乘积, 即

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha. \quad (1-2)$$

(4) 功的计算

用公式(1-1)来计算力所做的功, 只能用于位移的方向跟力的方向相同的情况. 但在通常的情况下位移跟力的方向并不相同, 这时就要利用公式(1-2)来计算力所做的功. 式中, F 和 s 分别表示力和位移的大小, 而 $\cos \alpha$ 则是力和位移间夹角的余弦.

数学是物理模型的抽象. 公式(1-2) 不仅给出了一般情况下功的计算方法, 同时, 也用数学语言表达了功的基本概念. 依据乘法运算的交换律和结合律, 公式(1-2)可做以下变换:

$$W = F \cdot (s \cdot \cos \alpha) = (F \cdot \cos \alpha) \cdot s.$$

实际上, (1-2)式的上述恒等变换给出了功的两要素的两种等效的说法:

一是, 力(F)和沿力的方向上的位移($s \cdot \cos \alpha$);

一是, 沿位移方向的分力($F \cdot \cos \alpha$)和位移(s).

关于功的要素, 在不同的教科书中, 选用了上述两种不同的说法. 当然这两种说法是等效的, 同时又是功的计算的两种方法.

[例 1] 从 10m 高的阳台上, 水平抛出一个质量为 3kg

的球,问球在下落的过程中,重力做了多少功?

分析:球在下落的过程中,所受重力的大小和方向都是不变的,属于恒力做功的问题.然而,球的运动轨迹却是一段抛物线,如图 1—1 所示,位移的方向时刻在改变,位移跟重力方向间的夹角也时刻在变化.由于题目未给定球的初速度,所以球从抛出点到落地点的总位移也是不定的,在利用公式(1—2)计算重力做功时, s 和 $\cos\alpha$ 都是不定量.

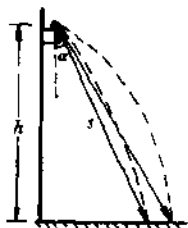


图 1—1

但若从功的两要素考虑,功等于力(F)和沿力的方向上的位移($s \cdot \cos\alpha$)的乘积.沿力的方向上的位移,就是位移在竖直方向的投影,不管 s 和 $\cos\alpha$ 如何变化,这个投影总是等于球下落的高度 h .

解:球下落过程中,所受的重力

$$F = mg = 3 \times 9.8 = 29.4 \text{ N.}$$

球在下落的过程中,沿重力方向通过的位移

$$h = s \cdot \cos\alpha = 10 \text{ m.}$$

重力所做的功

$$W = F \cdot (s \cdot \cos\alpha) = 29.4 \times 10 = 294 \text{ J.}$$

【例 2】某同学用螺旋千斤顶举起重物,千斤顶推杆的臂长为 30cm.该同学在推杆的端点,垂直推杆方向施加 98N 的力时,才能推动螺旋千斤顶.问该同学使推杆转动一圈时,做了多少功?

分析:推杆所受的外力 F ,大小虽然不变,但其方向却不断地改变,这是变力做功的问题.公式(1—1)、(1—2)都只能

适用恒力做功的问题,并且在本例中受力点在推杆转动一圈的过程中,其轨迹是圆,受力点的位移为零.显然,不能直接套用公式(1—1)、(1—2)来计算推力 F 所做的功.这就首先需要把变力做功的问题转化为恒力做功的问题.为此,可将受力点沿圆周运动的过程,分割成无数细微的小段.每一小(或元)段的位移分别为 s_1 、 s_2 、

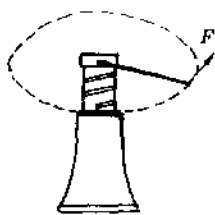


图 1—2

$s_3 \cdots s_n$. 这样,在每一小段上,受力点的运动可视为直线运动,且它所受力的方向也与这段位移的方向相同.这样,在每一小段的位移上就可视为是恒力做功的过程.依据功的要素的第二种说法,功等于沿位移方向的分力和位移的乘积,并依据公式 $W = (F \cdot \cos \alpha) \cdot s$ 就可求出每一小段位移上外力所做的功,然后将各小段位移上做的功累加起来,就是全过程外力所做的功.

解: 将受力点的运动过程分割成无数细微的小段,每一小段的位移分别为 s_1 、 s_2 、 $s_3 \cdots s_n$.

在每一小段上,受力点所受外力也跟该段位移的方向相同,即力跟位移间的夹角 $\alpha = 0$,受力点所受沿位移方向的分力 $F \cdot \cos \alpha = F$. 因此,在该段位移上,外力做的功 $W = F \cdot s_n$. 在受力点运动一周的过程中,外力做的功应为

$$\begin{aligned} W_{\text{总}} &= F \cdot s_1 + F \cdot s_2 + F \cdot s_3 + \cdots + F \cdot s_n \\ &= F \cdot (s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_n). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{而} \quad s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_n &= 2\pi R \\ &= 2 \times 3.14 \times 0.3 = 1.884\text{m}. \end{aligned}$$