

中学物理教程
课本和手册

力学的成就

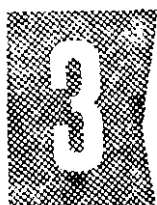
[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆士·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

中学物理教程
课本和手册



力学的成就

[美] 杰拉尔德 · 霍尔顿

F · 詹姆士 · 卢瑟福 编

弗莱彻 · G · 沃森

华中师范学院物理系翻译组 译

文化教育出版社

内 容 简 介

这套《中学物理教程》(The Project Physics Course)是美国有重要影响的改革教材。全套书共分六册:1. 运动的概念;2. 天空中的运动;3. 力学的成就;4. 光学和电磁学;5. 原子的模型;6. 原子核。本书是根据第三册译出的,主要讲述了质量和动量守恒、机械能、气体分子运动论和波动等知识。

这套教程的特点是:突出最基本的概念和规律,注意物理学与社会的相互联系和影响,包括了相当丰富的物理学史资料,重视阐明科学研究方法和思考方法,叙述深入浅出。

本书可供中学教师和学生参考,也可供中等文化水平的读者阅读。

*

The Project Physics Course

Text and Handbook 3

The Triumph of Mechanics

Gerald Holton

F. James Rutherford

Fletcher G. Watson

HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc.

New York, Toronto

1970

中学物理教程

课本和手册 3

力 学 的 成 就

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆士·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

*

文化教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 10.625 字数 254,000

1981年4月第1版 1981年11月第1次印刷

印数 1—12,000

书号 7057·036 定价 0.93 元

目 录

课 本 部 分

序 言

第九章 质量和动量守恒

9.1 质量守恒	4
9.2 碰撞	7
9.3 动量守恒	10
9.4 动量和牛顿运动定律	13
9.5 孤立系统	15
9.6 弹性碰撞	16
9.7 莱布尼兹和守恒定律	19
学习指导	29

第十章 能

10.1 功和动能	40
10.2 势能	43
10.3 机械能守恒	45
10.4 不作功的力	49
10.5 热能和蒸汽机	51
10.6 瓦特和工业革命	57
10.7 焦耳实验	62
10.8 生物系统中的能量	65
10.9 一个普遍的定律的建立	69
10.10 能量守恒定律的准确和广义的陈述	74
10.11 对能量守恒坚信不移	77
学习指导	80

第十一章 气体分子运动论

11.1 本章概述	91
11.2 气体状态模型	93
11.3 分子的速率	96
11.4 分子的大小	100
11.5 根据分子运动论预言气体的性质	102
11.6 热力学第二定律和能量的耗散	109
11.7 麦克斯韦妖和热力学第二定律的统计解释	112
11.8 时间的方向性和循环佯谬	116
学习指导	129

第十二章 波

12.1 导言	136
12.2 波的性质	137
12.3 波的传播	141
12.4 周期波	143
12.5 当两波相遇时：迭加原理	146
12.6 两个波源的干涉花样	149
12.7 驻波	156
12.8 波前(波阵面)和衍射	159
12.9 反射	164
12.10 折射	168
12.11 声波	171
学习指导	177

手 册 部 分

第九章 质量和动量守恒

实验	186
22 一维碰撞	186
23 二维碰撞	190

课外活动	195
一维碰撞的闪光照片.....	195
事件 1. 2. 3. 4. 5. 6 和 7	196
上述事件的照片.....	200
二维碰撞的闪光照片.....	202
事件 8. 9. 10 和 11	205
事件 12 和 13	205
事件 14	206
上述事件的照片.....	207
弹性碰撞的异常情况.....	209
质量守恒吗?	210
动量交换装置.....	211
教学影片	213
影片 18: 一维碰撞 I	213
影片 19: 一维碰撞 II.....	215
影片 20: 非弹性一维碰撞	215
影片 21: 二维碰撞 I	216
影片 22: 二维碰撞 II.....	217
影片 23: 非弹性二维碰撞	217
影片 24: 一群物体的散射	218
影片 25: 一群物体的爆炸	219

第十章 能量

实验	221
24 能量守恒.....	221
25 测量子弹的速率.....	228
26 温度和温度计.....	232
27 卡计(量热器).....	237
课外活动	244
碰撞的闪光照片.....	244
学生所发出的马力.....	244
蒸汽动力船.....	245

科学和技术发展的问题·····	245
摆运动的能量分析·····	246
预言箭的射程·····	247
最小的能量、面积、功和时间的情况·····	248
冰卡计·····	252
教学影片 ·····	254
影片 26: 求步枪子弹的速率 I ·····	255
影片 27: 求步枪子弹的速率 II·····	256
影片 28: 反冲 ·····	258
影片 29: 碰撞的货车 ·····	259
影片 30: 一个弹子球的动力学 ·····	260
影片 31: 测量能量的一种方法——把钉子敲进木头 ·····	262
影片 32: 重力势能 ·····	263
影片 33: 动能 ·····	264
影片 34: 能量守恒——撑竿跳高 ·····	266
影片 35: 能量守恒——飞机起飞 ·····	267

第十一章 气体分子运动论

实验 ·····	270
28 分子碰撞中的蒙特-卡罗实验·····	270
29 气体的性质·····	276
课外活动 ·····	283
饮水的小鸭·····	283
热功当量·····	284
瓶中的浮沉子·····	285
火箭·····	287
用一轮胎压强计怎样称汽车的重量·····	287
永动机·····	288
教学影片 ·····	289
影片 37: 时间的可逆性 ·····	289

第十二章 波

实验	292
30 波动介绍	292
31 声音	298
课外活动	309
在鼓上和小提琴上的驻波	309
波纹图案	311
音乐和说话活动	312
声音速率的测量	313
产生机械波的装置	314
教学影片	315
影片 38: 迭加	315
影片 39: 弦上的驻波	317
影片 40: 气体中的驻波	318
影片 41: 橡皮管的振动	320
影片 42: 金属丝的振动	321
影片 43: 鼓的振动	322
影片 44: 金属片的振动	323
各节后面的问题答案	325
学习指导问题的简明答案	329

序 言

牛顿将研究天文学和研究地球上的运动结合起来的成就，是人类智慧的光辉结晶之一，是科学和人类发展的一个转折点。在此以前，从来没有一种科学理论在预言可观察到的事物方面如此成功，也从来没有为未来科学的发展提供的可能性象这样广阔。

牛顿在力学上的成就不仅有助于引导其他人们在科学上达到新的高峰，还深刻地改变了人们对宇宙的理解。继牛顿之后，物理学家们把太阳系看作是一个庞大的机器，用来解释行星绕着太阳的运动。虽然太阳系的各部分是由万有引力吸引在一起的，而不是由螺母和螺栓连接在一起的。但是根据牛顿的理论，当太阳系最初被安置在一起以后，它彼此相关的各部分的运动就永远地被确定下来。

我们把这个太阳系的模型叫做牛顿的世界机器。这是一个理想的系统，因为决定这个系统运动的数学方程式只考虑了真实太阳系的主要性质：这个系统各部分的质量、位置和速度以及它们之间的万有引力。例如牛顿模型不讨论行星的内部结构和化学成分，也不讨论存在于太阳系中的热、光、电力和磁力。其实任何模型都要忽略掉某些方面，这样更有助于研究所观察到的运动。

世界机器的想法，并非全部来自牛顿。十七世纪最有影响的法国哲学家笛卡尔在他的《哲学原理》(1644年)一书中写道：

我看不出由技师制作的机器与由自然单独组合的各种物体之间有什么区别，只不过是人造机器的功能依靠某些管子或弹簧或其他器件来调整，这些器件的大小总是和制造者的

双手成比例,因此它们的形状和运动是看得见的,而使自然物体产生功能的管子及弹簧通常太小,使我们感觉不到。肯定地说,所有力学定律都属于物理学,所有人造的东西同时也是自然的。

以研究空气性质而著名的英国科学家和虔诚的宗教徒玻意耳(1627~1691)甚至在他的宗教著作中也表达了这种机械观点。他论证说:一位上帝能够设计象机器一样自行运行的宇宙,另一位上帝只能简单地创造一些不同类型的物质并赋与它们行动的自然趋势,前者更为奇特和更加应当受到人类的崇敬。玻意耳以为,如果这部世界机器设计得这样不好,以致当它一旦被创造出来以后,还需要神的进一步干预,这对上帝是一种侮辱。他提出,工程师设计的“一部完善的机器”,如果从来不因为要调整它或防止它出毛病而需要加以管理,这种设计技能才更加值得赞扬。

在十七和十八世纪,玻意耳和许多其它科学家认为上帝是最高的工程师和物理学家。上帝创造了物质和制定了运动定律;人类科学家发现和宣布这些定律,就是最好地赞美上帝的工作。

在本册中我们主要涉及在牛顿以后物理学的发展。在力学方面牛顿的理论被扩展到适应于较大范围的现象,并引入了新的概念。在第九章和第十章中讨论的守恒定律变得日益重要。这些强有力的原理提供了考虑力学问题的一种新方法,从而打开了学习物理的新领域——例如,热学和波的运动。

牛顿力学只是直接处理了小范围的实际问题:例如那些有关简单物体的运动,或者那些互相分离的如行星、抛射体或滑块等的运动。当应用到复杂现象时,这些定律是否仍适用呢?真实的固体、液体和气体是否也象机器或力学系统一样呢?它们的性质能不能用牛顿阐明太阳系时所用的关于物质和运动的相同概念来阐明呢?

初看起来，认为任何事物都可以简化为力学原理中的物质和运动，这似乎不大可能。什么是温度、颜色、声音、气味、硬度等等呢？牛顿本人相信可以用力学观点从本质上来研究上述问题以及所有其他性质的问题。在他的《原理》一书的序言中，他写道：

我希望自然界中的其它现象也可以用力学原理中得出的相同的推理推导出来，因为，有许多理由使我推想这些自然现象都与某种力有关。由于这种力的作用，物体的粒子以一种目前还不知道的原因互相接近，按一定的形状凝聚在一起，或者互相离开而飞散。这种类型的力目前还不知道，哲学家们对自然的探索也无结果；但是我希望本书内所建立的原理能对于以上问题或者某种正确哲学方法提供参考意见。

牛顿以后的科学家们“用力学原理中得出的相同的推理”，在很多不同领域中，努力了解自然。在本册中我们将要看到牛顿力学的成功是多么广泛，但是，你们也将会看到表明牛顿力学局限性的一些实例。

课本部分

第九章 质量和动量守恒

9.1 质量守恒

如果宇宙是长存的话,那么构成宇宙的物质就是不可消灭的。宇宙中物质的总量保持不变的想法,确实是很早就有了。早在公元前五世纪在希腊就有这种想法,公元前一世纪罗马的诗人卢克里特重申了这一想法:(学习指导 9.1)

…没有任何力量能改变物质的总和;因为宇宙之外无物,既不会从宇宙中冒出什么物质,也不会从宇宙之外新添什么东西,来改变物质的本性和它们的运动。《关于物质的本性》

在牛顿诞生前二十二年,英国哲学家培根把下面这段话包括在他的现代科学的基本原理中:

在自然界中,没有什么比下面两个相连的命题更真实:
“物质不能无中生有”以及“物质不能化为乌有”……物质的总量保持不变,既不增加也不减少。《新工具》, 1620 年。

这种观点和我们日常的观察在某种程度上是相符的。虽然物质存在的形式是能够变化的,但是就我们的一般经验而言,物质总是以某种方式表现为不可毁灭的。例如,我们容易知道,当一块大石头变为一些小石头和灰粒时,并不影响宇宙中物质的总量。但是,如果我们把一个物体烧成灰,或把它溶在酸里,那又怎样呢?在这些化学反应中,物质的总量仍然保持不变吗?

为了检验物质的总量是否总是保持恒定,我们必须知道如何

去量度物质之量。显然，并不能简单地按照物质的体积来测定物质的量。例如，我们将水倒在容器中，标出水面的高度，然后让水结成冰。我们发现，冰的体积大于原来水的体积。即使我们把容器密封起来，使得不可能有水从外面跑进去，结果还是那样。同样，当我们压缩封闭容器中的气体时，虽然没有气体从容器中跑掉，气体的体积却在减小。

按照牛顿的观点，我们把一个物体的质量当作这个物体所包含的物质的总量的合适的量度。我们在第一册和第二册的所有例子中，都假设一个给定物体的质量是不变的。但是，一根烧过的火柴比一根没有烧过的质量小；一个铁钉生锈后质量增加了。科学家们总是假设有某种东西在火柴燃烧时跑掉了，或者有某种东西加到生锈的铁钉中来了。这种想法直到十八世纪末才得到了实验证据，这是由化学家拉瓦锡作出的。

拉瓦锡让化学反应在密封的瓶子中进行，并且仔细地称量瓶子和反应前后瓶子里的东西。他指出，当铁在密封的瓶子里燃烧时，所产生的氧化铁的质量等于参加这个反应的铁和氧的总量。根据这样的实验证据，他有把握地宣布：(学习指导 9.2)



图 9-1 在空气中的化学实验。
有的实验中物质的质量好象减少了，在另一些实验中质量好象增加了。

我们能够得出一个无可辩驳的公理：在所有人为了和自然的变化过程中，一切事物是不能凭空创造的；实验前后存在的物质之量是相等的，…除了这些元素的结合有所改变外，其他什么也没有发生。所进行的全部化学实验都以这个原理为

依据。(1789)

拉瓦锡使我们相信, 如果他把一些物质放在瓶子里, 把瓶口密封起来, 称出它们的质量, 然后, 随便过多久, 再称出它们的质量, 无论瓶子里的物质发生了什么变化, 称出的质量还是相同的。尽管瓶子里的物质可以由固体变为液体, 或者由液体变为气体, 尽管颜色和浓度会发生变化, 尽管有剧烈的化学反应发生, 但至少有一个量——瓶子里物质的总质量——是不变的。

在拉瓦锡的首创性工作之后的若干年里, 人们以更高的精度做了大量的实验, 结果总是一样的。根据现有的灵敏的天平进行的测量(精确度高于 0.000001%), 在化学反应中质量是守恒的。

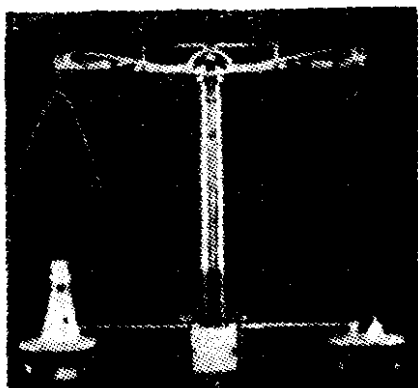


图 9-2 在密封的瓶子中进行的化学反应的实验证明质量守恒。

总之: 尽管有位置、形状、化学组成等等变化, 任一封闭系统的质量是守恒的。这就是所谓质量守恒定律。物理学和化学都是以此为基础的。

问题 1 对或错: 只有当一个封闭系统中没有发生化学反应时, 质量才是守恒的。

问题 2 50cm^3 的酒精和 50cm^3 的水混和, 混合物只有 98cm^3 。放在月球上的物体比放在地球上轻些。这些例子与质量守恒定律相矛盾吗? (学习指导 9.3~9.7)

问题 3 下面哪种说法是对的?

- (a) 拉瓦锡是相信宇宙中的物质总量守恒的第一个人;
- (b) 当有热量进入系统时, 会测量到质量的增加;
- (c) 要证实质量守恒定律, 必须是封闭系统。

9.2 碰撞

观察我们周围的各种运动着的物体,容易得出结论说,每一个运动着的物体最后都会停下来。每一个钟,每一个机器,最后都会停下来。看来宇宙间运动的总量似乎在耗散,以致宇宙也象机器一样,有一天要停下来。

十六世纪的许多哲学家认为,宇宙会停下来的想法与上帝是尽善尽美的想法是矛盾的,因为上帝不会建造这样一个不完善的机器。人们感到必须找到关于“运动”的某种定义,这种定义能使“宇宙中运动量是守恒的”这句话得以成立。

有这样一种用来定义或测量运动的“正确”方法吗?有保持世界机器不断运转的某一运动常量吗?为了回答这些问题,我们来看几个简单的实验的结果。这些实验用的是一对完全相同的小车,车轮实际上接近于没有摩擦(或者更好是用两块干冰,或两个气垫导轨上的滑块)。作为第一个实验,在小车上粘上油灰,使这两个小车碰撞后会粘在一起;给每个小车一个推力,使它们以相等的速率互相接近并发生正碰。当你做这个实验时,就会看到,这两个小车碰撞后停住了:它们的运动停止了(图9-3)。但是,有没有

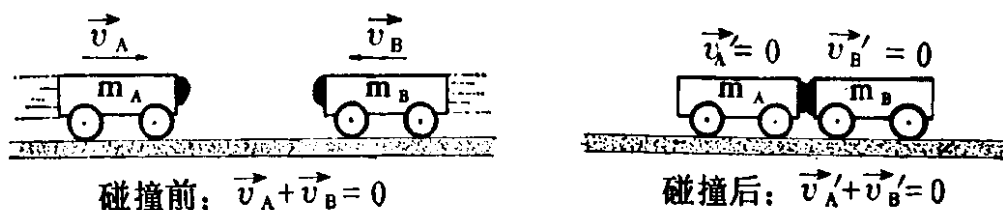


图 9-3

某个与它们的运动有关的量是不变的呢?是的,有。如果我们把一个车的速度 $\vec{v}_A$ 和另一个车的速度 $\vec{v}_B$ 加起来,就会发现矢量和是不变的。碰撞前两个车的速度的矢量和为零,碰撞后也为零。

我们可能想知道,这种情况是否对所有的碰撞都成立,也就是说,这会不会是一个“速度守恒定律”。在上面的例子中,我们选取

了一个很特殊的情况：质量相等的两个小车以相等的速率互相接近。现在我们取一个小车的质量是另一个小车的两倍（我们可以容易做到这一点：把一个质量相同的小车放在另一个小车上，就成了一个质量为两倍的小车，如图 9-4）。和前面一样，让这两个车子以相等的速率互相接近并发生碰撞。这时，这两个小车并不停下来。运动在继续，两个物体一起沿着质量大的那个物体原有速度的方向运动。我们前面说到的速度的矢量和可能是守恒的猜测，对所有碰撞来讲是不对的。

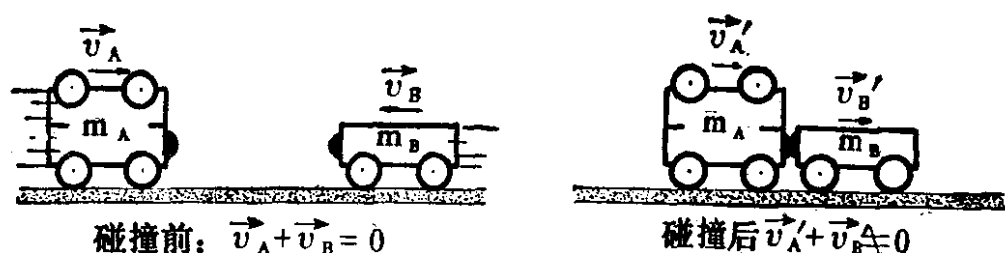


图 9-4

另一个碰撞的例子将进一步证实这个结论。这一次，我们设第一个小车的质量为第二个小车的两倍，而速率只有第二个小车的一半（图 9-5）。当两个小车发生正碰，并粘在一起时，我们发现这两个小车停下来了。碰撞后速度的矢量和等于零，然而碰撞前并不等于零。这又一次说明，速度是不守恒的。

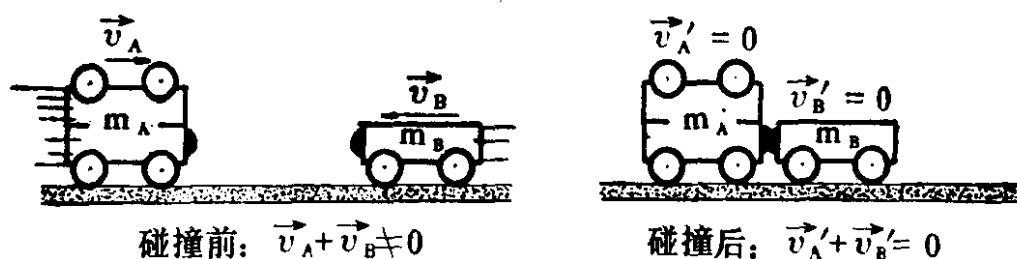


图 9-5

这样，我们开始感到，要使“运动的量”在碰撞前后都相同，“运动量”的恰当的定义中就不仅要包括物体的速率，还要包括它的质

量。法国哲学家笛卡尔曾提出，物体的运动量的恰当的量度是它的质量和速率的乘积。速率是不包括方向的，它总是取正值。但是，在上面的例子中看出，这个乘积（是一个标量，总为正值）不是一个守恒量。例如，在第一个和第三个碰撞中，碰撞后小车停住了，速率和质量的乘积为零，但碰撞前显然不等于零。

如果我们把笛卡尔关于运动量的定义作一个重要的修改，我们就会得到守恒量。我们不把“运动量”定义为质量与速率的乘积 mv ，而象牛顿所作的那样把它定义为质量与速度的乘积 $m\vec{v}$ 。这样，我们不仅包括了速率，而且包括了运动的方向。在本章附录一中，我们将对上述三种碰撞情况中 $m\vec{v}$ 这个量加以分析。结论是，在我们所讨论的两个小车的正碰的三种情况中，两个小车碰撞前后的运动可用下列方程来描写：

$$\underbrace{m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B}_{\text{碰撞前}} = \underbrace{m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B}_{\text{碰撞后}}$$

其中 m_A 和 m_B 是小车的质量， $\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$ 是它们碰撞前的速度， $\vec{v}'_A$ 和 $\vec{v}'_B$ 是它们碰撞后的速度。（学习指导 9.8, 9.9）

用文字来叙述，就是：质量与速度的乘积的矢量和在所有这些碰撞中保持不变或者守恒。这个重要定律的数学表示是一个重要而有用的方程。

问题 4 笛卡尔将一个物体的运动量定义为它的质量与速率的乘积。他定义的这个运动量象他所相信的那样是守恒的吗？如果不守恒，那么你怎样修改他的定义，使运动量成为守恒？

问题 5 两个小车发生正碰撞，并粘在一起。在下列的哪种情况下，碰撞后两个小车会马上停下来？