

21世纪高等院校教材

# 物理学导论

李玉现 主编



科学出版社

21 世纪高等院校教材

# 物理学导论

李玉现 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书共 16 讲, 内容包括热力学与统计、特殊的物质——电磁场、温度与能量、光学与现代光技术、天文学漫谈、元素的起源、磁学基础与常见磁现象、超导电性基础及应用、量子力学与量子信息学、从电磁学到狭义相对论、固体物理基础与现代科技、从原子到夸克、粒子物理及粒子实验简介、磁性材料中的磁畴、实验与物理学发展以及新能源与物理。

本书可作为高等学校理学类专业一年级本科生的通识课教材, 也可供其他专业的教师和学生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

物理学导论/李玉现主编. —北京: 科学出版社, 2011

21 世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-032389-7

I. ①物… II. ①李… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 191830 号

责任编辑: 丁 里 唐保军/责任校对: 包志虹

责任印制: 张克忠/封面设计: 华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 9 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2011 年 9 月第一次印刷 印张: 12 插页: 1

印数: 1—4 000 字数: 241 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

近年来，高等学校大类招生变成了一种趋势，也就是大学一年级本科生在入学时不细分专业，只是分成理科、工科和文科，在一年级第一学期统一开课。例如，理科学生在学习高等数学、英语等公共课的同时，由物理、化学和生物各学院的教师开设选修课，分别把本学科的基本知识、将来要学习的内容和本学科的特点、优势以及未来的发展介绍给一年级的学生。第一学期结束后，学生才开始选择自己感兴趣的专业作为本科学业来学习。

基于这样的背景，河北师范大学物理学院的教师结合多年来在物理教学中的经验，编写了本书，目的是让一年级本科生对物理学有基本的了解，对当前物理学的发展及应用有基本的认识，从而产生兴趣，进而立志于物理科学的研究。

物理学是一门经典的基础学科，从经典力学到量子力学，从宏观现象到微观统计，内容涉及方方面面，要在短短的三十几个课时里对其进行讲解是困难的。所以我们分别从不同的角度，力争把物理学的最基本的知识传授给学生，同时结合物理学的前沿发展，介绍了包括近年来诺贝尔物理学奖在内的相关物理内容。

本书从第 1 讲到第 16 讲分别由刘晓静、李玉现、谢尊、张书敏、李冀、张波、侯登录、李壮志、白彦魁、杨世平、孙会元、崔树旺、段春贵、唐贵德、陈伟和甄聪棉等老师编写。我们已经在学校开设了“物理学导论”课程，本书是在原有讲稿的基础上编写而成的。尽管如此，本书难免有不足之处，希望读者提出宝贵意见。

本书为河北师范大学汇华学院 2009 年精品教材项目研究成果。

《物理学导论》编写组

2011 年 7 月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 讲 热力学与统计</b> .....	1
1.1 热学发展简史 .....	1
1.2 热的本质——运动 .....	2
1.3 热力学的四个定律 .....	4
1.4 玻尔兹曼与统计力学.....	14
1.5 麦克斯韦妖与信息熵.....	16
1.6 普利高津与耗散结构（开放系统的热力学） .....	17
<b>第 2 讲 特殊的物质——电磁场</b> .....	20
2.1 静电场.....	20
2.2 磁场.....	26
2.3 电磁感应与电磁波.....	29
2.4 电磁波的应用.....	30
<b>第 3 讲 温度与能量</b> .....	33
3.1 事物的本性.....	33
3.2 温度：微观粒子的运动.....	36
3.3 热力学第零定律.....	37
3.4 温度的标准——温标.....	37
3.5 绝对零度的探索.....	40
3.6 温室效应.....	40
3.7 能量守恒与转换.....	41
<b>第 4 讲 光学与现代光技术</b> .....	43
4.1 光的波动性.....	43
4.2 光的粒子性.....	46
4.3 光的波粒二象性.....	48
4.4 现代光技术简介.....	50
<b>第 5 讲 天文学漫谈</b> .....	53
5.1 引言.....	53
5.2 天文学发展简史.....	54
5.3 天文学的研究对象和内容.....	55

5.4	天文学的研究方法	64
5.5	天文学的分支科学	64
5.6	天文学与物理学的关系	65
5.7	光学天文望远镜的基本知识	66
5.8	21世纪天文学研究的重大热点问题	71
<b>第6讲</b>	<b>元素的起源</b>	<b>74</b>
6.1	引言	74
6.2	AGB星的结构与演化	77
6.3	外赋 AGB 星	78
6.4	贫金属星中子俘获元素丰度分布	78
6.5	中子俘获元素的星系化学演化	81
6.6	铅星与非铅星问题	82
6.7	s+r 星问题	82
6.8	结束语	83
<b>第7讲</b>	<b>磁学基础与常见磁现象</b>	<b>85</b>
7.1	磁学基础	85
7.2	磁的故乡	86
7.3	生物磁现象	88
7.4	地球磁现象	91
7.5	宇宙磁现象	93
7.6	基本粒子磁现象	95
<b>第8讲</b>	<b>超导电性基础及应用</b>	<b>98</b>
8.1	超导体的发现历史	98
8.2	超导体的电磁特性	100
8.3	超导的微观理论解释	102
8.4	超导电性的主要应用	104
8.5	结束语	105
<b>第9讲</b>	<b>量子力学与量子信息学</b>	<b>106</b>
9.1	引言	106
9.2	光的波粒二象性	106
9.3	微观粒子的波粒二象性和量子力学的建立	109
9.4	量子信息学	112
9.5	小结	116
<b>第10讲</b>	<b>从电磁学到狭义相对论</b>	<b>117</b>
10.1	电磁场理论的研究对象	117

10.2	从静态场到变化场的历史变革	117
10.3	电磁场理论的局限性和经典时空观	117
10.4	爱因斯坦与狭义相对论	119
<b>第 11 讲</b>	<b>固体物理基础与现代科技</b>	<b>122</b>
11.1	固体物理基础的内容	122
11.2	固体物理基础的地位	125
<b>第 12 讲</b>	<b>从原子到夸克</b>	<b>126</b>
12.1	引言	126
12.2	古代关于物质结构的观点	126
12.3	近代关于物质结构的原子观	127
12.4	原子的结构	128
12.5	原子核的结构	129
12.6	奇异粒子和共振态粒子的发现	130
12.7	物质的基元——夸克	131
<b>第 13 讲</b>	<b>粒子物理及粒子实验简介</b>	<b>133</b>
13.1	引言	133
13.2	物质的构成学说	134
13.3	我国的粒子物理实验研究	138
13.4	粒子物理研究的前景	139
<b>第 14 讲</b>	<b>磁性材料中的磁畴</b>	<b>143</b>
14.1	引言	143
14.2	磁畴	145
14.3	利用偏光显微镜观察磁畴的法拉第效应法	149
14.4	磁泡畴的产生和磁泡直径的测量	149
14.5	磁晶各向异性的观测	152
<b>第 15 讲</b>	<b>实验与物理学发展</b>	<b>157</b>
15.1	实验在物理学中的地位和作用	157
15.2	物理学的研究方法——理论与实验的相辅相成	159
15.3	实践是检验真理的唯一标准	160
15.4	20 世纪世界著名实验室	161
15.5	我国的重要实验室	163
15.6	新型薄膜材料河北省重点实验室	164
15.7	研究方向之一：新型非易性存储器——电阻式存储器	167
<b>第 16 讲</b>	<b>新能源与物理</b>	<b>170</b>
16.1	什么是能源	170

---

16.2	能源的分类 .....	170
16.3	目前世界经济的三大能源支柱 .....	171
16.4	传统能源的缺陷 .....	171
16.5	开发新能源的必要性 .....	172
16.6	世界能源发展趋势——太阳能发展的必要性 .....	173
16.7	太阳能电池工作原理 .....	174
16.8	光伏电池的结构组成 .....	179
16.9	太阳能电池分类 .....	179
16.10	太阳能光伏发电的特点 .....	179
16.11	太阳能光伏发电的发展 .....	180
16.12	太阳能光伏发电的新技术开发 .....	182
<b>参考文献</b> .....		184



# 第 1 讲 热力学与统计

热学 (thermology) 是研究物质热现象、热运动规律以及热运动同其他运动形式之间转化规律的一门学科。它起源于人类对冷热现象的探索。人类在季节交替、气候变幻的自然界中生存, 冷热现象是人类最早观察和认识的自然现象之一。但是热力学不考虑物质的微观结构, 不能解释宏观性质的涨落, 统计物理学 (statistical physics) 根据对物质微观结构及微观粒子相互作用的认识, 用概率统计的方法, 对由大量粒子组成的宏观物体的物理性质及宏观规律作出微观解释, 是理论物理学的一个分支。统计物理学深入热现象的微观本质, 能够将热力学的基本规律归结于一个基本的统计原理, 还可以解释宏观性质的涨落。本章通过介绍热学和统计物理学的发展史, 阐述热学和统计物理学中的基本规律。

## 1.1 热学发展简史

热学发展史实际上就是热力学和统计物理学的发展史, 可以将其划分为四个时期。

第一个时期, 开始于 17 世纪末, 直到 19 世纪中叶。这个时期积累了大量的实验数据和实践经验。同时人们也对热的本质开展了诸多的研究和讨论。所有这些都为热力学理论的建立和发展奠定了基础。到 19 世纪中叶, 热力学的基本原理已经在热机理论和热功当量原理中开始萌芽。

第二个时期, 开始于 19 世纪中叶, 直到 70 年代末。这个时期出现了唯象热力学和分子运动论。这些理论直接和热功当量原理相关。而热功当量原理又为热力学第一定律的出现奠定了基础, 它和卡诺理论相结合又形成了热力学第二定律。热功当量原理和微粒说结合推动了分子运动论的建立。但是在这一时期唯象热力学和分子运动论却是彼此隔绝的。

第三个时期, 开始于 19 世纪 70 年代末玻尔兹曼的经典工作, 止于 20 世纪初。唯象热力学和分子动理论相结合, 诞生了统计热力学, 吉布斯在统计力学方面做了大量的基础工作。

第四个时期, 开始于 20 世纪 30 年代。这个时期, 热力学和统计物理学中出现了量子统计物理学和非平衡态理论, 形成了现代理论物理学最重要的一个分支。

## 1.2 热的本质——运动

人们早已在实践中熟悉摩擦生热，但为什么会产生热？热是什么？人们很长时间也没有弄清楚。在古代就对热有两种不同的看法：一种是把热看成是已存在的特殊物质；一种认为热是物质的某种运动形式。

17世纪以后，多数人根据摩擦生热的现象，认为热是一种特殊的运动形式，不少物理学家都相信这一点。但是这种看法缺乏实验证据，还不能成为科学理论。

到了18世纪，对热的研究走上了实验科学的道路。把热看成是一种特殊物质的热质说，由于能够解释某些实验结果，因而当时获得了承认。热质说将热看成一种没有质量或不可称量的流质——热质，它不生不灭，存在于一切物体之中，物体的冷热程度取决于所含热质的多少。热质说对摩擦生热的解释是：摩擦并没有改变热质的总量，但物质在摩擦的过程中比热容降低了，因此摩擦可以使物质的温度升高。

1789年，英国学者伦福德 [Rumford, 原名本杰明·汤普森 (Benjamin Thompson), 1753—1814] 在从事枪炮制造时，发现钻下的金属屑具有极高的温度，用水来降低冷却时，甚至可以使水沸腾，他怀疑金属屑具有极高的温度可能是由比热容降低造成的。伦福德在他的笔记中写道，由摩擦所生的热，来源似乎是无穷无尽的，要用热质说解释摩擦生热现象，钻下的金属屑的比热容要改变很大才行。于是他设计并做了一系列实验，发现钻下的金属屑的比热容在摩擦时并没有降低。根据实验结果，伦福德断言热质说不足为信，应当把热看成一种运动形式，热质说的统治地位开始动摇了。

1799年，英国的戴维 (Davy, 1778—1829) 做了更加严密的实验。他在  $0^{\circ}\text{C}$  以下的露天里，在抽成真空的玻璃罩内，使金属轮子和盘在钟表装置的带动下相互摩擦，结果使金属盘上的蜡融化了。在这个实验中，热不可能是由周围物体传递给蜡的，而且伦福德的实验已经证明，金属也不会由于比热容的降低而放热，那就只能是摩擦生热使蜡粒子的运动加快了。戴维的实验有力地打击了热质说。

此后科学家进一步探究了热和做功的关系，特别是英国科学家焦耳 (Joule, 1818—1889) 做了大量实验 (图 1.1)，定量地研究了热和功的高效，证明做了多少机械功，就有多少机械能转化为与热量相关的能量，焦

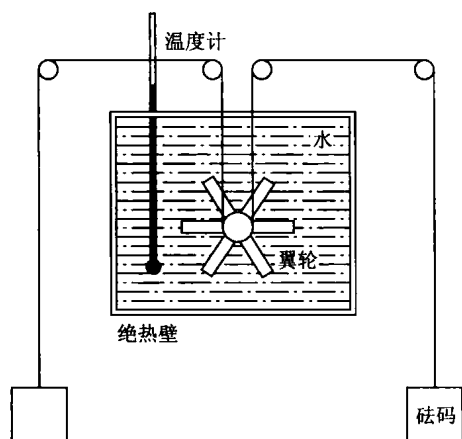


图 1.1 焦耳热功当量示意图

耳的实验有力地打击了热质说。

耳的工作表明热不是一种特殊的物质，同时为能量守恒定律奠定了基础。

能量守恒定律的建立彻底否定了热质说，同时为分子动理论的发展开辟了道路。经过科学家的长期研究，关于热是一种运动形式的设想终于成为公认的真理。人们认识到：宏观的热现象原来是物质内大量分子的无规则运动的表现，物体内部的能量就是前面讲过的内能。热量不是表示物质所含“热质”的多少，而是表示在热传递的过程中传递的能量的多少。

将热定义为分子平均动能的表现，现代科学已将其作为科学的基本概念写入教科书中。但是，工程技术中出现的很多问题用运动热学说是无法解释的。例如，摩擦生热、激光、温室效应、化学反应、原子能、核能以及物质的热辐射等并不是分子的热运动的结果，它们发出的热大部分是以光和热辐射的形式运动的。光热辐射不是物质，更不是分子；光和热辐射是一种不是物质的能量。对热概念的正确认识是关系到科学基础的大事，必须从众多的现象中找出本质。人们对热无法深入了解与对力是什么、熵是什么、空间是什么、质量是什么等问题的认识一样，是基于对同一个问题的错误认识——对能量的错误认识。光和热辐射就是能量，能量不是物质，而是客观世界的另一个存在。能量占有空间，能量有运动、动量和惯性；但能量不存在质量。宇宙几乎有无限的质量，物质又不停地释放光和热辐射等能量，如果将它们看成物质，就是物质在不停地产生物质，宇宙中的物质将不停地增长下去，宇宙不需要能量就可以永远地膨胀下去，这肯定是无法让人们接受的，也是科学不能允许的。

宇宙空间是由动能量、静能量和基态能量组成的。动能量是有温度、频率的能量。动能量空间是随时间自由膨胀的，能量密度不断下降，能量空间体积不断增大，温度和频率逐渐降低，波长逐渐变长，最后变成静能量，动能量转换成静能量。静能量又不断转化为基态能量，使静能量空间和基态能量空间的能量密度保持不变。能量密度高，温度就高，能量波的频率也高；能量密度低，温度就低，能量波的频率也低。温度是由能量密度的大小决定的，不是由分子的热运动决定的。能量的运动决定分子的运动，没有能量物质将停止运动。运动不是物质固有的，物质是吸收空间能量才运动的。星体内部为什么都是液体或气体的，这是物质分子、原子不停地释放能量使物质间的能量密度不断增加，温度不断升高的结果。地球的自转、太阳的发光、星球的爆炸、大陆的板块运动、地震、地磁、地光、温室效应、火山和洋流等都是物质释放热辐射等能量造成的。地壳和地幔的相对运动是地幔释放的高压能量作用地壳的结果。热力学第二定律就是描写动能量运动规律的运动，它的时间之矢就是动能量空间的膨胀方向，也是熵增大的方向。能量密度是产生热的根源这一认识是不易被人们接受的，因为它和唯物主义的世界是物质认识观相对立，对热正确的认识必须从能量是不同于物质的客观存在的认识转变开始。

## 1.3 热力学的四个定律

### 1.3.1 热力学第一定律——能量守恒

19 世纪 40 年代以前,自然科学的发展为能量转化与守恒原理奠定了基础。主要从以下几个方面作了准备。

#### 1. 力学方面的准备

机械能守恒是能量守恒定律在机械运动中的一个特殊情况。早在力学初步形成时就已有了能量守恒思想的萌芽。例如,伽利略研究的斜面问题和摆的运动、斯蒂文(Stevin, 1548—1620)研究的杠杆原理、惠更斯研究的完全弹性碰撞等都涉及能量守恒问题。17 世纪法国哲学家笛卡儿已经明确提出了运动不灭的思想。以后德国哲学家莱布尼兹(Leibniz, 1646—1716)首先提出活力守恒原理,他认为用  $mv^2$  度量的活力在力学过程中是守恒的,宇宙间的“活力”的总和是守恒的。伯努利(Bernoulli, 1700—1782)的流体运动方程实际上就是流体运动中的机械能守恒定律。至 19 世纪 20 年代,力学的理论著作强调“功”的概念,把它定义成力对距离的积分,并澄清了它和“活力”概念之间的数学关系,提供了一种机械“能”的度量,这为能量转换建立了定量基础。1835 年哈密顿(Hamilton, 1805—1865)发表了《论动力学的普遍方法》一文,提出了哈密顿原理。至此能量守恒定律及其应用已经成为力学中的基本内容。

#### 2. 化学、生物学方面的准备

法国的拉瓦锡(Lavoisier, 1743—1794)和拉普拉斯(Laplace, 1749—1827)曾经研究过一个重要的生理现象,他们证明豚鼠吃过食物后发出动物热与等量的食物直接经化学过程燃烧所发的热接近相等。德国化学家利比希(Liebig, 1803—1873)的学生莫尔(Mohr, 1806—1879)则进一步认为不同形式的“力”(能量)都是机械“力”的表现,他写道:“除了 54 种化学元素外,自然界还有一种动因,称为力。力在适当的条件下可以表现为运动、化学亲和力、凝聚、电、光、热和磁,从这些运动形式中的每一种可以得出一切其余形式。”他明确地表述了运动不同形式的统一性和相互转化的可能性。

#### 3. 热学方面的准备

伦福德在 18 世纪末做了一系列摩擦生热的实验攻击热质说。他仔细观察了大炮镗孔时的现象,1798 年 1 月 25 日在皇家学会宣读他的文章:“最近我应邀去慕尼黑兵工厂领导钻制大炮的工作。我发现,铜炮在钻了很短的一段时间后,就

会产生大量的热；而被钻头从大炮上钻下来的铜屑更热（像我用实验所证实的，发现它们比沸水还要热）。”伦福德的实验引起了不小的反响。在他的影响下，英国化学家戴维在 1799 年发表了《论热、光及光的复合》一文，介绍了他所做的冰块摩擦实验，这个实验为热功相当性提供了有说服力的实例，激励更多的人去探讨这个问题。

#### 4. 电磁学方面的准备

19 世纪二三十年代，电磁学的基本规律陆续发现，人们自然对电与磁、电与热、电与化学等关系密切注视。法拉第 (Faraday, 1791—1867) 尤其强调各种“自然力”的统一和转化，他认为“自然力”的转变是其不灭性的结果。“自然力”不能从无生有，一种“力”的产生是另一种“力”消耗的结果。法拉第的许多工作都涉及转化现象，如电磁感应、电化学和光的磁效应等。

在电与热的关系上，1821 年泽贝克 (Seebeck) 发现的温差电现象是“自然力”互相转化的又一重要例证。焦耳在 1840 年研究了电流的热效应，发现  $i^2R$  定律，这是能量转化的一个定量关系，对能量转化与守恒定律的建立有重要意义。

要对热力学第一定律做出明确叙述，就必须提到三位科学家，他们是德国的迈耶 (Mayer, 1814—1878) (图 1.2)、亥姆霍兹 (Helmholtz, 1821—1894) (图 1.3) 和英国的焦耳 (图 1.4)。



图 1.2 迈耶



图 1.3 亥姆霍兹

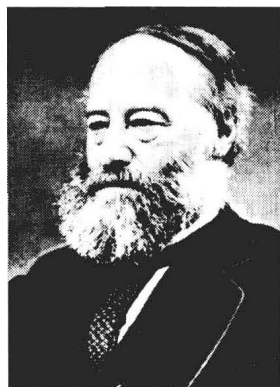


图 1.4 焦耳

迈耶是一位德国医生，在一次驶往印度尼西亚的航行中，迈耶作为随船医生，在给生病的船员放血时，发现静脉血不像生活在温带国家中的人那样颜色暗淡，而是像动脉血那样新鲜。当地医生告诉他，这种现象在辽阔的热带地区是到

处可见的。他还听到海员们说，暴风雨时海水比较热。这些现象引起了迈耶的沉思。他想到，食物中含有化学能，它像机械能一样可以转化为热。在热带高温情况下，机体只需要吸收食物中较少的热量，所以机体中食物的燃烧过程减弱了，因此静脉血中留下了较多的氧。他认识到生物体内能量的输入和输出是平衡的，从此对热产生了兴趣，转而研究物理。他提出了能量不灭和转换定律，并粗略地给出了热功当量。迈耶关于热力学第一定律的论文没有引起科学界的注意。他的聪明才智不为世人理解，反而遭到世俗偏见，唯一令人欣慰的是迈耶晚年终于看到自己的研究成果被承认，得到了应有的荣誉。

焦耳是英国著名实验物理学家。1818年他出生于英国曼彻斯特市近郊，是富有的酿酒厂主的儿子。他从小在家由家庭教师教授，16岁起与其兄弟一起到著名化学家道尔顿（Dalton, 1766—1844）那里学习，这在焦耳的一生中起了关键的指导作用，使他对科学发生了浓厚的兴趣，后来他就在家里做起了各种实验，成为一名业余科学家。他从小对物理感兴趣，发现了电热转换的焦耳定律，指出电流产生的热量与电阻成正比，与电流强度平方成正比。他较精确地测定了热功当量。

从多方面论证能量转化与守恒定律的是德国的亥姆霍兹。他曾在著名的生理学家缪勒（Müller）的实验室工作多年，研究过“动物热”。他深信所有的生命现象都必须服从物理与化学规律。他早年在数学上有过良好的训练，同时又熟悉力学的成就，读过牛顿、达朗贝尔、拉格朗日等的著作，对拉格朗日的分析力学有深刻印象。他的父亲是一位哲学教授，和著名哲学家费赫特（Fichte）是好朋友。亥姆霍兹接受了前辈的影响，成为康德哲学的信徒，把自然界大统一当作自己的信条。他认为如果自然界的“力”（能量）是守恒的，则所有的“力”都应和机械“力”具有相同的量纲，并可还原为机械“力”。1847年，26岁的亥姆霍兹写了著名论文《力的守恒》，充分论述了这一命题。这篇论文是1847年7月23日在柏林物理学会会议上的报告，由于被认为是思辨性、缺乏实验研究成果的一般论文，没有在当时有国际声望的《物理学年鉴》上发表，而是以小册子的形式单独印行。

但是历史证明，这篇论文在热力学的发展中占有重要地位，因为亥姆霍兹总结了许多人的工作，一举把能量概念从机械运动推广到所有变化过程，并证明了普遍的能量守恒原理。这是一个十分有力的理论武器，从而可以更深入地理解自然界的统一性。

亥姆霍兹在这篇论文一开头就声称，他的“论文的主要内容是面对物理学家”，他的目的是“建立基本原理，并由基本原理出发引出各种推论，再与物理学不同分支的各种经验进行比较”。

在他的论述中有一明显的趋向，就是试图把一切自然过程都归结于中心力的作用。众所周知，在只有中心力的作用下，能量守恒是正确的，但是这只是能量守恒原理的一个特例，把中心力看成是普遍能量守恒的条件就不正确了。

第一定律最初是针对“永动机的设计”而提出的。过去有不少人试图制造永动机，这是一种不需要能源就可以永远工作的机器，零本万利，多诱人的前景！然而无数努力都失败了，许多“天才”的发明都被证明是胡扯，有的干脆就是骗局。人们终于悟出了能量守恒定律，那种不需要能源的永动机（第一类永动机）是永远造不出来的。自然界的能量只能从一种形式转化成另一种形式，但总能量是守恒的，能量不可能无中生有。亥姆霍兹明确指出，不可能制造出违背这一定律的永动机（图 1.5）。

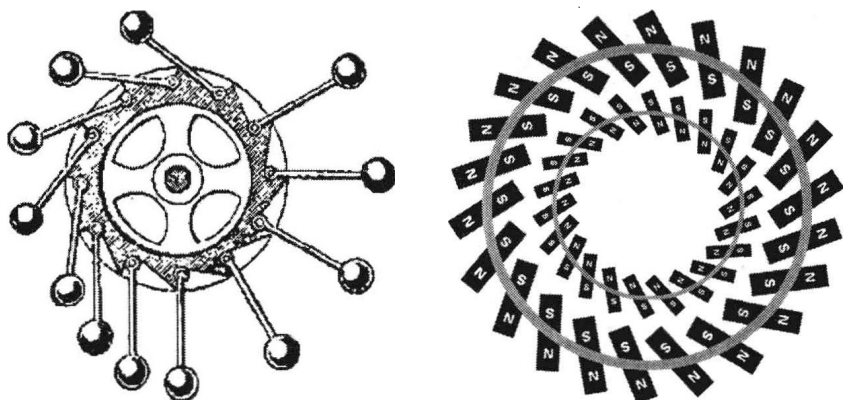


图 1.5 第一类永动机

第一定律的数学表达式为

$$dU = dQ + dW \quad (\text{微分形式}) \quad (1.1)$$

$$\Delta U = Q + W \quad (\text{积分形式}) \quad (1.2)$$

上两式表示，一个系统的内能变化等于系统吸收的热量减去它对外所做的功。所谓内能，粗略地说就是组成系统的物质分子的热运动能。

将能量守恒定律应用到热力学上，就是热力学第一定律。

### 1.3.2 热力学第二定律——不可逆性与时间之矢

日常生活告诉我们，一个打碎了的瓶子，不可能重新复原；一个死去的生物，不可能再复活；一个长大的人，也不可能倒退到童年。真实的时间是有方向的，只能从过去流向未来，不可能从未来退回到过去。物理学中的热力学第二定律指出了时间的这种方向性和流逝性。

19 世纪初，蒸汽机已有很大发展，并广泛应用于工厂、矿山、交通运输。

但当时对蒸汽机的理论研究还很缺乏，法国工程师卡诺（图 1.6）在这方面做出了突出的贡献。卡诺在 1824 年发表了《论火的动力及适于发展这一动力的机器的思考》。他撇开一些次要的因素，由理想循环入手，研究了热机工作中的最基本因素，提出了以卡诺命名的有关热机效率的定理，明确指出：“凡是有温度差的地方，就能够发生动力”，“动力不依赖于提供它的工作物质，动力的大小唯一地由热质在其间转移的一些物体的温度决定”。如图 1.7 所示，设  $T_1$  和  $T_2$  分别为卡诺机工作的低温热源和高温热源，其卡诺热机的最大热效率  $\eta$  为

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \tag{1.3}$$

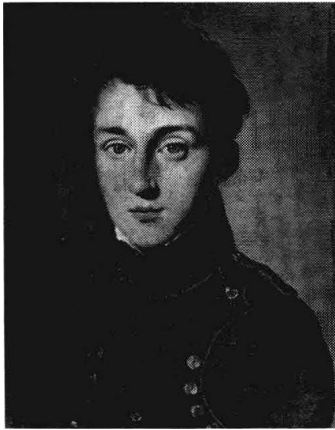


图 1.6 卡诺

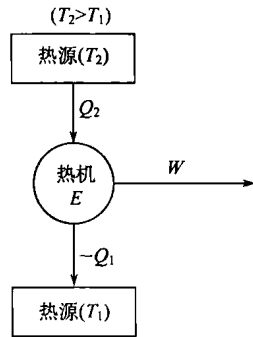


图 1.7 卡诺热机示意图

在证明这一定理时，他采用了热质守恒的思想和永动机不可能的原理。其实卡诺定理中已含有热力学第二定律的思想，但终究因为热质说的错误观点，未能进行进一步的研究，不过可以说卡诺定理是建立热力学第二定律的先导。



图 1.8 开尔文

1840~1847 年，热力学第一定律建立起来了，它说明热机提供的动力只依靠热质在冷、热源之间重新分配的说法是不正确的。因此，需要对卡诺的理论作进一步审核，把他的原理建立在新的热学理论的基础上。

1848 年，开尔文（图 1.8）根据卡诺提出的“一切理想热机在同样的热源与冷源之



间工作时，其效率相等，与使用的工作物质无关”的理论，建立了绝对温标的概念。这一温标具有一定的特点。例如，“这一温标系统中的每一度的间隔都有同样的数值”，“它完全不依赖于任何特殊物质的物理性质”，因此称为绝对温标。这种热力学温标的建立从理论上解决了各种经验温标不相一致的缺点，并为热力学第二定律的建立准备了条件。

在上述历史背景和前提条件下，克劳修斯（图 1.9）集中大部分时间，精心研究了热力学问题，从不同角度发表了多篇文章，提出并完善了著名的热力学第二定律的克劳修斯表述。

1850 年，克劳修斯发表了《论热的动力以及由此推出的关于热学本身的诸定律》的论文，他从“热并不是一种物质，而是存在于物体的最小粒子的一种运动”的观点出发，重新考察了卡诺所提出的理论后指出：卡诺得出热量由热体向冷体传递时产生当量的功是正确的，而在由热体向冷体传递时没有热量损失是错误的。克劳修斯认为在由热做功的过程中，一部分热



图 1.9 克劳修斯

做了机械功，另一部分热通过从热体向冷体传递而耗散掉。克劳修斯通过一个假想的实验，得出热力学第二定律的初次表述：“在没有任何力消耗或其他变化的情况下，把任意多的热量从冷体传到热体是和热的惯常行为矛盾的。”后在 1854 年发表《力学的热理论的第二定律的另一形式》中，将热力学第二定律的表述改变为：“热不可能由冷体传到热体，如果因而不同时引起其他关系的变化。”

1867 年，克劳修斯又发表了《关于热的动力理论的第二定律》一文，总结出一条原理：“负的转变只能在有补偿条件下发生，而正的转变即使没有补偿也能发生，或者简要地说，不需补偿的转变只能是正的转变”。

1875 年，克劳修斯在《热的动力理论》一文中，将热力学第二定律提出了更精练的说法：“热不可能自动地从冷体传到热体”或“热从一冷体转向一热体不可能无补偿地发生”。这就是大家所公认的热力学第二定律的克劳修斯表述。

同时，对热力学第二定律做出贡献的还有开尔文。他用焦耳的热功当量实验和雷诺对蒸汽性质的观察重新审查了卡诺定理，从“热是一种粒子的运动而不是物质”的观念出发，来认识热与功相互转化的过程。1851 年发表《论热的动力理论》，提出了两个命题：“第一，当无论借助于什么方法，从纯粹的热源得到等量的机械效应，或等量的机械效应变成纯粹的热效应而消失时，则有等量的热因之消耗或由此产生”；“第二，如果有这样一部机器，当它反过来运转时，它的每一部分的物理的和力学的动作全部倒过来，那么，它将像具有相同温度的热源和