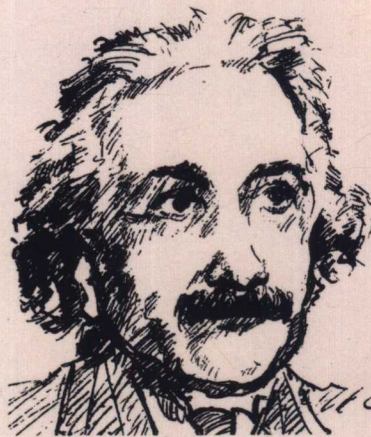
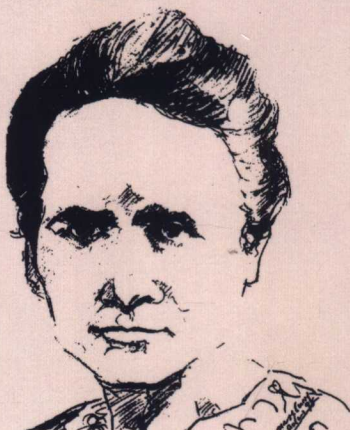


# 20 世纪的物理学

史蒂夫·亚当斯 © 著 周福新 轩植华 单振国 © 译



上海科学技术出版社

# 20 世纪的物理学

史蒂夫·亚当斯 著

周福新 轩植华 单振国 译



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

20 世纪的物理学 / (美)亚当斯著;周福新,轩植华,  
单振国译. —上海:上海科学技术出版社, 2006.7  
ISBN 7-5323-8192-7

I. 2... II. ①亚...②周...③轩...④单...  
III. 物理学史-20 世纪 IV. 04-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 099771 号

*Frontiers: Twentieth-Century Physics* by Steve Adams

All Rights Reserved

Authorised translation from English language edition published by

**Taylor and Francis, a member of the Taylor & Francis Group**

Chinese (Simplified Characters) Trade Paperback Copyright © 2006

by Shanghai Scientific & Technical Publishers

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行

上海科学技术出版社  
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787 × 1092 1/16 印张 26.25

字数 630 000

2006 年 7 月第 1 版

2006 年 7 月第 1 次印刷

印数 1-2 500

定价: 78.00 元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向工厂联系调换



20 世纪的物理学革命大大改变了我们对于空间、时间和物质以及我们自己在宇宙中的存在等问题的思考方式。它对许多诸如事物的终极本质、宇宙如何起源等一些重大问题做出了解答。它动摇了我们关于牛顿宇宙和宿命论的观念，并提出了有关平行宇宙、时间旅行和万物起源的问题。同时，我们也目睹了物理学家追求统一理论的令人惊叹的努力。有了这样一个理论，众多物体、所有粒子的类型以及它们的相互作用都可由之推得。本书讲述的就是有关这些发现以及做出这些发现的人们故事，很大程度上是通过讲述获得诺贝尔奖的物理学家们的工作展开的。

该书生动地介绍了20世纪物理学的主要脉络，旨在激起中学高年级学生、大学生和教师们的兴趣，它也会引起对科学真正有兴趣的广大普通读者的注意。书中也放入了必不可少的数学细节，但对它们的解释和处理颇具匠心，使得读者略过它们也能连贯地读完本书。

史蒂夫·亚当斯是什鲁斯伯里学校科学和物理学教研室主任，曾任威斯敏斯特学校物理教研室主任。先前曾在曼彻斯特文法学校、瓦特福特文法学校执教，也曾澳大利亚和加拿大两国执过教鞭。他是在剑桥的塞尔文学院和安大略的温莎大学修习物理的。现在他还是《新科学家》(New Scientist)杂志的正式撰稿人，《物理教育》(Physical Education)杂志的编委会成员。

封面绘图：尼克·亚当斯

© 责任编辑 田廷彦

# 译者序

20 世纪物理学的发展极其辉煌,因此有人说,20 世纪是物理学世纪。然而纵观国内介绍 20 世纪物理学的读物,或是偏于专题,或是篇幅太小,或是叙述囿于数十年,不够完整,广大读者自然希望有一本能完整、全面、系统介绍 20 世纪物理学发展的读物,本书正可满足读者的这一需要。

一本好的物理学读物,一须内容精彩,二须能激发起读者(特别是青少年读者)进一步研读物理学的浓厚兴趣。历史上就曾出现过有人因读了某本优秀读物而日后走上了献身于那门科学的先例。本书的确还为读者提供了进一步研习的线索和空间。比如 20 世纪对 21 世纪物理学所提出的“三代夸克和轻子的起源是什么?四种相互作用力能不能够归结到一个大统一理论?真空的结构和对称性是什么样的?相变和对称性的破缺是怎么发生的?宇宙中暗物质的性质是怎么样的?黑洞的结构和命运又是怎么样的?宇宙和时空是怎么起源的”等等重大问题,读者在本书中可以找到相关进展的信息。

在诺贝尔物理学奖获得者名录中,译者还注明了那些出身于发展中国家的获奖者的出生地。译者相信,这些榜样定能进一步激发发展中国家人民的自信心。

本书的译校分工如下:第 1~3 章——单振国;第 4, 13~14, 16~18 章——轩植华;第 5~12, 15 章,附录,索引以及全部辅文——周福新。正文中有名的物理学家就不附外文原名。

由于译者水平所限,如果翻译有误,欢迎广大读者批评指正。

译者

2006 年春节

# 献 词

为 爱 子

约瑟夫、马修和塞巴斯蒂安

而 作 此 书

我的作品(它们却不知有我)一如我颜;  
庙宇蒙灰,两眼无光;  
而我对镜自顾,却是茫然一片。

——豪尔赫·路易斯·博尔赫斯

现在我深信,理论物理学就是致为实际的哲学。

——马克斯·玻恩

# 前 言

20 世纪是一个学术、艺术和政治出现大变动的时代。它也是一个出现了许多不可思议的科学大发现的时代。这些科学发现的新思路改变了我们对自己和宇宙进行思考的方式；而伴随这些科学发现所涌现的新技术则使我们工作、相互交往和休闲的方式发生了革命性的变化。未来的历史学家或许会把这一世纪看作是物理学的黄金时代。的确，这一世纪中出现的狭义相对论改变了我们对于空间、时间和物质的观念，而量子论则更新了我们对于客观实在的观念。更有甚者，广义相对论则在最大尺度上表明，引力不是什么别的东西，它就是几何学，空间和时间的畸变只不过是物质的存在引起的而已。用这样的思想来处理宇宙，我们人类自己所在的银河系只不过是亿万星系中的一个，而这些星系自某个难以置信的暴烈的开端——宇宙大爆炸——起一直在飞奔着，相互离得越来越远。

我们业已建立了横跨两国的足够大的装置，旨在击碎微小的肉眼看不见的粒子，然后产生新物质。借助它我们可以探索基本粒子之间的精妙联系，并模拟宇宙大爆炸之后只存在了几分之一秒的条件。现在我们可以把一颗卫星放入空间，用它来观察 100 亿年前宇宙中发生的事件，也可以用原子写下我们的名字。我们还在考虑建造一种计算机，它能够在堆积如山的平行世界里进行计算。有声望的物理学家发表论文说，他们严肃地提出了用于各种隐形传态的装置和时间机器的设计。比在自然界中存在过的任何温度更低的温度可以在实验室中作为常规任务而产生出来，并藉以探索奇异的物质新状态。接近于绝对零度时奇异的现象发生了——超流体会从盛着它们的容器中逃逸，电流能在超导电线中毫无阻尼地流动，磁铁能够飘浮起来，成群的原子能够聚集在一起形成称之为玻色-爱因斯坦凝聚体的量子液滴。可以说没有一个人能够想象到在过去的一百年间所出现的奇异而又貌似荒谬的各种发现。

20 世纪还出现了一些前所未有的最伟大的物理学家。其中阿尔伯特·爱因斯坦鹤立鸡群，他既是革命的，又是十分谨慎甚至可以说是保守的，他帮助创立了量子论（他本人就像量子论一样神秘），却从未承认它。由于两个相对论，他的知名度变得比谁都高。他毕其一生孜孜不倦地探索统一场论——在上世纪末诸如爱德华·威滕那样的弦理论物理学家又在着手从事这样一个历时弥久的探索。那时爱因斯坦有一个量子论方面的对手——尼尔斯·玻尔，后来他成了量子论哥本哈根学派诠释的缔造者。20 世纪 20 年代，由于海森伯、薛定谔、玻恩以及其他一些人的工作，所有物理理论的最重要的方面都呈现到了世人面前，是玻尔把一切东西都汇合起来。当理论物理学家正在努力建立原子的数学模型时，伟大的实验



物理学家卢瑟福正在根据汤姆孙、贝克勒尔和居里的工作,将原子击碎,以期搞清楚组成原子的更基本的东西是什么。高能物理学的许多工作则是卢瑟福的工作的直接延伸。狄拉克、费恩曼、戴森、施温格、朝永振一郎、惠勒以及其他许多人则把量子论的原理推广到了量子场论,为粒子物理学的统一模型铺平了道路,日后它形成了标准模型的理论构架。人们又把人类所特具的心灵手巧用到了探测器的研制上,所研制出的这些探测器具有空前巨大的复杂性和极高的精密度,以便能在巨大的加速器中所发生的剧烈碰撞中挑选出重要的事件。物质结构的越来越深的层次被揭示出来了,尽管每个层次在刚刚被揭示时颇令人困惑,但是当其内部对称性和结构图像被发现后,它们也就渐渐能被人们更深刻地理解了。最初出现的是原子,其次是电子和核、核子、以及所有重子、轻子和夸克,而现在我们仍然在寻找更多的粒子。新的奇异粒子也许会决定宇宙是否最终会坍缩,或者是否所有的物质最终是不稳定的。

哈勃发现宇宙正在膨胀,这一发现使爱因斯坦感到震惊。四分之三个世纪之后哈勃空间望远镜则发回了我们所曾见过的最遥远而又最古老的天体的图像,这些图像有助于我们去检验宇宙膨胀的速率,减少我们在估算哈勃常数和宇宙年龄时所产生的误差。当爱丁顿、贝特、福勒在搞清恒星上的核合成机理时,理论天文学和观测天文学则把更令人感兴趣的奇特的东西——白矮星、红巨星、中子星、脉冲星,还有最令人犯愁的黑洞——加到我们的天体目录上。

许多年以前我就被物理学深深地吸引住了,因为它提出并试图解答诸如以下的一些重大问题——物质的本质、宇宙的起源和终结,时间与空间的问题以及客观实在的本质。在本书中我力图给出 20 世纪物理学的主要理论脉络的入门知识,叙述对形成我们现在的世界观有重要意义的某些论点和思想的感觉。书中描述和讨论了许多诺贝尔奖获得者的工作,也引用了许多他们的论述。然而,我略去了大多数的技术问题,只有粒子物理学中的加速器和探测器以及各种各样的望远镜是例外,因为它们大大增强了我们探索在最大和最小尺度上的这些重大问题的能力。我力图把物理问题解释清楚,但也避免把它搞成像教科书的样子。涉及得比较多的数学问题一般我把它放到数学箱或附录中。但即便是没有它们,整个故事还是前后连贯,并且能为读者所理解。书中的插图、照片和手绘人物肖像是我兄弟尼克(Nick)的作品,对此我再次表示深深的谢意。威斯敏斯特学校物理系的前同事们对物理学的热爱以及对某些物理思想的热心讨论也有助于搞清楚许多问题,在此我对他们表示衷心的感谢。多年来我的学生们也使我注意到了物理学的许多文章和新进展,并问了我许多难题,而正是这些难题使得物理学成为十分令人兴奋的话题。我从研究和本书的写作中获得了极大的乐趣,也希望你们在阅读本书时享受到这种乐趣。

史蒂夫·亚当斯 1999 年 7 月

# 目 录

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 译者序 .....                   | 1          |
| 前言 .....                    | 1          |
| <br>                        |            |
| <b>第一篇 量子革命 .....</b>       | <b>1</b>   |
| 第 1 章 前期量子论 .....           | 5          |
| 第 2 章 新量子论(1925~1930) ..... | 26         |
| 第 3 章 量子谜团 .....            | 50         |
| 第 4 章 量子电动力学.....           | 83         |
| <br>                        |            |
| <b>第二篇 解释物质 .....</b>       | <b>99</b>  |
| 第 5 章 原子和核 .....            | 101        |
| 第 6 章 标准模型 .....            | 126        |
| 第 7 章 粒子探测器 .....           | 143        |
| 第 8 章 粒子加速器 .....           | 156        |
| 第 9 章 对万物论的追求 .....         | 170        |
| <br>                        |            |
| <b>第三篇 空间与时间 .....</b>      | <b>187</b> |
| 第 10 章 光速 .....             | 189        |
| 第 11 章 狭义相对论.....           | 199        |
| 第 12 章 广义相对论.....           | 221        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第四篇 天体物理和宇宙学 .....                   | 239 |
| 第 13 章 天文观测 .....                    | 241 |
| 第 14 章 恒星与天体距离 .....                 | 254 |
| 第 15 章 宇宙学 .....                     | 274 |
| 第五篇 热力学与时间箭头 .....                   | 293 |
| 第 16 章 时间、温度和概率 .....                | 295 |
| 第 17 章 向绝对零度进军 .....                 | 317 |
| 第 18 章 正反共轭(C)、空间反射(P)和时间反演(T) ..... | 331 |
| 第 19 章 附录 .....                      | 345 |
| 附录 1 黑体辐射谱 .....                     | 345 |
| 附录 2 薛定谔方程 .....                     | 347 |
| 附录 3 氢原子 .....                       | 349 |
| 附录 4 洛伦兹变换方程 .....                   | 350 |
| 附录 5 电磁波的速度 .....                    | 351 |
| 附录 6 诺贝尔物理学奖 .....                   | 352 |
| 附录 7 重要的物理概念小辞典 .....                | 361 |
| 附录 8 重要的物理思想年表 .....                 | 370 |
| 附录 9 进一步的读物 .....                    | 372 |
| 索引 .....                             | 376 |

# 第一篇

# 量子革命

- 第 1 章 前期量子论
- 第 2 章 新量子论(1925~1930)
- 第 3 章 量子谜团
- 第 4 章 量子电动力学



## 第1章 前期量子论

经典物理学并不能恰当地解释比热、黑体辐射、光电效应、原子稳定性等问题。

普朗克、爱因斯坦和玻尔用量子化的思想解决了这些问题。

## 第2章 新量子论(1925~1930)

就事论事的量子化奏效了,但是没有一个人知道为什么——那时基本理论还不存在。

1925~1930年间,出现了三种形式的量子理论——海森伯的矩阵力学,薛定谔的波动力学,狄拉克的算符力学。

所有这三种形式的量子力学都没有考虑相对论效应。狄拉克方程解决了这个问题(1928)。

## 第3章 量子谜团

量子理论很管用,但是没有一个人知道如何来解释这些方程。

玻尔在不确定性原理和互补原理的基础上提出了哥本哈根诠释。但是,爱因斯坦并不能接受它。争论在继续,然而,实验结果支持的是量子理论。

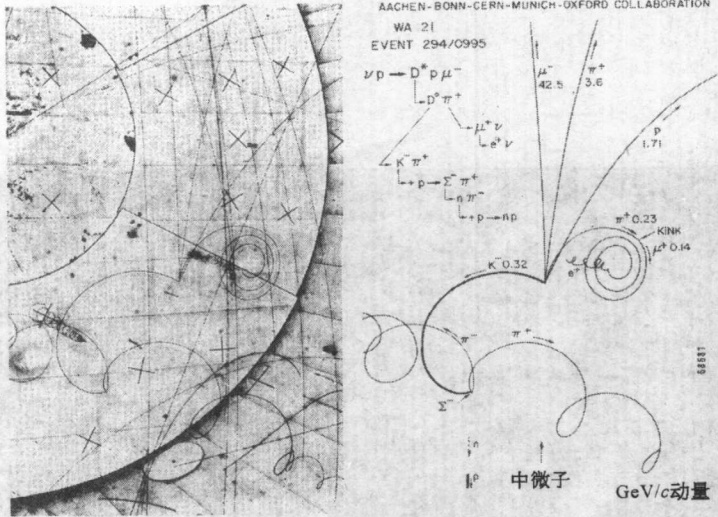
## 第4章 量子电动力学

人们试图解释光和物质是如何相互作用的努力却导致了无穷大的难题。

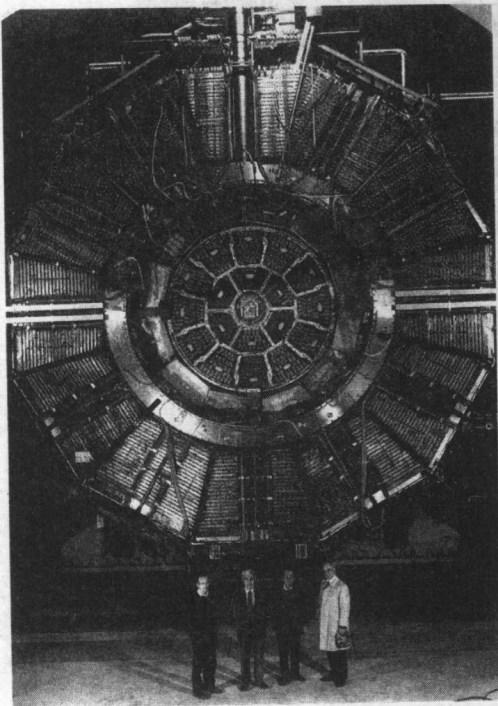
1948年费恩曼和朝永振一郎创立了一种新的量子场论——量子电动力学(缩写为QED)。



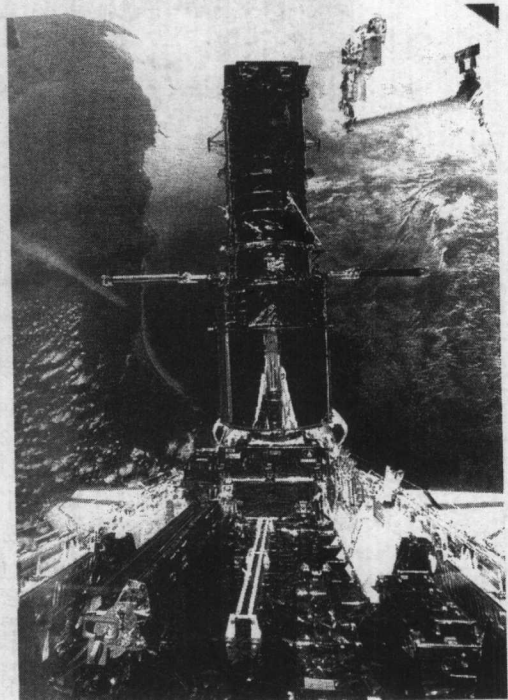
- 1 1962年欧洲原子核研究组织(CERN)举办了第11届国际高能物理学术会议。在重要的与会者中有8位诺贝尔奖获得者。自左至右:鲍威尔、拉比、海森伯、麦克米伦、塞格雷、李政道、杨振宁和霍夫斯塔特。照片由欧洲原子核研究组织提供。



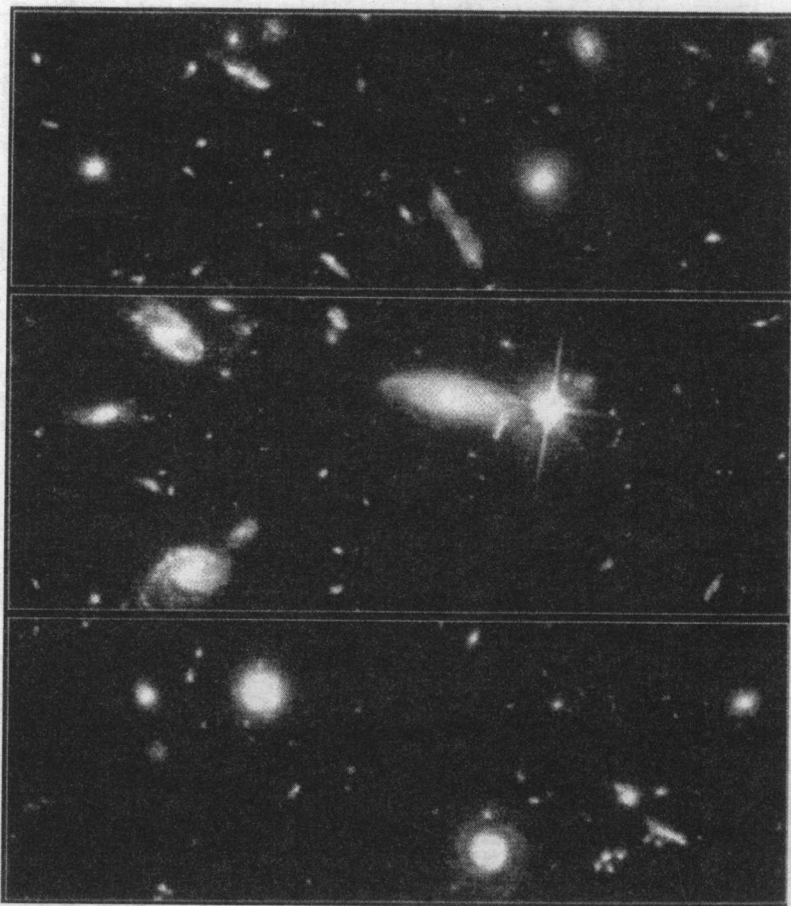
- 2 这张照片显示的是一个中微子(由下部中间进入)与一个氢核碰撞时所形成的踪迹,照片是在欧洲原子核研究组织的欧洲大气泡室(BEBC)拍摄的。在 20 世纪 70 年代气泡室是一种非常重要的探测器,现在它们已被复杂的电子探测器所取代。照片由欧洲原子核研究组织提供。



- 3 欧洲原子核研究组织的 ALEPH 探测器的侧视图,照片展示了该探测器不同的分层结构。自左至右第二人为斯坦伯格,由于他对中微子物理的贡献而分享了 1988 年度的诺贝尔物理学奖。照片由欧洲原子核研究组织提供。



- 4 重新整修哈勃空间望远镜。照片由美国航空和宇航局提供。



- 5 这些照片表示在哈勃深空观测中所看到的天空的一小部分。它们是由多张分离的用广角-行星照相机 2 号(the Wide Field and Planetary Camera 2,缩写为 WFPC2)拍摄到的照片拼接而成的,拍摄工作一共连续进行了 10 天(从 1995 年 12 月 18 日到 28 日)。以前从未见过的最微弱的星系达到了接近 30 星等的亮度。哈勃深空照片只是拍到了天空的一小部分,大小只有满月直径的极微小的一部分。虽然视场很小,只对天空的一小部分进行了取样,但是可以认为它代表了太空中星系的典型分布,因为从统计的观点看,宇宙从各个方向看起来都是一样的。哈勃深空照片为理解宇宙的演化提供了重要的线索。某些星系可能是大爆炸之后 10 亿年之内形成的。照片是由威廉斯(Robert Williams)、哈勃深空观测小组(the Hubble Deep Field Team)和美国航空和宇航局(NASA)提供的。

# 第 1 章 前期量子论

## 1.1 经典物理的危机

19 世纪的物理学家认为,他们在基础物理方面的研究差不多已经达到了顶峰,因为在那时已经有了牛顿力学和万有引力,有麦克斯韦方程组,有关于物质的原子理论和热力学定律。在这种情况下,人们除了根据这些奇妙的理论去预言一些结果之外,还能做些什么呢?也许可在计算过程中再增加几位有效数字,或者去探讨更多的化学反应细节,又或者将这些理论用于动力技术。但是就在这个时候,连续三年出现了三项令人惊奇的发现:1895 年伦琴发现了 X 射线;1896 年贝克勒尔发现了放射性;1897 年 J. J. 汤姆孙发现了电子。现在看来,正是这三项重大的发现预示了一个新时代的到来。在这个新时代里,相对论和量子论使我们在空间、时间、物质方面的观念发生了革命性的变化,粒子物理和宇宙学则为我们提供了一幅全新的、多层次的宇宙结构图画。

到了 20 世纪初期,尽管还有许多物理学家一次又一次地根据经典物理学对一些新的物理现象进行预测,但有不少人已经深刻地意识到,经典物理学并不是一切都正确的。

### 1.1.1 比热容

暗示经典物理学危机的第一个信号来自气体分子运动论,该理论试图用大量微小粒子的随机、快速的微观运动来解释气体的宏观性质。1859 年,麦克斯韦发表了一篇有关气体理论的重要文章,说明气体的许多性质(如扩散速率和黏度)的确可以用分子运动论来精确地描述。不过在文章的末尾,他指出了一个問題,即该理论对于气体比热的预言与实验结果不符。这个问题一直未能得到很好的解决,10 年后,他称它为“到目前为止分子说所遇到过的最大困难”。进一步探讨分子运动论为什么不能解释比热是很有意思的。

物质的比热容是指每千克物质在其温度升高 1 K 时所需要的能量。用经典理论处理比热时,需要考虑平均分子能量与温度之间的关系,在这种情况下,比热会反过来依赖于分子本身的性质以及装盛这些分子的条件。对气体来说,比热主要有两类:即比定体热容  $C_v$  和比定压热容  $C_p$ (图 1.1)。现在设想有一个体积不变的容器,里面充满了单分子气体。我们不断对该气体加热,由于体积不变,气体不能膨胀,因而不能对外做功。也就是说,所有加进去的热量都用于增加气体的内能了。在这种情况下,分子的平均速度就会加快。另外一种情况是,将气体放入一个带有活塞的汽缸中,并保持其压力不变。当气体膨胀时,它就会对外做功。因此,所加的热量一部分用来做功,另一部分则用来增加气体的内能。这就是说,要想使每千克气体的温度升高 1 K,定压气体所需的热量要比定容气体所需的热量,换句话说, $C_p$  大于  $C_v$ 。麦克斯韦曾试图预测



各种气体的比热容的比率  $C_v/C_p(\gamma)$ ，但没有成功。

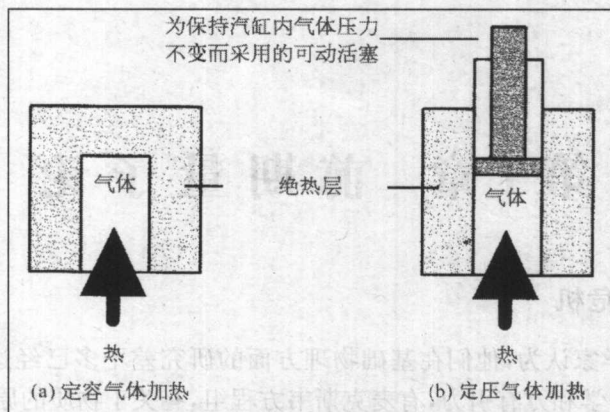


图 1.1 加热固定质量的气体时,定容气体(a)的温度要比定压气体(b)的温度上升得快,因为定压气体在膨胀时,要对外部物体做功。

麦克斯韦的预言是建立在经典热力学“能量均分定理”基础上的。这个能量均分定理是很容易理解的,简单地说,如果气体分子有许多不同的运动模式(如飞行、绕某轴转动、沿某键振动等等),那么在热平衡时,气体的内能将会在每个运动模式中进行平均分配。每个模式可望获得的分子平均能量为  $kT/2$ , 其中,  $k$  为玻尔兹曼常量,  $T$  为绝对温度。对单原子气体来说,运动模式仅能在三个方向平动,因此,其平均分子能量应为  $3kT/2$ 。对较复杂的分子(如  $O_2$ )而言,还有转动和振动( $O_2$  的平均分子能量为  $6kT/2$ ), 所加入的热量将会在数目更多的运动模式间分布,从而使气体温度的上升变慢。换句话说,这种气体应该有较大的比热容和较低的比热比  $\gamma$ (因为气体内部的自由度较多,它在膨胀时对外做的功会大大减小)。

实验表明,比热有两个重要的倾向:

1. 对于复杂分子,在低温时比热总是比预期的小,而  $\gamma$  总是比预期的大。
2. 随着温度的升高,比热增大,  $\gamma$  下降,逐渐接近理论值。

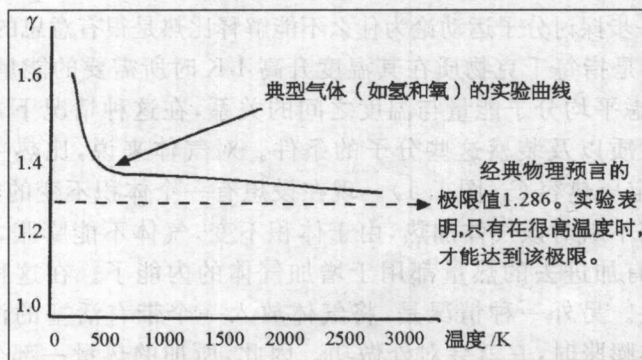


图 1.2 比热