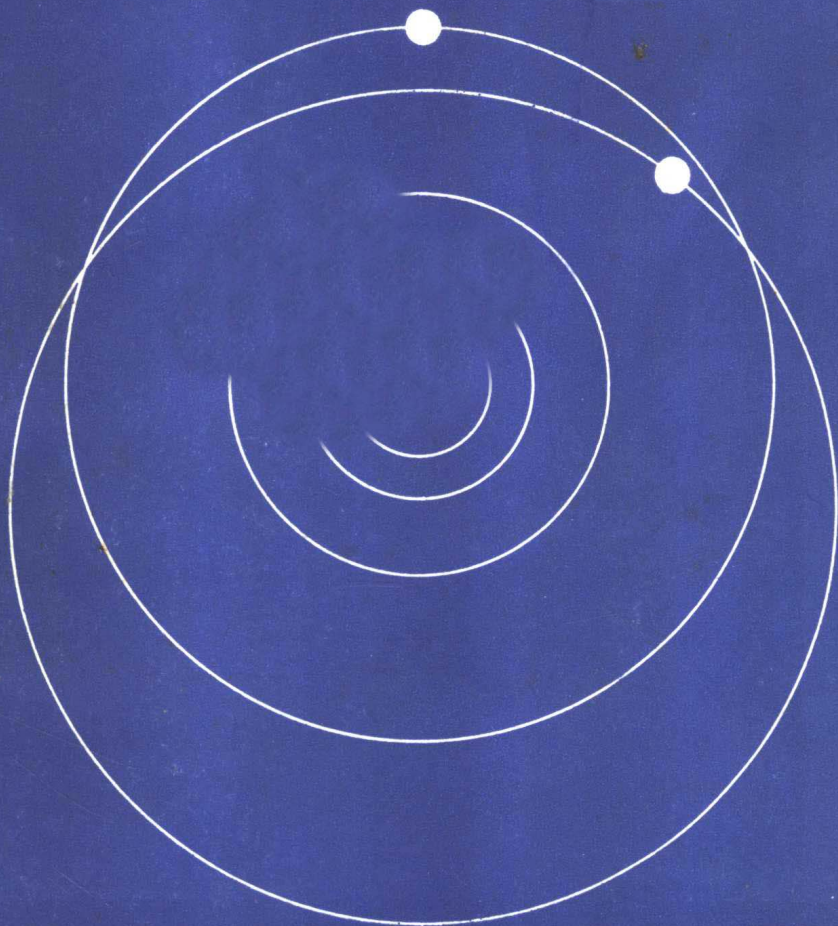


[美] G. Holton 著 S. G. Brush 增订

# 物理科学的概念和理论导论

下 册

戴念祖 等译



本书是美国近年来改革性教材的另一种类型，它比较注意突出最王要的概念与规律，注意结合物理科学的历史发展来阐述科学研究方法与思想方法，注意物理学与其他科学及社会的联系，史料比较丰富，叙述深入浅出，颇具独特风格。这是一本美国大学文科用的“物理学”或“自然科学导论”教材，它的主要内容和写法对我们可能有一定的借鉴作用，可以作为高等学校文科及其他专业普通物理或自然科学概论课、自然辩证法、科学史等类课程的教学参考书或课外读物，也可供中学教师、科技管理干部或其他读者参阅。

在翻译过程中，在有些章节加了一些必要的译注，极个别译文在出版时作了删节，原书的某些观点或提法，请读者在阅读过程中注意加以剖析、研究和讨论。

本书分上下册译出，上册为张大卫等译；下册译者为：戴念祖（19、20、21、22、25章，索引及全册统校整理），刘鑫森（23、24、26章），关同（27、28、29章）及张大卫（30章）等。下册个别文字并按作者 G.Holton 教授提供的最新材料和来信作了更正。

责任编辑：邹延肃

## 物理科学的概念和理论导论

（下册）

[美]G.Holton 著

S.G.Brush 增订

戴念祖 等译

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

沈阳新华印刷厂印装

\*

开本850×1168 1/32 印张12.625 字数316 000

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数 1—5 210

书号 13010·01203 定价 3.20 元

# 目 录

第六编 物理学和化学中原子论的起源 .....	1
第十九章 气体物理学 .....	3
19.1 气体的本质——早期的概念 .....	3
19.2 大气压强 .....	7
19.3 普适气体定律 .....	12
19.4 两种气体模型 .....	15
第二十章 化学中的原子论 .....	22
20.1 化学元素和原子 .....	22
20.2 道尔顿的气体模型 .....	24
20.3 道尔顿的化学原子的特性 .....	28
20.4 道尔顿描绘原子的符号 .....	30
20.5 定比定律 .....	32
20.6 道尔顿的简单性法则 .....	33
20.7 道尔顿原子论的早期成就 .....	34
20.8 关于反应气体化合体积的盖-吕萨克定律 .....	39
20.9 阿伏伽德罗的气体模型 .....	41
20.10 对阿伏伽德罗假说的评价 .....	46
20.11 阿伏伽德罗以后的化学：原子价的概念 .....	49
20.12 分子量 .....	53
第二十一章 元素周期表 .....	61
21.1 探讨元素表中的规律性 .....	61
21.2 早期的元素周期表 .....	64
21.3 周期律的成果 .....	70
21.4 现代周期表 .....	72

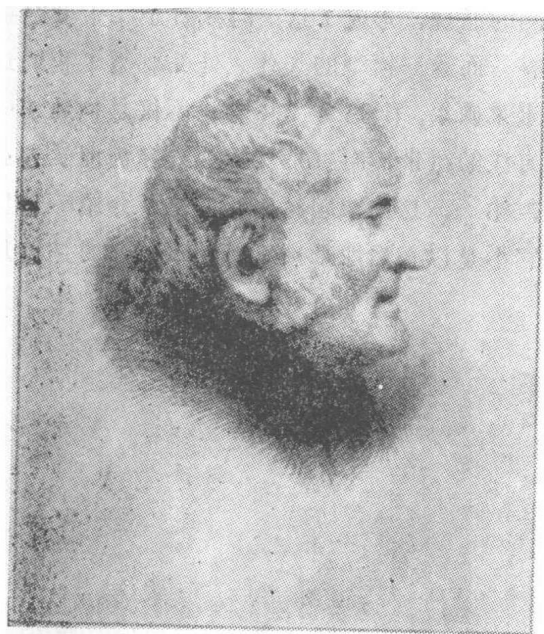
<b>第二十二章 气体分子运动论</b> .....	78
22.1  引言 .....	78
22.2  分子运动论的若干定性结果 .....	82
22.3  气体模型和运动论中的一些假定 .....	84
22.4  压强公式的推导 .....	92
22.5  气体分子运动论的推导和证明 .....	97
22.6  分子的速度分布 .....	104
22.7  分子运动论的其它成果和验证 .....	112
22.8  气体的比热 .....	115
22.9  在分子运动论中的不可逆性问题：麦克斯韦小妖 .....	122
22.10  循环佯谬 .....	127
<b>第七编 光学和电磁学</b> .....	132
<b>第二十三章 光的波动说</b> .....	134
23.1  折射理论与光速 .....	134
23.2  周期性波的传播 .....	140
23.3  杨和菲涅耳的波动理论 .....	144
<b>第二十四章 静电学</b> .....	151
24.1  引言 .....	151
24.2  摩擦起电 .....	151
24.3  电荷守恒定律 .....	153
24.4  起电装置的近代模型 .....	153
24.5  绝缘体与导体 .....	155
24.6  验电器 .....	159
24.7  静电学的库仑定律 .....	161
24.8  静电场 .....	163
24.9  电力线 .....	166
24.10  电势差——定性的讨论 .....	168
24.11  电势差——定量的讨论 .....	170
24.12  电位概念的应用 .....	172

24.13	电化学	175
24.14	电荷的原子性	176
<b>第二十五章 电磁场理论</b>		<b>180</b>
25.1	导言	180
25.2	电流和磁	181
25.3	电磁波和以太	188
25.4	赫兹实验	193
<b>第二十六章 光的量子理论</b>		<b>198</b>
26.1	连续发射光谱	198
26.2	普朗克的经验发射公式	203
26.3	量子假设	205
26.4	光电效应	212
26.5	爱因斯坦的光子理论	215
26.6	光子-波的困境	220
26.7	光子概念的应用	223
26.8	科学中的量子化	225
<b>第八编 近代物理学中的原子和宇宙</b>		<b>228</b>
<b>第二十七章 放射性和核型原子</b>		<b>230</b>
27.1	同位素	230
27.2	放射性物质的半衰期	235
27.3	放射系	237
27.4	卢瑟福的核模型	240
27.5	莫塞莱的X射线谱	249
27.6	核结构的其他概念	253
<b>第二十八章 玻尔原子模型</b>		<b>259</b>
28.1	线状发射光谱	259
28.2	吸收线状光谱	261
28.3	巴耳末公式	266
28.4	N·玻尔和原子结构问题	271

28.5	氢原子中的能级	272
28.6	进一步的发展	283
<b>第二十九章 量子力学</b>		<b>290</b>
29.1	物理学基础的危机	290
29.2	物质的波动性	291
29.3	量子力学的知识和现状	297
<b>第三十章 爱因斯坦的相对论</b>		<b>307</b>
30.1	阿尔伯特·爱因斯坦传略	307
30.2	斐兹杰惹-洛伦兹收缩	312
30.3	爱因斯坦的表述(1905)	317
30.4	伽利略变换方程	319
30.5	同时性的相对性	323
30.6	相对论性(洛伦兹)变换方程	327
30.7	推论与例证	338
30.8	质能相当性	339
30.9	核嬗变	345
30.10	关于广义相对论的说明	347
<b>事项索引</b>		<b>357</b>
<b>人名索引</b>		<b>377</b>

## 第六编 物理学和化学中原子论的起源

物质的原子观念的发展和它逐渐成为科学的历史，在许多方面——如它的起源，它的争论时间之长和程度之激烈，它涉及的人物之多和领域之广，各种论点经常意外的出现与对峙，丰硕成果的不断涌现，以及它最后席卷科学的一切分支等，都是令人惊叹不止的。



在这一编里，我们将叙述十九世纪末叶以前原子观念的发展。回顾以往，我们可以清楚地看到，当时原子模型产生于三种不同类型的问题：物质特别是气体的物理结构是什么？热的本质是什么？化学现象的基础是什么？虽然乍一看来这三类课题显得毫

不相干，但采用一种定量的原子图式，从热、气体和化学反应的本性中寻找共同的概念，这些问题却同时得到了回答。其实，原子的观念和能量守恒是密切相关的两个概念，捍卫这两个概念的

战斗激荡着同一主题旋律。如同一首赋格曲，从不同的主题分别引入，在发展中彼此靠近、叠合、渐渐分开，而最终又结合在一起。

在这段历史中，我们将要遇到的许多概念和推论并非总是简单的，描述这一包含了世世代代人们辛勤劳动的概念体系很难找舍此而他求，因为这段历史凝聚了众多分布零散的实验观测、机敏精辟的假设，不断简化的近似、逐步减小的误差、聪明睿智的直觉和难以计数的数学运算。另外还有三个重要理由说明，何以更仔细地研究这个论题将会富有成果。第一，它将提供我们一个在历史上有重要意义并具有广泛用途的物质基本结构模型。这个模型及其所导致的许多成功推测的涌现，形成了这一时期直至二十世纪物理学和化学的丰富内容，而这一模型的失败之处又刺激了我们这个时代新物理科学的累累硕果。第二，分子运动论不仅是物理学中联系牛顿方法和现代方法的纽带，而且是从宏观世界物理学到亚微观现象世界的桥梁。第三，这个课题将向我们简略介绍一种重要类型的物理定律，它不是以必然性来预言个别事件，而是以几率来讨论大量事件。



## 第十九章 气体物理学

### 19.1 气体的本质——早期的概念

从最早记载有哲学推测的时候直至今天，人们的思想被一些佯谬的命题所困扰：一方面，我们能够用双手把大块物质——一块石头或定量的水——切割或细分成愈来愈小的部分，直到工具粗钝或视觉不足才停止我们的实验，但这决不是由于物质本身不能再分。由此我们有可能作出结论：物质本来就是无限可分的。另一方面，如要求物质真正是以无数无限小组成的集合体出现，我们的想象又将遇到困难，而且这个观念在逻辑上也成问题。因此，我们的感性倾向于一种物质观，而我们的理性又使我们相信另一种物质观。

约在2400年前，希腊的哲学家留基伯(Leucippus)和德谟克里特(Democritus)提出了一项伟大的折衷方案。这个方案后来又被伊壁鸠鲁推广。这就是原子论的思想。如果假定，物质的确可分到远距我们的直接经验的程度，但是一定存在着一种无限硬的、不能再切割的、不可再分的微粒的极限结构，这个结构可以暂名为粒子或原子<sup>①</sup>，这样，我们的感性和理性都可以同时得到满足。

罗马的诗人卢克莱修(Lucretius)的《物性论》(De Rerum Nature)以前被看成质量守恒定律的早期文献，书中他例举了现已大部散失的那些希腊原著的教导，并且总结了原子论这一科学思想：“标志着罗马科学思想的顶峰”〔萨顿(Sarton)语〕——我

---

① 源于希腊的 atomos，即不可分割之意。

们却要指出，这部著作根本不能看作是一本初始的科学教科书。

《物性论》的主题是，“作为自身存在的全部自然是由两种东西构成的：物体和虚空，物体存在于虚空中并穿过虚空而运动……。”普通的物质是由两个实在组成的：固体和虚空，固体是无穷无尽的粒子；虚空可以不严格地称它为真空。注意，根据这一定义，这些原子不是直接可感知的，直到约150年前，人们从这一原子假说中所能作出的成果是很少的，对这一值得怀疑的思辨性观念经过实验证实得出的确凿结论也是很少的。甚至到本世纪之交，当这样的实验证据已经在握时，某些有名气的科学家还把原子的概念斥之为过份轻浮的无稽之谈，认为那些“顽固的”研究者认真考虑的一系列问题是毫无价值的。

由此可见，原子论的观点有时曾经被否定（诸如柏拉图、亚里士多德及其各种信徒），有时在某种形式下又被接受（诸如伽利略、伽桑狄、培根、笛卡儿、牛顿、莱布尼兹及他们的许多同代人），讨论物质结构的课题长期以来没有获得结论，这是不足为怪的。我们可以这样推想：由于牛顿的著作，微小粒子的思想变得更加令人信服，我们讲过，在牛顿的著作里，导出万有引力定律的那些假设规定了物质粒子是相互吸引力的来源。当然，这里的粒子不一定跟终极的不可再分的粒子或原子完全等同。但是，按照质点力学处理万有引力的非凡成功，把这些想法又一次转变为一种观念：微小不连续体的力学是解开一切现象的钥匙。牛顿本人在《原理》的序中写道：

“然后根据其它同样是数学上论证了的命题，我从这些力〔万有引力〕中推演出行星、彗星、月球和海潮的运动。我希望能够用同样的推理方法从力学原理中推导出自然界的其它许多现象；因为有许多理由使我猜想，这些现象都是和某些力相联系着的，而由于这些力的作用，物体的各个粒子……或者相互接近而以有规则的形状彼此附着在一起，或者互相排斥而彼此分离。正由于我们还不知道这些力是什么，所以迄今为止哲学家们对

自然界的探讨都以失败而告终，但是，我希望本书所奠定的原理将对这种或某些更正确的哲学方法提供一些线索。”\*

在后来的《光学》（1704年出版）中，我们发现了牛顿关于原子论的一种幻想式而又不成型的看法：

“考虑到所有这些事物之后，据我看来，上帝开始造物时，很可能光造结实、沉重、坚硬、不可入和易于运动的粒子，其大小、形状和其他一些性质，以及空间上的比例等都恰好有助于达到他创造它们的目的；作为这些原始的粒子是些固体，所以它们比任何由它们合成的多孔的物体都要坚硬得无可比拟；它们甚至坚硬得永远不会磨损或碎裂；没有任何普通的力量能把上帝在他第一次创世时自己造出来的那种物体分裂……，所以，自然界可以是持久的，有形物体的变化仅仅与这些永恒粒子的各种各样的分离、重新结合和运动相当；复合物体容易破裂，但不是在那些固体粒子中间破裂，而是在那些粒子摆在一起的接触处破裂……。”

“上帝能够创造不同大小、外形的物质粒子，它们同占据的空间都有一定比例，或者说上帝能够创造不同密度和力的物质粒子。……现在，借助于这些原理，所有物质的东西似乎都由上述这些坚硬的固体粒子所组成，都是依照一个智慧者的意愿在第一次创世时通过这些粒子的不同组合造出来的。因为把它们安排得井井有条，这是和它们的创造者相称的。假如他创造了一切，那么如果再去找世界起源的其它原因，或者认为世界只是按照自然规律由混沌中产生出来的，那就是非哲学的了；不过一旦它被创造了以后，就将由于这些自然规律的作用而可以持续许多世纪。”\*

在这里牛顿有神学的偏见，根据充分的历史学的理由，如果要全面地了解原子论观点的发展，我们就不应当放过它。从原子论的肇始时起，人们一般把它看成是无神论的学说，卢克莱修的诗篇摘引（见15.1节）指出，这个原子论者公开声称要对物质和现象作出解释，但不是用永远存在的造物主和主宰者的不可测度

---

\* 译文引自〔美〕H.S. 塞耶编《牛顿自然哲学著作选》11—12页，上海人民出版社，1974。——译者

\* 参阅上书，212页，210页译文有改动——译者

的意向来解释，而是以物质实体的相互作用和结构来解释。十七世纪时，象伽桑狄(Pierre Gasseudi) 这样的哲学家试图洗刷原子论的无神论的污点，他假设，原子不是本身具有活力，它们只不过是物质的惰性碎粒，需要一种神性的力量在宇宙创生的时刻使它们运动起来。在英国波意耳大力提倡的“机械哲学”中，上帝被委任为这架世界机器的设计者和创造者，一旦这架机器动起来了，就能够按照神的爱好一直转动下去而不需要继续干预；一切可观察的现象最终将以永恒粒子的各种形状、大小和种类来解释，或以支配它们的力和运动的数学定律来解释。

我们在前章中讲过，牛顿自己没有接受世界机器论的极端说法，因为这种学说否定了上帝在现今物理世界中的任何积极作用。可是，《光学》中的上述引文表明，在表述他自己关于世界体系的原理时，牛顿首先规定上帝最初的创造行为，因此实际上他的体系很容易解释为一种世界机器。

牛顿关于原子性质的其它说法，的确支持了那些对笛卡儿鼓吹机械论哲学不满的人（见 6.1 节）。笛卡儿学派否定“超距作用”的假设，他们宁可相信，诸如引力之类所有明显的长程力能够通过中间的物质媒介（以太）对接触作用的传播来解释。牛顿在原则上否定真正超距作用的可能性时（参见 11.10 节所引他给本特利的信），就是以原子之间的吸引力和排斥力来解释许多现象的。这些解释鼓励了十八世纪象 Boscovich 和 Priestley 等科学家，使他们在发展物质的原子论时更多地依赖于原子的吸引力和排斥力，而较少依赖于它们的硬度和不可入性。这种作为吸引和排斥力心的原子概念，连同那种原子概念的变种——台球式的原子只有在和其它的台球接触时才发生相互作用的概念，一直残存到二十世纪。

## 19.2 大气压强

在此期间，物质的原子论观点从一个完全不同的方向——关于气体的研究——发展起来。

伽利略在他的《两门新科学的对话》(1638)中说，水泵不可能把水抽到大约10.5米以上的高度。这在伽利略写书时很可能已是人们熟知的事实；水泵当时已经被用于从井中打水，用于矿井排水，因此，许多工人肯定确知水泵的限度。水泵抽水的有限能力所导致的一个重要的结果是，要从很深的矿井中排水需要某种其它方法，这种需要为发展岸斗式运水的蒸汽机提供了最初的刺激。另一个结果是，十七世纪的物理学家热衷于探求抽水泵根本的工作原理，以及为什么抽水能力会有一个限度。

如果从一个容器中抽去空气并造成真空，那么东西就有被吸进去的趋势。亚里士多德学派的哲学家以自然界厌恶真空的说法解释这个事实。他们说，空间没有被物质充满是不自然的，因此，物质就要移动到充满任何空虚的空间。这是目的论解释的一个例子，它以“终极原因”为基础（另一个例子是：“下雨是由于庄稼需要水”）。十七世纪新的机械哲学的基本目标之一是要消除这样的目的论解释，并要改用直接的物理原因来解释各种现象。亚里士多德的学说在这个特殊的情况下显得特别软弱无力：纵使有人接受自然界厌恶真空的主张，也难于解释为什么这个厌恶刚刚足够把水升高到10.5米，不多也不少！

曾经一度短暂地作过伽利略学生的托里拆利 (Evangelista Torricelli) 认识到，大气对地球表面施予压力，并且猜想到，这个空气压力可能足以解释从前被认为是自然界厌恶真空的各种现象。他幸运地推测到，比水的密度将近大14倍的水银对于实验室中进行实验可能比水方便得多；果然发现，能够升举10.5米高水

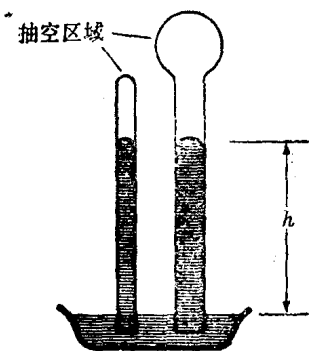


图19.1 托里拆利气压计（两种形状）。  
在每一个竖直玻璃管内的水银柱与槽中自由水银面上的大气压力平衡，在海平面上 $h$ 约为760mm。

柱的同一个真空泵只能提起0.76米高的水银柱。

在闻名的托里拆利气 压 计这个简单仪器里，不要泵就能保持液柱的高度。取一根比0.76米稍长的直玻璃管，它的一端开口而另一端密封；取一只杯和足够装入管、杯的水银，将玻璃管注满水银后，用手指闭紧玻璃管开口的一端并把它倒立在杯中，抽去手指，这时，水银往下流进杯里，但只能流到管的水银面和杯的水银面之间约0.76米高度差为止。结果如图19.1（左管所示）。此时在玻璃管上端水银面上形成了真空。托里拆利那时还用了一根在密封端有大玻璃泡的玻璃管重复了同样的实验，因此形成了较大范围的有效真空，在这个空间里能够装进细小的物体。

在1643年发表的托里拆利实验，促使其他科学家〔其中首先有盖利克（Otto von Guericke）和波意耳〕为实验真空现象和低压下气体的性质而发展更好的真空泵。①用一个泵和一个玻璃瓶，就能得出实验性空间，以便在不同程度的稀薄大气中观测

① 这些泵相当粗糙，并且不能产生我们现在所谓的真空。就这点来说，要使一切可能的微量气体从一个闭合的容器中完全排除，在今天也是不可能的。但是，在十九世纪下半叶制造真空泵的大发展使得把空气抽到足够低的气压成为可能，这一方面促成了亚原子粒子的发现；另一方面促进了白炽灯泡的发展。

光、声、以及磁力或电力效应。根据容器“抽空”前后的重量差，就能发现容器内气体的重量。相反，任何人都能用气泵把各种气体压入容器内，以得到更高的气压。

按照托里拆利和机械哲学的其他信徒们的意见，维持玻璃管内水银柱的力简单说来就是通过杯中水银传递的大气压力。空气在水银面上往下压，而玻璃顶端的空间实际上没有空气，水银就升到它的重量足以平衡外部空气施予杯中水银面上的力。

玻璃管中水银的高度不依赖于玻璃管的直径或杯的大小，乍一看来可能有些奇怪，因为水银所施的力决定于水银的多少，即决定于水银的总体积，而不单是它的高度。同样，外部空气施于大杯面上的力比施于小杯面上的力更大。然而，无论玻璃管是粗是细，也无论杯大杯小，水银总是升到同样的高度。如果我们承认，正是压强平衡而不是力的平衡（更一般的说法是流体的平衡）决定了水银柱的高度，这个事实就得到了解释。

分清压强和力是很重要的。压强定义为作用于垂直表面的压力除以表面的面积：

$$P = F/A \quad (19.1)$$

如果大的力分散作用在足够大的面积上，可能只产生小的压强；例如穿上大雪靴能在雪上行走而不会踏陷。另一方面，如果小的压力集中在小面积上，却可能产生很大的压强；若干年前女鞋采用尖细高跟，许多木质地板和地毯都被踩坏，因为鞋跟接触地面的地方面积虽小，压强却比大象脚产生的压强更大！

计算一下大气压强的数值，看看它有多大、以及为什么它不决定于气压计玻璃管的直径，这是很有启发的。水银柱停留在0.76米高度（在海平面和0°C时气压计液柱的平均高度）。如果这个液柱有1米<sup>2</sup>的横截面积，那么液柱的体积是0.76米<sup>3</sup>。1米<sup>3</sup>的水银的质量是13,600千克。因此，水银柱的质量为

$$m = 0.76 \text{米}^3 \times 13600 \text{ (千克/米}^3\text{)} = 10336 \text{千克}$$

而水银柱所产生的作用力是

$$F = mg = 10336 \text{千克} \times 9.8 \text{米/秒}^2 = 1.013 \times 10^5 \text{牛顿}$$

因为压强定义为 $F/A$ ，而 $A = 1 \text{米}^2$ ，我们得到，

$$1 \text{ 大气压} = 1.013 \times 10^5 \text{ 牛顿/米}^2$$

注意，计算力时必须乘以横截面积，而计算压强则须除以同一横截面积，以致最后的结果和所取面积的值无关。

气压计中水银柱的实际高度并不正好是0.76米；它随每日而异，也随每地而异，它本身是气候条件变化的标志。因此，把地球表面的大气压规定为 $10^5 \text{ 牛顿/米}^2$ 在实用中已足够准确和比较方便，这个量有一个特别名称，叫做巴。天气图通常以毫巴（1巴 = 1000毫巴）给出各种地方大气压。

在科学著作中经常使用的另一个压强单位是托(torr)，以此纪念托里拆利。1托的压强相应于气压计1毫米水银柱的读数。因为大气压相当于0.76米或760毫米水银柱，所以1托是 $1/760$ 个大气压。

许多人曾难于相信，大气真的会产生如此大的压力——以日常单位表示约为每平方呎15磅。德国马德堡市的盖利克在1654年作了一个闻名的实验来戏剧性地演示大气压力的强大。他把两个很大的中空青铜半球边对边仔细合装在一起，并用真空泵把里面的空气抽去。每个半球套上八匹马组成的马队，两个马队沿相反方向奔驰；好不容易才刚好胜过把两半球挤在一起的外部大气压力，把这两个半球勉强拉开。

1657年波意耳(Robert Boyle)得知盖利克的实验以后，他详尽地研究了空气和大气压的性质。波意耳利用胡克为他制造的一个改进了的真空泵，能够得到很大的真空空间，在其中完成了几种新的实验；例如，他发现，当没有空气时小动物开始昏迷以致最



后死去。在某个实验里，波意耳把托里拆利气压计放在一个密闭容器里，然后从这个容器里抽出空气。随着空气从容器抽出，气压计玻璃管内的水银面就下降，直到最后它和杯中水银面达到相同高度。波意耳认识到，这个结果证明支撑玻璃管中水银的正是管外的大气压，而不是真空本身对玻璃管顶端施于某种拉力。

在波意耳1660年发表了实验之后不久，他的结论受到比利时列日 (Liège) 大学的一个耶稣会科学家、数学和希伯来语教授 (Franciscus Linus) 的非难。Linus 声称，水银上面表面看上去空无所有的空间确实包含有不可见的绳或膜，叫做“funiculus” (拉丁语意为“细绳”)。按照 Linus 的意见，当空气扩展或变稀时，“细绳”对所有周围的物体产生一种强大的吸引力，正是这种引力把玻璃管内的水银拉起。他争辩道，如果将你的手指按住



图19.2 波意耳 (1627—1691)。  
在这张照片的背景上有他用来抽空  
玻璃球的真空泵。