

基础科学

黄金分割律的发现

黄金分割律很早就被人们发现了。公元前6世纪古希腊数学家毕达哥拉斯对“如何在线段 AB 上选一点 C ，使得 $AB:AC=AC:CB$ ”这样一个问题进行过深入细致的研究，最终发现了世界上赫赫有名的黄金分割律。

然而 C 点应设在何处呢？要解决这个问题，我们可以先设定线段 AB 的长度是1， C 点到 A 点的长度是 x ，则 C 点到 B 点的长度是 $(1-x)$ ，于是

$$1:x=x:(1-x)$$

$$\text{解得 } x = \pm \left(\frac{\sqrt{5}}{2} - \frac{1}{2} \right)$$

去掉负值，得

$$x = \frac{\sqrt{5}}{2} - \frac{1}{2} = 0.618。$$

“0.618”就是唯一满足黄金分割律的点，叫做黄金分割点。

后来，人们慢慢地发现了更多黄金分割点深层而有趣的秘密。

100多年前，一位心理学家做了一个非常有趣的实验。他别出心裁地设计了许多不同的矩形，并邀请许多朋友前来参观，请他们从中挑选一个自认为最美的矩形。最后，592位来宾选出了4个公认为最美的矩形。

这4个矩形个个都协调、匀称，让人看了倍感舒适，确实能给人一种美的享受。大家不禁要问，这些矩形的美是从何而来的呢？

该心理学家亲自对矩形的边长进行了测量，结果发现它们的宽和长分别是：5，8；8，13；13，21；21，34。其比值，又都非常接近0.618。

$$5:8=0.625; 8:13=0.615;$$

$$13:21=0.619; 21:34=0.618。$$

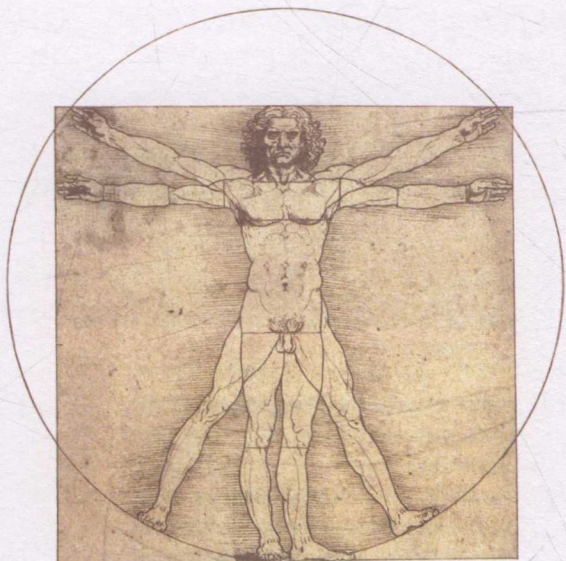
这太令人惊讶了！

难道这些纯粹是一种巧合吗？

只要你留心观察，就不难发现“0.618”



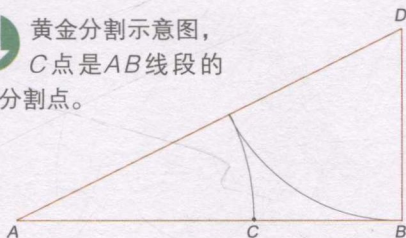
只要你留心，就会发现生活中有很多符合黄金分割律的例子，例如芭蕾舞演员的优美动作、女神维纳斯像。可以说，在生活中哪里有黄金分割，哪里就有美。



达·芬奇也认为人体的结构符合黄金分割律。



黄金分割示意图，
C点是AB线段的
黄金分割点。



的美丽身影。一扇看上去匀称和谐的窗户、一册装帧精美的图书，它们宽与长的比值都接近 0.618。经验丰富的报幕员，决不会走到舞台的正中央亮相，而是站在近乎舞台长度的 0.618 倍处，给观众一个美的享受。

哪里有“0.618”，哪里就有美的影子。我们如果去测量一下女神维纳斯雕像其躯干与身长的长度，就会发

现二者的比值也接近 0.618，难怪我们会觉得维纳斯奇美无比呢！

一般人的躯干与身长之比大约只有 0.58，芭蕾舞演员在翩翩起舞时，不时地踮起脚尖，他们在人为地改变那个比值，以期接近那个完美的 0.618。

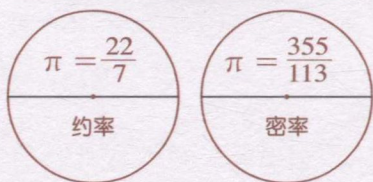
所有这些都不是偶然的巧合，因为它们都在有意无意地遵循着数学上的黄金分割律。

人们珍视这一定律，故在其名上冠以“黄金”二字。黄金分割律在生活中的应用极为广泛。艺术家们发现，如果在设计人体形象时遵循黄金分割律，人体的身段就会达到最优美的效果；音乐家们发现，如果将手指放在琴弦的黄金分割点处，乐声就变得格外洪亮，音色就变得更加和谐；建筑师们发现，如果在设计殿堂时遵循黄金分割律，殿堂就显得更加雄伟壮观，在设计别墅时遵循黄金分割律，别墅将变得更加舒适；科学家们发现，如果在生产实践和科学实验中运用黄金分割律，就能够取得显著的经济效益……

黄金分割律的应用极为广泛，给人们的生产、生活带来了无穷的好处。

人类对圆周率的探索历程

在所有的几何图形中，圆是我们人类最早认识的几何图形之一，在这个简单而美丽的几何图形中却包含着一个神秘的数值，那就是圆周率 π 。为了探索这个奥秘，人类历经了数千年的努力。



 中国南朝数学家祖冲之将圆周率精确到小数点后7位。他还创立“约率”和“密率”2个相当精确的分数来使用。

圆周率指的就是圆的周长与其直径的比值，通常以“ π ”来表示。古人关于这个比值的看法莫衷一是：古埃及人认为这个比值应该是 3.16，而古罗马人则认为是 3.12……

公元前 3 世纪时，古希腊著名数学家阿基米德第一个研究圆周率。首先，他画了一个内接于圆的正三角形，然后又画了一个外切于圆的正三角形。众所周知，正多边形的边数越多，其周长就越接近于圆的周长，为此他不断地增加多边形的边数。

当阿基米德将正多边形的边数增加到 96 时，这样就得出 π 的近似值为 $22/7$ ，取其值为 3.14，这样将 π 值精确到小数点后 2 位，是世界上首次计算出来的圆周率值。为纪念阿基米德的这一伟大贡献，人们将 3.14 叫做“阿基米德数”。

在我国最早的几部数学著作中，凡涉及到圆周率的时候，一概采用了“径一周三”的方法，即认为圆的周长是直径的 3 倍，相当于 π 等于 3。这一圆周率的数值是非常粗略的，后人遂将其称为“古率”。

公元 3 世纪时，我国数学家刘徽创造性地提出了“割圆术”，开启了我国古代圆周率研究史上的一个新纪元。刘徽最后计算出 π 的近似值为 $3927/1250$ ，相当于取 π 等于 3.1416。这个 π 的近似值在当时的世界上是处于领先地位的，后人称其为“徽率”。

刘徽之后 200 多年，我国著名数学家祖冲之立足于前人的研究成果，更进一步，从圆内接正六边形算起，一直算到圆内接正 24567 边形。

为了完成这项复杂的计算工程，并力求做到计算准确，祖冲之对至少 9 位数字反复进行了多达 130 次以上的运算，其中的开方运算和乘方运算就有近 50 次之多，有效数字多达 18 位，第一次将 π 值精确到了小数点后 6 位，并确定出圆周率值在 3.1415926 和 3.1415927 之间。

祖冲之用“约率” $22/7$ 和“密率” $355/113$ 这 2 个分数来表示圆周率。直到 1573 年，德国数学家奥托才重新得到 $355/113$ 这个分数值，祖冲之为数学的发展作出了杰出的贡献，人们为了纪念他，便特意将 $355/113$ 命名为“祖率”。

在西方，对圆周率的研究主要建立在阿基米德的研究成果之上。若干年来，许多

 随着电子计算机的发展，人类对 π 的计算越来越精确。日本科学家已经将 π 计算到小数点后的 2.0132 亿位。



数学家经过艰苦计算，使圆周率的数值越来越精确。

1596年，德国数学家鲁道夫将 π 的精确值推进到小数点后 15 位，从而创造了圆周率研究史上的一个奇迹。然而他并未就此罢手，后来又把 π 值精确到小数点后的 35 位。鲁道夫差不多将其生命都投入到了对圆周率的计算当中。鲁道夫去世后，人们为了纪念他，便将他呕心沥血算出的这一 π 值称为“鲁道夫数”，并铭刻在他的墓碑上。

1767年，德国数学家兰伯特提出“ π 是无理数”的假想，并对其进行了研究证明。他明确指出： π 的小数部分一定是无限而又不循环的，这从理论上宣告了彻底解决 π 的精确值问题的所有努力的破产。

然而人们的积极性并未因兰伯特的断言而受到影响，反而更加热衷于对 π 的计算。1841年，英国的卢瑟福将 π 算到小数点后 208 位，其中正确的有 152 位。9 年之后，他又重新计算 π 值，将 π 值推进到了小数点后第 400 位。

英国学者威廉·欣克采用无穷级数的方法，耗尽 30 年心血，终于在 1873 年将 π 算到小数点后的 707 位，这是在电子计算机问世之前人类计算 π 值的最高历史记录。

颇具戏剧性的是，76 年后有人却发现欣克的 π 值因计算疏漏，将第 528 位小数 5 写成了 4。这就意味着他后面的计算结果全部作废。

改写这一历史的是美国的几个年轻人。

1949年，世界上第一台计算机问世，这几个小伙子用它来计算 π 值，连续奋战了几十个小时，把 π 值计算到小数点后 2037 位。从此以后，由于计算机技术的飞速发展，在先进的计算手段的辅助下，人们求出了更加精确的圆周率。1984年，日本的计算机专家在超级电子计算机上连续工作一天一夜，将 π 值算到了 1000 万位小数。人类对 π 值的计算还将继续进行下去。

数学的进展



中世纪的欧洲学者们游历四方，其中的一部分人掌握了阿拉伯语。英国巴斯的哲学家阿德里亚地（约 1080 ~ 1160 年）就是诸多将阿拉伯语作品译为拉丁语的高产的翻译家中的一个人。在 1142 年，他完成了古希腊数

这幅 1495 年的肖像画表现了意大利传道士卢卡·帕西欧利（左）站在一张桌前，桌子上放满了几何工具，包括圆规和一个 15 面体模型。他一边观察着一个玻璃多面体，一边图示欧几里得提出的某个定理。

学家欧几里得《几何原本》的翻译，第一次把这部欧几里得的传世著作介绍给了欧洲人。

他也翻译了阿拉伯数学家阿布·扎法·伊本缪萨·阿尔科瓦利兹米(约780~850年)绘制的天文图，复制了其使用的阿拉伯数字。在1145年，来自英国切斯特的学者罗伯特首次翻译了阿尔科瓦利兹米的《利用还原与对消运算的简明算书》，用音译法引入了“代数学”和“运算法则”这两个词语。

尽管阿德里亚地和罗伯特都使用新的数字，但真正对它们着迷的当数意大利数学家莱奥纳多·斐波纳契(约1170~1250年)，斐波纳契出生在意大利中部的一个重要商业中心城市——比萨，致力于研究商业应用数学，在1202年发表的《算经》一书中，他解释了数字的使用规则。斐波纳契还概述了在数字体系中应用位值概念的优越性。正是他首先使用了分数线(用一斜杠来区分分子与分母，如 $1/4$)。他也研究几何和数列，其中包括现在以他名字命名的斐波纳契数列：1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21(在这个数列中，每个数值都等于它前面2个数字之和)。在1494年，被誉为会计学奠基人的意大利教士卢卡·帕西欧利发明了复式簿记的登记方法，并在其出版的《算法、几何及比率等运算中部分细节的探讨》一书中对该方法进行了介绍。

所有早期的数学作品都是面向学者或者商人的。第一本关于数学的英文普及读物是英国学者罗伯特·瑞克德(约1510~1558年)撰写的《艺术的基石》，这本书于

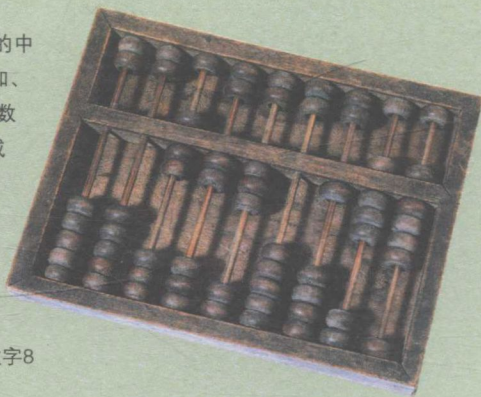
知识档案

- 1142年 欧几里得的《几何原本》被翻译成拉丁文
- 1145年 阿尔科瓦利兹米(约公元780~850年)的《利用还原与对消运算的简明算书》被翻译成拉丁文
- 1202年 斐波纳契在《算经》一书中解释了阿拉伯数字的使用规则
- 1494年 出现复式簿记
- 1543年 英文版《艺术的基石》出版，这是第一本关于数学的普及读物
- 1585年 出现小数
- 1591年 使用字母来表示代数等式中的量
- 1594年 发明自然对数
- 1614年 自然对数表被发表
- 1617年 内皮尔发明“内皮尔骨”
- 1619年 小数点被发明
- 1622年 计算尺被发明
- 1624年 常用对数表被发明

知识档案

算盘

“算盘”也称“计数盘”，一般认为起源于约16世纪的中国，是一直沿用至今的最古老的算盘形式。它不但能用来加、减、乘、除，还可以进行更为复杂的数学演算，例如计算分数和开平方根。它是由9根棍子固定在一个方形的木框中构成的，一根横木条将木框分为不相等的两部分。每根棍子上都有5颗珠子在下半框，2颗在上半框。任意取一根串珠棍作为个位，它的左边的棍子就依次是十位、百位、千位等等，在它右边的棍子依次就是十分位、百分位、千分位等等。0~4的数字用下半框的珠子表示，其余的5个数字就需要上半框的珠子来表示了(注：上半框的一个珠子代表5)，例如数字8就用上半格1个珠子和下半格3个珠子来表示。





↑ 约翰·内皮尔苦心研究20年，终于在1614年发表了他的对数表。

内皮尔仍是杰出的数学家。在1594年，内皮尔发明了一种运算方法——所有数字都用指数函数表示，譬如 $4=2^2$ 。乘法因此成了一项关于指数相加的运算，如 $2^2 \times 2^3 = 2^5$ ，而除法也仅需要将指数相减。他称指数表达式为“对数”，意指成比例的数字，并于1614年公布了以 e （自然对数，是个无限小数——2.71828……）为底数的对数表。

内皮尔对数（又称自然对数）沿用至今。然而一位牛津大学的几何学教授，也是内皮尔的仰慕者——亨利·布瑞格斯指出，取10而不是 e 作底数将使运算更简便，因为这样 $\log 10 = 1$ ，而 $\log 1 = 0$ 。布瑞格斯发明了“常用”对数。在1624年，他公布了从1到100000的对数表。他还发明了应用于长除法的现代计算方法。

西蒙·史蒂文（约1548～1620年）是一位佛兰德物理学家、工程师和数学家。1585年，他首次提出了十进制记数法，但内容上并不完整。直至30年后约翰·内皮尔引入小数点这一符号，才使小数得到充分应用。

内皮尔极渴望能加快计算速率，1617年他带来了个人的第三个创新——“内皮尔骨”。它们是些笔直的棍子，每支都相应刻有乘法表。使用者按一定规则将它们排列组合后，任何繁冗的乘法计算即成为简单的加法。改进后的工具可旋转，其内部安放了12个圆柱体“骨头”。

大约在1622年，英国数学家威廉·奥特瑞德（1574～1660年）发明了“计算尺”。在20世纪后叶电子计算器被发明以前，数学家和工程师们一直使用计算尺来计算对数。奥特瑞德在两把尺身上标记了对数刻度，凭借另一把尺在计算时的机械移动来获取结果。在一本1631年出版的书中，奥特瑞德还引入“ $\times$ ”符号来标记乘法，用“ $:$ ”标记比例。

1543年完稿及出版，并在此后的150年间被不断重印出版。1557年，罗伯特·瑞克德成为第一个使用等号（“=”）的人；加号和减号则是由德国学者首先使用的。数学家们使用代数等式。在拉丁文中未知数被称为“cosa”，德语则是“Coss”。到了1591年，法国政治家兼律师弗朗斯瓦·维耶特撰写了《分析的艺术》一书，他用元音字母表示未知量，用辅音字母表示已知量，写出了现代数学家也能理解的第一个方程式，因此被称做“代数之父”。然而数学对维耶特而言不过是一项兴趣爱好，他最辉煌的成就就是在法国与西班牙战争期间作为法国国王亨利四世的侍臣破译了西班牙菲利普二世使用的密码。

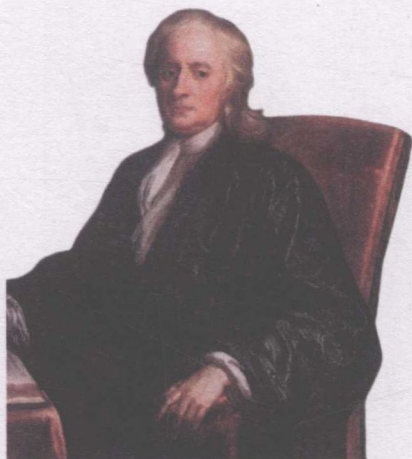
与此同时，苏格兰莫切斯顿的男爵约翰·内皮尔正在紧张地发明一种骇人的武器，以保卫苏格兰免受西班牙的袭击。然而袭击事件并没有发生，许多人都因此认定内皮尔神经不正常。但不论其正常与否，内

万有引力定律的诞生

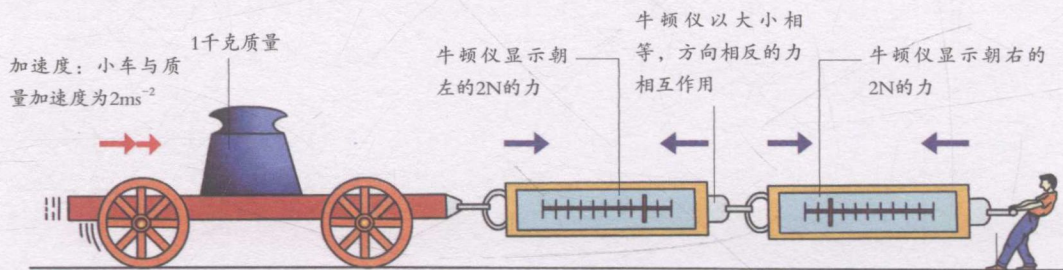
在英国北部林肯郡，有一个名叫乌尔斯索普的村庄。1642年12月25日清晨，艾撒克·牛顿就诞生在这个村庄里。牛顿从小就非常喜欢数学，并且注意观察周围的事物，他还喜欢动手制作各种各样的机械玩具。

牛顿勤奋好学，当他以优异的成绩考入著名的剑桥大学三一学院时，刚好19岁。学校强大的师资力量、浓厚的学术氛围及优良的硬件设施，为他提供了一个绝好的学习环境，使他受益匪浅。他在大学期间学习更加刻苦，悉心钻研数学、光学和天文学，这为他将来在物理学领域取得举世瞩目的成就奠定了坚实的基础。

牛顿于1665年毕业后，被剑桥大学的研究室留用，他的科研生涯也从此开始了。不久以后，为了躲避一场传染病，牛顿回到了家乡——林肯郡乌尔斯索普。一天，牛顿在一棵苹果树下专心思考问题，忽然一个苹果从树上掉下来，恰巧落在牛顿的脑袋上。苹果落地本来属于一种平常的自然现象，千百年来人们视为理所当然，从未想过其中的原因。而牛顿看着已滚落到一旁的苹果却陷入了深思。他想，苹果为什么不是向上飞去而是往下掉呢？如果说苹果往下掉是因为它有重量，那么重量又是如何产生的呢？他认为，也许有某种力量存在于地球上，能把一切东西都吸向它。每一件物体的重量，也许就是受这种地球引力而产生的。这说明地球和苹果之间互有引力，进一步来看，整个宇宙空间都可能存在这种引力。就这样，牛顿将思考的问题由一个落地的苹果引向了星体的运行。



艾撒克·牛顿是世界杰出的自然科学家，17世纪自然科学革命的首要人物。他在物理学、天文学、数学等领域都作出了卓越的贡献。他也因此而成为第一位被英王授予爵士头衔的自然科学家。



根据牛顿运动第三定律，如果一个物体向另一个物体施加一个作用力，那么第二个物体就向第一个物体施加一个大小相等、方向相反的力，称为反作用力。

人感受到反作用力

知识档案

落体

引力作用于两个物体之间，并且把它们拉往一处。如果这两个物体的质量不相同，那么，这个不平衡的“拉力”会将较轻的物体拉向较重的物体。在地球上，我们会注意到，当物体往下掉的时候，总是朝向地球的方向落下来。大约在400年以前，意大利物理及天文学家伽利略对落体做了一项实验。最后，他发现地心引力使得任何物体落下来的速度几乎是一样的（之所以稍有不同，是因为不同物体所受空气阻力不同），即轻的物体和重的物体下落的速度相等。因此，在一个真空环境下，一片羽毛落下来的速度和一个苹果落下来的速度是一样的。

牛顿将其称为“万有引力”。

自1665年开始，牛顿就用严密的数学手段对物体运动的规律和理论来进行进一步的研究和论证。牛顿从力学的角度分析后认为，开普勒所提出的行星运动的3个定律的基础都在于万有引力的作用。于是，牛顿决定从这些定律入手，通过一系列严格的数学推论，用微积分证明：开普勒第一定律所表明的是，太阳作用于某一行星的力是吸引力，吸引力的大小与太阳中心到行星的距离的平方成反比；而开普勒第二定律则表明，作用于行星的力是沿着太阳和行星的连线方向，这个力只能起源于太阳；然而，太阳对于不同行星的吸引力都遵循平方反比关系，这则是开普勒第三定律要表明的。在这些论证的基础上，牛顿进一步分析研究天体运动，最终得出了万有引力定律。

此后，牛顿继续对这个问题进行深入的探索和思考，他进一步推测：太阳对各个行星必定也有吸引作用，不然各个行星不会围绕着太阳运转。

牛顿在经过反复思考和探索后，得出结论：宇宙的定律就是质量与质量间的相互吸引。从恒星到恒星，从行星到行星，这样相互吸引的交互作用遍及整个宇宙，使宇宙间的任何一种事物都在既定的时间，依照它既定的轨道，向着既定的位置运动。这种存在于整个宇宙空间的相互吸引作用，



《数学原理》一书被评价为科学史上最伟大的著作，在这本书中，牛顿为以后300年的力学研究打下了基础。

无所不在的电

威廉·吉尔伯特把“电”这个字与一块摩擦过的琥珀所产生的磁效应联系起来，从而提出了大胆的设想。事实证明，这个设想是颇具预言性的。对吉尔伯特的研究颇感兴趣，并予以进一步提升的科学家之一就是德国人奥托·冯·格里克，他是在吉尔伯特公开出版其巨著《论磁》两年之后（1602年）出生的。格里克虽然是一位业余爱好者，但是却不乏创造才能。

冯·格里克对空间的本质表现出了深厚的兴趣。他曾经怀疑是否确实存在真空，即一个没有任何物质的空间。他之前的亚里士多德和笛卡儿对这一问题都持否定性的

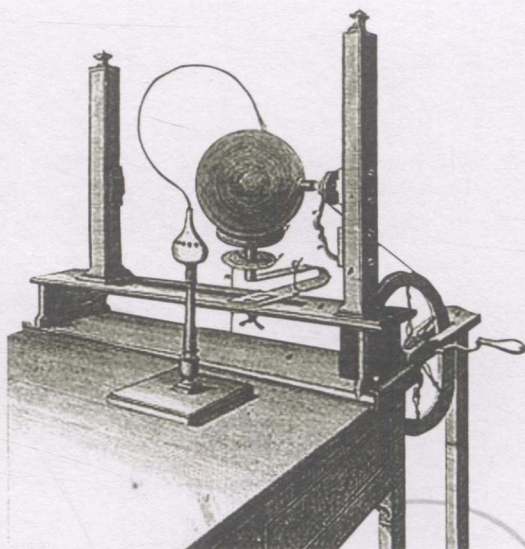
态度。

还有两个相关的问题是，行星如何在它们的运行轨道上运行？行星之间如何互相作用以及相互影响？针对这些问题，开普勒和吉尔伯特曾经提出了磁力动因说，而冯·格里克则开始对这一学说的真实性进行研究。在研究过程中，他研制出了一种能够创造出部分真空的办法。1650年，冯·格里克成功地发明了一种能够用来把容器中大量空气抽出的、非常具有实用意义的抽气泵。与此同时，冯·格里克还对真空的各种物理属性进行了研究。他曾经作出了如下的推断：在真空中不会发生燃烧现象，但是真空中的磁铁依然能够对金属物质产生吸附作用。

在1657年进行的马德堡实验中，冯·格里克把两个铜制的半球形物体合在一起从而形成了一个圆球体，然后证明在把该球体中的空气抽出之后，周围空气所形成的气压会使这个球体处于密封的状态。为了对气压所产生的强大力量进行进一步的证实，冯·格里克让两组各有8匹骏马组成的小队试图把这个圆球拉开，但是始终无法完成。另外，冯·格里克在维也纳和柏林的宫廷里也进行了这个非常生动的实验。



1800年，伏特向拿破仑·波拿巴和其他科学家们演示了他发明的电池，即由银和锌金属层交替缠在一起的“电池组”。拿破仑对这个发明产生了非常深刻的印象，以至于他为伏打颁发了一枚法国荣誉军团勋章，并授予伏打伯爵位。



约瑟夫·普里斯特里的电学仪器

在证明了磁力可以穿越真空之后，冯·格里克开始试图了解天体是否也会受到这种力量的作用。在对吉尔伯特的实验进行考察之后，格里克对这一实验进行了模仿，并研制出了一个由很多物质材料（如硫磺）构成的更大的圆球体。

格里克发现，在把这颗圆球旋转起来，并用他的一只手对其进行摩擦之后，同样能够显现出那种被吉尔伯特认为是电的物理效应。这个圆球就这样获得了吸附属性，并会放出火花，而且即使在圆球不再转动之后，这种效应仍然能够持续下去。这激起了格里克的极大兴趣，他接着制造出了一部机器，并通过这部机器的一个转动的曲柄来转动圆球体；在此之后，他还设计出了一个能够使圆球转得更快的用皮带驱

动的机器。最终，他还能够使这个硫磺圆球发热。格里克通过他所进行的第一个试验证明了“电引起的发光”现象的存在。作为一种娱乐方式，冯·格里克实验机器的复制品的受欢迎程度不亚于其严肃的科学研究。18 世纪的上半期，静电机器几乎无处不在，同时还存在着很多由玻璃圆球或圆盘甚至是啤酒瓶制成的各种静电机器。

在英国，斯蒂芬·格雷发现了与静电有关的两件事情：第一，静电的无声放电或者无声倾泻能够沿着一条丝线被传播出去；第二，被带到“电源”附近的物体本身也会由于被电化而带电。

在法国，查理·弗朗索瓦·西斯特尼·杜菲发现，带电体能够互相吸引或者排斥，这个现象使他认为存在着两种形式的无声放电，并将它们命名为玻璃质的和树脂质的。

这些机器越来越成熟，并能够制造出大量的静电。然而如何把这些电能存储下来成为最大的难题。最后，这个问题由德国发明家埃瓦尔德·G. 冯·克莱斯特和荷兰科学家皮埃特·凡·穆申布鲁克分别于 1745 年和 1746 年解决。这两位科学家分别发明了各自的设备，从而实现了电能的储存。

此外，这两位科学家还发明了第一个电容器。他们首先用一个软木塞把装了半瓶水的瓶罐封闭起来，将一根金属丝线穿过软木塞并且使其能够伸到瓶内的水里。然后，通过把金属丝线靠近一个静电发电机的方式来使其通电。当这个瓶罐从这个静电发电机旁挪开的时候，那些电被留在了瓶罐内，这是任何碰到金属丝线的人都能感觉到的。1745 年 2 月，一封信被公开刊登在《皇家学会哲学汇刊》上。这封信描述了那个碰到金属丝线的人的惨状：“他在开始的一瞬间完全没有了呼吸；然后，他感觉到右胳膊上剧痛，并就此落下了病根。”

冯·克莱斯特对这个系统进行了改善和提高。他在玻璃上涂了一层金属层，从而使静电可以直接穿越玻璃，进而直接抵达瓶罐内的水面。在这场早期的、显示谁的技术更高一筹的较量中，穆申布鲁克索性把这个简陋的玻璃装置的里里外外都涂满了金属层，从而使外部的金属可以给内部的金属直接施加电荷。在按照这个思路进行实验之后，他发现位于金属层中间的玻璃层越薄，瓶罐内所放射出的电火花就越剧烈。这个实验结果似乎说明，电流是一股流体而不是两股，而这个假设是被美国的发明家本杰明·富兰克林所证明的。穆申布鲁克的这个蓄电装置被命名为“莱顿瓶”，这个发明的某些版本一直沿用至今。

到了 18 世纪中期，电学已经逐渐成为了最流行的学科。人们发明了一连串带有电枢的设备。这种电枢围绕电负荷旋转，但是在通电的情况下则被排斥出去。“电不再是只属于知识分子的专利，也不再是一个神秘得让人神不守舍的新鲜事物，它很快便成



法拉第认为：既然电流能够产生磁效应，那么磁场必然也能够产生电流。1831 年，他通过图中这个简易装置证明了磁能够发电的原理，而这个装置就是世界上第一台变压器。

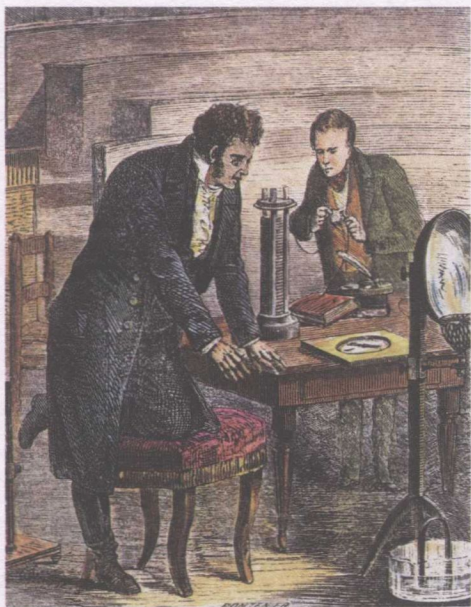
为社会大众谈话中的一个话题。”科学历史学家帕特丽夏·法拉如是写道：“很多有钱人购进了他们自用的蓄电设备，而贵妇们则专心于制作能够握在她们手中从而照亮她们的鲸骨裙的小型照明手电，或者用一道很有感觉的（如有点痛）电流之吻使她们的仰慕者心潮澎湃。”本杰明·富兰克林发明了一口只要接触到静电就会鸣响的钟，而乱夸海口的吹牛家则吹嘘说静电荷可以起到治愈从头疼脚热到大病小灾在内的所有病痛。

随着更大量的电荷被莱顿瓶储存起来，以及许多莱顿瓶被连接起来用于储存实验研究中的大量电荷，人们越来越清楚地了解了电的危险性。1750年，富兰克林证明，他能够在雷电交加的天气中通过放飞一只装有一个金属头和一根丝绸长线的风筝给莱顿瓶充电。由此，富兰克林证明闪电也是一种静电形式。另一个试图用闪电为蓄电池充电的人则因雷击身亡，这一惨烈的场面证明，地球上的电和天空中的电肯定都属于同一种无声放电现象。

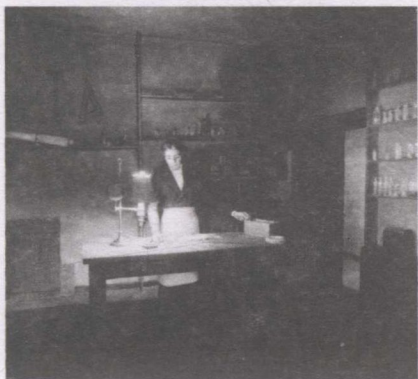
1765年，启蒙运动中的自由主义者约瑟夫·普利斯特里与本杰明·富兰克林进行会面。在对政治问题进行讨论时，他们也就彼此的电力学研究成果与心得进行了交流。富兰克林积极鼓励普利斯特里将其研究成果公开发表。1767年，普利斯特里终于公开发表了《电学的古与今：以原创实验为视角》这部著作。除其他观点之外，他着重指出：两个电荷之间的吸引力和排斥力与两者之间的距离依照平方反比定律发生变化。这也正好是牛顿对万有引力问题的重要发现之一。

1785年，法国物理学家查尔斯·库仑发明了一种极为敏感的力学设备，从而对普利斯特里的假设性学说进行了证明。后来，这个证明被称为“库仑定律”，它的内容是：两个电荷之间所存在的作用力与这两个电荷所带的电量成正比，而与两个电荷之间的距离的平方成反比。同时，库仑发现，他的定律也适用于磁吸引现象中的作用力。

电究竟是什么东西呢？由于每个莱顿瓶都只能放一次电，因此这使所有的研究都变得相当困难。19世纪初期，这些不利条件发生了转变，而这一切都归功于意大利物理学家阿雷桑德罗·伏打的研究成果。伏打早就对电这种被冠以“动物之电”的神秘力量持一种无神论的客观立场。伏打的发现是他的朋友和同乡吕基·加法尼对外公开宣布的。加法尼早已用金属实验工具对青蛙的大腿进行过深入的研究，并在试验中发现青蛙的腿部肌肉在被触碰的时候会发生一阵自然抽动。于是，加法尼便猜想，这是因为金属工具把某种电流释放了出来。在重复进行了加法尼的实验之后，伏打便



1820年，汉斯·克里斯蒂安·奥斯特意外发现，当一根磁针被带到电流场附近的时候，它竟然转向与电流形成直角的方向。然而，他只是注意到了这个现象，并没有对其进行进一步的解释。



↑ 1831年，英国物理学家迈克尔·法拉第在自己的实验室里发现，当把磁铁沿着一个金属线圈移动的时候，金属线圈会产生电流。在这个发现的帮助下，他发明了第一台磁力发电机。

开始确信电并不是由青蛙的肌肉组织产生的，而是由潮湿的环境以及研究试验中不同的金属工具同时导致的。

为了找到答案，伏打实施了另外一个更为直截了当的实验：他把不同种类的金属的合金（如银和锡、铜和铁等）放在自己的舌头上，它们带来了一些苦苦的感觉。于是，伏特猜想这种感觉应该是电由一种金属通过舌头上的唾液流到另一种金属时所产生的。根据伏打所进行的详细记录，不同的金属合金会带来强度不一的苦味感觉。此后，他还设计出了他原来进行的实验的人造版模式，即把银盘和锌盘叠加在一起，然后在中间放一张浸泡过盐水的纸，从而把两个金属盘隔开。这个实验的结果是一股连续性电流的产生。

最早运用伏打的研究成果的科学家之一是英国化学家汉弗莱·戴维。戴维以其颇具创造性的气体实验闻名遐迩，而电堆的可能性研究激起了他极大的兴趣——如果化学反应能够发电，那么电本身能否与物质发生反应，从而把它们分离成这些物质的组成元素？

戴维建成了一个巨大无比的电堆，并为多种化合物（如碳酸钾）通上电流。他发现，在被连上电池电线的一块碳酸钾中，有很多发亮的金属滴状物开始形成，并爆向空气。他已经发现了一种新的化学元素——钾。同时，戴维也把其他化学元素分离出来，如钠、钙、锶、钡、镁、硼和硅等。他开始确信自己所说的：“化学和电力吸引现象是由同一个原因造成的。”

在戴维的众多科学遗产中，还有另外一个观点，即化合物中的原子是通过某种电力作用而结合在一起的。这个观点得到了法拉第的拥护和支持。在戴维因一次实验事故炸伤了脸而造成暂时性失明之后，法拉第受聘担任其助手。

诞生于1791年的迈克尔·法拉第是一名铁匠的儿子。法拉第自幼体弱多病，13岁的时候被迫退学，成为一名装订商的学徒。在那个时候，他阅读了很多科学书籍。与此同时，他继续聆听由戴维主讲的一系列化学讲座。在整个讲座过程中，法拉第总是一直保持着全神贯注的状态，并做了非常详细和全面的笔记。

当戴维在实验事故中受伤而需要一名助手的时候，法拉第便被推荐去担任这一职务。考虑到法拉第所记的笔记颇能反映出他的机敏，戴维雇佣了他。当时，戴维正要去欧洲大陆进行一次为期18个月的巡回演讲。于是，只有22岁的法拉第被他带在了身边。对于能够听到戴维的演讲以及对戴维的实验进行观察，法拉第感到非常荣幸。此外，他还能够与当时欧洲最伟大的科学家进行面对面的接触。

其间，法拉第开始着手对自己的研究项目进行研究，尤其是对电和磁之间的关联性的研究。1820年，汉斯·克里斯蒂安·奥斯特发表了一篇关于在磁铁旁的电流可以

使磁铁与电流方向形成直角的论文。法国物理学家安德烈·玛丽·安培继续进行奥斯特研究项目，并在 1821 ~ 1825 年期间的实验研究中发现了电与磁之间的基本关系原理。安培在实验中发现，两根通着同一方向电流的电线之间发生了磁力吸引，而当电流变成相反的方向时，两根电线则互相排斥。在把电线缠绕成线圈，并再次使其通电时，安培发现他已经做成了一个电磁铁，因为缠成线圈之后的磁力增加了很多。同时，把线圈缠在一块铁条上同样可以使这个磁体的磁性变得更强。于是，安培认为磁力来源于把所有原子在电线和铁块上排列起来的电流。

在奥斯特旋转罗盘的基础上，法拉第不由得提出了这样一个问题：既然电能够引起磁效应，那么磁能否用来发电呢？在给一根铁棒缠上电线线圈之后，法拉第把一对磁力很强的磁铁在电线线圈方向上进行移动。一个专门用来检测电流的检流计显示，电线圈中已经产生了电流。此后，法拉第对这个模型进行了改进，他把两块磁铁固定下来静止不动，在两块磁铁之间放置一个铜制圆盘，通过转动磁铁之间的铜制圆盘就能够产生电流。产生的电流被连到一端固定在离旋转圆盘边缘较近的地方，另一端则连接到圆盘旋转的轴心上的电线上。

于是，法拉第研制出了第一部电磁发电机。在 19 世纪的整个历史进程中，人们利用电磁感应原理发明了许多新的引擎和机器，而这些新发明给运输和通讯领域带来了革命性的变化。

那么，发电机是如何运作的呢？法拉第对这个问题进行了长达数年的研究。他当时并不知道电子的概念，而正是电子微粒的运动组成了电流本身。法拉第曾经进行了如下的猜想：当电流通过某种物体的时候，会使这些原子作用力场处于一种紧绷的压力状态；而在原子把电流传给下一个群簇之后，这种紧绷的压力状态就可以解除。电沿着紧绷的线路通过导电物质的道理，就好像水波纹在通过水面的时候总会保持其高峰状态一样，移向岸边的不是水本身，而是能量。因此，法拉第认为这种方式可能就是闪电发生的原理和静电产生的真实方式，同时也是电流通过电堆时的唯一方式。尽管法拉第对于电的本质没有一个非常清楚的概念，但是他的回答已经非常接近正确答案了。

热能的隐秘生活

当电磁辐射的科学研究和众多新发现悄然登上科学杂志的头版头条时，对另一种能量形式的研究也在向前迈进，这种能量形式就是热能。或许就是因为司空见惯，因此关于它的研究通常被人们认为没有什么新闻价值。毕竟，每个人都知道火是热的，要把水煮沸或者煮菜烧饭都需要耗费热能，想要烧

知识档案

能量守恒定律

能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，且在转化或转移的过程中，总量不变。

出水蒸气也必须通过大量的热能才能实现。到了18世纪中期,热能使引擎转了起来,而且在不久之后,火车、轮船和许多机器也都是通过热能来推动了。

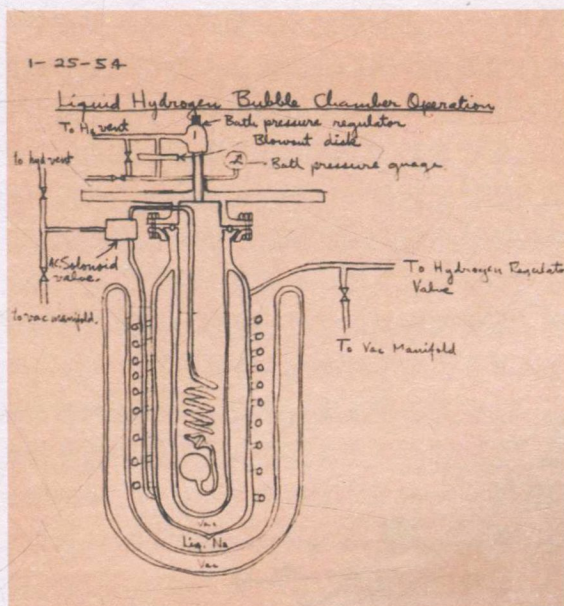
然而,在科学家看来,热能与电一样,也是一种神秘的能量。基于物质材料在变热之后会相应膨胀的事实,伽利略成功地设计出了一种温度计。他把一个装满水的瓶子颠倒过来,然后再把一些空气注入这个瓶子中。随着温度的高低变化,瓶子里面的空气也会发生膨胀或收缩,而这些变化带动了瓶中液体的上下变动。由于没有任何刻度来测量液体运动的精确变动值,这个简陋装置只能展示出相对粗略的温度变化。

设计出一种有固定值的温度计最终是在18世纪初期完成的。当时,曾经于1675年首次计算出光速的丹麦天文学家奥勒·雷默发明了一种以酒精为液体的温度计。他设定了零度作为水结冰的温度点,而60度被作为水煮沸时的温度点。

1708年,荷兰工具设备制造商丹尼尔·加布里埃尔·华伦海特造访了雷默。回到荷兰之后,华伦海特便开始制造自己的温度计。他把零度作为啤酒结冰时的温度点,而100度作为人体体温的温度点。按照这个刻度系统,水在32度的时候结冰,在212度的时候沸腾。这与雷默所设定的温度点相对数值相差很大。最后,瑞典天文学家安德斯·摄尔修斯发明了一种水的冰冻点和沸点正好相差100度的温度计。摄尔修斯最初把0度作为水的沸点,而把100度作为水的冰点,但是在摄尔修斯于1744年离别人世之后,瑞典生物学家卡尔·林耐把这个刻度颠倒过来,成为今天我们所用的摄氏温度。但是,各式各样的温度计真正测量出的是什么呢?一些人认为,热能来源于某种物质所引起的振动现象,其他人则认为热能是一种没有重量的流体,它包含于物质内部,却可以从一个地方流向另外一个地方。18世纪末期,美国人本杰明·汤普森也加入到这个争论中。

美国独立战争初期,汤普森曾担任英国军队的指挥官和间谍。1779年,他被提名为英国皇家学会成员。

在他致力于慕尼黑军需用品研究的时候,汤普森注意到加农大炮发射之后,其金属层会变得非常烫手。于是,他作出推断:大炮所产生的热量要比金属本身所含有的热量大一些,否则,金属层自身所含有的热量就会使其熔化。这说明,把热能视为包含于金属之中的能量流体的观点是不能成立的。同时,他也注意到,摩擦是热能产生



1954年,为了有效地把氢气冷却下来,从而使其处于液体状态,工程师约翰·伍德和A.J.舒威明共同创建了一个泡沫室。他们通过气压冷却法使氢气的温度降到 -423°F (即 -252°C),从而使这种气体变成了液体形态。图为冷却氢气示意图。

的原动力，因此运动才是热能产生的关键所在。汤普森甚至预测出某种数量的运动能够产生多少的热量。1798年，他把《受摩擦激励的热源的一个试验调查》提交给英国皇家学会。

汤普森是一位充满戏剧色彩的人物。在法国和英国爆发战争的时候，双方都将其视为间谍，而且双方都有可能是对的。他曾租下英国皇家研究院，并聘任汉弗莱·戴维担任这个研究院的讲师。他重新设计出能够更好地保存热量的壁炉和火炉；发明了中央加热系统，即一种无烟的烟囱以及一种灶式烘烤器；对丝绸物质和保暖内衣裤进行了很多实验。他曾经一夜暴富，也曾经倾家荡产，并与非常富有的法国著名化学家安托万·拉瓦锡的遗孀结婚。

汤普森的研究成果最终被英国曼彻斯特酿酒商的儿子詹姆斯·普雷斯科特·焦耳所吸收和继承。思想保守、信奉神明的焦耳认为，能量的所有形式都具有同一性，而且能够实现相互之间的转化。对于一个酿酒专家而言，要证明这样一个假设命题存在着一定难度，但是焦耳却始终坚持着。

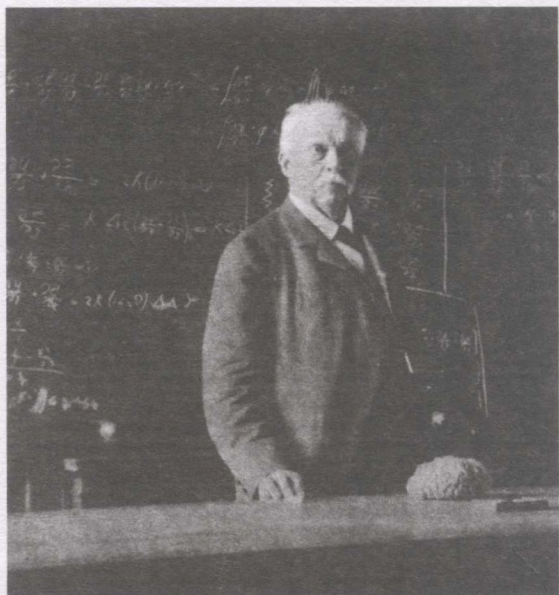
以电为切入点，焦耳于1840年发现了这样一个比例关系，即一个电路所产生的热量与电流和电阻之间的乘积的平方成正比。然后，他试图找出电流和机械运动之间是否能够依照可以预测的数量关系来产生热能（汤姆逊曾设想过的这种数量关系只是一种粗略的估计）。和汤姆逊一样，焦耳也认为能量从一种形式向另一种形式转化，可以在不借助能量流体理论的条件下进行解释和说明。

由于所接受的数学教育和培训非常有限，焦耳很难通过数学公式把他的理论和思想表达出来。然而，其他研究者能够

对他精细的实验进行复制，尤其是他于1847年发现需要多少机械力量才能使桨板把水的温度提高1度（以华氏温度为准）以后。焦耳证明，热引擎所做的功的总量与在把能量转化为功的过程中所丧失的热能数量成正比。如今，功的标准单位便被称为“焦耳”。

焦耳曾经与威廉·汤姆逊（后来的开尔文勋爵）开展合作，原因在于威廉·汤姆逊也认为热能学和电磁学的研究将会通往一个统一的能量理论形式。威廉·汤姆逊和焦耳对各自的研究成果进行交流，最终，汤姆逊重新考虑他对于热能理论的看法，并在热能、电力和磁力的数学研究上完成了大量的工作。

在焦耳还忙碌于他的实验研究时，



 基于自己对人类生理学的研究，德国医学家和物理学家赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨得出了能量守恒定律：从任何系统中释放出来的能量等于进入这个系统的能量。

由生理学家转行而来的德国物理学家赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨已经开始形成一种最为深刻和有用的物理学理论，即能量守恒定律。能量守恒定律的内容是：自然界中包含的存在着固定值的能量不能被增加也不能被减少。这个定律适用于能量从一种形式转化为另一种形式的过程，即从热能转化为机械能、化学能转化为电能、动能转化为其他潜在能量等过程。同时，这个定律也适用于通过风车、水流以及燃烧燃料产生能量的过程。除此之外，能量守恒定律也适用于身体所产生的能量形式，以及重力能量、辐射能和核能等。

事实上，焦耳和德国医学家、物理学家裘力斯·梅耶早已表达过类似的说法，但是这个能量守恒定律在赫尔姆霍茨于 1847 年发表的著作《论力的守恒》中找到了最有价值的表述方式。他所提出的关于能量守恒的观点对于热力学的出现和诞生起到了关键性的作用，并成为其第一定律。由于对能量有了从一种形式转化为另一种形式的认识，很多无法解释的现象终于得到了合理的解释。

法国物理学家尼科拉斯·萨迪·卡诺也发现，蒸汽机的效率与其最高温度和最低温度之间的差值存在着极大的关联性。换句话说，一部热力引擎为你提供的做功总量依赖于热源（比如锅炉中的蒸汽）和冷源（热能最终被转至的地区）之间的温度差。这种关系后来被人们所了解和接受，但是仍然没有人真正知道其中的原因。卡诺通过热能理论作出了如下的假设：所有经过引擎的热能是不会发生变化的。德国物理学家鲁道夫·克劳修斯认为，如果确实是这样，那么热能便可以循环再使用，而且引擎也会永远不停地转动着。

克劳修斯想要得出的结论是，热能在本质上总是会自发地单向性流动，即从热到冷的单向流动，而且这个路径是不可逆转的。如果确实如此，那么一杯咖啡一整天都是热乎乎的，而咖啡周边的空气也会被其吸收了热量。此外，克劳修斯还观测到，随着时间的推移，一个系统中热能的某些部分总是会被散发掉，因此无法用于做功。这种无秩序现象在系统中逐渐积累起来，最终被称为“熵”。这些公理堆积到一起就构筑成热力学的第二大定律，而这个定律是由英国的开尔文勋爵独立发现和创建的。

通过一个灵巧的反向推理，开尔文勋爵对这个热力学第二定律进行了彻底的研究。最后他发现，如果炽热的气体能够产生机械动力和热的挥发，那么反过来也应该是完全可行的，即通过机械动力对一种气体进行压缩能够使热量从低温转变到高温状态。这一理论推动了 19 世纪早期冷藏工业的迅速发展。

对热力学第二定律进行寻根究底的，是维也纳物理学家路德维希·爱德华·玻耳兹曼。他做出了如下的猜想：如果能量是基于原子的运动，那么热力学应该能够通过数学来进行分析和论证。于是，玻耳兹曼创立了很多数学公式。这些数学公式既有关于分子中能量分布的，也有关于熵效应的。

玻耳兹曼认为，任一系统中的无秩序现象都可以被测量出来，即使不是最精确的，也是八九不离十的。通过在物质原子结构和能量的所有形式之间建立数学统计关系的研究成果，与麦克斯韦并肩作战的玻耳兹曼成为 19 世纪晚期阐释物质与能量的关系以及把这些研究整合起来的关键性人物。那段历史时期也见证了对物质原子理论的反