

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（自然科学史）

科学史

04

[英] W·C·丹皮尔

上海市黄浦区教育信息中心

第六章 十九世纪的物理学

科学时代——数学——不可秤量的流体——单位——原子论——电流——化学效应——电流的其他性质——光的波动说——电磁感应——电磁力场——电磁单位——热与能量不灭——气体运动说——热力学——光谱分析——电波——化学作用——溶液理论

科学时代

如果我们有正当的理由把十九世纪看做是科学时代的开始的话，那么，原因并不仅仅在于，甚至主要不在于，我们对自然的认识在十九世纪中有了迅速的发展。自有人类以来，人们就在研究自然：原始的生活技术就是对物性的片段知识的运用，早期的神话与寓言就是根据当时已有的证据创立的世界和人类起源的理论。但在最近一百年或一百五十年中，人们对于自然的宇宙的整体观念改变了，因为我们认识到人类与其周围的世界，一样服从相同的物理定律与过程，不能与世界分开来考虑，而观察、归纳、演绎与实验的科学方法，不但可应用于纯科学原来的题材，而且在人类思想与行动的各种不同领域里差不多都可应用。

在以前时代的大发明中，我们看见实际生活的需要推动技术家取得进一步的成就：那就是说除了偶然发现所带来的发明之外，需要常在发明之先。但在十九世纪里，我们就看见为了追求纯粹的知识而进行的科学研究，开始走在实际的应用与发明的前面，并且启发了实际的应用和发明。发明出现之后，又为科学研究与工业发展开辟了新的领域。例如，法拉第（Faraday）的电磁实验促成了发电机和其他电磁机器的发明，这些发明又向科学家提出新问题并给予科学家解决这些问题的新力量。麦克斯韦对于电磁波的数学研究，五十年后带来了无线电报与无线电话，这些技术又给物理学家提出了一些新的问题。巴斯德发现发酵、腐朽以及许多疾病都是由于微生物的作用以后，工业、医药与外科方面都取得了极重要的成果。孟德尔（Mendel）在布吕恩修道院里所进行的豌豆遗传的实验带来了系统的植物栽培以及小麦和其他谷类的许多改良品种，并且促使人们认识到某些有关动植物某些特性的遗传的原理。这种知识在今后对人类的福利也许会产生不可计量的影响。总之，科学过去是躲在经验技术的隐蔽角落辛勤工作，当它走到前面传递而且高举火炬的时候，科学时代就可以说已经开始了。

本世纪所特有的各种思想有许多在十九世纪开始的时候就已存在了，因而要划出一个明确的历史界限是不可能的。而且在技术科学的应用上，至今仍在进行的伟大工业革命，也早已开始了。在 1769 年瓦特得到冷凝器原理专利权的时候，工业革命的主要工具之一蒸汽机已经到了可以应用的阶段。这是一个实用的发明，后来才应用科学的原理去改进它、发展它。但是，使得世界社会情况发生革命性变化的另一大发明：电报通信，却是纯粹科学研究的结果；这种研究的开端可以追溯到 1786 年伽伐尼（Galvani）的工作。反转过来，为了便利海底电信而发明出来的反射镜电流计，对于纯科学也有很大的好处。

有些人看来，科学的实际应用，代表它的主要成就。但这些活动对人类思想的影响虽然很大，却是间接、缓慢和积累的。人类控制物质资源的能力，

逐渐地、显然不可避免地扩大开来，主要是靠了应用科学，因此，在一般人眼里，应用科学的重要远远超过于纯科学。事实上，在他们看来，科学的胜利一个接着一个，其结果，显然进展纵然缓慢却是所向无敌的。人类控制自然的能力的扩展似乎没有止境；人们都毫无理由地认为扩大控制自然的能力所用的机械原理，足可以解释整个宇宙的秘奥。

在我们要叙述的这一时期里，主要的倾向，是把动力学的实验与数学方法逐渐推广到物理学的其他学科中去，而且在可能的情形下，并应用到化学和生物学上去。科学的研究，至少在一时期里，和哲学探讨分了家。在整个十九世纪里，多数科学家都有意识地或 202 无意识地抱有一种常识性的见解，以为科学所揭示的物质、它的性质及其间的关系，就是终极的实在，而人的身体就是机械结构，也许偶尔为心灵所控制或影响。许多物理学家在考虑科学的基本概念时，认识到这些意见是便利工作的假设，经不起严格的考察；但在实验室与实际生活中，人们却没有时间来从哲学的角度表示怀疑。

在牛顿与拉瓦锡所奠定的基础上，物理学与化学建立起一座不断发展与和谐一致的大厦。这个成就使人们感觉总的路线已经一劳永逸地规划好了，此后不会再有什么惊人的新发现了，剩下的工作不过是把科学的度量弄得更加精密，把几个明显的空隙加以填补罢了。事实上，这就是十九世纪末革命性发展前夕以前人们的信念。

数学

在十九世纪里，出现了许多数学的新科目。其中我们必须提到数论、形论与群论，三角学发展成为多重周期的函数理论，以及一般的函数论。综合与分析的方法创造出一种新的几何学，而许多这样的方法被应用到物理学问题上去，这可能就是后来引导物理科学大踏步前进的推动力中最大的推动力。

数学史的细节不在本书范围之内，这里只想谈谈对物理学主要部门具有特别重要性的几个数学分支的轮廓。

傅立叶 (Fourier) 在 1822 年出版的讨论热传导理论的《热的分析理论》一书里，证明一个变数的函数，无论是否连续，都可以展开为那个变数的倍数的正弦级数；这个结果后来被应用到泊松 (Poisson) 所提出的分析方法上去。高斯 (Gauss) 发展了拉格朗日和拉普拉斯的研究成果，并把这种成果应用到电学上去。他并且建立了量度误差的理论。

拉格朗日列出运动的微分方程式，使动力学得到极大的进步，哈密顿 (William Rowan Hamilton, 1805—1865 年) 爵士又把这项工作推进了一步。哈密顿用一个系统中的动量与坐标去表示动能，并发现怎样把拉格朗日方程式转化为一组一阶微分方程式去决定运动。他还发明了四元数。

萨卡里 (Saccheri) 在 1733 年，洛巴捷夫斯基 (Lobatchewski) 在 1826 年和 1840 年，高斯在 1831 年和 1846 年，波约 (Bolyai) 在 1832 年分别对欧几里得几何学所依据的一些假定进行了讨论。1854 年，黎曼 (Riemann) 促使人们普遍注意到非欧几里得几何学，以后凯利 (Cayley)、贝尔特腊米 (Beltrami)、赫尔姆霍茨 (Helmholtz)、克莱因 (Klein)、怀德海等又做了不少工作。这些作者都指出，我们可以在数学上讨论非欧几里得空间的性质，不管这样的空间是否为感官所认识这个问题有怎样的答案。到爱因斯

坦建立了现代的相对性理论的时候，他们的研究才在物理学上变得很重要。

不可称量的流体

热的强度的概念是从人们的感官知觉而来的，温度计帮助我们去测量它。阿蒙顿 (Amon-tons) 利用水银改进了早期的温度计，华伦海特 (Fahrenheit)、列奥弥尔 (Réaumur) 与摄尔絮斯 (Celsius) 各自确立了标度。热的传播及辐射、对流和传导三者的区别，以及热量的概念，都是后来的研究课题。虽然最敏锐的自然哲学家，如牛顿、波义耳与卡文迪什等倾向于认为热是物体质点的颤动，但在还没有同我们的能量观念相当的确定概念以前，他们的意见是不能发展的。要前进一步就需要把热看做是一种可测度的量，由一物体传到另一物体时，数量仍然维持不变。在这个观念的指导下去进行实验，就需要对热的性质给予确定而适合的表述。于是就有一种学说应运而起。这一学说认为热是微妙的，既不可见而又无重量的流体，在物体的质点间极其自由地流通。

布莱克 (Joseph Black, 1728—1799 年) 澄清了把热和温度两种概念混淆起来的看法，分别称之为热的分量与强度。他从蒸馏酒厂得到启发，研究了冰融为水及水化为汽的状态变化。他发现在这些变化里大量的热被吸收，而温度却不改变。他说这些热成了“潜热”。他以为热流体或“热质”与冰结合而成水，成为“准化合物”，热质再与水化合而成汽。他的量度说明，融解一定量的冰为水所需的热量与把同量的水加热到华氏 140° 所需的热量相等，但真正的数字是华氏 143°。他还低估了汽化的潜热，把 967°F 误为 810°。但这种测量要十分精确是很难的。布莱克又创立了比热的理论来解释为什么使不同物质发生相同的温度变化所需的热量是不同的，后来他的学生伊尔文 (Irvine) 详细地测定了一些物质的比热。这样他就创立了热量测定的方法，即量热术。热质说或热的流体说一直引导科学前进，到 1840 至 1850 年间，赫尔姆霍茨与焦耳才证明热功等价，确立了热是运动的一种方式的观念。

另一类似的流体说，或者说敌对的两流体说，引导了电的现象的研究者前进。要解释由于摩擦而带电的两个物体为什么彼此相引或相斥，可以假定电是与热相似的一种物质，是一种可加减的量。但在电的早期历史中，我们清楚地认识到有两种不同而且相反的电。玻璃与丝摩擦所生的电，可被硬橡胶与毛皮摩擦所生的电中和。为了解释这些结果，流体说假设有两种性质相反的流体或者有一种流体，它在比常量多或少时，就引起带电的状态。我们现在还在使用正电、负电等适合于单流质说的许多术语，虽然我们已经知道电不是连续的流体而是微粒的结构，这是我们在后面要说明的。当人们用起电机产生出比较大量的电，再贮蓄在来顿瓶 (一个内外都贴上锡箔的玻璃瓶) 一类电容器中的时候，就给实验带来很大方便。格雷 (Stephen Gray, 1729 年)、杜费伊 (du Fay, 1733 年) 与普里斯特列 (Priestley, 1767 年) 首先分清了导体与绝缘体，这两术语则是德扎古利埃 (Desaguliers, 1740 年) 所定出的。人们一注意到电瓶放电的火花与声响，也就马上认识到它们与雷电相似，因而也就疑心这两种现象性质一样。怎样才能证明两者性质相同呢？怎样才能使天上的雷公服从物理学定律呢？富兰克林 (Benjamin Franklin, 1706—1790 年) 对这个问题似乎入了迷。他留下的许多信札里都

描绘了不少来顿瓶放电的实验，并提到天电有熔化金属、撕破物质等效应。

在带电体尖端的放电作用的启发下，达利巴德（d'Alibard）与其他法国人产生了把闪电传导下来的念头。1752年，他们在马里地方装置了一根高40呎的铁竿，要“决定带有闪电的云是否带电的问题”。当电云在竿上经过时，竿下端即发生火花。这个实验在其他国家也重复做过，而且完全成功——事实上，圣彼得堡的里曼（Rhemann）教授竟因为在屋上装置铁竿引导雷电而当场被击毙！同时富兰克林则用风筝安全地进行了同样的实验。

在风筝主杆的顶端装上一根很尖的铁丝，约比风筝的木架高出一呎余。在麻绳的下端与手接近之处系上一根丝带，丝带与麻绳连接之处可系一把钥匙。当雷雨要来的时候，把风筝放出，执绳的人必须站在门或窗内，或在什么遮蔽下，免使丝带潮湿；同时须注意不让麻绳碰到门或窗的格子。雷云一经过风筝的上空，尖的铁丝就可从雷云吸引电火，使风筝和整根麻绳带电，麻绳另一端的纤维都向四周张开，若将手指接近，就会被其吸引。当风筝与麻绳都被雨湿，而能自由传导电火时，你若将手指接近，便会看见大量的电由钥匙流出。从这把钥匙那里可以给小瓶蓄电；由此得来的电火可使酒精燃烧，并用来进行别的有关电的实验，而这些实验平常是靠摩擦小球或小管来做的，这样就完全证明这种电的物质和天空的闪电是同样的。

十八世纪时，人们进行了许多次加热于电气石等矿石与晶体而生电的实验，而且电鳗一类电鱼能给人以麻痹性打击的现象，也再度引起人们的注意。有人考察了它们的电器官，弄清它们给予人的打击的确是电的现象所致。

电力和磁力的研究开始于十八世纪末年。米歇尔和法国军事工程师库仑（Coulomb）先后在1750年左右和1784年发明了所谓扭秤，即一条轻的水平铁片，在中点上系上一根长铁丝，挂在一个玻璃匣内。库仑把一个带电的球放在铁片的一端，再拿一个带电的球与它接近，这铁片即会扭转。他又拿一块磁铁换替铁片，再用另一磁铁和它接近也可使磁铁的一极扭转。他用这个方法发现电力和磁力都随着距离平方的增加而减少，证明这些力量和牛顿证明的引力有同样的关系。他还发现电力与电荷量成正比，因而可以用电力来量度电荷。这个有关电力的定律还先后由普里斯特列和卡文迪什用另外的方法发现过。他们用实验证明任何形状的闭合带电导体里面都没有电力，所以球体内也没有电。牛顿过去用数学方法证明，如果平方反比的定律有效，一个由具有引力的物质构成的均匀球壳对于其内部的一个物体没有力的作用，而且任何别的力的定律都不会有这个结果；同样的研究也适用于电力。

力的定律既然成立，数学家就把静电学的课题拿过去，导出一系列周密的关系，在可以与观察结果比较的情况下，都证明与观察结果完全符合。导体表面电荷的分布，导体附近的电力与电位，导体与绝缘体的各种排列的电容量等，在高斯、珀松与格林的巧妙的手中，都证明可以用数学方法处理。

电是一种无重量、不可压缩的流体的学说和电是一个确定的量的观念是一致的，虽然在研究上并不是必不可少的，事实上却提出一个便于说明和研究这些现象的方便画面。

更有历史意义的是人们的注意转向电力。与引力相同，电似乎也越过空

Sir P. Hartog, "The Newer Views of Priestley and Lavoisier", *Annals of Science*, August 1941, 引用 A. N. Meldrum 等人的著作。

间而作用于远处。数学家看来这不需要进一步的解释，但物理学家很快就开始推测这个空间的性质。因为这个空间竟然能传播两种表面上不同的力。我们以后会知道，这就引起了现今叫做“场物理学”的现代理论。

单位

重量与度量单位繁多，人们过去就感到十分不方便，至今仍然如此。法国人首先创立了合逻辑的、方便的十进制来代替这些繁多的单位。1791年，法国国民议会接受了一份专门委员会的报告，1799年完成了必需的量度标准，并决定采用；1812年决定自由使用，1820年强迫施行。

长度的基本单位是米，原来定为通过巴黎的地球经圈一象限的一千万分之一。但实际上，一米的长是等于摄氏零度时某一条金属棒两点间的距离。后来大地测量的精确度增高，知道米长并不恰好等于地球的经圈的一个象限的若干整分，但不加以改正。容量的单位是立特或升，应当是每边一分米（呎米）的立方体，但以其不易量度，1901年规定为一公斤（千克）的纯水在一大气压及摄氏四度（在这温度下水的密度最大）下的容积。

质量的单位是千克或公斤，原来规定为每边一分米的纯水在摄氏四度下的质量，但现在则等于1799年勒费贝—纪诺（Lefebvre-Ginneau）与法布隆尼（Fabbroni）所制定的铂铱合金标准衡器的质量。他们的工作的精确度可从吉洛姆（Guillaume）在1927年所定的最新立特值去判断，即一立特之值等于1000.028立方厘米。

时间的单位是秒，定为平均太阳日的 $1/86400$ ，所谓平均太阳日是把太阳中心第一次过子午线和接连第二次过子午线之间的时间作为一年计算出来的平均时间。

1822年，傅立叶在他的《热的理论》里指出副量或导来量按基本量来表示时，有某些量纲。假设以 L 表长度， M 表质量， T 表时间，则速度 v （即在单位时间内所经过的长度）的量纲为 L/T 或 LT^{-1} 。加速度是单位时间内速度的变化，其量纲为 v/T ，即 L/T^2 或 LT^{-2} 。力是质量与加速度的乘积，或 MLT^{-2} ；功是 ML^2T^{-2} 。高斯由这些动力单位导出电与磁的单位，以后还要提到。

约在1870年，达成一项国际协议，一致同意采用一项科学的量度系统，以厘米（ $1/100$ 米）、克（ $1/1000$ 公斤）和秒三者作为基本单位，这就是常说的厘米、克、秒（C.G.S）制。

原子论

前几章内，我们已将德谟克利特时代以来的原子哲学叙述过了。这个哲学经亚里斯多德驳斥后，在中世纪陷于停止状态，直到文艺复兴以后，才重新活跃起来。伽利略赞同这个哲学，伽桑狄用伊壁鸠鲁与卢克莱修的语言重新加以叙述；波义耳与牛顿在他们关于化学与物理学的思辨见解中也用了它。从那时以后它又被搁置，虽然它仍然渗透在科学思想中。

到了十九世纪初年，它被人重新提出，以解释固、液、气物质三态的物理性质，以及化学变化上的定量事实。

关于单位的定义，参看 Report of the National Physical Laboratory for 1928。

推翻燃素说以后，人们对物质的三态或三相有了更清楚的认识。物质虽然有三态，我们通常认识最清楚的总是其中一态，如我们认识最清楚的水经常是液体；但水可变为三态中的任何一态，如冷凝则为冰，蒸发则为汽。随着这种认识的进步，人们开始研究化学化合定律。气体的化合定律，最容易发现，因此，气体就不再是一种神秘的、半灵魂的实体，而与其他物体发生关系了。

根据精密分析的结果，人们，尤其是拉瓦锡、普鲁斯特（Proust）与李希特（Richter）等发现一个化合物始终丝毫不差地由同量的成分所组成（在当时达到的精度下），这个定量化合的观念，在新化学的体系中起了重要作用，虽然它和贝尔托莱（Berthollet）的有分量的见解是不相合的。水不论是怎样得来的，总是氢与氧按 1 与 8 的比例而合成的。因此我们得到化合重的观念，如以氢的化合重为 1，则氧的化合重为 8。两种元素以多种方式化合成多种化合物时，一化合物中两种成分的比例与另一化合物中两种成分的比例，常有简单的关系：在一化合物中 14 分氮与 8 分氧化合，在另一化合物中则与 16 分氧化合，恰为前者的两倍。可是在同位素发现后，这种定量化合的概念稍有改变，以后还要谈到。

约翰·道尔顿（J. Dalton, 1766—1844 年）是威斯特摩兰（West-morland）一个手织工的儿子，在他做小学教员的稀少闲暇里，学得一些数学与物理学的知识。他在曼彻斯特得着一个教书的位置，开始他对气体的实验。他看到气体的性质最好用原子论去解释，后来他把这种观念应用到化学上去，指出可以把化合的现象解释为具有确定重量的相异质点的结合，而每一元素的质点都有其特定的重量。他说：

物体有三种不同的区分或三态，特别引起哲学的化学家的注意，即弹性流体、液体与固体三词所代表的状态；我们所熟悉的很有名的例子是水，它在某些情况下，可以具有三种状态。在蒸汽，我们看见它是完全弹性的流体，在水，是完全的液体，在冰，是完全的固体。这些观察结果默默地引到一个似乎得到公认的结论：凡有相当大小的物体，不管它是液体或固体，都是由无数极微小的质点或原子所组成，他们为一种引力所束缚，这种引力因情况不同而有强弱的差异。……

化学的分解与合成不过是把这些质点分开或联合。物质的新创或毁灭是不在化学作用的能力范围之内的。我们要想创造或毁灭一个氢的质点，和在太阳系里增加一颗新的、或毁灭一颗固有的行星，一样的不可能。我们所能做到的改变，只是把粘着状态下或化合状态下的质点分开，以及把原来分离的质点联合起来而已。

在一切化学研究里，人们都正确地认为。弄清化合物中简单成分的相对重量，是一个重要的目标。不过，不幸的是，过去化学的研究就停止在这里；人们本来很可以从物质的相对重量，推出物体的终极质点或原子的相对重量，由此看出，它们在各种其他化合物中的数目与重量，用来帮助和指导我们未来的研究和改正研究的结果。因此，本书的一个重大目标，就是说明测定下列几个量的重要性和好处：单体与化合物中终极质点的相对重量，组成

The Absorption of Gases by Water, Manchester Memoirs, 2nd Series, Vol. 1, 1803, p. 271

John Dalton, New systems of Chemical Philosophy, Manchester, 1808 and 1810. Reprinted in the Cambridge Readings in Science, p, 93.

一个复杂质点的简单基本质点的数目，参与构成一个较复杂质点的比较不复杂的质点的数目。

如果有 A 与 B 两个可以化合的物体，以下为从最简的化合开始的各种化合的可能次序，有：

A 的 1 原子 + B 的 1 原子 = C 的 1 原子，二元的。

A 的 1 原子 + B 的 2 原子 = D 的 1 原子，三元的。

A 的 2 原子 + B 的 1 原子 = E 的 1 原子，三元的。

A 的 1 原子 + B 的 3 原子 = F 的 1 原子，四元的。

A 的 3 原子 + B 的 1 原子 = G 的 1 原子，四元的。

我们可以采取以下的通则，作为一切关于化学化合的研究的指针：

1. 如果两物体化合时只得出一种化合物，我们必须假定这种化合是二元的，除非有某种造成相反情况的原因出现。

2. 如果发现有两种化合物，则必须假定它们一个是二元的，一个是三元的。

3. 如果有三种化合物，则可预料一个是二元的，其他两个是三元的……等等。

把这些规则应用到已经查明的化学事实上去，我们得到以下的结论：1. 水是氢与氧的二元化合物，这两种元素的原子的相对重量约为 1 : 7；2. 氨是氢与氮的二元化合物，这两种元素的原子的相对重量约为 1 : 5；3. 氧化氮的气体是氮与氧的二元化合物，它们的原子重量为 5 与 7；4. 氧化碳是由一个碳原子与一个氧原子构成的二元化合物，共重约为 12；碳酸气是三元化合物（有时也是二元的），它有一个碳原子和两个氧原子，共重为 19；等等。以上各种情形，都是以氢元素的原子为单位来表达其他元素的重量。

道尔顿的叙述，自然包含着当时难免的错误：例如他将热看做是一种微妙的流体；他的化合重量也不精确，如以氢为单位时，氧的重量应该是 8，而他定为 7。他假定，如两种元素的化合物只有一种，便应看做是一个原子与另一个原子的结合。这种假定也不是普遍适用的，因此，他对于水和氨的结构才有错误的观念。虽然这样，道尔顿把模糊的假说变成了确定的科学理论，的确取得科学史上的重大进步之一。

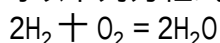
道尔顿在小圆圈中加上点、星和十字等记号来代表元素的原子。这个方法后来为瑞典化学家柏采留斯（Berzelius, 1779—1848 年）加以改进，形成我们现今所用的体系，即用字母为符号去代表同一个元素的原子量相当的该元素的相对质量。例如 H 不是模糊地代表氢元素，而是代表等于 1（1 克、1 磅或其他单位）的氢的质量；O 代表等于同一单位的 16 倍的氧元素的质量。

柏采留斯的主要实验工作，是在当时可能范围内，用最大的精确度来测定原子量，或者说等价的化合量。他也发现了几个新元素，研究过许多化合物，更在矿物学的研究上，揭开了一个新的篇章。他与戴维（Davy）联合确立了电化学的基本定律，并且看到电极性与化学亲和力之间的密切关系。他把这观念推广得太远，而为当时所难了解：他认为一切原子都含有阳电或阴电由于其相对力量，它们才化合。他认为每一化合物都是带异性电的两部分所组成。如果几个化合物互相化合，我们可以设想那是由于多余的异性电荷

的作用。这个二元论的理论不够应付日益增进的知识，到 211 有机化学兴盛时，就为基型说所代替了。现在我们明白化学和电两种现象有密切的关系，不过不如柏采留斯所想象的那样简单。

当人们对气体化合现象加以更广泛的研究时，道尔顿原来的原子观念，便表现出有缺陷。盖伊-吕萨克 (Gay — Lussac, 1778—1850 年) 表明气体化合时，其容积常有一定的简单比例，阿伏伽德罗伯爵 (1776—1856 年) 在 1813 年指出：根据道尔顿的理论，和盖伊—吕萨克的观测，我们可以推断一切同容积的气体所含的原子数，必定彼此有简单的比例。安培于 1814 年独立得到相同的结论，但被人忘记或忽视了，到 1858 年，坎尼查罗 (Cannizzaro) 才再度澄清了这个问题。到那时，人们才从气体化合的事实以及从物理学的考虑看出，有必要把化学上的原子和物理学上的分子区别开来。化学上的原子是物质参加化合的最小部分；物理学上的分子，是能自由存在的最小质点。表达阿伏伽德罗假设的最简单方法，是假定同容积的气体含有同数的分子。以后我们还要说明这结果可用数学方法从物理学上的一个理论推导出来，这个理论假定气体的压力是由于它的分子常在不断地运动和碰撞而产生的。

但回到水的问题来，二容积 (即二分子) 的氢与一容积的氧化合，而得二容积 (或二分子) 的水汽。解释这些关系最简单的理论，是假定物理学上的氢分子与氧分子，每一分子都含两个化学原子，而水汽分子具有可以用 H_2O 代表的化学结构，因而这变化可以下列方程式去表示：



(2 容积) (1 容积) (2 容积)

这样，既然氧的化合量是 8，而一个氧原子可以和两个氢原子化合，如果取氢的原子量为单位，则氧的原子量应是 16 而非 8。所以在决定各元素的原子量以前，我们必须将道尔顿的化合量加以调 212 整，使之合于后来实验所发现的事实。首先按照所有证据系统地进行了这番工作的就是坎尼查罗。

由于一个氧原子和两个氢原子化合，我们就说氧的原子价是

2。原子价的观念，是以后许多年间大部分化学思想的基础。

已知的元素已经由道尔顿所认识的二十个增加到现在的九十多个。元素发现的工作，是在间歇不定中进行的。当一个新的研究方法应用到化学问题的时候，就常常会发现一串新元素。电流的分解力使戴维爵士 (1778—1829 年) 在 1807 年分离出碱金属的钾与钠。稍后光谱分析使我们发现铷、铯、铊、镓等物质。放射性的方法使我们发现了镭和它同族一类元素，阿斯顿的摄谱仪又使我们发现了许多同位的元素。

1815 年，普劳特 (Prout) 就已经在研究元素的原子量与其物理性质之间的关系，随后纽兰兹 (Newlands) 与德·肖库土瓦 (deChaucourtois) 也研究了这个问题。1869 年，迈耶尔 (Lothar Meyer) 与俄国化学家门得列耶夫 (Mendeleeff, 1834—1907 年) 成功地证实了这种关系。门得列耶夫把元素按其原子量的顺序，由轻到重排成一个表时，发现它们有一种周期性——象纽兰兹所指出过的那样，每第八个元素都有一些相同的性质，一切元素可以照这样排成一表，使同性质的元素归到一栏里去。利用这样制成的周期表，可以把正确的原子量给与原子价未定的元素，表中的空白由门得列耶夫根据假设加以填补，这样他就预言了一些未知元素的存在及其性质，其中一

些后来竟被人发现了。

门得列耶夫认为他的周期表只是纯粹经验事实的叙述。但这样的关系却不可避免地使人回到物质有共同基础的老观念上去。许多人以为这个共同基础可能就是氢，他们想证明如以氢的原子量为单位，其他元素的原子量全都是整数。虽然许多元素的原子量接近整数，但有几个元素，例如氯($Cl=35.45$)顽固地不遵从这 213 个方案，斯塔斯 (Stas) 等人增加测定原子量的精确度以后，也不能消除这个偏差。要证明物质具有共同基础并把原子量归结为整数，还得等候半个世纪；这种工作是当时的实验和理论能力办不到的。

电流

我们在上面叙述的各种类型的起电仪器，都主要是用来把静电荷赋予某种绝缘体的。的确，如果使起电机接地，形成一个导电通路，则在这电路中就有一点电流通过。不过，就是在最优良的摩擦起电机中，每一秒钟通过的电量也都非常之少，以致要想在这电路上发现电流，那是很困难的，虽然，如果在导线中留一个空气间隙，则这起电机所生的高电位差，可以产生可见的火花。十九世纪初，伽伐尼或伏特电池的发明，开辟了一个新的研究领域。这种电池引起了一系列现象，最初，称为伽伐尼流，经过许多人的努力，慢慢地和另外一系列以电得名的现象联系起来。我们终于明白所谓伽伐尼流，正是电的流动，只是和起电机所生的电量比起来，大很多，但其电位差却比电机所生的电位差小得不计其数。由于在电路的任何一点上都不能发现积存的电，我们也不妨把电流比做一种不可压缩的流体在不可伸长的刚性管内的流动。伏特电池是由于偶然的观察而发现的。这个发现，最初似乎要引到另外一个方向去。1786 年左右，意大利人伽伐尼发现蛙腿在起电机的放电的影响下发生收缩。在这次观察之后，他又发现：如果使神经和肌肉同两种不相类似的金属连接起来，而使金属互相接触，也可以得到同样的收缩。伽伐尼把这些效果归因于所谓“动物电”；后来，另外一个意大利人帕维亚的伏特 (Volta of Pavia) 出来，证明这种基本现象并不依赖于一种动物物质的存在。1800 年，伏特发明了以他的姓得名的电池。在十九世纪初年，这种电池成为一种研究的工具，在伏特和他的同时代的别国人手中，产生了一些很有趣味的结果。当时的科学杂志登满了奇异的新发现的消息。当时的人都用极大的热情去研究这些发现，其热烈的程度，不亚于 19 世纪以后，人们阐释气体中的放电与放射现象时，所表现出的那种热忱。

伏特所制的电池，是用一串锌盘、铜盘以及为水或盐水浸湿的纸张，按下列次序相叠而成的：锌，铜，纸，锌，如此类推……最后是一个铜盘。这样一种组合，其实就是一个原始的原电池组。每一对小盘为浸湿的纸隔开，而成一个电池，造成少许电位差。这些小电池的电位差加在一起，便成了电池组铜锌两端的相当大的总电位差（或不恰当地叫做电动力）。另一种装置法是把若干装有盐水或稀酸的杯子集合在一起，每个杯子装置一块锌片和一块铜片。前一杯子的锌片与次一杯子的铜片相联，这样一直继续下去，留下最先一个锌片和最后一个铜片，作为电池组的两极。伏特以为效果的来源在金属的联接处；因此圆盘和两极的金属片的次序才如以上所述。这些金属片

或圆盘不久便发现是无用的，虽然它们在这种仪器的早期图画中占有重要地位。

如果我们从伏特的电池取用电流，其强度便迅速地衰减，主要由于铜片的表面上生了一层氢气膜。这种电极化，可用硫酸铜溶液围绕铜片来阻止，这样生成的物质是铜而非氢；或用碳棒代替铜片，把它放在氧化剂如硝酸或重铬酸钾的溶液中，这样所产生的氢气就立刻变为水。

化学效应

当伏特的发现的消息在 1800 年传到英国时，立刻就有人进行了一些基本观察，促成了电化学的诞生。尼科尔森 (Nicholson) 与卡莱尔 (Carlisle) 在把伏特电池的原来装置加以改变时发现：如果用两条黄铜丝连结电池的两极，再将两线的他端浸在水中，并使其互相接近，一端有氢气发生，另一端的黄铜线被氧化。如用白金丝或黄金丝来代替黄铜丝，则不发生氧化，氧以气体状态出现。他们注意到氢气的容积约为氧气的二倍，这正是氢氧二气化合成水的 215 比例。他们说明这种现象就是水的分解。他们还注意到使用原来的装置时，电池内也有类似的化学反应。

不久，克鲁克香克 (Cruikshank) 分解了氯化镁、碳酸钠 (苏打) 和氨 (阿摩尼亚) 溶液，并且从银和铜的溶液中，将这些金属沉淀出来。这一结果以后导致电镀的方法。他又发现在阳极周围的液体变成碱性，而阴极周围的液体变成酸性。

1806 年，戴维爵士 (1778—1829 年) 证明酸与碱的形成是由于水中的杂质的缘故。他在以前已经证明，即使将电极放在两个杯中，水的分解也可进行，但须用植物或动物材料将两个杯子联接起来。同时他还证明电效应与电池内化学变化有密切关系。

伏特认为伽伐尼现象与电是同一现象。这个问题成了许多人研究的题目。到 1801 年，沃拉斯顿 (Wollaston) 证明两者发生相同的效果之后，才确定两者确是同一现象。1802 年，埃尔曼 (Erman) 使用验电器测量了伏特电池所提供的电位差。这时，才明白老现象表现“紧张中的电”，而新现象表现“运动中的电”。

按照公认为惯例，我们一致同意假定电向所谓正电方向流动，即在电池内由锌版流到铜版 (或碳棒)，在电池外沿着导线由铜流到锌。根据这个惯例，铜版称为电池的正极，而锌版称为负极。

1804 年希辛格尔 (Hisinger) 与柏采留斯宣布中性盐溶液可用电流分解，酸基出现于一极，金属出现于另一极，因而他们断定：新生性的氢元素并不象以前所假想的那样，是金属从溶液中分离的原因。在当时所知道的金属中，有许多都用这个方法制备出来了，1807 年，戴维更分解了当时认为是元素的碳酸钾与碳酸钠。他让强电流通过含水的这两种物质，而分离出惊人的钾与钠金属。戴维是康沃尔城 (Cornwall) 人，聪明、能干而又会讲话，他做了那时新成立皇家学院的化学讲师，他的讲演趣味丰富，吸引了许多人士参加。

化学化合物可以用电的方法来分解，说明化学力与电力之间是有联系的。戴维“提出一个假设，说化学的吸力与电的吸力同生于一因，前者作用在质点上，后者作用在质量上”。柏采留斯更将这看法加以发展。我们已经

说过，他认为每个化合物都由带相反的电的两份结合而成，这带电的部分可能是一个或一群原子。

一个可注意的事实是分解的产物只出现于两极。早期的实验者已经注意到这现象，并提出各种不同的解释。1806年，格罗撒斯（Grotthuss）设想这是由于溶液中的物质不断地在那里分解与复合，在两极间，互相邻接的分子互换其相反的部分，在这条联链的两端，相反的原子就被释放出来。

在电化学方面的最初发现以后，中间停顿了一个时期，到后来，大实验家法拉第（Michael Faraday, 1791—1867年）才重新拾起这问题来。法拉第是戴维在皇家学院实验室的助手与继承人。

1833年，法拉第在惠威尔的建议下，制定一套新名词，至今还在使用。他不用 pole（极）这个字，因为它含有相引相斥的陈旧观念，而采用 electrode（电极）一词，将电流进入溶液的一端叫做 anode（阳极），出来的一端叫做 Cathode（阴极）。化合物的两部分，循相反的方向在溶液中行动的，叫做 ions（离子）；走向阴极的叫 cations（阴离子），走向阳极的叫 anions（阳离子）。他又用 electrolysis（电解）一词来代表整个过程。

经过一系列的巧妙的实验，法拉第将复杂的现象归纳成为两个简单的结论，即我们所说的法拉第定律。（1）不管电解质或电极的性质是什么，由电解所释出之物的质量与电流强度及通电时间成比例，换句话说即与通过溶液的总电流量成比例。（2）一定量的流量所释出之物的质量与这物质的化学当量成比例，即不与原子量，而与化合量成比例，亦即与原子价除原子量的数值成比例；例如释放1克氢元素，必出现 $16 \div 2$ 即8克的氧元素。通过一单位电流所释出之物的质量叫做该物质的电化当量。例如1安培的电流（即C.G.S单位的1/10）通过酸溶液1秒钟之后，即有 1.044×10^{-5} 克的氢被释出来，如用银盐溶液即有0.00118克银分离出来。这样分离出来的银的重量很容易加以精确的称量，所以后来竟把它作为电流的实用单位即安培的定义。

法拉第的定律似乎可以应用于一切电解情况；相同的一定电流量总是释放出单位当量的物质。电解必须看做是游动的离子在液体中带着相反的电到相反的方向去。每一离子带一定量的正电或负电，到电极时就释放离子，而失去电荷，只要电动力的强度可以胜过反对的极化力。后来赫尔姆霍茨说：法拉第的工作表明，“如果接受元素是由原子组成的假设，我们就不能不断定：电也分成一定的单元，其作用正和电的原子一样”。如此说来，法拉第的实验不但成为理论电化学及应用电化学以后的发展的基础，而且也是现代原子与电子科学的基础。

电流的其他性质

虽然早期实验者的注意主要集中在伽伐尼电流的化学效应上，他们也没有忽视其他现象。不久他们便发现：当电流通过任何导线时，就有热发生，多寡依照导线的性质而不同。这种热效应在现今的电灯、取暖等方面，有极大的实用价值。另一方面，1822年，塞贝克（Seebeck）发现两种不同金属联接成闭合线路时，在其接头处加热，便有电流发生。另外一个更有兴趣的现象是：电流具有使磁针偏转的力量。1820年，哥本哈根的奥斯特（Oersted）发现这一现象。他看见这效应穿过玻璃、金属和其他非磁性的物质而达到磁

针。他还认识到，他或他的翻译者所谓的“电冲突”“形成圆圈”，按照我们现在的说法就是：在长而直的电流周围有圆形的磁力线。

人们，特别是安培（Andre Marie Ampere, 1775—1836 年）立刻认识到奥斯特的观察结果的重要性，安培指出，不但磁针受了电流周围的力的作用，电流自己也互相发生作用。他用活动的线圈进行实验，来研究这些力的定律，并据数学证明：一切观察到的现象都符合以下的假设：每一长度为 dl 的电流元，必在其外面的 213 一点上产生 $cdl \sin \theta / r^2$ 的磁力，式内 C 表电流的强度， r 是电流元与这一点之间的距离， θ 是 r 与电流方向之间的角度。这样，由电流所生的力又归结到平方反比的定律，因此就同万有引力及磁极间、电荷间的力一致了。这又是走向“场物理学”的另一步。

自然，这种电流元不能用实验分离出来，但是按照安培的公式，将所有电流单元的效应都加合起来，我们就能计算出电流附近的磁场。

根据安培的公式，我们也能算出磁场内的电流所受的机械力。在空气中磁极强度 m 所造成的磁力为 m/r^2 ，所以 $m = cdl \sin \theta$ 。在磁场 H 中 m 所受的机械力是 Hm ，所以在空气中安培的电流元所受的力为 $Hcdl \sin \theta$ 。从这个公式计算实际电路上的机械力，不过是数学问题而已。

远距通信是从眼睛看得见的信号开始的。散布乡间的许多“烽火台”，是久已废弃的信号岗位的遗迹。它们曾把拿破仑登陆的消息迅速地传达到了伦敦。电方面的每一个新发现都促使人们提出一些使用电报通信的意见，但在安培把他研究电磁所得的结果加以应用以前，这些意见都没有什么结果。在安培的成果发表以后，实际机器的发明与采用，就仅仅是机械师的技巧与金融界的信任问题了。

1827 年左右，欧姆（Georg Simon Ohm, 1781—1854 年）做出很多贡献，帮助从电的现象中抽绎出几种能够确切规定的量来。他用电流强度与电动力的观念代替了当时流行的“电量”和“张力”等模棱的观念。电动力一词相当于静电学中已经使用的“电位”。当张力或压力很高的时候，要将电从一点运到他点，必需要较多的功，因此电位差或电动力可以定义为将一单位的电由一点搬到他点时为了反抗这个电力所作的功。

欧姆关于电的研究是以傅立叶关于热传导的研究（1800—1814 年）为根据的。傅立叶假设热流量与温度的梯度成正比，然后用数学方法建立了热传导的定律。欧姆用电位代替温度，用电代替热，并且用实验证明这些观念的有用。他发现：如电流由伏特电池组或塞贝克温差电偶流出，通过一根均匀的导线，其电位的降落率是一个常数。欧姆定律一般写作：电流 c 与电动力 E 成比例，或式内 k 是一个常数，可名为传导率，而其倒数 $1/k$ 或 R ，称为电阻。 R 只随导体的性质、温度与大小而异，它与导体的长度成正比，而与其横剖面的面积成反比。这后一事实表明电流是在导体的全部质量中均匀地通过。后来发现，在很高远的交流电的情形下，还须加一些修改。

经安培与欧姆的努力之后，电流的问题已经到了新物理学的重要阶段，因为适当的基本量已经选出，并有了确定的意义，因而给数学上的发展奠定了坚固的基础。

例如一个圆形电路的中心，与每一电流元的距离都相同，又 θ 在任何处都是直角，因而 $\sin \theta = 1$ ，这样磁力可按下式求出：

光的波动说

十九世纪初年，还有另外一个古老的观念复活起来和确立起来，这便是光的波动说。我们说过：光的波动说在十六世纪只有胡克等人模糊主张过，后来惠更斯才给予它一个比较确定的形式。牛顿根据两个理由加以摈斥。第一，它不能解释物影，因为牛顿以为如果光是波动的话，光波也如声波那样，会绕过阻碍之物。第二，冰洲石的双折射现象说明光线在不同的边上有不同的性质，而在传播方向上颤动的光波不能有这样的差异。托马斯·杨（Thomas Young, 1773—1829 年）与弗雷内尔（Augustin Jean Fresnel, 1788—1827 年）对这个学说赋予近代形式，而克服了这两个困难。不过有一件事是值得回忆的：牛顿以为薄膜的颜色说明光线里的微粒使以太中产生附从波。这个学说与现今用来解释电子性质的理论，惊人地相似。杨使一束极狭窄的白光通过屏上的两个针孔，再把一个屏放在第一个屏后面。当穿过两个针孔的光线在第二屏上互相重叠时，就有一串颜色鲜亮的光带出现。这些光带是由于从两个针孔光源而来的同类光波互相干涉而形成的。如果一个光波到达第二屏所走的路程和另一光波的路程的相差数恰为波长的一半，则这一光波的峰与另一光波的谷就恰好相遇，结果就产生黑暗。如果两个光波前进的路程恰恰相等，两者的波峰就恰好相遇，光亮也就加倍。我们实际所看见的光是由白光除掉一个波长的光所留下的多色光。如果我们不用多色混成的白光，而用单色光作实验，则所得的将是明暗相间而非彩色的光带。

由所用的仪器的尺寸以及光带的宽度，我们可以计算出各种单色光的波长。这些波长经证明是非常之短，其数量级为一时的五万分之一，或一毫米的二千分之一，和牛顿认为易反射和易透射的间歇长度恰相符合。由此可见，在光线的路径中，一般障碍物的大小比光波的长度大得很多，而且数学上的研究证明，如果我们假定一个前进的波阵面分解为无数同心圈，都环绕着与人目最接近的波阵面上的一点，那么，除了挨近那一点的同心圈之外，其余的同心圈必因干涉而相消，因而我们眼睛所看见的只有沿着直线而来的光。这样，光差不多只沿直线进行，遇着障碍物而弯曲的现象只限于微小的衍射效应。

牛顿的第二困难为弗雷内尔所克服。胡克偶尔提到光波的颤动，可能与光线的方向相正交，弗雷内尔指出这个提示说明一线光在各方向上可能有不同的性质。如果我们看看一个前进光的波阵面，它的线性颤动非上下的即左右的。这样的线颤动应产生所谓平面偏振光。如果一块晶体在一位置上只能让一个方向的颤动通过，第二块同样的晶体沿着晶轴旋转 90 度之后，必将通过第一晶体而来的光完全遮断。这正是光线通过冰晶石的现象。

弗雷内尔利用数学将光的波动说发展到很圆满的境界。虽然还有一些困难，但大体说来，他的完善的学说与观测到的事实异常符合。他和他以后的人如格林、麦克卡拉（MacCullagh）、柯西（Cauchy）、斯托克斯（Stokes）、格莱兹布鲁克（Glazebrook）等人经历一个世纪，才把古典的光的波动说确立起来。

如果光波是与其前进的方向成正交的，则其媒质必须具有使这样的波能在其中传播的结构。气体与液体都不能具有这种结构。因此，如果光是机械

式的波动，则传光的以太必定有与固体类似的性质：即它必定带有刚性。这就是把以太看做是有弹性的固体的许多学说的开端。怎样才能把光的媒质所必需的这种性质和行星的运动没有遇到可观的阻力的事实调和起来呢？十九世纪头七十年的许多聪明物理学家为此绞尽了脑汁。为了解释这种必要的刚性，后来甚至有人设想以太具有回转仪式的旋转运动。

正如爱因斯坦所指出的，光的波动说的成功，在牛顿物理学中打开了第一道缺口，虽然当时没人知道这个事实。牛顿把光看做是在空间中运行的微粒的学说，和他的别的哲学很相配合，可是这些微粒为什么只以一个不变的速度运动，很难了解。但等到人们开始把光看做是波动的时候，再要相信一切实在的东西都是由在绝对空间里运动的微粒所组成的，就已经不可能了。以太是为了保存机械观点而臆造出来的，只要可以把光看做是在类似刚体的媒质中传播的机械波动，以太就完成了这个任务，可是，如果假定以太无所不在，它已经在某种意义上与空间本身合而为一了。但法拉第指出空间也有电和磁的性质，到麦克斯韦证明光是电磁波时，以太就不必一定是机械的了。

光的波动说揭开了现今所谓场物理学的第一章。由法拉第和麦克斯韦的工作写成第二章，把光与电磁联系起来。在第三章里，爱因斯坦用几何学来解释万有引力。也许有一天，万有引力可能和光与电磁波在更大的综合里联系起来。爱丁顿就一直在作这样的努力。

电磁感应

由静电的感应而生的静电荷以及磁石对于软铁类似作用，使早期实验者想到利用伏特电池发出的电流也许可得同样的效果。例如法拉第就用两根绝缘线按螺旋的形式缠绕在同一根圆木筒上，但是，当他使强电流不断地通过一根螺旋线时，他在另一螺旋线里的电流计上，没有发现有什么偏转。

他的第一个成功的实验，在电学史上打开了一个新纪元。1831年11月24日，他向皇家学会这样描写这次实验把一根203呎长的铜丝缠在一个大木块上，再把一根长203呎的同样的铜丝缠绕在前一线圈每转的中间，两线间用绝缘线隔开，不让金属有一点接触。一根螺旋线上连接有一个电流计，另一根螺旋线则连接在一套电池组上，这电池组有100对极版，每版四呎见方，而且是用双层铜版制造的，充分地充了电。当电路刚接通时，电流计上发生突然的极微小的效应；当电路忽断的时候，也发生同样的微弱效应。但当伏特电流不断地通过一根螺旋线时，电流计上没有什么表现，而在另一螺旋线上也没有类似感应的效应，虽然整个螺旋线的发热以及碳极上的放电，证明电池组的活动力是很大的。

用120对极版的电池组来重做这个实验，也未发现有别的效应，但从这两次实验，我们查明了一个事实：当电路忽通时，电流计指针的微小偏转常循一个方向，而当电路忽断时，同样的微小偏转则循另一方向。

到现在为止，我用磁石所得的结果，使我相信通过一根导线的电池电流，实际上在另一寻线上因感应而产生了同样的电流，但它只出现于一瞬间。它更带有普通来顿瓶的电震产生的电浪的性质，而不象从伏特电池组而来的电流；所以它能使一根钢针磁化，而很难影响电流计。

这个预期的结果竟得到了证明。因为用缠绕在玻璃管上的中空的小螺旋线来代替电流计，又在这个螺旋线里安装一根钢针，再如前把感应线圈和电池组连结起来，在电路未断以前将钢针取出，我们发现它已经磁化了。

如先通了电，然后再把一根不曾磁化的钢针安放在小螺旋线内，最后再把电路切断，我们发现钢针的磁化度表面上和以前一样，但是它的两极却与以前相反。

用现今的灵敏电流计，我们很容易重做法拉第的实验。只须用一个伏特电池作为原电流，而使原电路与副电路作相对的移动，或用一个永磁铁和一个与电流计相联的线圈作相对移动，都可以证明有同样的暂时电流的发生。法拉第电磁感应的发现，为后来工业的大发展奠定了基础。差不多一切实用上重要的电力机器，都是根据感应电流的原理制成的。

电磁力场

安培发现电磁定律，用数学公式把它表达出来以后，就感到满足，没有再去探索这种力靠什么机制传播了。但承继他的法拉第，不是数学家，对于中介空间或电磁力场的物理性质与状态特别感到兴趣。如果把一块纸版放在磁棒之上，再拿一些铁屑散布在纸版上，这些铁屑将集成许多线，表明磁力是沿这些线而起作用的。法拉第想象这样的力线或力管将磁极或电荷连结起来，真的存在于磁场或电场之中，它们也许是极化了的质点所组成的链。如果它们象橡皮条那样，处在紧张状态之下，向纵的方向拉长，而向横的方向压缩，那么它们会在媒质中伸展出去，而将磁极或电荷向一起拉拢，这样可以解释吸引的现象。不论实际是否这样，用法拉第的力线，来表示绝缘的媒质或电场中的应力与应变的现象，实在是一个便利的方法。

法拉第又从别的方面研究了电介质的问题。他发现在导体周围的空气为虫胶或硫一类绝缘体所代替时，导体的静电容量，即在一定电位或电压下它能负荷的电量，便有增加；这个增加的比例他叫做那个绝缘体的电容率。

法拉第的见解超过了他的时代，而且他用来表达这些见解的术语，也不是当时所熟习的。三十年后，麦克斯韦将这些见解翻译成数学的公式，并发展为电磁波的理论时，它们的重要性才被人认识（在英国立刻就被人认识，在其他国家比较慢）。这样，法拉第就奠定了实用电学的三大部门，即电化学、电磁感应与电磁波的基础。而且他坚决主张电磁力场具有极大重要性，这也是现代场物理学理论有关电的方面的历史起点。

电磁单位

我们得感谢两位德国的数学物理学家高斯（1777—1855 年）与韦伯（W.E. Weber, 1804—1891 年），因为他们发明了一套科学的磁与电的单位。这种单位不是根据和它们同类的量任意制定的，而是根据长度、质量与时间三种基本单位而制定的。

1839 年，高斯发表了他的《按照距离平方反比而吸引的力的一般理论》一书。电荷、磁极以及万有引力都适合这个关系。这样，224 就可以给单位强度的电荷或磁极下这样的定义：同相等的类似电荷或磁极在空气中相距一单位（1 厘米），而以一单位的力（1 达因）对该电荷或磁极加以排斥的电荷

或磁极。如果用另一介质来代替空气，这个力就按一定的比例减少，他用 k 来代表电力， μ 代表磁力。 k 就是法拉第的电容率，在这里成为介质常数， μ 这个量后来叫做介质的磁导率。在这个基础上高斯建立了一个宏伟的数学演绎的大厦。

安培与韦伯由实验证明带电流的线圈，与同大小同形式的磁铁的作用相同，一个圆圈电流与一个在正交向上磁化的圆盘等效，所以一面是指北极，另一面是指南极的。这样单位电流可定义为和单位磁力的磁盘等效的电流。根据这个定义，可以用数学方法导出如下结果：圆圈电流中心的磁场（即作用于单位磁极的力）等于 $2\pi c/r$ ，这里 c 是电流的强度， r 是圆圈的半径，这个算式自然与 225 由安培公式所导出的结果相合。所以只要将一颗小磁针悬挂在一大圆线圈的中心（这种装置就是现今所说的正切电流计），再于电流通过线圈时，观测磁针的偏转，我们就可以以绝对单位或厘米—克—秒（C.G.S.）单位去测量电流。常用的电流单位（安培）按规定是上面所说的单位的十分之一，不过，多年以来为了实际应用与测量便利，一直是根据电解时析出银的重量来做电流单位的标准，如上面所谈到的。现在又有人提议重回到理论的定义上去。

热与能量守恒

在十八世纪和十九世纪中，由于蒸汽机的发展，热学成为一门具有非常重要的实际意义的科学，这反过来引起人们对于热学理论的重新注意。

我们以前说过，按照热质说，热是一种不可称量的流体。这个学说在启发和解释测量热量的实验方面起过有益的作用。但作为物理的解释，分子激动说更合于敏锐的自然哲学家如波义耳和牛顿的口味。1738 年，别尔努利（Daniel Bernoulli）指出，如果将气体想象为向四面八方运动的分子，那末这些分子对盛器的壁的冲击，便可解释气体的压力，这压力又必因气体被压缩与温度的增高而按比例增加，正如实验所要求的那样。

热质论者解释摩擦生热的现象时，假定摩擦生出的屑末或摩擦后最终态的主要物质的比热比摩擦以前的初态物质要小一些，因而热是被逼出而表现于外的。但在 1798 年，美国人汤普逊（Benjamin Thompson 后来在巴伐利亚成了朗福德伯爵 Count Rumford）用钻炮膛的实验证明发热的量大致与所作的功的总量成正比，而与削片的量无关。可是热的流体说仍然存在了半个

我们可取所谓的高斯定理来作一个例子。设想一定量的电被包围在密闭的表面内，而这个表面又被分为若干小部分，任一部分的面积可命名为 a ，并有一电力 N 作用于其正交向上。高斯证明所有 aN 量的总和等于 4π 乘面内的电量 e 的总和，而不管电的分布是怎样的。即：这个关系可用简单数学从力的定律求出。如果我们将面内绝缘的介质常数计算在内，上式变为这个量叫做面上的总的正常感应。同样的方程式对于万有引力与磁力也有效，并且可以用来导出只有借高深数学才可以推出的结果。例如设有一个有引力的物质的球，其质量为 m 。更设想这个球被一个半径为 r 的同心球面所包围。在这个面上高斯定理有效，于是但这里一切都是对称的， N 是常数，等于总力 F ，故即得这是一个质量为 m 的质点，放在引力球的中心，所应施的引力。这样，我们用最简单的数学便证明了牛顿的有名定理，一个均匀球的引力，好象质量集中在球的中心，同时我们也附带地表明高斯方法的力量。许多静电学与磁学的理论，可在高斯定理的基础上，用数学方法建立起来，也许复杂一些，但决不格外困难。参看作者所写的教科书：Experimental Electricity, Cambridge (1905—1923)。