

一、概 述

19 世纪是近代科技史上最辉煌的时代。在这一时期里各门学科形成了独立的体系，理论在实验事实的基础上发育得更加完美，更加丰富，在研究方法上更趋成熟，科学与生产的关系更紧密。所有这一切使 19 世纪赢得了“科学世纪”的美称。

19 世纪的各门学科在观念上都有不同程度的飞跃。在数学上非欧几何学的产生是对有几千年历史的欧氏几何学的宣战，它在 19 世纪刮起了一场几何学革命的风暴。在物理学上，场的观念和理论的提出，宣告了机械以太假说的死亡；热力学的建立彻底结束了热质学说的统治地位。在化学上，元素周期律的发现使元素学说和人类对物质的认识产生了真正的变革，化学第一次从零散现象的描述及化学性质的罗列中摆脱出来，完成了从经验到理论的飞跃。在生物学上，进化论第一次把生物学放在科学的基础上，是生物学的划时代的革命理论，其影响之大，远远超出了生物学的范畴。

19 世纪，科学已从搜集材料的阶段上升到整理和综合材料，最后形成假说和建立理论体系的阶段。电磁学的发展就是一个明显的例子。直到 18 世纪末，人类对电和磁的认识仅局限于某些零星的静电和静磁现象。然而一旦奥斯特发现并证实了电和磁的联系，安培便在极短的时间里推导出了安培定律及公式，

使电磁学完成了走向理论的一次飞跃，接着法拉第发现了电磁感应定律 并提出了场的概念 最后麦克斯韦完成了对所有电磁实验现象的大综合 建立了电磁场理论 把经典物理学发展到顶峰阶段。同样的 门捷列夫、达尔文、施莱顿等伟大的科学家们也都在各自的研究领域里完成了具有历史意义的理论的综合。

19 世纪的科学在深度和广度上也有了空前的高水平的发展。在空间上 天文学已扩展到银河系之外 在时间上 已追溯到太阳系的起源 在深度上 已确立了原子和分子的差别 探索着细胞的奥秘 在物质运动的规律上 已从实验上证明存在能的转化与守恒规律 并进而认识到运动转化的方向性问题。即使是在 19 世纪建立的进化论，也由于孟德尔的遗传学说而获得更深刻的发展。这些都是自文艺复兴以来所不曾有过的飞速进步。

19 世纪以来科学已逐渐抛弃了从静止的、孤立的观点看待自然现象的研究方法。人们对自然认识越深刻 越广泛 就越是能体会到自然界现象虽千差万别，然而又是相互联系的统一的物质世界。他们已学会用发展、联系的观点来研究自然界 着重于透过现象去寻找现象间的联系以及现象的发展，并从中找到变化规律。例如赖尔着眼于地球的演化 达尔文着重于生物的演化 孟德尔透过演化中的遗传现象去探寻遗传的规律。物理学证明了电、磁和光相互间是联系着的，并且具有共同的本质。元素周期律表明一切元素由于量的变化而发生性质的周期变化。细胞学说把动物和植物、高等生物和低等生物联系在一起。能量的转化与守恒定律则揭示了各种运动形态的联系。19 世纪的自然科学既看到了自然界复杂、多样的一面，也认识到自然界统一、和谐的一面 既看到物质世界相对稳定的一面 也看到进化、发展的另一面。经典科学在 19 世纪走向成熟。

科学的成熟还表现在它对宗教显示了更加强大的战斗力。在 19 世纪，科学证明人是进化来的而不是上帝创造的；有机物是可以由无机物合成来的，因而与造物主不相干；天文学家证明了在宇宙的星球中没有上帝的位置等等。神学的堡垒和领地就这样逐一被科学攻破。

19 世纪，科学最重要的特征是它比任何时代都更鲜明地证明科学对生产的重要推动作用，即科学是生产力的论断。有机化学理论的创立使得 19 世纪建立了以煤焦油的利用为核心的有机化工，无机化学的发展，使化学基础工业出现了蓬勃的生机。热力学的发展使蒸汽机日益完善并促成了内燃机的诞生。电磁学理论的建立，大大推动了电力技术的发展，从而形成了发电工业、电机工业、电灯、电话、电报等一系列电气产业。电气化的到来使整个工业和人类的社会生活发生了广泛而深刻的变化。而这些变化又由于电科学的继续发展获得了不断完善和提高。

在 19 世纪，科学和技术已有了明显的差别，科学是对自然的探求和认识，技术则是改造世界的物质手段。科学和技术是相互联系 相互促进的。一般地说 科学是技术的基础 但是在生产不太发达的时代，技术往往更多地依赖于经验，它掌握在工匠手中 与书斋中的学者联系不多。但在 19 世纪，技术往往是科学成果的应用，可以说没有法拉第定律便不可能发明发电机；没有焦耳定律及电的热效应研究不可能发明电灯。这种紧密的依赖关系 决定了 19 世纪技术发展的特点。

其一，随着科学理论的革命性变革，在技术的所有相应领域中也发生了革命。

冶金工业革命是由于热工学的发展，促使转炉和平炉发明，结果使钢铁工业在 19 世纪得到突飞猛进的发展。

交通革命是由于 19 世纪将蒸汽机和钢铁用于轮船和车辆的制造；而内燃机的发明，最终导致汽车工业和汽车运输业的诞生，从而彻底改变了几千年来的交通面貌。

建筑革命源于水泥和钢筋混凝土的发明，使几千年来依赖砖石、木材做建筑材料的局面为之一改，并且还导致建筑结构的大发展。

化工技术革命导致发明了铂作催化剂，用以改进接触法制硫酸。无机化学的进步还导致了苏尔维法制碱的发明，有机化学促使有机化工业得到相应的发展，使人工合成染料、化肥和炸药得到发明并投入生产。

农业机械革命中，拖拉机和联合收割机的发明与应用，结束了几千年来依靠人力和畜力从事农业生产的局面，使农业的生产效率大幅度提高。

19 世纪后为了精密加工蒸汽机和武器，出现了先进的精密车床 继后又发明了铣床、刨床、磨床乃至自动车床。从而形成了加工机械的革命。加工工业技术的发展使得人们有可能去制造日益复杂的内燃机和汽车，制造高速印刷机和纺织机等等，其影响是深刻的。

19 世纪最有影响的技术革命是电力技术的出现及发展。一方面，电机技术的发展为人类提供了一种高级能源，即电能，另一方面电力技术又带动了一系列用电技术的发展，例如电灯、电话和电报，从而出现了一系列新材料和新加工方法，形成了庞大的电气工业技术体系。这一切为 19 世纪末和 20 世纪人类进入电气化时代奠定了基础。

其二，随着技术革命的深入，技术逐渐摆脱了对经验的依赖，借助于科学的帮助终于形成了专门为技术服务的理论体系。

例如 1840 年英国的格拉斯哥大学讲授《应用力学》、《动力工程学》、《土木工程学》等课程 同时在德国有人也编写了《机械学》、《机械设计》等讲义。到 60 年代英国还专门创办了工程技术杂志《电气工程师》等。

其三 工业革命带来了 19 世纪物质生产的迅猛发展。例如 19 世纪最后 30 年里 世界工业总产值增加了两倍多 其中钢铁猛增 55 倍 石油增加了 25 倍，农业生产也有大幅度增长。

其四，工业革命使许多国家认识到科学对生产的巨大推进作用，于是产生了专门培养工程师和技术工人的学校。1823 年成立第一所伦敦技工学校，到 1850 年这类学校在英国多达 500 所。一些职业发明家开始创办专为发展工程技术的实验室，如爱迪生实验室、贝尔实验室等。这些学校和实验室对培养工程技术人材和发展科学技术起了巨大的作用。

最后 我们要提到 19 世纪医学的发展，西方医学在 19 世纪发生了革命性的变化。这主要是麻醉剂的发明，使外科发生了根本的变化；细菌学和病理学的发展，使医生对疾病的认识和治疗有了巨大的进步。这一切终于成为现代医学的前奏。

二、近代后期物理学

1. 能量转化与守恒定律的确立

能量转化与守恒定律的发现是起源于对运动的量度和运动不灭的思想，但是它的确立却经历了漫长曲折的历史进程，直到 19 世纪中叶才作为自然界的一条普遍定律为科学界接受。

早在 1644 年，哲学家和物理学家笛卡尔（1596—1650 法国）的《哲学原理》一书中就明确提出：“物质有一定量的运动，这个量是从来不增加也从来不减少的。”他用质量和速度的乘积量度物质运动的量，因此他表述的实质上是力学中的动量守恒的思想。稍后，惠更斯（1629—1695 法国）提出过一条与碰撞有关的定理，认为碰撞物的质量和速度平方乘积的总和在碰撞前后保持不变。这启迪人们重新思考运动量的量度问题。1696 年，莱布尼茨（1646—1716 法国）指出运动有两种量度，因为动力有两种，一种叫“死力”，另一种叫“活力”。动量是“死力”的量度， mv^2 则是“活力”的量度，自然界中真正守恒的是总的“活力”。他的观点影响了很长的一段历史时期，直到 19 世纪，科里奥利（1792—1843 年 法国）才建议用 $\frac{1}{2}mv^2$ 代替 mv^2 ，后来叫做动

能。1829 年，工程师彭塞利（1788—1867 年 法国）使用了“功”这一术语，并由科里奥利定义：力和受力点沿力的方向位移之积叫“运动的功”。这样人们才明确所作的功等于增加的动能。

促使人们在 19 世纪确认这一伟大定律还有一个不容忽视的背景。那就是一系列重大的发现揭示了各种自然现象间的普遍联系和相互转化关系。主要有：1798 年 本杰明·汤普逊（1753—1814 年 英国）和戴维（1778—1831 年 英国）用摩擦生热证明机械运动可以转化为热。1821 年 塞贝克（1770—1831 年，德国）发现了温差电现象，证明热可以转化为电。1840 年 焦耳定律指明电转化为热的规律。1821 年，法拉第（1791—1867 年，英国）发明了“电磁旋转器”，表明电转化为机械运动。1820 年，奥斯特（1777—1851 年，丹麦）发现了电流的磁效应，后来法拉第完成了电磁感应定律的研究，从而证明电和磁间的相互转化；1801 年，李特尔（1776—1810 年 德国）研究了紫外光的化学作用；1839 年 贝克勒尔（1820—1909 年 法国）发现光照可以改变电池的电动势等等。这一切启发欧洲的科学家们以一种“统一”的和“相互联系”的观点去认识自然界的现象。

19 世纪 40 年代，属于欧洲几个国家的十多位学者，从不同专业，用不同的方式，各自独立地发现了能量转化与守恒定律，其中的代表者是迈尔、焦耳和亥姆霍兹。

罗伯特·迈尔（1814—1878 年 德国）是一位医生。1840 年他作为随船医生航行至印度尼西亚，在赤道附近他意外地注意到海员静脉的血比在欧洲时要鲜红些。当时已经证明血的颜色鲜红表明血中含氧量高，迈尔想到一定是在热带肌体消耗的热量较少，所以食物燃烧过程减弱，耗氧量少，静脉血中留下的氧增多，颜色就鲜红。1841 年他在一封信中写道 化学家们认为的

基本规律是物质不可破灭的……我们应该把完全同样的规律用在力上。力同物质一样，也是不可破灭的，它们加入不同的组合，当某种旧的形式消失了，又会形成新的形式。”这里说的力是指能量。显然他从上面的例子已经认识到食物所含的化学能可以转化为热。后来他又从海浪冲击使水温升高的现象认识到机械运动与热的关系。

1841 年 他的第一篇论文《论力的量和质的定义》没有被接受。1842 年 他在《论无机界的力》中写道：“力是不灭的、能转化的、无重量的客体”。这篇论文发表在李比希主编的《化学与药学年鉴》上。恩格斯因此认为这是划时代的一年。

1845 年 他自费出版《论有机运动和新陈代谢》一书。他指出，力的转化与守恒是支配宇宙的普遍规律。他把力分为五种：运动的力，在弹性碰撞上表现为活力守恒；下落的力，它和运动的力相互转化 这种“机械效应将保持为一个恒量”热“，热力是指转化为运动的力”；电力和化学力。他还把这五种力画在一张表上，说明各种力相互转化的 25 种情况，得出了否定热质和其它无重量流质假说的结论。

迈尔从几个实例出发计算了热功当量，他得到的计算值是 $J=3.48$ 焦耳/卡。

迈尔个人的遭遇是不幸的，多次受到嘲讽和打击。1849 年，他跳楼自杀时受伤，不久被送进疯人院，直到 1862 年才恢复科学活动。

焦耳 1818—1989 年 英国 是曼彻斯特一位啤酒商。从年轻时起就从事电学、磁学和化学的业余研究，他用毕生精力完成了热功当量的测定，从而确立了能量转化与守恒定律的实验基础。

从 1840 年到 1841 年 焦耳研究了电转化为热的现象 他发现了著名的焦耳定律。1843 年 他发表了《论磁电的热效应和机械值》一文，他设计了一个实验，使线圈在一个电磁铁的两极间转动，所产生的感生电流又使线圈发热，焦耳测量了线圈中产生的热量；线圈的转动是由下落的砝码通过滑轮带动的，这样就可以计算出砝码作的功。由此计算出的热功当量平均值是“能使一磅水升高华氏一度的热量 等于(可转化为)把 838 磅重物举高 1 英尺的机械力。他最后的结论是：“由于创世主的意志，自然界的全部动因是不变的。因此，有多少机械力被消耗掉，就有完全等量的热被得到”。

他在 1845 年研究了空气的绝热压缩和真空中空气自由膨胀实验，得到热功当量的值是 436 千克力·米/千卡和 438 千克力·米/千卡。1850 年 他在《论热功当量》的论文中总结了全部工作 并在文中给出了现在教科书所介绍的测定热功当量的方法，这一次的结果是 425.77 千克力·米/千卡。焦耳的实验测定一直延续到 1878 年 前后 40 年中共完成 400 多次实验。焦耳的工作一度不受重视 直到 1850 年他的观点才被权威学者们接受，他本人在这一年当选为英国皇家学会会员。

赫尔姆霍茨(1821—1894 年 德国)是一位生理学家、物理学家及数学家。他通过生理学的研究独立地得到了相同的结论。1847 年 他写了《论力的守恒》论述力的不灭原理 他说：“所有活力和张力之和始终是一个常数。这条最具有普遍形式的定律，可以称为力的守恒原理。”所谓‘张力’即指势能 所谓‘活力’即指动能。他还证明 在有摩擦的条件下，“损失掉的活力将转变为其它力(能量)首先是热”。当这一著作出版时 柏林科学院中竟然只有数学家雅可俾支持他的观点。

在同一历史时期几乎同时发现这一定律的还有法国工程师卡诺、英国律师格罗夫、丹麦物理学家柯尔丁、法国物理学家法拉第等十多人。这里要特别提到青年工程师卡诺（1796—1832年）的贡献。卡诺原是“热质说”的拥护者，但通过热机循环的研究，使他在1830年意识到“热质说”的错误。他在笔记中写道：“热不是什么别的东西，而是动力，或者说它是改变了形式的运动”，因此，人们可以得到一个普遍的命题：在自然界中存在的动力，在量上是不消灭的。准确地说，它既不会创生也不会消灭，实际上，它只改变了自身的形式”。不幸的是卡诺英年早逝，他的遗稿直到1873年才公布，其时能量守恒定律早已得到公认。

在19世纪人们提到能量往往使用力这个词表述，事实上在1807年英国的托马斯·杨已创造了“能”这个术语。当科里奥利定义了“功”后，托马斯·杨于是定义能量是“作了功的力”。1853年，英国的理论物理学家开尔文（1824—1907）英国对能量下了严格的定义：“我们把给定状态中的物质系统的能量表示为：当它从这个给定状态无论以什么方式过渡到任意一个固定的零态时，在系统外所产生的用机械功单位来量度的各种作用的总和。”自这时起人们使用“能量守恒”这个词而很少说“力的守恒”。

能量转化和守恒定律的发现是19世纪最伟大的发现之一，也是自牛顿力学建立以来物理学的最重要的成就。它表明自然界的一切现象都存在密切的联系，一方面各种物质的各种运动形式，例如机械的、电的、热的、磁的等等在一定条件下发生相互转化。另一方面各种运动可以用同一个概念“能量”去量度，并且物质世界的总能量在一定条件下守恒，从而证明了物质世界的

同一性和物质运动的永恒。恩格斯强调了能量相互转化的重要性，他说：“自然界中所有无数起作用的原因……现在都已经证明是同一种能即运动的特殊形式即存在方式我们不仅可以证明，它在自然界中经常从一种形式转化为另一种形式，而且甚至可以在实验室中和工业中实现这种转化，使某一形式的一定量的能总是相当于另一形式一定量的能。”因此“自然界中整个运动的统一，现在已经不再是哲学的论断，而是自然科学的事实了。”^①

2. 热力学的建立与发展

19 世纪初，蒸汽机在生产中的作用日益重要，人们迫切要求提高蒸汽机的效率，于是在法国首先诞生了热机理论，并奠定了热力学的理论基础。

法国工程师萨迪·卡诺完成了对蒸汽机的抽象研究。他在 1824 年出版了《关于火的动力思考》一书，他强调为了以最普遍的形式去研究由热得到运动的原理，必须“建立起能应用于一切可以想象的热的热机原理，不管它们用的是什么物质，也不管它们如何运转”。他设计了一部经过抽象化的理想热机，没有任何漏汽，没有摩擦损失，能用完美的循环方式工作。

卡诺基于这样一个原理：“凡有温差的地方就能够产生动力”，他认为“热的动力依赖于所用的热质的量和我们可称之为热质的下落高度即交换热质的物体之间的温度差”^②，在此基础上他设计出著名的卡诺循环，并依据热质守恒和永动机不可

恩格斯：《自然辩证法》，《马克思恩格斯选集》第 3 卷第 526 页 人民出版社 1972 年版。

能原理证明了卡诺定理。这一定理表述为：任何工作于两个温度之间的热机的效率都小于理想热机的效率。

显然卡诺的理论是以错误的热质说为基础的。后来他自己也意识到这一点，终于在 1830 年抛弃热质说而转向热的运动说。

卡诺关于热机理论的研究，无论在实践上和理论上都是极重要的，从而促使物理学家们对热的规律作深入的探讨。克劳修斯（1822—1888，德国）指出：“实际上很难完全抛弃卡诺的理论，因为它在某种程度上已很好地为实验所证实”。1850 年克劳修斯对热机的工作过程重新作了分析，他说：“功的产生很可能伴随着两种过程，即一些热量被消耗了，另一些热量从热物体传到了冷物体”。他把这一关系写成微分方程 $dQ = du + dw$ 。 dQ 表示传热 dw 表示所作的功 du 是由变化的初态和终态所确定的。后来 W·汤姆逊（开尔文）把这个函数叫做物体的能量。这一原理成为热力学的基础，叫做热力学第一定律，实质上就是能量转化与守恒定律。

为了证明卡诺定理，克劳修斯和汤姆逊引入了一条新的原理。1851 年，汤姆逊把这一原理表述为“一台不借助于任何外界作用的自动机器，把热从一个物体传到另一个温度比它高的物体是不可能的。”克劳修斯在 1875 年则表述为“热不可能自动地从冷的物体传到热的物体”，这一原理后来叫做热力学第二定律。

第一定律表明封闭系统中能量是守恒的；第二定律表明能量的转化是按一定方向进行的，热不会自发地从低温传向高温。

1854 年，克劳修斯从卡诺的理想热机效率公式出发，得到对任意可逆循环过程下的积分方程

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

dQ 表示在一个无限小的过程中所吸收的热量， $\oint$ 表示一个可逆循环过程。克劳修斯指出，这个公式的数学涵义表明存在一个量 S “只与物体当时所处的状态有关，而与物体到达这个状态所经过的途径无关”。他把 S 定义叫熵 熵的全微分 $ds = \frac{dQ}{T}$ 。他在论文中写道 熵在希腊文里表示 ‘发展’ (entropie)。我专门挑选 ‘熵’ 这个词 为了使它与 ‘能量’ 一词在发音上相同 (energia)。因为按照它们的物理含意这两量很相似”。根据卡诺定理可以证明：当热力学系统从一个平衡态经绝热过程达到另一平衡态 它的熵永不减少。如果过程是不可逆的 (在自然界存在的过程) 则熵的数值增加。这就是著名的 “熵增加原理”。克劳修斯在说明这个原理的意义时说：“我所给出的第二定律的这个形式指出，自然界中一切沿着我称之为正方向进行的过程，能够自动地无补偿的发生”；而沿反方向发生的过程都不是自发地进行的，而需要外界补偿。事实上熵越大系统就越接近平衡态，系统的能量也就有更多的部分丧失了转化能力。

汤姆逊和克劳修斯把这一原理推广到全宇宙，从而导出 “热寂说”。1865 年，克劳修斯在题为《关于机械的热理论的第二定律》的演说中系统地阐述这一思想，他首先肯定 “全宇宙的总能量是常数，就像全宇宙物质总量一样”，但是由于宇宙中的正转化不断增加，使宇宙不断膨胀，而各种运动都通过机械运动转化为热 最终达到宇宙的热平衡 也就是熵是最大的状态。“宇宙就永远处于一种惰性的死寂状态”。

热寂说提出后，不少科学家提出了质疑。其中玻尔兹曼从统

计的意义指出，自然界有起伏运动，相反方向的过程可能性虽小，但几率不等于零。宇宙的热平衡趋势也会为新的起伏破坏。

3. 分子运动论和统计物理学

自 1811 年意大利科学家阿伏伽德罗定义了分子概念之后，赫拉帕斯（1790—1868，英国）就在 1816 年至 1821 年间提出了较系统的分子运动论，他的主要假设是：气体的分子是以很大速度做直线运动；热是由分子的运动引起来的一种现象，热与原子的动量成正比。他导出了等温条件下理想气体定律；提出温度与分子的速度成正比；还定性地解释了物态变化、扩散等现象。但他的工作并没有引起重视。

焦耳研究了赫拉帕斯的假设，他计算了在 0 和 1 个大气压下氢原子的速率，进而证明气体的体积与压力成正比；分子的速率与温度的平方根成正比的结论。1851 年，他的论文发表在一哲学刊物上，因而也未引起重视。

在 19 世纪后半期，系统的分子运动理论，主要是由克劳修斯、麦克斯韦和玻尔兹曼建立起来的。

1857 年，克劳修斯在《论热运动形式》的论文中发展了气体分子运动理论。他认为分子质量很小，每一次与器壁的碰撞作用微不足道，但在单位时间里大量分子对器壁碰撞的总效果产生了气体的压力。他还指出单个分子的碰撞是无规律的，而系统的宏观性质是由大量分子运动的平均值来确定。这样，他首次将统计概念引入到物理学中。在这一前提下，他说明了在分子速度不变时，波义耳——马略特定律等效于压强与分子密度成正比。在论文的附录中，他发表了根据分子运动论推导气体压强公式的

过程，得到压强正比于气体分子速度的平方，正比于分子密度和分子质量的乘积 进而推出了盖·吕萨克定律。

克劳修斯给出了理想气体分子运动论的假设：分子很小，可以视为数学上的一个点；分子碰撞时间与二次碰撞的时间间隔相比是可以忽略的；分子间几乎没有作用力。

他还用分子论解释物质的其它状态，他说：“在固态中分子是在确定的平衡位置附近运动”，在液态中则有振动、转动和平动……在不受外界压力时，分子仍保留在某一空间范围内。”他指出蒸发是一个统计过程，它的基础是分子速度几率式的涨落，使液面与个别分子可以挣脱周围分子的引力而蒸发掉。当这种涨落发生在液体内部，则发生沸腾。

克劳修斯认为关于分子类似弹性小球的假定是不确切的，因为分子多是由两个以上的原子组成的。所以，气体分子的平均动能只是全部内能的一部分。他计算了气体的定容比热和定压比热，得到分子中原子越多，气体分子平均动能占全部内能的比例就越小的结论。

1858 年，为了回答单个分子高速运动与扩散速度缓慢进行相矛盾的质疑 他发表了《论气体分子的平均自由程》。他修正了分子大小可忽略的假设。认为分子间距离小于 σ 时 分子间表现为排斥 于是“把分子重心周围半径等于 σ 的一个球称为分子作用球”。在此基础上他计算了分子在两次碰撞之间的平均路程，即分子的平均自由程。他指出扩散过程取决于分子的平均自由程 因此是缓慢的。

真正用严格的统计学方法处理分子热运动的无规律性问题，应归功于物理学家麦克斯韦（1831—1879 年 英国）。1859 年 他宣读了《气体动力论的说明》 首先申明“为了将运动研究

建立在严格的力学定律的基础上 我将阐述数目不定的 完全是弹性的刚性小球的运动规律，这些刚性小球只在碰撞时才相互作用。他强调碰撞不会使分子的速度趋于一致 而是在不同的速度范围内以不同的比例分布。借助于几率的概念 他计算出在一定温度下气体分子按速度分布的规律，即著名的麦克斯韦速度分布律，它与高斯导出的误差分布规律很相似。

他从速度分布律出发 重新计算了分子的平均自由程 导出现在公认的公式。还研究了扩散、内摩擦、热传导及不可逆过程。麦克斯韦的这一套理论后来得到其它人及他本人不断地修正而完善起来。在此基础上，洛喜密脱 1821—1895 奥地利 由平均自由程计算出分子有效直径约为 1.18×10^{-6} 毫米。分子密度在 0 和 1 个大气压下为 $2.7 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 。

麦克斯韦的分布律得到玻耳兹曼（奥地利）的理解和支持。1868 至 1871 年，他把速度分布律推广到有外力场作用的情况，得到粒子按能量大小分布的规律，即玻耳兹曼分布律。

1872 年以后，他试图建立起非平衡态的分布函数方程，以描述在任意时刻气体分子按速度的分布。这个方程即是玻耳兹曼积分——微分方程。然而直到 40 多年后才求出这一方程对稀薄气体的解。这一方程直到今天仍是研究输运过程的基础。

在平衡态下，速度的分布规律为什么不会因为分子的碰撞而被破坏呢？玻耳兹曼假定必然存在着次数相同的逆碰撞过程，使两种碰撞作用效果恰能抵消。从这一点出发 玻耳兹曼引入了函数 H 并证明了在平衡态下 H 取极小值，在未达到平衡前 H 值随时间持续下降。这就是所谓的 H 定理，亦称玻耳兹曼最小定理。

H 定理从微观角度说明自然过程的不可逆性，但因此引起

一些物理学家的诘难。1874 年，开尔文首先提出“可逆性佯谬”问题：单个分子遵从牛顿定律，因此单个分子的运动是可逆的；而大量分子形成的热力学过程，却服从 H 定理 表现为不可逆性，这两者的矛盾该如何统一？1877 年，玻尔兹曼对此作了解答，他把熵和系统热力学状态的几率联系在一起，得到二者成正比的结论。这就是说 H 定理和熵增加原理的实质已相应于系统从热力学几率小的状态向热力学几率大的状态过渡。熵自发地减小或 H 函数自发增加的过程并非绝对不可能，只是可能性（几率）很小而已。

在整个 19 世纪，热力学和分子运动论分别从宏观和微观两方面相互补充，推进了人类对自然界中热现象的认识，从而使物理学向更深入的层次发展。

4. 电磁学理论的发展

1800 年发明伏打电堆以后，稳恒电流的研究取得了一系列进展，同年，尼科尔（1753—1815 年，英国）和卡莱斯卡（1768—1840 年 英国）发现了电流的化学效应。1805 年 德国的李特尔（1776—1810 年）发现了电流的热效应。4 年后戴维（1778—1829 年，英国）发明了弧光灯，继而发现了电阻定律。1826 年，欧姆（1787—1845，德国）确立了著名的欧姆定律。1847 年，基尔霍夫（1824—1887，德国）阐述了二条电路定律，从而发展了欧姆定律，并成为后来的网络理论基础。

直到 19 世纪初大多数人仍旧认为电和磁是毫不相关的两种现象，但是自 18 世纪 30 年代以来不断有人注意到电和磁之间相互关联的现象，例如富兰克林就曾发现莱顿瓶放电使钢针