

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (4)

蒸汽机带来的革命



蒸汽机带来的革命

机械时代

新发明对人类的影响

科学和技术是密切相关的，它们同处于人类认识自然和改造自然的统一过程中。科学的主要职能在于理解和认识自然，科学是关于自然规律性的知识体系。技术是人们为了特定的目的所应用的某种手段的总和，是各种工具、设备和经验、工艺的体系。

近代以前，科学和技术的水平都比较低，科学不能直接地影响生产，而生产也没有迫切地需要科学的成果，两者联系不紧。这时的技术直接来源于工匠们在长期生产实践中积累起来的经验和手艺。

到近代以后，由于技术不断地趋向复杂、精密和综合，就由主要来源于经验而发展为科学的自觉运用。

让我们来看看望远镜和显微镜的发明和应用。

在 17 世纪初，荷兰人首先发明了望远镜。望远镜由荷兰人发明出来绝不是偶然的，因为那时在荷兰磨制玻璃和宝石技术很发达，也就有很多制作眼镜的工人。

这一天，阳光普照，小鸟在空中唱着歌儿飞来飞去。在荷兰的密特尔堡小镇，制镜工人利比斯赫为检查磨制出来的透镜质量，用透镜去看教堂顶上的风向标。

当时，他带了一块凸透镜和凹透镜。当他把两块透镜离开一点排成一条线时，惊讶地看到远处的风向标又大又近。他兴奋不已，立刻想到去制造能看得更远更清楚的装置。

在 1608 年秋天，利比斯赫制造出这种装置，后来被称为荷兰式望远镜。就是把一个凸透镜和一个凹透镜装在一个筒的两端，眼睛看的一端装凹透镜。12 月，他又做出了双筒望远镜。

这个发明很快传开了。

意大利著名物理学家伽利略得知这一消息后，便灵机一动，去制造观测天象的天文望远镜。

1610 年，望远镜第一次被用作科学仪器。满足人们好奇感的“荷兰望远镜”在伽利略手中指向了月球，去窥探月球的奥秘。

1 月 7 日，伽利略看见了木星的 3 颗卫星，几天后，又发现了第 4 颗。以后，他又不断地获得了月球表面的山脉、太阳黑子、金星盈亏、土星光环等重大发现。

工匠们在大量实践的基础上偶然的发现，被具有良好科学素养的科学家迅速接受了，并凭借自己在理论科学方面的优势又把这种自发的发明完善提高。

此后，开普勒、夏依纳、惠更斯、牛顿、赫歇尔等天文学家，不断地制造出折射望远镜、反射望远镜，为天文学的发展做出了巨大的贡献。

显微镜也是荷兰人发明的。

在眼镜店磨镜片的工人杨森，偶然间把镜片进行某种组合后，看见了极其细小的物体。这是把两块凸透镜和两块凹透镜各组成一对，通过凹透镜而看到的。时间大约在 1590 年。

显微镜虽然比望远镜早发明 20 年，但没有像望远镜那样立即被天文学家

利用。当时人们认为：“要想把物体放大来观察，只要把物体靠近眼睛就可以。为了放大观看近处的物体而特意使用显微镜是没有意义的。”

直到 1655 年，荷兰的列文虎克把自制的显微镜用于微生物研究，后来成为第一个看到动物细胞、第一个发现精子细胞、第一个发现口腔细菌、第一个看见红血球的人。列文虎克是世界上最早揭示微生物世界的科学家。

后来，英国的胡克用制作的显微镜，发现了软木的细胞，清楚地观察到了蜜蜂的小针，鸟的羽毛构造等。

18 世纪中期，德国医学家里巴休恩制做显微镜，进行医学和生物学研究，成为杰出的制做通过显微镜观察到的物体标本的人。

望远镜和显微镜向人们揭示了宇宙空间和微生物界的奥秘，但它们真正的革命作用在于让人开拓眼界。一旦人的认识突破了往日狭隘的视野，随之而来的便是认识上的飞跃。

我们再来看看时钟的发明。

随着人类文化的发展，在日常生活中，非常需要掌握时间。

早在公元前 2000 多年的古巴比伦，就发明了利用太阳影子计时的日晷。这种日晷也叫日影棒，制作很简单，就是在板上直立起一根木棒，通过观察棒影的长度来观察时间。

巴比伦人利用这种观察方法，把从日出到正午和从正午到太阳落山各分为 6 等分，这就把太阳照射的白天分为 12 个小时。他们还根据棒影和板面所形成的方位角的变化，来判别是午前还是午后。

后来，有人把日晷做成圆盘形，把一天分为 12 个时辰，刻在圆盘上。以后再经过改进，成为比较精确的日晷仪。

日晷虽然很方便，但它有很大的缺点，就是只能在阳光普照的白天使用，如果碰到阴天和雨天就不管用了。到了晚上更是无从谈起。另外，在屋里的人也无法知道时间。

因此，在使用日晷的同一时期，有些地方使用特别的蜡烛、香、刻漏等来计时。

那时候使用的刻漏，只是个盛水的罐或者壶，容器的底部有一个小孔，水通过小孔一滴一滴地漏出来，根据落下来的水量就可以计算出时间。

此外，还有用砂来计时的“砂漏”，它是用砂子代替水来测定较短的时间。如果用来测定较长的时间就需要很多砂子，砂漏还要人看管，而且做的越精细，费用就越高，所以普通人家无法使用。因此，砂漏没有刻漏使用得广泛。

中国也在公元前制造出了比较精确的日晷刻漏。中国的刻漏有人看守，到规定的时间，看守人就击鼓向全城人报日寸。

但是，无论日晷还是刻漏，都不是理想的计时工具，于是人们进一步地发明了机械钟。

机械钟大约是在 13 世纪发明成功的。这种钟架在高塔上，利用重锤下坠的力量带动齿轮，齿轮再带动指针走动，并用“擒纵器”控制齿轮转动的速度，从而得到比较正确的时间。

16 世纪时，机械钟终于胜过了刻漏，惠更斯进一步改进了用摆控制的机械钟。

惠更斯是荷兰的天文学家、物理学家和数学家。1629 年 4 月出生于海牙，法学教授的父亲希望儿子学习法律，但他对枯燥的法律条文不感兴趣。1655

年获得法学博士学位后即放弃法学，致力于天文学和数学研究。

从 1652 年起，惠更斯开始研制自己设计的天文望远镜。1655 年，他用望远镜进行天象观察时，发现了土星的最大一颗卫星——土卫六。这是继伽利略发现木星的 4 颗卫星后，人们第一次知道除了地球和木星以外，其他行星还有卫星。

这个发现给惠更斯极大的鼓舞，促使他进一步去观察和记录天上的星辰。

天象的观测，对时间的准确性要求很高，可是那时的机械钟却不太准确。有一次，惠更斯因为时间的误差而错过了次观察土星的机会。

“能不能制造出更准确的时钟呢？”

“我一定要把它制造出来！”

惠更斯想到曾看过意大利科学家伽利略关于摆的等时性的论文：

在一根线的端部挂上重物，使重物进行小幅度摆动时，如果线的长度相同，则振动周期就一定是相同的。由于钟摆受到空气的阻力，振幅会逐渐减少，而周期却保持不变。

惠更斯想，既然物体的摆动具有等时的特性，如果能利用物体摆动的力量来驱使机械钟里的齿轮转动，不就可以得到更准确的时间了吗？他想到这里，兴奋异常，立即进行实验。

惠更斯对摆的摆动情况进行了仔细的比较，发现伽利略发表的摆的等时性只在振幅小的时候适用。当振幅变大时，随着振幅的增大，周期也会变得稍长一些。

因此，如果将摆用于机械钟，必须采用一种不受摆的周期影响的装置，以及能使摆的摆动作用于时针的转动的装置。

惠更斯绞尽脑汁，日思夜想，失败了，就再实验。于是他的眼熬红了，身体累瘦了，但仍然孜孜不倦地工作着。一次又一次的失败没有使他放弃努力。

功夫不负有心人，惠更斯终于设计出一个钟摆机构，1656 年委托制钟匠，成功地制造出第一座实用的摆钟。

自从惠更斯摆钟问世后，机械时钟进一步普及。有了这种新的摆钟，人们开始形成精确的时间概念，开始建立统一的时间标准。惠更斯也因为新的时钟的发明而名扬荷兰，传遍西欧。

揭开工业革命的序幕

18 世纪从英国发端的技术革命是技术发展史上的一次巨大革命，它开创了以机器代替手工工具的时代。这场革命是以工作机的诞生开始的，以蒸汽机作为动力机被广泛使用为标志的。

这一次技术革命和与之相关的社会关系的变革，被称为第一次工业革命或者产业革命。

从生产技术方面来说，工业革命使工厂制代替了手工工场，用机器代替了手工劳动；从社会关系来说，工业革命使依附于落后生产方式的自耕农阶级消失了，工业资产阶级和工业无产阶级形成和壮大起来。

英国是工业革命的发源地。英国工业革命从 18 世纪 60 年代开始，到 19 世纪 40 年代基本完成。

工业革命从英国开始不是偶然的，这是有深刻政治前提、社会经济前提和科学技术前提的。

17 世纪中期的英国资产阶级革命，推翻了英国的封建专制制度，建立了资产阶级和土地贵族联盟为基础的君主立宪制度，从而成为世界上第一个确立资产阶级政治统治的国家。资产阶级利用国家政权加速推行发展资本主义的政策和措施，促进了工业革命各种前提条件的迅速形成。

资产阶级通过大规模地对外掠夺以及在国内实行的国债制度和消费税政策，积累了巨额财富，为工业革命提供了所必须的货币资金；大规模的圈地运动，为工业革命提供了大量的“自由”劳动力和广阔的国内市场。

英国工场手工业的高度发展，培养了大批富有实践经验的熟练工人，为机器的发明和应用创造了条件；自然科学的发展及其成就，特别是牛顿的力学和数学，为机器的产生奠定了科学理论基础。

欧洲其他国家虽然也有杰出能干的工人，也有具有发明精神的人，但 these 国家缺乏发展机器工业所需要的资金、劳动力和市场，以及保证资本主义经济发展的政治、文化等条件。

在 1789 年，法国爆发了大革命，废除了封建统治阶级的特权，为资本主义工业化扫除了障碍。拿破仑当政后，十分重视科学技术的发展，为法国的工业革命创造了条件。此后，德国、美国、日本等国也纷纷加入工业革命的行列，到 19 世纪末，这些国家先后都完成了工业革命。

棉纺织业的革命

英国的工业革命首先发生在纺织工业部门，以棉纺织业为最早。

纺织工业中的技术发明是适应社会经济发展的需要而产生的，它以相当的经济力量为后盾，才能产生和推广应用。纺织机器的发明人大多是有丰富经验、掌握传统技能的工匠，他们为技术革命做出了重要贡献。

纺锤的发明是从亚洲开始的。而棉纺从印度开始，丝纺从中国开始，毛纺首先从欧洲开始。但在开始的时候，都没有使用所谓的工具。

手摇纺纱的纺车，是印度发明的，先传入中国和日本，在 14 世纪传到欧洲。

在手摇纺车的基础上，德国的于尔根于 16 世纪中期发明了脚踏纺车。即是给轮轴装上曲柄，并与脚踏板相连接，用脚踏动踏板，使纺车转动，纺车带动纺锤旋转，空出来的双手就可以自由工作，于是两个纺锤同时可以纺出两条纱。

织布机是很简陋的。织工们把纱线紧紧地系在木架上作经线，然后再把纬线缠在小木梭上，用手来回在经线之间穿梭织布。

1733 年，当过纺织工场机械工人的约翰·凯伊发明了“飞梭”。旧式的织机生产效率低，工人操作时累得手酸背疼。凯伊对旧式织机进行根本性的改进，把经线之间的手工穿梭改成机械穿梭。由于穿梭的速度比原来大大加快，故名“飞梭”。

飞梭简化了织工的劳动，增加了织布的速度，为实现织布机械化迈出了重要一步。

由于飞梭提高了织布的效率，往往 1 个织工需要的棉纱，要由 10 个纺纱工供应，甚至更多，从而导致缺纱现象日益严重，打破了纺纱与织布之间的

基本平衡，客观上迫切要求纺纱技术提高。

1765年，织工哈格里夫斯发明了多轴纺纱机，他以妻子的名字命名为“珍妮纺纱机”。

哈格里夫斯是一个夏季当木工、冬季当织工的工匠，平日里和妻子感情甚好，每当看到妻子累得手酸背疼时，就想发明一个高效率的纺车，使妻子轻松一点。

在1764年的一天，珍妮和往日一样在纺纱，哈格里夫斯不小心把纺车碰翻了。突然，他发现竖起来的纱锭和车轮仍在转动，而纱好像在自动形成。

“珍妮，你看。”

“看什么？”

“纱锭由横轴位置变为立轴位置，并且仍然在转。”

“刚刚倒，当然转了。”

“我是说，几个纱锭并立在一起，不是仍可以用一个轮子来带转吗？”

“我不知道。”

哈格里夫斯由此得到启发，经过反复研制，终于在1765年设计并制造出一架同时可纺8个纱锭的纺纱机。

珍妮纺纱机一发明，就在纺纱行业中迅速推广开来。

哈格里夫斯又把纱锭增加到16个，最终又增加到80个。

哈格里夫斯发明了新的纺纱机，却遭到了意外的攻击。职工们控告他剥夺了他们的生计，说：“如果这种机械多了，我们就都得失业。”他们还愤怒地冲到哈格里夫斯的家里，捣毁机器，进行报复。

尽管如此，珍妮纺纱机还是不断地生产和应用。

但是，从技术上看，珍妮纺纱机还是不够完美的。它纺出的纱细而不结实，只能用作纬纱，纺纱短缺的问题还是解决不了。另外，珍妮纺纱机以人力为动力，从工艺原理看，它的纱锭可以继续增加，但是作为原动力的人力是有限的，因此，纱锭的增加受到了限制。

随着珍妮纺纱机的不断改进，锭数的不断增加，迫切需要寻求新的动力。

1769年，钟表匠阿克莱特发明了“水力纺纱机”。它以水车作为动力来转动纺纱机，效果良好，纺出的纱更粗更牢固，转速也快。

水力纺纱机比珍妮纺纱机前进了一步，因此，在英国的一些河流两岸，迅速建成一批采用水力纺纱的工厂。

水力纺纱机纺出的纱虽结实，但太粗，仍需进一步革新。

1779年，工人克隆普顿综合珍妮纺纱机和水力纺纱机的优点，发明了“螺机”。这种纺纱机纺出的纱既细又结实。螺机以水力为动力，最初的螺机有40个纱锭，后来发展到900个，又增加到2000个纱锭。

由于纺纱机的普遍运用，纱量大增，除了满足织工需要外，还有剩余，这样纺纱和织布之间的平衡又被打破了。

织机的革命推动过纺机的革命。现在，纺机的革命又反过来推动织机的革命。

1785年，乡村牧师卡特赖特发明了水力织布机，提高工效40倍。这位牧师也脱下黑袍，开办一家织布厂。

无论是螺机还是水力织布机都受到自然力的限制，因为人力是有限的，水力受到地理条件的限制。

动力革命

在纺织机革命的带动下，造纸、榨油、印刷等行业的工作机革命也发展起来。所有的工作机革命最后都遇到了动力的困难。因此，以工作机革命为开端的第一次工业革命，必然向动力机的革命迈进。

动力、能源在社会生产中的作用极为重大。人们最初只能用自己的双手，后来用风力、水力、畜力等自然力代替人力，当然是一种进步。

风力本身不需要成本，但不稳定，难以控制，不能广泛应用。水力易于驾驭。但受地区和季节的限制，不能随意相加，有时甚至枯竭。马主要用于交通运输以及矿井排水，但太昂贵，又麻烦。

在近代动力技术科学中，纽可门蒸汽机的诞生，展露了近代动力技术科学的曙光。它直接来源于采煤业和采矿业的推动。

早在公元1世纪左右，古希腊的发明家希罗曾运用蒸汽的力量，发明过一种玩具蒸汽机械。这种蒸汽机利用管口喷出蒸汽的反冲力，使带有喷气管的臂能在一个轴上旋转。

1601年，意大利物理学家包尔塔设计和研制过一种利用蒸汽提水的机器。这是利用蒸汽对水面的压力和蒸汽冷凝产生的真空，把水从低水位通过管子吸引上来。

1643年，意大利物理学家托里拆利经过专门的实验研究，证明了大气压力的存在。1654年，德国的格里凯进行了著名的“马德堡半球实验”，这是把两个半空心球合在一起抽掉空气后形成一个真空球，然后用16匹马拉这个球，结果无论怎样用力也拉不开，显示了大气压的巨大威力。

第一部活塞式蒸汽机是1690年由法国人巴本发明的。

巴本生于巴黎南部的布鲁斯，早年学习医学，曾作为惠更斯的助手进行大气压力和真空作用实验，他们还共同为路易十四的花园成功地设计了一种新型水泵。

1674年，巴本应玻义耳之邀来到英国，并担任玻义耳的助手，即致力于蒸汽泵的实验设计。

巴本从炼铁场广泛用的那种活塞式风箱中得到启发，发明了一个带活塞的汽缸，汽缸里的活塞就像风箱里的活塞。

在实验的时候，将汽缸注入一定的水，放到火上加热，当水沸腾后，蒸汽即推动活塞慢慢上升。然后，撤去火源，汽缸内的蒸汽即慢慢冷凝，汽缸内便产生真空，在大气压力的推动下，活塞慢慢下降。

巴本从这个实验中认识到，由于蒸汽压力、大气压力和真空压力的相互作用，完全能推动活塞及其活塞杆，作往返的直线运动，这种运动产生的机械动力可以带动其他机械的运动。

为厂保证汽缸的安全，1680年，巴本又发明了安全阀。

巴本第一次将汽缸、活塞机构、蒸汽冷凝形成真空原理，运用于蒸汽机，实现用蒸汽作为动力的理想，为以后活塞式蒸汽机的发展开辟了道路。

在17世纪末18世纪初，随着矿产品需求量的增大，矿井越挖越深，许多矿井都遇到了严重的积水问题。为了解决矿井的排水问题，当时一般靠马力转动辘轳来排除积水，但一个煤矿需要养几百匹马，这就使排水费用很高而使煤矿开采失去意义。

发明家们对排水问题思考着解决的办法。英国的塞维里最早发明了蒸汽

泵排水。

塞维里是一位对力学和数学很感兴趣的军事机械工程师，又当过船长，具有丰富的机械技术知识。1698年，他发明了把动力装置和排水装置结合在一起的蒸汽泵。塞维里称之为“蒸汽机”。

塞维里蒸汽泵的工作原理，是利用密闭容器内蒸汽凝结形成的真空，用大气压力把低水位的水，通过吸入管压入容器，然后再用蒸汽将容器中的水压向高处排出。

这是一种没有活塞的蒸汽机，虽然燃料消耗很大，也不太经济，但它是人类历史上第一台实际应用的蒸汽机。这样，蒸汽动力技术基本完成了从实验科学到应用技术的转变。

1705年，英国的纽可门设计制成了一种更为实用的蒸汽机。

纽可门生于英国达特马斯的一个工匠家庭，年青时在一家工厂当铁工。从1680年起，他和工匠考利合伙做采矿工具的生意，由于经常出入矿山，非常熟悉矿井的排水难题，同时发现塞维里蒸汽泵在技术上还很不完善，便决心对蒸汽机进行革新。

为了研制更好的蒸汽机，纽可门曾向塞维里本人请教，并专程前往伦敦，拜访著名物理学家胡克，获得了一些必要的科学实验和科学理论知识。

纽可门认为，塞维里蒸汽泵有两大缺点，一是热效率低，原因是由于蒸汽冷凝是通过向汽缸内注入冷水实现的，从而消耗了大量的热；二是不能称为动力机，基本上还是一个水泵，原因在于汽缸里没有活塞，无法将火力转变为机械力，从而不可能成为带动其他工作机的动力机。

对此，纽可门进行了改进。

针对热效率问题，纽可门没有把水直接在汽缸中加热汽化，而是把汽缸和锅炉分开，使蒸汽在锅炉中生成后，由管道送入汽缸。这样，一方面由于锅炉的容积大于汽缸容积，可以输送更多的蒸汽，提高功率；另一方面由于锅炉和汽缸分开，发动机部分的制造就比较容易。

针对火力的转换，纽可门吸收了巴本蒸汽泵的优点，引入了活塞装置，使蒸汽压力、大气压力和真空在相互作用下推动活塞作往复式的机械运动。这种机械运动传递出去，蒸汽泵就能成为蒸汽机。

纽可门通过不断地探索，综合了前人的技术成就，吸收了塞维里蒸汽泵快速冷凝的优点，吸收了巴本蒸汽泵中活塞装置的长处，设计制成了气压式蒸汽机。

纽可门蒸汽机，实现了用蒸汽推动活塞做一上一下的直线运动，每分钟往返16次，每往返一次可将45.5升水提高到46.6米。该机即被用于矿井的排水。

但是在实际操作过程中，感到很不方便的是，向汽缸内喷冷汽和蒸汽阀门的开关必须由人手操作。后来，由贝顿对龙头和阀门的结构提出改进意见，把龙头手柄与阀门开关用绳索连接起来，基本上实现了对龙头和阀门的自动控制。

从1712年起，英国大部分煤矿和金属矿都安装了纽可门蒸汽机，特别是深矿井。蒸汽机的使用给英国的煤矿主带来了丰厚的利润，使深层煤矿得到进一步开采。英国北部有些煤矿较深而被积水淹没，濒临绝境，采用纽可门蒸汽机后，改变了这种局面，矿井很快恢复了生产。

但是，纽可门的蒸汽机也有很大缺陷，就是蒸汽损耗严重，热效率依旧

不高。因此耗费的煤炭量很大，除了用在燃料价格便宜的煤矿收益较大外，很难成为各种工业通用的动力机。

即使在煤矿使用，开动这种蒸汽机每天要用 50 匹马来运送所需的煤炭，这些马匹食用的饲料开销也很大，结果从矿山上赚来的钱也被马吃掉了不少的一部分。

为了解决十分紧迫的工业动力问题，发明家和生产者都在不断地探索。机修工瓦特是其中成就卓著的伟大发明家。

1736 年詹姆士·瓦特生于英国造船业中心格拉斯哥附近的格林诺克，父亲是一个熟练的造船装配工人，祖父和叔父是机械工人。由于家庭环境的影响，少年的瓦特就熟悉了一些机械方面的知识。由于家庭贫穷，瓦特身体也不好，在受完初等教育后就辍学了。1754 年，瓦特的父亲经商失败而破产，瓦特就走上社会，先在格拉斯哥当机械工学徒，不久到伦敦当学徒。由于他勤奋学习，又有一定的基础，在努力实践的基础上，还没出师就能制造难度较大的航海仪器、经纬仪等仪器。

但是，艰苦的学徒生活，繁重的体力劳动，使瓦特劳累过度，在 1756 年 8 月病倒了，不得不回家休养。为了生计，瓦特病还没有好就去格拉斯哥，想经营仪器制造和修理，由于当地行会限制未果。

1757 年，瓦特经人介绍，到格拉斯哥大学修理教学仪器。瓦特由此结识了该校的一些教师和学生，如布莱克教授和大学生鲁宾逊，并成为亲密的朋友。瓦特修理仪器时，正好实验室里有一架巴本的蒸汽泵，他就用这架蒸汽泵进行一些蒸汽动力实验，和该校的一位物理学教授一起进行蒸汽技术的实验研究，并探讨如何改进蒸汽机的问题。

1763 年，格拉斯哥有一台纽可门蒸汽机坏了，大学请伦敦一位仪表工来修理，但没有修好。第二年，瓦特接受了这一工作。

瓦特在修理纽可门蒸汽机时，对这种当时最先进的蒸汽机进行了深入的研究。这台蒸汽机的主要缺点是耗煤量太多，热效率低，那么燃煤的热量跑到哪里去了呢？

通过对这台纽可门蒸汽机的机械结构和工作原理的解剖分析，他发现，当蒸汽进入汽缸后，温度即上升到 100℃，为了得到真空，又要立即向汽缸喷入冷水而冷凝，汽缸内的温度下降到 20℃ 左右。就这样一升一降，活塞才能完成一个冲程的往返动作。

热量消耗太多的原因就在这每一冲程中，既要向汽缸喷入冷水使之变凉，又要向汽缸内输送蒸汽使之变热，这样，大部分热量就用来加热汽缸了。瓦特请人经过精确的计算，结果是 75% 的蒸汽用来加热汽缸，只有 25% 的蒸汽用来作功。

同时，蒸汽经冷凝后温度仍然较高，真空度不好，也影响了蒸汽机的效能。

抓住了问题的症结，就要寻求解决的办法。瓦特认为：“为了更有效地利用蒸汽，以下两点都是必须的：第一，汽缸要始终保持蒸汽进入时的温度；第二，当冷水喷入汽缸，蒸汽被冷凝时，汽缸又被冷却到 100℃ 以下。

为了使以上两个相互矛盾的要求都能实现，就不能直接采用纽可门机原来的方法。改进的方案直到 1765 年才由瓦特设想出来，将汽缸和另一个冷凝蒸汽的容器用连接件接通，缸内的蒸汽就像有弹性的液体一样，将会直接而迅速地流入空的容器，如果用喷水或其他方法使容器保持低温，那么蒸汽就

会继续进入容器直到全部凝结成水。

瓦特立即着手实验，并收到预期的效果。他把将蒸汽引入另外的冷凝蒸汽的容器叫做冷凝器。

此后，瓦特在蒸汽机结构中做了改进，即封堵敞式汽缸的端部，留下通过活塞的缸孔，用蒸汽压力代替大气压力推下活塞。这样在接近地面处的大气压力为一个大气压，利用蒸汽后，就可提升到任意个大气压，所以输出的力比纽可门蒸汽机大得多。

瓦特的这些技术设想和发明，包含在他的 1769 年专利说明书中。这是瓦特关于蒸汽机的第一项专利。

巧妙的设想为瓦特打开了通向成功的大门。但是要把设想变为现实并不是轻而易举的，可能会遇到难以想象的困难。

那时，英国的工业界很少有人能够按照比较复杂的图纸，准确无误地加工各种机器零件。要制造出瓦特设计的蒸汽机，需要有昂贵的金属材料。先进的机构加工设备、熟练的机械加工和装配工人，才能制造出高精度的汽缸、活塞和其他零配件。

这些条件瓦特都不具备。他有的只是 35 镑的年薪，为了试制一名试验用的冷凝器，他已经变卖了所有值钱的东西而一贫如洗了。但瓦特并没有因失败和贫穷而消沉，仍然在孜孜不倦地奋斗着。

当布莱克教授得知瓦特的处境时，将他推荐给工厂主罗巴克，双方签订了合同：罗巴克向瓦特提供研制费用，获得瓦特的专利和 2/3 生产利润。这一合同开辟了科学研究和工业生产相结合的道路。

通过努力，瓦特在 1769 年制造出第一台装有分离冷凝器的蒸汽机，比纽可门的蒸汽机在热效率上提高了 2/3，但在性能上还无法作为真正的动力机，没有引起社会的关注。

1772 年，英国经济萧条，不少企业倒闭，罗巴克也破产。瓦特又孤立无援，颇感失望，但他看到已经克服了纽可门蒸汽机热效率低的缺点，现在所要解决的是把蒸汽机怎样变为普遍的动力机。

“成功的路已走了一半，难道前功尽弃吗？”

“绝对不能！”

瓦特的伟大就在于他不断地克服困难，促使理想走向现实。

1774 年，罗巴克把瓦特介绍给自己的企业家朋友博尔顿，从而使瓦特的研制工作能够继续进行。

1775 年，著名机械工程师威尔金森发明了能精密加工炮筒的镗床。用这一技术对汽缸内壁进行精加工，使之与活塞严密配合以减少漏气，大大提高了蒸汽机的功率。

1781 年，瓦特研制出了被称为“太阳和行星”的齿轮联动装置，终于把活塞的往返直线运动转变为轮轴的旋转运动。旋转的轮轴可以通过齿轮或链条带动任何工作机，实现了革新纽可门蒸汽机的第二次飞跃。年底，瓦特获得了第二个专利。

1782 年，瓦特试制出带有双向装置的新汽缸。以前制造的蒸汽机都是单汽缸，蒸汽从一面推动活塞，还是有些浪费。双向汽缸是蒸汽从两面交替地推动活塞，功率比原来提高了 1 倍。

瓦特还首次把蒸汽缸的蒸汽由低压蒸汽改为高压蒸汽。

双向高压蒸汽机发明后，纽可门蒸汽机完全成为瓦特蒸汽机，瓦特获得

了第三个专利，从而实现了他在革新纽可门蒸汽机中的第三次飞跃。从此，瓦特蒸汽机成为一切工作机的动力机。

1784年，瓦特以他对纽可门蒸汽机革新的全部成果综合组装的蒸汽机，获得第四个专利。在这个专利说明书中，瓦特详尽地说明了这种新式蒸汽机的种种性能和优点，并把它说成是一种万能的动力机。

瓦特从1757年到格拉斯哥大学修理教学仪器而接触蒸汽机开始，到1784年完成了他各种革新成果的综合组装为止，经历了20多年的漫长历程。在这段时间里，虽然有无数的挫折和失败，但他那种不屈不挠的精神，不达目的誓不罢休的毅力，终于实现了对纽可门蒸汽机的彻底革命。

瓦特蒸汽机发明后，对工业革命的发展起了巨大的推动作用。蒸汽机作为一种不可抗拒的力量，迅速广泛地进入煤矿、铁矿、纺织、冶金、机械等行业，在全世界范围内掀起了一场工业大革命，推动了社会生产力的惊人发展。

从科学技术上看，瓦特蒸汽机的发明，表明科学理论对技术发展的促进作用，第一次把热能转变为机械能；同时技术进步也推动了科学的发展。

蒸汽机的使用引起人们对热现象的广泛兴趣，推动了热学、热力学和能量转化方面的基础理论的研究。

航运业的革命

瓦特蒸汽机的发展，使各行各业出现了一个前所未有的发展时期，原材料、产品和机器的运输以及人员的频繁往来，使交通运输问题越来越突出，海上的帆船和陆上的马车已经远远不能适应运输的需要，船与车的革命迫在眉睫。

船，是渡河、过江、越海、跨洋的重要工具。

人类发明的最古老的船是木筏。

把水上浮的树木捆起来，抓着它们游泳或坐在上面，这就是船的起源。后来随着捆在一起的树木的增多，对捆绑的方法加以改进，就成了木筏。

木筏之后是独木舟，就是把原木凿空，人坐在上面，这是最简单的船。

由于独木舟是用一根原木做成，因此它的容量有限。后来出现把两只独木舟并列起来并用横木连接的船。这就是中国古代使用的舫。

船的方向是用桨来控制的，但要是大船就很困难，于是船上有了舵。

此外，很早就发明广利用风力的帆船。

中国是造船史非常悠久的国家。在商朝，中国人就“剡木为舟，剡木为楫”。特别是在15世纪初年，明朝的郑和率领庞大的船队七下“西洋”，先后到达中东、北非、东非等地。

郑和船队中最人的船，长是44.4丈，宽18丈，舵杆长3.3丈，张12帆，载重量800吨。其“体势巍然，巨无与敌，篷帆锚舵，非二、三百人莫能举动”。中国的航海事业居世界前列。

西方的舟船也历史悠久，尤其是在中世纪，由于中国用于辨别航海方向的罗盘针的传入，曾进行过新航路开辟中的4次远航，即葡萄牙人迪亚士于1487年远航南非，到达非洲的最南端；意大利人哥伦布于1492年航行到美洲；葡萄牙人达·伽马于1498年绕过非洲航行到印度；葡萄牙人麦哲伦于1519年进行环球航行。

但是，航行的动力依然是人力和风力，即桨和帆，近代运河的船只也用两岸骡马的畜力拉拽。也是原始的。

近代工业革命为船舶革命提供了条件。蒸汽机的发明及完善为之提供了动力，冶金业为之准备了材料，机械制造业提供了加工手段。另外工业革命还积累了资金。

1807年，美国人富尔顿建造的“克莱蒙特”号轮船，在哈得逊河上逆流而上，取得了轮船航行的首次成功。

但是，富尔顿并非轮船的发明人。

最早发明汽船的人是英国工程师菲奇。在1787年，把一台瓦特蒸汽机安装到船上，进行试航，获得成功。1790年，他又制造一艘大型汽船，开辟了费城到巴尔的摩的定期航线。

菲奇没有申请发明专利，也没有公布他的发明，后来从事海上的投机买卖，最后破产，在贫病交加中默默无闻地自杀而亡。

1788年，英国的赛明顿制造在两侧装有桨轮的轮船，航行成功。1803年，他制成一艘拖船在克莱德运河上航行。由于这台大马力的拖船将使在河岸用缆绳拉船的拖船业者失业，而遭到他们的拼命反对，并把拖船强行拖上岸，伟大的发明就这样被扼杀了。赛明顿在失望中逝世。

由于菲奇、赛明顿在造船史上没有建树，通常人们认为富尔顿是轮船的第一个发明家，并被誉为“轮船之父”。

罗伯特·富尔顿于1765年生于美国宾夕法尼亚州的兰开斯特，16岁时，在费城学习绘画，曾为富兰克林画像而知名，又在富兰克林的资助下去英国学画。

在英国期间，富尔顿对机械产生了浓厚的兴趣，并立志当个发明家。他研究了赛明顿的拖船，会见了发明蒸汽机的瓦特。

1797年，富尔顿去法国巴黎定居，先后发明了鱼雷和潜水艇。他来巴黎是想把武器卖给拿破仑，但是拿破仑并不感兴趣，根本不相信富尔顿。

在法国，富尔顿结识了美国驻法公使，并在他家里看到了菲奇的轮船设计图。于是，富尔顿决心自己制造轮船。

富尔顿说干就干，几经努力，在1803年建造了第一艘轮船，在巴黎的塞纳河试航。

这是一艘以瓦特蒸汽机为动力，以桨轮为推进方式的汽船，长70英尺，宽8英尺。

试航定于8月10日。

这一天，富尔顿满怀信心地走上汽船。这艘船机械全部安装完毕，等待启航。

船启动了。

虽然这艘船逆水行驶时，速度已如快步前进的行人，但由于蒸汽机刚被引上船，它的推进系统还不够完善，航速和稳定性方面都不够理想。

由于富尔顿的汽船研制工作没有得到法国政府的重视，第一艘轮船的试航没有取得应有的成功，又因试制这艘船而濒于破产，他只得返回美国。

回国后，富尔顿得到美国的农场主、发明家利文斯顿的帮助，才有资金、人力、材料去继续研究他的汽船。

富尔顿对前人所造的轮船和自己在巴黎造的轮船进行认真的研究，感到有许多技术问题要解决，如船的吨位和动力大小的比例问题，船身長和宽的

比例问题，桨轮大小问题等等，要正确解决这些问题，必须进行进一步的实验。

多年来，富尔顿历经艰辛，经过许多次波折，为了解决一个问题往往要经过许多次失败。但他具有百折不挠的决心，不达目的誓不罢休。

在第二艘汽船的研制中，富尔顿在造船技术上进行了两个大革新。

第一是把明轮桨改为螺旋桨。富尔顿在第一艘汽船上用的是明轮桨推进系统，它影响了汽船的速度、稳定性和耐波性。回到美国后，他听说有人发明了螺旋桨船，富尔顿研究了它的技术资料后，认为螺旋桨有更大的优越性。

第二是大胆地采用铁板作为造船材料。人们总是认为浮力原理不适合金属，因此造船只能用木质材料，要想用铁造船，那只能在梦中实现。

然而在 1787 年，威金逊首先用铁板造了一艘船，它安全地浮在水面上，并没有沉没。从而把铁也能造船的梦想变为现实。

1806 年，富尔顿在纽约附近的哈得逊河上正式开始建造他的第二艘汽船。

富尔顿和工人们日夜兼程地建造新船。为了得到性能优良、马力强劲的蒸汽机，富尔顿亲自跑到英国向瓦特求援。

当别人看到富尔顿用铁板造船时，流言四起，说富尔顿是个怪人，他的船是用铜辨士熔造的。坚定的富尔顿岂能被谣言动摇决心，面对人们的造谣诬蔑和攻击毁谤，只能一如既往，不断努力，继续前进。

通过一年多的紧张施工，一艘被命名为“克来蒙特”号的汽船终于建成。船长 150 英尺，宽 13 英尺。好奇的人们从船旁经过，望着这艘怪船，都说这是“富尔顿的蠢物”，因为他们没有看见这样的怪船：长长的船身，上面立着一个大烟囱，却不见桅、帆之类的东西。

对于别人的讥笑，富尔顿并不在意，一笑置之。

1807 年 8 月 17 日，“克莱蒙特”号在哈得逊河上作历史性的航行。

试航的时间到了，富尔顿胸有成竹地看着船体滑入水中，工人点燃锅炉，蒸汽机轰鸣起来，随着一声汽笛，船前进了。

“动了，动了！”

“富尔顿真了不起！”

河岸围观的人也非常兴奋，跟着船跑起来。

“克莱蒙特”号在行进中相当稳定，而且速度也比较快，从纽约沿哈得逊河逆流而上，到达上游的阿尔巴尼城，共 150 英里，只用 32 小时。

试航获得成功，富尔顿胜利了。从此，“克莱蒙特”号成为哈得逊河的定期航轮。

“克莱蒙特”号的成功，是富尔顿认真研究、反复试验、不屈不挠、艰苦探索的结果。在造船和修船期间，富尔顿每天早晨 5 时就到工地，整天在那里工作，和木工、油工、水手们在一起。

“克莱蒙特”号一开始并不是完善的，锅炉和阀门经常漏气，经过多次改进才消除这些缺陷。他为了改进船工的条件，也增加了一些设备，才不断地使航速由 4 英里到 5 英里，又提高到 6 英里。

富尔顿的“克莱蒙特”号是近代造船史上第一艘真正的汽船。它以铁为新型造船材料，以蒸汽机为新的动力系统，以螺旋桨为新的推进系统，开创了造船史的新纪元。

“克莱蒙特”号标志了帆船时代的结束，汽船时代的开始。

1808年，富尔顿又建造了两艘轮船。在以后的几年里，富尔顿又建造了13艘轮船，在世界船舶发展史上写下了光辉的一页。

自从富尔顿的“克莱蒙特”号试航成功以后，汽船制造业即在美国和欧洲许多国家发展起来。到20世纪初，汽船成为许多国家的内河航运和海洋运输的主要交通工具。

1815年2月23日，富尔顿逝世。但当人们乘船遨游蔚蓝色的大海时，一定不会忘记这位百折不回的富尔顿。

陆上交通的新纪元

瓦特蒸汽机引起水域交通工具的革命，同时也促使陆上交通工具的革命，英国人斯蒂芬逊的蒸汽机车驶进了近代科学技术史的舞台。

蒸汽机车，就是我们所熟悉的火车。一个火车头拉着一条长龙似的车厢，飞快地在轨道上奔驰。它越过平原，穿过峻岭，飞渡桥梁，穿越隧道。

然而，这力大无比的火车头是谁发明的？又是怎么制造出来的？

车的历史和船同样久远，早期的车以人力和畜力为主要动力。马车是人类文明史上数千年来主要的陆上交通工具，是近代火车的直接先驱。

18世纪中期开始进行蒸汽机的研究，这时就有人想用蒸汽机来牵引车，但不是轨道上行驶的蒸汽机车，而是公路上行驶的蒸汽汽车。

在蒸汽机刚发明时，主要用于矿井下抽水机的动力，后来有人想用于矿车的牵引，以便把大量煤炭快速地运到远处。

那时，由于采矿业的发展，矿产品的运输是一个突出的问题，运输工具仍然是马车。在使用马车的过程中，人们逐渐发现，马车在有轨道的路上行驶时，拖拉的重量比在普通路面上高3倍。于是就铺设了木轨道，因为当时的冶金业不发达。

木轨道的发明和应用，是运输业的一大进步，也为蒸汽机车的发明打下了基础。

随着冶金业的发展，在1738年英国的一家矿山出现了第一条“铁轨”，当然它只是包有铁皮的木轨，运行的仍然是马车。

1759年，英国物理学家罗比森提出了用蒸汽汽车在铁轨上拉动车子的最初设想，第一次把蒸汽机和铁轨联系起来。但是，许多人担心，具有铁轮的机车又笨又重，在光滑的铁轨上行驶，只会打滑空转，根本无法前进。

于是，1769年法国的居纽制造出蒸汽汽车，1783年，英国的默多克制成的也是蒸汽汽车。

1802年，英国的特列维希克制造出了第一台真正的铁路上行驶的蒸汽机车。这辆机车可以牵引5辆货车，载重10吨和70名乘客，时速8公里，性能优异。

遗憾的是，用铸铁制造的铁轨非常脆，运行几次后就损坏了，机车再也无法行驶。这样，尽管特列维希克的机车是一次巨大的成功，却没有能够得到应用。同时，由于他缺乏继续研究的毅力，而逐渐被人们遗忘。

英国的斯蒂芬逊也热心研究蒸汽机车，终于发明了第一台真正可供实用的蒸汽机车。

乔治·斯蒂芬逊，1781年6月8日生于英国一个穷苦的矿工家庭，8岁时就去给人家放羊，16岁时随父亲去煤矿做工，当上了一个给蒸汽机烧锅炉

的工人的助手。由于天天和蒸汽机打交道，而热爱上机械，对蒸汽机的构造和性能逐渐熟悉了。

要掌握技术，通晓理论，没有文化是非常困难的。他头脑里总是在想，水蒸汽为什么能使机器转动？转动的机器为什么能代替人进行工作？这些原理书上有，可是没有文化的斯蒂芬逊看不懂。于是他下决心努力学习文化。

矿上有一所夜校，专门招收 7 至 8 岁的儿童。这一天，一位大约 18 岁的小伙子来到夜校，和比他矮半截的小同学一起上课，他就是斯蒂芬逊。

从这一天开始，斯蒂芬逊白天做工，下班后还帮别人修理钟表，晚上拖着疲惫的身体去夜校读书。凭着坚韧的毅力，他从夜校毕业了。

有了知识，就可以阅读各种科技书籍，研究蒸汽机和其他机械，斯蒂芬逊的理论和技术的突飞猛进。

1809 年的一天，矿上的一辆运煤车坏了，许多技师查了很长时间，都找不到原因。

“让我来试试。”斯蒂芬逊自告奋勇。

“你也行？”一个骄傲的技师鄙视地看着眼前这个不起眼的锅炉工。

“真不知天高地厚！”另一位技师也讥笑着附和。

“我会修好的！”斯蒂芬逊是那樣的自信。

他从容不迫地把车子拆开，一件件检查、修正，然后重新安装好，运煤车又欢快地开动了。

斯蒂芬逊由于修好了技师们修不好的运煤车，而被任命为工程师，年仅 28 岁。

1812 年，斯蒂芬逊在伦敦工业展览会上看到了特列维希克的蒸汽机车模型，从而产生了极大的兴趣，投入到蒸汽机车的研制中。斯蒂芬逊对当时火车制造和行驶中存在的问题，进行了认真的研究，总结前人的经验教训，加上他具有蒸汽机及一般机器的基础知识，和不懈的奋斗精神，经过两年多的研究试制，终于在 1814 年制成了他的第一台蒸汽机车，名字叫“布鲁茨赫尔”号。

这台机车在坡道上行驶，载煤 30 吨，时速 7 公里。当然这台机车本身很不完善，它的外型比较难看，构造简单，由于没有安装弹簧，行驶时颠簸剧烈，甚至把铁轨都颠坏了。

于是有一些人对这一新生事物大肆指责。有人说隆隆的机车声破坏了世界的安宁，铁路两旁的牛羊受惊不敢吃草，鸡鸭受惊而不能下蛋。有人说车头冒火把附近的树烧焦了。有人说，锅炉会爆炸，车厢会颠覆，乘客将会遇难。

斯蒂芬逊不怕讥笑与责难，克服困难，继续研究。

从 1814 年到 1825 年，斯蒂芬逊先后制造了 19 台机车，信心大增。

这期间，他对机车和轨道进行了重要的技术革新。首先是把蒸汽机的出汽管道用小管引入烟囱，一方面减小了噪音；另一方面加快了出烟速度，使煤燃烧更充分，提高了热效率，提高了机车的载重量和速度。

其次，在机车上增加了弹簧和其他部件，减轻了震动，提高了稳定性。

第三是改革铁路轨道。原来的轨道是在优质木轨外包上铁皮，而斯蒂芬逊第一次用铁铸成的铁轨，并在枕木下铺了石子，从而加强了铁轨的抗震能力。

1823 年，英国建造从斯托敦到达林顿之间的商业铁路，斯蒂芬逊出任总

工程师。

1825年9月27日，斯蒂芬逊亲自驾驶自己设计制造的“旅行号”蒸汽机车在这条铁路上试车。

有人这样描写试车的盛况：“今天早晨发生的情景是难以描述的，人人精神振奋，心情愉快。有些人喜形于色，另一些人惊讶不已，使得这个场面丰富多采。机车在预定的时刻开动了。……铁路两旁人山人海，许多人跟着火车跑；另外一些人骑马沿路旁跟随火车。”

“旅行号”机车牵引132节车厢，载有90吨货物，并带有450名乘客，时速20公里。

这次试车成功了！从此，开辟了陆上运输的新纪元。

1826年，英国决定在两大城市曼彻斯特和利物浦之间修建一条铁路，由斯蒂芬逊主持修建。

这条铁路的工程是空前的。沿线要架设63座桥梁，在利物浦附近要开挖2公里的隧道。斯蒂芬逊不畏艰难，顽强拼搏。

他还顶住人为的非难。有人散布谣言，说什么火车和煤烟会毒害家禽牲畜，火车要爆炸而炸死乘客。更严重的是，那些依靠运货马车和客车而谋生的人们，担心铁路建成后将失去生活来源，而对斯蒂芬逊进行人身迫害。

斯蒂芬逊下定决心，不怕诽谤与恐吓，排除艰难和险阻，和工人们齐心协力，顽强奋斗，终于把这条铁路建成了。

这个时期，也有其他人试制机车，他们提出：“这条铁路用斯蒂芬逊的机车不一定合适，应该和其他机车进行比赛，从中选出最优秀的机车。”

“那就进行一次机车比赛来决定吧。”斯蒂芬逊欣然同意。

比赛的条件是，以时速16公里的速度，在利物浦附近的赖布尔3.2公里的线路上往复行驶20次。

1829年10月，比赛的日期到了。参加比赛的有4台机车，其中就有斯蒂芬逊最新研制的“火箭号”。

赖布尔人山人海，人们观看这场从来没有看过的机车比赛。首先是“新奇号”，在第三次往返中，机车管道破裂。第二台机车一开始就出了毛病而不能行驶。

第三台登场的是“火箭号”，以平均45公里的时速，跑了20个来回，获得了普遍赞誉。

最后一台在第10次往返中出了故障，人们为之惋惜。

斯蒂芬逊的“火箭号”机车大获全胜。

从此，人们不再怀疑蒸汽机车的性能了。在英国出现了铁路建筑的热潮。其他国家的铁路运输也迅速发展起来。

斯蒂芬逊原来只是个牧童，18岁时还是个文盲，但是他勇于实践，敢于创新，甘于吃苦，乐于奉献，为蒸汽机车做出了杰出的贡献，被后人誉为“近代蒸汽机车之父”。

此后，斯蒂芬逊一直从事机车制造和铁路建设工作，直到1848年逝世。

第一次工业革命是生产力发展的必然结果，极大地推动了社会的发展。

第一次工业革命从其进程来看，可分为三个阶段，即以纺织机械为内容的工作机革命，以蒸汽机为内容的动力机革命，以汽船和机车为内容的运输革命。这三个阶段依次可视为序曲、主调、尾声，构成了第一次工业革命的完整乐章。

第一次工业革命极大地推动了自然科学的发展。

能量的规律

对热的探索

在第一次工业革命中，蒸汽机的发明、改进和应用，极大地推动了社会的发展。同时，蒸汽机的使用引起人们对热现象的广泛兴趣，推动了人们对热学、热力学和能量转化方面的基础理论的研究。

能量转化和守恒定律的发现，是 19 世纪的三大科学成就之一。这一成就是人们经历长期的实验研究和理论探索的结果。

人们在长期的生活实践中经常接触到热现象，逐步积累了关于热的知识。但是由于缺乏测量手段和实际应用的迫切性，人们对热的认识水平还是相当的落后，除了定性地发现热传递、透镜能聚焦生热等现象，还没有对热现象规律进行定量的研究。

自从伽利略制造了第一支温度计，就开始了热进行定量研究。伽利略是热量概念的创立者，为了测量热的量度，在 1593 年发明了温度计，主要靠空气膨胀来度量温度的变化，不太准确。自此之后，人们对热有了较为明确的量度概念。

人们相继对温度计进行了改进。1642 年，意大利的西门图学院制出了酒精温度计，能比较方便地度量热。

1714 年，德国物理学家华伦海特发明了水银温度计。他把水的沸点定为 212° ，冰、纯水和食盐的混合温度为 60° 。后来他发现液体的沸点，随着气压的升高而升高，随着气压的降低而降低。华伦海特的温度计，就是人们通常所称的“华氏温标”。

到 1742 年，瑞典物理学家摄尔希斯把水的沸点作为 0° ，冰点作为 100° ，制成了百分温标，后来这种划分被颠倒过来，成为通用的“摄氏温标”。热量概念的产生和量热仪表的不断精密，使热学不断向前发展。

随着化学中对燃烧现象的研究，诞生了热化学。

这时，人们在生活中和生产实践中已经认识到较热的和较冷的物体的不同，认识到具有不同冷热程序的物体相互接触后使原来较热的物体变冷，原来较冷的物体变热，最后具有同样程度的热。

但是人们还不能正确区分温度和热量这两个概念。

正是在热化学的研究中，英国化学家布莱克最先把温度和热量这样两个不同的热学概念区分开来，分别称为热的强度和热的分量。

布莱克发现熔解、汽化时要吸收热量而不改变温度，提出了“比热”和“潜热”的概念，形成了量热学的基础。

比热是比热容的简称，指单位质量的某种物质，温度升高 1 吸收的热量。潜热即熔解热，即单位质量的某种晶体在熔点变成同温度的液体时吸收热量。汽化时潜热，是单位质量的液体变成同温度的气体时吸收的热量。

布莱克创立了比热的理论，来解释不同物体升高相同的温度所需热量的不同。

关于热的本质，布莱克也进行过探讨。他认为“热”和物体燃烧时的“燃素”一样，是一种由特殊的“热粒子”组成的“热流体”。这种“热粒子”

后来被称为“热素”或“热质”。这就是关于热的本质的“热质说”。

热质说是 18 世纪占统治地位的观点。它认为热本身是一种没有质量、没有体积、具有广泛渗透性的物质。热从一种物体渗透到另一种物体中去，在热交换之前和之后，热质量是守恒的。

用这种理论可以解释当时已知的热现象。物体的温度高是由于热质多，受热膨胀是由于热质进入物体所造成，热的传递是热质由高温物体到低温物体的流动，太阳光通过透镜聚焦是热质的集中，辐射则是热质的扩散。

布莱克还根据热质说解释潜热现象。他认为固体的融化、液体的蒸发是热质参与化学变化的结果，即热质与冰化合生成水，也可与水化合生成汽。因此，在冰融为水和水蒸发为汽时，虽然要吸收大量的热质，由于热质被化合掉，温度并没有升高。

热质说是一个错误的理论，但它力图从自然本身去说明自然，并且成功地解释了许多热现象，因此在理解热的本质方面一直占据统治地位。

关于热的本质的另一种解释，认为热是一种运动，即热是看不见的物质分子的运动或是其他粒子的运动。18 世纪前的培根和笛卡尔都持这种观点，18 世纪 40 年代，俄国的罗蒙诺索夫也认为热是分子的转动引起的。但这些都是极个别人的观点，没有引起重视。

直到 18 世纪末，才有一些人开始对热质说表示怀疑。

从美国移居到法国的汤普森，即后来的朗福尔德伯爵是最早从物理学角度论证热与运动相联系的人。

1798 年，他在一家兵工厂做了著名的“朗福尔德热学实验”。用锐钻头和钝钻头同时钻造炮膛，并测量它们产生的热量。在相同时间内锐钻头钻得深，但锐钻头比钝钻头产生的热量少。

根据热质说，钝钻头产生的热量多，释放了更多的热质，应该钻进的深度更深。但事实正好相反。

另外，他还发现从钻炮膛发出巨量的热，但周围环境却没有变冷。

这些都是热质说解释不通的，朗福尔德经过分析，认为能够连续不断产生出来的热不可能是物质，热是机械运动的一种形式，它的本质在于机械运动，运动产生热。他还进一步认识到，运动所产生的热的量与所做的功成正比。

这样，他就提出了“热之唯动说”，也就是与热质说对立的热动说。

同一时期，另一位研究热与运动关系的人是英国化学家戴维。1799 年，他进行了摩擦冰块实验。在杜绝热源的装置中，使两块冰相互摩擦，结果冰融化了。

实验证明，两块冰在摩擦运动中产生了热，将冰融化了。

朗福尔德和戴维的实验是令人信服的，为以后热质说的崩溃和热动说的确立提供了最早的实验证据。但这个问题一直到 19 世纪热力学第一定律问世时，才真正得到解决。

在热动说和热质说的论争中，包含着力学、热学和化学的相互渗透，促进了热力学这门新兴学科的产生。

热力学理论的创立大

热力学的理论基础，是由法国工程师卡诺创建的。

萨迪·卡诺，1796年生于法国巴黎，父亲是法国著名的将军、军事工程师，在数学和物理方面也有很深的造诣。卡诺从小受到良好的教育，对数学和物理非常感兴趣，并表现出一定的才能。

卡诺在青年时代就学于巴黎多种工艺学院。在这里，他受深入研究蒸汽机的克拉特教授的影响，而喜欢上蒸汽机。毕业后，卡诺到陆军中任机械工程师。

卡诺生活的时代，正是蒸汽机登上工业动力王位的蒸汽时代，蒸汽机应用到采矿、机械、冶金、交通运输等一系列工业部门，促使社会生产力迅速发展。尤其是最早进行工业革命的英国，发展更快。

相比之下，法国进展缓慢。1789年法国大革命爆发后，法国政局动荡，战争频繁，1815年拿破仑的“百日王朝”覆灭后，出现了波旁王朝的复辟，法国沦为欧洲的落后国家之一。

为了振兴祖国，法国的有识之士积极从事蒸汽机研究，以此促进法国科学和工业的繁荣。人疾呼：“蒸汽机对法兰西极为重要，在英国已证明了它的用途不断扩大，注定要给文明世界带来一场伟大的革命。”

1820年，卡诺离开军队后，就专心致志地研究蒸汽机。

英国的瓦特在革新纽可门蒸汽机的过程中，曾得到科学的帮助，发明了冷凝器，提高了蒸汽机的效率。在18世纪末到19世纪初，蒸汽机主要靠工匠的经验技艺制作和改进，因此，它的效率提高很慢。从1794年到1840年，其效率仅由3%提高到8%。

这样，进一步提高蒸汽机的效率是生产和交通运输的迫切需要，这是工匠们的经验所不能解决的，必须从理论上去探索热动力的机制，靠热力学理论去解决问题。

卡诺在研究蒸汽机的过程中，最主要的是研究它的热效率问题，也就是热能和机械能之间转化问题。

卡诺搜集了前人研究蒸汽机的资料，经过认真分析后，发现他们仅仅从蒸汽机的实用性、安全性和燃料的经济性等方面，来判断它的优劣。卡诺认为，这些方面都不是本质的，在蒸汽机的工作过程中，将热能转化为机械能才是最本质的。

因此，提高蒸汽机的效率，应该由此着手。卡诺有过良好的数理训练，并熟悉各种蒸汽机的设计，于是采用一种抽象的数理分析方法，希望设计一种最理想、功率最大的理想热机。

经过1400个日夜的苦战，1824年，卡诺发表了《关于火的动力及产生这种动力的机器的研究》。

在这部著作里，卡诺舍弃了与热机工作过程无关紧要的辅助因素和次要因素，构思设计了“理想蒸汽机”，阐述了他的理想热机理论。

卡诺假设工作物质为理想气体，气体与两个恒温热源（恒定的高温热源和恒定的低温热源）交换能量，即热机没有摩擦、散热、漏气等因素存在，这种热机称为卡诺热机，其循环过程叫卡诺循环。

卡诺指出，只有存在较大温差的两个热源间才能有机功产生，热机效率与工作物质无关，主要取决于两个热源之间的温差，即锅炉和冷凝器之间的温度差，而与循环过程无关。

他说：“我们可以恰当地把热的动力和一个瀑布的动力相比，瀑布的动力依赖于它的高度和水量，热的动力则依赖于所用的热素和我们可以称之为

热素的下落速度，即交换热素的物体之间的温度差。”

卡诺的热机理论，实际上已包括了后来总结的热力学第二定律：热只能从高温热源转向低温热源的过程中做功。

但是，卡诺用错误的热质说的观念去解释他发现的这一定律。他认为热的动力依赖于热质的数量和热质的温度差。热机在运转时，热质的总量是不变的，热质由高温物体流向低温物体而做功。只有热质本身的守恒，不是热能向机械能的转化。

在不断的探索和研究中，到 1830 年，卡诺接受了热动说，对热能转化为机械能的认识前进了一步。

卡诺在一篇手稿中写道；“动力或能量是自然界中一个不变量。准确地说，它既不能产生，也不能消灭。实际上它只改变形式，也就是说，它有时引起一种运动，有时则引起另一种运动，但决不会消灭。”

卡诺的这一见解，已接近发现热力学第一定律，也就是能量守恒和转化定律。

遗憾的是，这一有价值的见解还没有来得及发表，卡诺就在 1832 年的霍乱中死去。直到 1878 年，他的遗稿才发表。

卡诺生前，由于当时的蒸汽机专家和热机工程师几乎都是清一色的实干家，不注重理论，从而使卡诺关于提高热机效率的正确途径得不到应有的重视。

由于卡诺已接近于发现热力学第一定律和热力学第二定律，提出了理想热机的热力循环理论，从而奠定了热力学的理论基础。。

卡诺生前，有许多人热衷于永动机的研究，幼想发明一种不使用任何能量就可以永远做功的机器，卡诺的热机理论问世后，彻底证明了永动机是造不出来的。

卡诺死后，法国另一位工程师克拉佩龙在 1834 年重新研究了理论，并用压力容积图介绍和推广了卡诺的成果，推动了热机研究的深入。

能

卡诺揭示了热能和机械能之间的转化，并且说明能量既不能产生，也不能消灭，已接近发现能量守恒和转化定律。同一时期、磁能、电能、化学能等更多的能量之间的转化得到了进一步研究，到 40 年代初，能量守恒和转化定律被不同学科的人几乎同时发现了。

“能”这个词，在希腊语里是“使用某种动作”的意思。

把石子放在弹弓的橡皮筋上，用力往后拉，然后突然松手，石子就会飞向远处。这种使别的物体运动或者移动位置的能力就叫做能。

挥动的锤子能把钉子钉进木板里，飞行的炮弹能击穿钢板，猛烈运动的空气——暴风甚至能吹倒树木、毁坏房屋。这种物体由于运动而具有的能叫做动能。从观察得知，物体的质量越大，速度越快，它的动能就越大。

位于高处的物体，由于地球引力，其重力的作用方向总是指向低处如果将山间的雨水汇集到贮水池里，利用水落下时的力量可以推动发电机旋转。打桩机的重锤落下时，能把木桩或钢铁构件打进地基里。

这种由于物体位于较高的位置而具有的能叫做势能。水池的水和打桩的重锤都具有势能。

在 16、17 世纪，伽利略和牛顿等科学家，通过确定速度、加速度和力之间的关系，对动能和势能的原理有所认识。他们认识到，当物体下降时速度加快，动能就增加了；同时，高度降低，势能就减少了。如果把物体抛向空中，随着动能的减少，势能就相应增加。

因此，在运动过程中，两种能量的总和总是一个恒量。这就是机械能守恒定律。

到 18 世纪，人们进一步认识到热、光、声等也具有能量，能量可以从一种形式转化为另一种形式。

最早公布能量守恒和转化定律的是德国青年医生迈尔。

1814 年，迈尔出生于德国，1840 年他在一艘远洋海轮上当船医，船从荷兰驶往东印度，船在热带的爪哇岛停留时，他给当地人看病。

当他从病人身上抽取出血液时，奇怪地发现，患者的静脉血要比在欧洲见到的病人的静脉血颜色红亮得多，这是为什么呢？

迈尔在学医时，曾研究拉瓦锡的燃烧理论和一些化学知识。在拉瓦锡理论的启示下，他仔细琢磨其中的原因，是不是因为在热带地区气温高，几乎不需要利用血液中的养分就能维持体温呢？

迈尔按照拉瓦锡的观点设想，动物体温是由氧化过程产生的热，由于热带炎热，那么人的体温只需要从食物中吸取少量的热即可维持，因此食物氧化作用减弱，剩下多余的氧留在静脉血里，血红素结合了氧就显得红亮了。

据此，迈尔认为人的体温是由食物化学能转化来的。他进一步认为人体动力，也就是肌肉机械做功的能量，也来源于食物化学能；热能和机械能加在一起的总量，应该等于食物化学能。

这样，热能、机械能和化学能都是等价的，而巨能够相互转化。

在航行期间，迈尔还听船员说：“暴风雨来时，海水温度比平时要高一点。”迈尔认为这应该是机械能转化为热能的缘故。

1841 年，迈尔随船回国，对航行期间的发现继续进行研究，并且做了一些实验，写成论文《论力的量和质的量的测定》。在这篇论文里，他提出了热是运动的观点，说明了热是由运动转化来的，并阐述了能量守恒和转化方面的见解。

他把论文投给德国的权威刊物《物理学和化学年鉴》。由于热质说统治着人们的头脑，权威们都相信是物质而不是运动，因此不承认迈尔的见解，便以缺乏实验依据为由，拒绝发表。

迈尔对学术上的第一次打击非常生气，但又无可奈何，决心进一步用实验来证明自己的观点。

迈尔做了这样两个实验。一是把一块与水温相同的金属，从高处落入水槽里，结果水的温度升高了。二是用力摇动水槽，结果水温也能升高。

当然，这两个实验都是简单的定性实验，但接着迈尔对实验进行了定量测定。1842 年，他初步计算出热功当量为 1 卡等于 365 克米，相当于 3.58 焦耳，接近于现代精确的热功当量值 4.184 焦耳。

1842 年，迈尔把自己的研究成果写成论文《论无机界的力》，终于在德国的《化学与药物杂志》上发表。

论文虽然发表了，但没有受到人们的青睐，反而受到了不少嘲笑和攻击：“迈尔荒唐透顶”，“迈尔空谈哲理”。

学术上的第二次打击，使迈尔精神上受到了很大的刺激，从此迈尔开始

脾气暴躁，不断消沉。1850年得了神经紊乱症，曾自杀，但未遂，被送到精神病院。1878年，迈尔逝世。

尽管如此，迈尔是科学史上第一个发表能量守恒和转化定律的人。

能量守恒和转化定律的发现

迈尔的经历说明，一个新的科学理论要冲破传统理论的束缚，是何等的艰难。然而，真理是压制不住的。就在迈尔苦于自己的理论得不到承认时，英国的焦耳正在进行同样的工作。

焦耳是第一个在广泛的科学实验的基础上发现和证明能量守恒和转化定律的人。

业余物理学家詹姆斯·焦耳，1818年12月24日生于英国曼彻斯特市郊，父亲开了一家酿酒厂，勉强维持家庭生活。焦耳和同龄人相比并不幸运，从小没有上过学，在父亲的酒坊里帮工。

在酒坊里，焦耳逐渐地对酿酒过程很感兴趣，便开始自学化学、物理学、数学。焦耳学习非常刻苦，除了参加酿酒劳动外，抓紧一切可以利用的时间努力学习，遇到不懂的问题便想方设法虚心请教。

通过别人的介绍，焦耳结识了当时的化学家道尔顿。这个很有影响的大化学家并没有看不起一个酒坊的帮工，而是耐心地解释他的疑难问题，并热情地鼓励他从事科学研究，敢于攀登科学高峰。

焦耳倍受鼓舞，抓住一切机会向道尔顿请教，更加如饥似渴地学习。由于道尔顿没有那么多的时间去指导焦耳，因此焦耳在科学上是靠自学成功的。

迈尔发现能量守恒和转化定律，主要是用观察和思辩的方法，而焦耳主要用的是实验的方法。

由于焦耳没有脱离酿酒厂的劳动，因此他很早就认识到了准确测量的重要性。

1840年，焦耳多次测量了电流的热效应。焦耳以伏打电池为电源，多次进行通电导体发热的实验。他把通电金属丝放入水中，测出金属丝的电阻、电流强度、通电时间，并测出水的温度变化，还分别算出电流做了多少功。

经过多次测定，焦耳发现，通电导体所产生的热量，跟电流强度的平方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电的时间成正比。这就是著名的焦耳定律。

在1842年，德国物理学家楞次也独立地发现了这一定律，故称焦耳—楞次定律。

焦耳把自己的实验成果写成论文《论伏打电池所产生的热》，提出热是能的一种形式，电能可以转化为热能。

焦耳的学术成果和迈尔的成果一样，没有受到应有的重视，遭到权威们的反对，使他的论文不能立即发表。

为了进一步从实验中证实自己的发现，焦耳又进行了各种实验，探讨各种运动形式之间的能量转化关系。

他的实验可分为四类：

1. 将水放在与外界绝热的容器中，通过重物的下落带动桨状叶轮，叶轮搅动水，水温升高；

2. 以机械功压缩气缸里的气体，气缸浸在水中，水温亦升高；
3. 以机械功转动电机，电机产生的电流通过水中的线圈，水温升高；
4. 以机械功使两块在水面下的铁片互相摩擦，水温也升高。

1843年，焦耳根据实验总结出《论水电解时产生的热》，提出无论如何安排仪器，无论电解池装入线路的哪一部分，线路所需要的全部热量正好等于电池内的化学变化所提供的热量。

在这一年，焦耳完成了热功当量的测定，第一次算出的热功当量为卫卡等于460克米。

1843年8月，焦耳在皇家学会于柯克举行的学术会议上宣读了他的论文《论磁电的热量效应和热的机械值》。他介绍了自己的实验，公布了热功当量值，明确论述了能量守恒和转化问题。

他的报告的结论是：自然界的力量是不能毁灭的，哪里消耗了机械力，总能得到相当的热。

他的论文是非常精彩的，料想不到的是，并没有得到承认和赞誉，绝大多数人的态度是怀疑，许多权威对焦耳的观点极不信任，甚至是轻蔑的态度。

焦耳并没有因为权威们的轻蔑而泄气，继续从事自己的业余研究。1844年，焦耳做了压缩空气升温实验，计算出热功当量为1卡等于443.8克米。他又要求在皇家学会宣读自己的论文，却遭到了拒绝。

焦耳仍然多次反复地做实验，1847年，焦耳做了迄今为止认为是最好的实验，就是在重物的作用下使转动着的桨和水摩擦而产生热。他还用鲸鱼油代替水进行实验。这时测得的热功当量为1卡等于427.4克米。现在公认的热功当量为1卡等于427克米。

可见，焦耳实验所达到的精确程度是罕见的。

1847年6月，焦耳要求在牛津大学举行的学术会议上宣读自己的论文。但是会议主席认为他的论文水平低，以会议内容多为借口不让他宣读，在焦耳的再三要求下，只被允许说说要点。

焦耳在会上介绍了自己的实验，并阐明自己的观点。大会主席原来不准备讨论它。但已有较高学术地位的物理学家威廉·汤姆生，即凯尔文勋爵发现了焦耳理论和传统理论的尖锐对立，激烈反对大会主席的决定，焦耳的理论才引起人们的注意和争论。

1849年，由于大名鼎鼎的电学家法拉第的力荐，皇家学会才发表了焦耳的论文《论热的机械当量》。

这样，从1840年起，焦耳用机械功生热，电流生热，压缩气体生热等不同的做功方法，进行了40多次实验，并以他各种实验结果的精确一致性，为能量守恒和转化定律建立了无可辩驳的坚实的实验基础和理论基础。

英国律师、业余物理学家格罗夫也与焦耳大体同时发现了能量守恒和转化定律。

格罗夫1811年生于英国的斯旺西，是一位律师，工作之余进行物理学和化学方面的研究，曾在伏打电池的基础上发明电压比较高的“格罗夫电池”。

他从对电的研究中发现了能量守恒和转化定律。1842年，他在伦敦作了《关于自然界的各种力之间的关系》的讲演，指出一切物理力：机械力、热、光、电、磁，甚至还有化学力，在一定条件下都可以互相转化，而不发生任何力的消失。

1846年，他出版了《物理力的相互关系》。

马克思称赞格罗夫是当时最有哲学思想的科学家，恩格斯称赞格罗夫用物理学的方法充实和发展了笛卡尔的运动守恒定理。

德国物理学家和生物学家赫尔姆霍茨，通过动物热的研究途径，发现了能量守恒定律。他认为“自然力不管怎样组合，也不可能得到无限的能量”，“一种自然力如果由另一种自然力产生时，其力的当量不变。”

但赫尔姆霍茨把自然界的一切运动形式最终都归结为机械运动形式和机械力的守恒，用吸引和排斥对一切自然过程作力学解释，不免具有形而上学倾向。

另外，丹麦工程师柯尔丁等人也同时发现或接近发现能量守恒和转化定律。

19世纪40年代初发现的能量守恒和转化定律，是19世纪的三大科学成就之一。它被几个不同国家、不同职业的人大体同时发现不是偶然的。

19世纪中期，科学研究开始从18世纪的“搜集材料”阶段进入了“整理材料”阶段，是近代科学繁荣昌盛、茁壮成长的时期。技术和科学的相互促进，使得两者都得到了迅速的发展，从而产生了科学的大综合。

当然，在能量守恒定律刚提出时，人们的理解是有历史局限性的。

有些人用“力”代替“能”，把各种复杂运动归结为简单的机械运动和“某种力的作用”，从而称为“力的守恒定律”。

有些人只强调各种运动形式的能量按照一定的数量关系进行转化，即在量的不灭性，而没有说明在质上的永恒性上，忽视了一种运动形式向其他运动形式转化的无限能力。

1853年，汤姆生在焦耳的协助下，对能量守恒和转化定律作了完整的表述：

从量的方面说，宇宙间物质运动的能量的变化，是按照一定的数量关系有规律地进行的，一种运动形式的能量变化了，必然产生另一种运动形式的能量，而且两者在转化前后的总和不变。

从质的方面说，一切物质的运动形式可以相互转化，物质运动既不能被创造，也不能被消灭。

在发现和研究能量守恒和转化定律的过程中，焦耳和其他人相比更为突出，一是他的发现具有热能、电能、机械能等多种形式之间的相互转化的广泛的实验基础，二是他获得了准确的热功当量数值。因此，常常把焦耳当做发现能量守恒和转化定律的代表人物。

为了纪念这位杰出的物理学家，后人将功、能、热量的国际制单位命名为“焦耳”。

1焦耳等于1牛顿的力使物体在力的方向上移动1米所作的功。

1889年10月11日，焦耳逝世。

19世纪50年代，能量守恒和转化定律逐渐得到科学界的普遍承认。

能量守恒和转化定律是自然界最基本的规律，深刻地反映了世界的物质性和物质运动的统一性。

热力学第二定律

能量守恒和转化定律就是热力学第一定律，或者说热力学第一定律是能量守恒和转化定律在热力学上的表现。它指明热是物质运动的一种形式，物

质系统从外界吸收的热量等于这个能的增加量和它对外所作的功的总和。

也就是说想制造一种不消耗任何能量就能永远作功的机器，即“第一种永动机”，是不可能的。

人们继续研究热机效率问题，试图从单一热源吸取能量去制作会永远作功的机器，这种机器并不违背能量守恒定律，只需将热源降温而利用其能量推动机器不断运转。

这种机器就是“第二类永动机”。然而这种机器屡遭失败，不能成功，这就需要从理论上进一步探索。

前面说过，卡诺已经接近发现了热力学第一定律和热力学第二定律，但他受热质说的影响，不能把它们表述出来。

1850年，德国物理学家克劳脲斯在研究卡诺理论的基础上，提出“一个自行动作的机器，不可能把热从低温物体传到高温物体中去”。这就是热力学第二定律的“克劳脲斯表述”。

1851年，英国物理学家威廉·汤姆生，即凯尔文勋爵也独立地从卡诺的工作中发现了热力学第二定律。

汤姆生，1824年生于英国贝尔发斯特城。父亲是皇家学院的数学教授，治学勤奋，对子女要求也很严格，1832年被聘到母校格拉斯哥大学任教，全家也迁往该城。

当这位新来的教授开始上第一堂课时，同学们发现教室多了两个漂亮的小男孩，也在津津有味地听着，他们就是8岁的汤姆生和他10岁的哥哥。

汤姆生10岁时，和哥哥正式进格拉斯哥大学预科学习，这可能是当时最小的大学生。汤姆生天资聪明，学习勤奋，表现出杰出的才能。15岁，他获得学校的物理学奖，第二年获天文学奖。17岁时，他在剑桥大学的数学杂志上发表了一篇论文，名震全校。

此后几年中，汤姆生发表了一连串的研究论文，内容包括数学、热力学和电学。

1846年，年仅22岁的汤姆生击败30多位教师候选人，获得了格拉斯哥大学的教授职位。

1847年6月，焦耳在牛津大学举行的学术会议上，阐明机械能可以定量地转化为热能，各种形式的能都可以相互转化。

汤姆生出席了这次会议，他也是传统的热质说的拥护者，认为能量不可能转化，准备反驳焦耳的观点。当焦耳用实验证明自己的观点后，汤姆生逐渐明白焦耳学说里包含的真理。

汤姆生改变初衷，不但不反驳，而且在会后和焦耳亲切地交谈起来，大有相见恨晚之意。

克劳塞在汤姆生传记中写道：“说来也怪有趣的，就是汤姆生在年青时就碰到了两个大名鼎鼎的实验家：法拉第和焦耳，可是后来却只同其中之一的焦耳，成了最投机的同志。”

当时，汤姆生正在电磁理论边缘徘徊，和焦耳的一席交谈，使他把注意力转向了热力学研究，从而在物理学的另一个领域大放光彩。

1848年，汤姆生创立了绝对温标。这种温标以 -273 作为 0° ，用于热力学计算，故称热力学温标。现在公认的绝对 0° 是 -273.15 。

因为威廉·汤姆生在1892年被封为凯尔文勋爵，所以他创立的温标被称为开氏温标，简称K（因为凯尔文又译为开耳芬）。

1815年，汤姆生提出了一条新的普通原理：不可从单一热源吸取热量，使之完全变成有用的功而不产生其他影响。这就是热力学第二定律的凯尔文表述。

凯尔文表述揭示了热运动的自然过程是不可逆的，制造第二种永动机也是不可能的。

1852年，汤姆生和焦耳合作，发现了著名的汤姆生——焦耳效应：气体从高压的空间经过多孔性物质流向低压空间时，温度要降低，但氢气除外。

这个效应被广泛地用于获得低温的技术上。

1853年，汤姆生对能量守恒和转化定律做了完整的表述。

汤姆生还把热力学第一定律和热力学第二定律具体应用到热学、电学和弹性现象等方面，对热力学的发展起了很大作用。

热力学第二定律后来被归纳为三种表述形式：

1. 热量总是从高温物体自动传到低温物体，不能作相反传递而不带来其他变化。

2. 功可以全部转化为热，但任何热机不能全部地、连续不断地把所受的热量转变为功，人们无法制造第二种永动机。

3. 在孤立系统中，实际发生的过程总是使整个系统的熵值增加，所以热力学第二定律又称“熵增加原理”。

克劳脣斯的推断

1865年，克劳脣斯引入了一个直接反映热力学第二定律的概念——熵，用它来表示某一种状态可能出现的程度。如果物体的温度为 T ，它的热量为

$$Q, \text{ 则熵 } S = \frac{Q}{T}.$$

这里很显然地看出，同样大的能量，如果温度高，则熵大；温度低，则熵低。由于热量从高温物体传向低温物体，因此，一个相对独立的系统总是要沿着熵增大的方向运动。

热机的工作也是熵增加的过程，当熵达到最大或可用的热能最小时，热机就不再作功了，整个系统能量守恒，处于热平衡状态。熵的概念说明了热学过程的不可逆性。

但是，克劳脣斯把热力学第二定律推广到无限的宇宙中去，得出了“热寂说”的结论。

1867年9月，克劳脣斯在第41届德国自然科学家和医生代表会上，做了题为《论热之唯动说的第二原理》的报告，稍后扩充为《论热力学第二原理》的著作。

在这部著作里，克劳脣斯认为，整个宇宙的运动逐渐地、更多地转变为热，热逐渐从较热的物体转移到较冷的物体，这样各个物体所存在的温度上的差别趋向平衡。

克劳脣斯进一步推断：“在所有一切自然现象中，熵的总值永远只能增加，不能减少，因此，对于任何时间、任何地点所进行的变化过程，我们就会得到这样一条简单规律，就是宇宙熵力图达到某一个最大的值。”

“宇宙越接近这个极限状态，宇宙就越消失继续变化的动力。最后，当

宇宙达到这个状态时，就不可能发生任何大的变动。这时宇宙将处于某种惰性的死的状态中。”

这就是克劳脲斯对热力学第二定律推论后得出的，整个宇宙的温度必将达到均衡从而形成不再有热量传递的所谓“热寂”状态，被称为“热寂说”或“热死说”。

热力学第二定律是一个科学定律，是不能违背的。但是热力学第二定律只发生在某个有限的孤立系统中，因此热动平衡总是有限的，有条件的，相对的。而克劳脲斯否定了热动平衡的条件性，从而作出了不恰当的推论。

就整个宇宙而言，宇宙中的运动是无限的，既有物质运动由高能状态到低能状态的分散，又有由低能状态到高能状态的聚集。恩格斯说：“放射到太空中去的热一定有可能通过某种途径转变为另一种运动形式，在这种运动形式中，它能够重新集结和活动起来。”

因此，宇宙中的热动状态，只能在局部上趋向平衡，而又在总体上破坏平衡，使整个宇宙根本不可能最终达到热平衡状态。

从蒸汽机到内燃机

通过对热机的研究，人们总结出了热力学第一定律和第二定律，它说明了热运动的一般规律，但是热运动的本质是什么呢？

从 19 世纪中期起，科学家们通过对气体分子运动的研究，对热现象进行微观解释，使热学进入到分子运动的水平。

通过对热力学和热学的研究，提高了蒸汽机的效率，但是蒸汽机本身有难以克服的缺点。

由于蒸汽机的锅炉需承受重压，必须用结实的材料制造，使蒸汽机很笨重；蒸汽机操纵复杂。锅炉的燃烧需有经验的人专门看管；蒸汽机启动慢，不能随意停止；蒸汽机锅炉容易爆炸，危险性大。

更大的缺点是蒸汽机的热效率低，一般只有 5%~8%，最好的也不超过 10%~13%。由于蒸汽机的锅炉和汽缸是分离的，锅炉在外面燃烧，把燃料的热能传给蒸汽机后再转化为机械功，这种外部燃烧的热损失较高，因此蒸汽机的效率难以提高。

在蒸汽机发展的同时，有人开始研究把外燃改为内燃，也就是不用蒸汽做工作介质，利用燃烧后的烟气直接推动活塞运动，把锅炉和汽缸合并起来，这就是内燃机。

1794 年，英国工程师斯垂特在研究瓦特蒸汽机的基础上，制造了一台笨拙的内燃机，需要用人力把空气压入汽缸，然后喷入液体燃料，松节油或板油，再点火。

1799 年，法国工程师蓝蓬提出了以煤气作为燃料，用电火花来点火的内燃机设计方案。

其后，英国工程师赖特设计爆发式内燃机，意大利工程师巴尔桑第研制自由活塞式内燃机，等等。

到 1860 年，法国工程师雷诺终于制成第一台实用的爆发式内燃机。这是一台单缸双动发动机，以煤气为燃料，活塞在它的前半冲程吸入煤气和空气的混合气，接着用电火花点燃，于是膨胀气体推动活塞完成后半个冲程。汽缸的另一半部进行同样的过程，将活塞推回。

这台内燃机的热效率只有 4%，电火花点火也不可靠，但它第一次成为带动其他机构的动力机。欧美报刊纷纷介绍，促进了内燃机的发展步伐。

雷诺内燃机的使用，使人们开始探索内燃机理论。卡诺在研究热力学时曾涉及到内燃机的基本原理，提出了压缩点火的可能性。

1862 年，法国工程师德罗夏发表了内燃机理论，阐述了取得最高效率和最佳经济性能所需要的条件。他明确指出，要制造性能好的内燃机，必须使气体尽快膨胀到最大，并尽量提高膨胀的初始压力，如不能很好地满足这些要求，就会浪费大量气体。

德罗夏提出了实现这些要求的具体步骤，就是把活塞运动分为四个冲程：

吸收冲程：活塞下移，汽缸形成真空，并吸入油气燃料；

压缩冲程：活塞上移，压缩进入汽缸的油气；

爆发冲程：当活塞升到顶端时，电火花引爆油气，气体迅速燃烧膨胀，活塞下移带动传动机作功；

排气冲程：活塞再次上升时，把燃尽的气体排出汽缸，回到第一冲程开始前的状态。

这种发动机就是四冲程内燃机，在当时是不浪费气体的最好的内燃机，以后的内燃机大多利用这个原理。

德罗夏提出四个冲程，只对内燃机理论作出了贡献，并没有实际制造出内燃机。他的理论发表在法国的一家地方刊物上，并没有引起人们的重视。

当时，德国的奥古斯特·奥托也想发明比蒸汽机性能更好的内燃机，煞费苦心地进行设计和研制，但进展不大。一个偶然的的机会，他发现了德罗夏的论文，觉得很有道理，便按德罗夏的理论进行研制。

1876 年，奥托成功地制造了第一台四冲程内燃机，并取得了专利权，因此通常把内燃机的发明归功于他。奥托内燃机体积小，重量轻，消耗的煤气少，功率也比较大，在 1878 年巴黎万国博览会上展出，受到极高的评价。

自此，越来越多的工厂采用这种发动机来代替蒸汽机。内燃机的历史从此开始。

但是奥托煤气内燃机有许多不便之处，不能作为船舶、车辆等运输机械的动力。

1859 年，美国的宾夕法尼亚州打出了世界上第一口油井。此后，石油产量不断提高，汽油、煤油、柴油逐渐成为广泛应用的新燃料。

1883 年德国工程师完成了汽油内燃机，1885 年英国的普雷斯特曼研制出煤油内燃机，1892 年德国人狄塞尔制造了第一台自动点火的柴油内燃机。

内燃机的发明，产生了动力机的一次新革命。内燃机不仅效率高，而且种类多，用途广泛，它推动了交通运输业革命，使汽车和飞机制造业迅速发展起来；引起了农业生产的机械化变革……

牛顿确立微粒说

近代物理学在力学、热学方面取得了巨大成就，同时光学也获得 f 发展。

光是人们最经常碰到的自然现象。很久以前，人们就发现了光的直线传播和反射现象。

从 16 世纪末开始，由于制镜业的发展，磨制凸透镜、凹透镜的技术不断

提高，随之望远镜、显微镜、各种眼镜、棱镜等不断地得到使用。光学仪器的发展，为光学研究奠定了物质基础。

1604年，开普勒在发表的光学论文中，对光的直射、折射和视角现象进行了理论探讨，并认为光的强度与光源距离的平方成反比而衰减。

1621年，荷兰数学家斯涅尔发现了光的折射定律。当光从一种媒质进入另一种媒质时，光在两媒质的交界面上改变原来的传播方向而发生折射。

他发现，在光的折射现象中，折射线和人射线位于法线两侧，且这三条线位于同一平面内；入射角的正弦与折射角的正弦之比，为一定值，且其值由入射光波与两媒质的性质来决定。

1637年，笛卡尔也独立地发现了光的折射定律，并对光的折射现象进行了解释。

他认为光是由微粒实体组成的，当光微粒碰到反射面后，按照力学定律被弹射回来，就产生了反射。折射是由于光微粒受密度较大的媒质的阻力，而动速度减慢所产生的。

1655年，意大利物理学家格里马第发现了光的衍射现象。他通过实验发现，白光束平常走的是直线，但在遇到障碍物时，就沿障碍物的边界弯曲。物影比其本身大，并同时形成有颜色的边沿。

格里马第把这种现象叫做“衍射”，这种现象是用笛卡尔的微粒说所解释不通的。他在实验中发现，衍射现象和水的波浪很类似，便提出了光的波动说，认为光是一种能够作波浪式运动的流体。

胡克提出光是“以太”的纵向运动，振动的频率决定光色。

牛顿是17世纪光学的集大成者，对光的颜色问题和本性问题进行了大量的研究，为光学做出了贡献。

1672年，牛顿发表了《关于光和色的新理论》的论文。他发现白光可以分解为不同颜色的光，即色散现象，这是光学中的重要突破。

他还发现，用一个曲率半径大的凸透镜和一个平面玻璃相接触，用白光照射时，其接触点出现明暗相间的同心彩色圆圈，用单色光照射，则出现明暗相间的单色圆圈。这是由于光的干涉造成的，这种光学现象被称为“牛顿环”。

在这篇论文里，牛顿提出了光的本质微粒说。在解释光的颜色的复合和分解时，他说：“由不同颜色汇合而成的那种变化的颜色也不是真正的颜色，因为当这些不同的光线再被分开时，它们就会显示出汇合以前它们所固有的那种颜色。”

他接着说：“正像你看到当蓝和黄的粉末细致地混和时，对肉眼看来是绿的，但是那些成分的粒子的颜色并没有因为混和而真的发生了变化。只是混和了而已。”

牛顿的微粒说遭到了胡克的反对，引起了关于光的本质的微粒说和波动说之争的序幕。

真正的波粒之争是在以牛顿为代表的微粒说和以惠更斯为代表的波动说之间展开的。

1678年，惠更斯向法国科学院提交他的光学著作《光论》，原名是《关于光的理论》，其中解释了发生于反射和折射，尤其是冰洲石中的奇异折射的原因，1690年出版。

在这部著作里，惠更斯系统地提出了光的波动说理论。

他认为，光是一种机械波，是由光源的振动发出的。从光源发出的波为子波，从波面各点发出的许多子波形成了包面。在一定时间内，光以一定的波的形式传播到新的波面。光波发出的光是向四面八方传播的球面波，光沿着与球面波垂直的方向传播，这种波使它临近的介质振动。传播光的介质是以太粒子。

光的波动说不是惠更斯最先提出来的，但却是他最先进行了理论总结，因此，惠更斯成为波动说的代表人物。

波动说比较好地解释了光折射、衍射和干涉，得到很多科学家的支持。

为了反驳惠更斯的波动说，牛顿在 1704 年出版了他的重要著作《光学》，系统地解释了微粒说。

牛顿指出：“光线是否是发光物质发射出来的很小的物体？因为这样一些物体能直线穿过均匀媒质而不会弯到影子区域里去，这正是光线的本性。”

他又说：“为了说明光线一阵容易反射，一阵容易透射的猝发现象，我们并不需要别的，而只要把光线看作是微小的物体，这些微粒用它们的吸引力或某种其他的力在它们对之作用的物质中激起振动，这些振动比光跑得更快，连续不断地赶上光线，并激动它们，乃至轮流地增加或减少它们的速度，从而使它们处在一阵一阵的猝发状态之中。”

牛顿根据微粒说，解释了一些光的性质。

由于惠更斯在 1695 年逝世后，没有人代表波动说和牛顿论争，同时由于牛顿在科学界的威望非常高，从而使微粒说在 18 世纪处于统治地位。

在那个世纪里，光的微粒说被普遍地接受，只有欧拉和富兰克林赞成波动说，但仅仅是赞成而已。

然而，光的微粒说是有缺点的，它在理论上没有说明光运动中光粒子之间如何吸引或排斥，更谈不上测定这种引力和斥力的大小。另外，它在解释光的衍射现象时也遇到了困难。

事实上，牛顿并不完全排斥波动说，并试图把这两种观点统一起来，只不过是偏向微粒说而已。

电学大进步

电学成为独立学科

美国人富兰克林以非凡的勇气向苍天取电，唤起了人们对电学研究的兴趣，但是向老天爷要电毕竟是非常危险的。在富兰克林捕捉雷电的第二年，俄国物理学家李希曼在一次雷电实验中光荣地献身了。

于是人们还是靠摩擦起电或者用莱顿瓶储存的电荷来做实验，但是从莱顿瓶获得的只是瞬时电流，如何获得持续的电流呢？

人们的不断探索，促进了近代电学的发展。

在富兰克林之后最早进行电学研究的英国化学家普利斯特列和卡文迪许。他们进行了火花放电实验，几乎得出静电力的平方反比定律。

1785 年，法国物理学家库仑进行了扭秤实验，得出了两个点电荷之间的相互作用力的平方反比定律，这个定律现在表述为：两个点电荷间的作用力跟它们的电量的乘积成正比，跟它们间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连接线上。

为了纪念库仑，后人把这一定律称为“库仑定律”，把电量的度量单位命名为“库仑”，简称“库”。

库仑定律的发现和证实，标志着电学开始成为一门独立的学科。

1780年，意大利医生伽伐尼在一次偶然的事件中发现火花放电能使蛙腿的肌肉产生痉挛。之后，他又发现，如果把两种不同的金属导体分别与蛙腿的神经和肌肉接触，在连接两个导体时，蛙腿同样会产生痉挛。

伽伐尼事实上已发现了电流，发现了电流对蛙腿的生理作用。但他却认为这是由动物产生的动物电，便提出动物组织含有动物电。1791年，伽伐尼发表了《论肌肉运动中的电作用》的论文，阐述了自己的看法。

伽伐尼的发现引起了意大利电学家伏打的重视。伏打从17岁开始就致力于电学研究，在1775年发明了起电盘，这是利用感应起电使物体带电的装置。这种电盘既可产生负电荷，又可产生正电荷，所产生的电荷量要比格里凯起电机大。

在此基础上，伏打试图发现稳定的电荷，进行不断的实验。

当他读到伽伐尼的论文后，立即重复了他的实验，相信了动物电的存在。但当他进一步进行实验时，便否定了这一观点。

在无数的实验中，伏打发现，用一根铜线作为一端，当另一端用银导线时，蛙腿痉挛强烈；当另一端用铁导线时，蛙腿只是轻微的颤动。

这使伏打很奇怪，动物电存在于它的肌肉中，在改变导线时，蛙腿的痉挛不应该发生变化，难道是电来自于金属导线，而不是来自于肌肉吗？

伏打很兴奋，又做了这样的实验。当他把两种不同的金属相互接触时，中间没有蛙腿，而是皮革、湿的硬纸等东西，同样有电流产生。

这就证明了电确实是来自两种金属的接触，而不是蛙腿。他又在实验中发现，用两条性质相同的金属线接触时，不能产生电流。

伏打在一系列的实验中认识到，蛙腿痉挛只是放电过程的一种表现，两种不同金属的接触才是电流现象的真正原因。

伏打进一步地用电位计测定了各种金属接触时的电位差，把各种金属排了成锌——铅——锡——铁——铜——银——金的电位序列，指出当这序列中的任意两种金属接触时，前者带正电，后者带负电，这种原来不带电的两种不同的金属相互接触时产生电荷的现象，就是接触电现象。

1800年，伏打根据这一认识发明了世界上第一个稳定电源——伏打电堆。他把金属制成金属片，将一张锌片和一张铜片接触在一起，锌片和铜片中间放浸湿盐水的布片成为一组，这样一组一组地堆在一起。当把锌片的一端和铜片的一端用导线连接起来时，便获得了连续而稳定的供电装置。

后来，伏打又制成最早的电源——伏打电池。这是将铜片和锌片放在盛有盐水和稀酸的容器中，将铜片和锌片用导线连接起来，从而提供持续的电流。

从此，人类就有了提供持续电流的稳定电源。

电池的发明是物理学上的一大创举，为电学研究提供了重要的物质基础，为电解、电照明、电极、电话等提供了能源，人类利用自然力进入了新的阶段。

1807年，英国化学家戴维利用电解法，发现了钾和钠两种新元素，举世瞩目。接着，他利用2000对铜锌片制成照明用的电弧灯，照亮了世界。

伏打电池的发明一方面推动了电化学的发展，一方面直接促成了电磁学

的诞生。

电学家

对电磁学做出伟大贡献的有法拉第、欧姆、奥斯特、安培、麦克斯韦等。丹麦物理学家奥斯特最先发现了电和磁之间的联系。

且说 1820 年 7 月 21 日，丹麦哥本哈根大学响起了清脆的铃声，物理实验室已经坐满了学生，年富力强的奥斯特教授精神饱满地带着伏打电他走了进来，为学生们上实验课。

当他接通电池时，突然发现放在电池旁边的磁针发生了偏转，改变了原来的位置，在垂直于导线的方向停了下来。

学生们对这一现象丝毫没有感觉，但奥斯特却激动万分。

在 19 世纪以前，近代电学和磁学的先驱及其后来人，一直把电和磁作为独立的互不相关的现象进行研究。在电和磁之间是否存在什么关系呢？从 1807 年起，奥斯特就致力于电的各种效应的研究，隐约地认识到电和磁之间存在某种联系，但找不出什么证据。

经过 10 多年的探索，进展不大。当他在课堂上看到通电后引起的磁针偏转时，怎能不激动呢！

奥斯特意识到这是一项重大发现，下课后，立即进行了各种分析实验。

他用导线又接通了伏打电池，当磁针垂直地放在导线的位置时，磁针并无变化；当磁针平行地放在导线的位置时，磁针立即偏转，直到与导线垂直为止。他再把磁针放在一定的位置上，当伏打电池接通时，磁针发生了偏转，当关闭电源时，磁针就恢复到原来的状态。

奥斯特又进一步地试验了不同的金属导线，发现磁针的偏转几乎一样。

他又在导线和磁针之间放一块硬纸板隔离，在接通电源时，磁针仍然偏转，甚至在中间放上玻璃、石头、水、金属时，磁针照样偏转。

通电导线为什么会使磁针偏转呢？奥斯特进行了理论的探讨。他认为磁针的偏转是由于电荷的流动引起的，磁针的偏转方向和电荷的流动方向密切相关。由于导体中的电流会在导体周围产生一个环形磁场，因此，磁针在这个磁场范围内，无论是改变电流的方向，还是改变磁针与导线的位置，都会引起磁针的偏转。

这是电流磁效应的最初发现。

1820 年，奥斯特的论文《磁针电抗作用实验》在法国的科学杂志《化学与物理学年鉴》上发表。奥斯特在论文中介绍了自己的研究成果。

奥斯特的发现把电学和磁学结合起来。从此，电磁学的研究在欧洲主要国家里蓬勃地开展起来。

奥斯特的论文在法国发表后，引起了一个法国人的极大兴趣。

他就是安培。安培 1775 年 1 月 22 日生于里昂，幼年时表现出数学上的天资，是个神童。1802 年，安培发表了概率论方面的论文，引起了科学界的注意。

当安培得知奥斯特发现电和磁之间的关系时，便放弃了已奠定一定基础的数学研究，而转向物理学领域，并有一系列的发现。

安培在重做奥斯特的电流使磁针偏转的实验基础上，提出用来判定电流磁场方向的右手螺旋定则。

对于直线电流，判定的方法是，用右手握住导线，让伸直的大拇指指向电流方向，那么，弯曲的四指所指的方向就是磁力线的环绕方向。对于通电的螺线管，判定的方法是，右手握住螺线管，让弯曲的四指指向环形电流方向，那么，伸直的大拇指所指的方向就是磁力线方向。

在实验中，安培发现不仅通电导线对磁针有作用，而且两根通电导线之间也有作用。两根平行通电导线之间，同向电流相互吸引，反向电流相互排斥。

1821年，安培探索了磁现象的本质。他认为物体中的每个分子都有圆形电流，即分子电流，分子电流产生磁场，使每个分子都成为一个小磁体。当物体内部的分子电流杂乱无章地排列时，它们的磁性相互抵消，而使物体不显示磁性；当物体内部的分子电流取向一致时，至少是部分地一致时，就使物体显示出磁性。

这样，安培初步揭示了电和磁的内在联系，他的观点和现代观点非常接近。

安培又对电流产生磁力的规律进行了研究，提出了安培环路定律，用来计算任意几何形状的通电导线所产生的磁场。

后人为了纪念他，把电流强度的单位命名为“安培”，简称“安”

伏打电池不仅促使奥斯特、安培对电学的研究，同时德国中学教师欧姆也对电学表示了极大的兴趣。

欧姆在教学过程中自制了许多电学仪器和材料，进行了大量的实验，发现了欧姆定律和电阻定律，取得了很大的成就。

在实验中，欧姆发现对同一个伏打电池，用不同的金属材料做导线时，所产生的电流强度不一样，并且与导线的长度也有关系。那么，电流强度、导线材料、电动势之间是什么关系呢？

在对导体材料的研究上，欧姆提出了电阻的概念，并发现了电阻定律，即导体的电阻与它的长度成正比，与它的横截面积成反比，与导体的材料也有关系。

1826年，欧姆发现了欧姆定律。部分电路的欧姆定律是：导体中的电流强度，跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体的电阻成反比。

全电路的欧姆定律是：电路中的电流强度跟电源的电动势成正比，跟整个电路的电阻（外电路电阻和电源电阻）成反比。

为了纪念欧姆，后人将电阻的单位命名为“欧姆”，简称为“欧”

屡建奇功的英雄

在研究电磁学的人中，法拉第是一位屡建奇功的英雄。

1791年9月22日，迈克尔·法拉第出生于英国萨里郡的一个铁匠家庭。由于家里贫穷，生活都难以维持，就谈不上送法拉第去读书了。1796年，为了摆脱贫困，父亲带着全家来到繁华的伦敦，住在曼彻斯特广场一家马厂行的楼上。

环境虽然变了，但是生活的贫困依然没有改变，童年的法拉第只好在曼彻斯特广场和查里斯大街度过。

1804年，法拉第到附近黎保的书报店当报童，第二年转为店里的装订工人。利用装订书籍的空闲，法拉第贪婪地阅读着刚订好的书。书籍开阔了他

的视野，增长了他的知识。

在阅读的大量书籍里，法拉第被《大英百科全书》中的电学部分和玛西特夫人的《化学对话》所描述的奇妙现象深深地吸引住了，便按照书中的内容进行了一些简单的实验。

法拉第没有想到，正是书中的奇妙现象，促使他学习科学知识，并改变了自己的命运，最终成为伟大的科学家。

1812年，法拉第作为一名装订工的学徒已经期满，为了生活，也为了自己的志趣，他又成为法国人罗歇的印刷所装订工。

这一年，法拉第听了一次皇家学院大化学戴维的化学讲演，并且能够听懂。他非常高兴，多年来自己对化学知识的学习已经达到了一定的程度。

接连几天，法拉第总是在想：要是能到皇家实验室去工作，那该多好啊！强烈的科学欲望促使他冒昧地给皇家学会会长班克斯写了一封信，恳求获得一份科研工作。结果是可想而知的，信发出后如石沉大海，毫无音讯。

法拉第并不死心，决定再给戴维写封信，碰碰运气。

碰巧的是，皇家学院解雇了一名助理实验员，法拉第又以他的化学知识和见解受到戴维的赏识。这样，法拉第成为戴维的助手，踏上梦寐以求的科学征途。

一开始，法拉第在实验室的工作是，洗瓶子、擦桌子、扫地板，与其说是助手，倒不如说是实验室的勤杂工、戴维的仆人。

但是没过多久，法拉第就向戴维证明了，他比一个勤杂工要高明得多。他头脑灵敏，有分析力，不时恭敬地提出一些建议，令戴维刮目相看，于是戴维允许他参加自己的各项实验工作，而他也能比较准确地完成各项任务。

1813年10月1日，戴维夫妇去欧洲大陆旅行。法拉第作为戴维的“哲学助手”陪伴他到欧洲各大城市去讲学。

法拉第在日记中写道：“今天早晨迎来了我一生中的新时代。在我的记忆中，我从未到过离伦敦12英里以外的地方，现在我可能要离开它若干年，去访问那些遥远的地方。”

在旅行期间，法拉第游历了巴黎、罗马、米兰等城市，结识了许多有名的科学家。

1816年，法拉第在戴维的指导下发表了第一篇论文：《多斯加尼本土生石灰的分析》。1825年，他第一次在实验中制取了苯。这一年，在戴维的推荐下，法拉第被任命为皇家研究院实验室主任。

丹麦物理学家奥斯特发现了电流磁效应，法国物理学家安培研究出电流产生磁力，使欧洲大陆掀起研究电磁学的热潮。在这一领域，英国相对落后，1821年9月，奥斯特的实验成果传到英国后，戴维和法拉第立即进行了实验。

不久，戴维要从事其他研究，法拉第就单独进行电和磁之间现象与本质的研究。

既然电流能产生磁力，那么磁力能否产生电流呢？法拉第按这一设想进行实验。

当法拉第还是一个装订工时，就对电学产生了兴趣，在伏打电池的吸引下做过最初的实验，在担任戴维的助手后，即进行了一系列的电学实验，从而为电磁学研究打下了良好的基础。

1831年，法拉第成功地做出了磁生电的实验。

在一个圆磁铁环的两边，各绕上绝缘的互不相连的线圈，把一组线圈的

两端与电流计相连，当他把另一组线圈与伏打电池接通时，发现电流计的指针立即发生了偏转；而当电源接好后，指针又回到原来的位置。当切断电源时，指针又偏转了，然后又回到了初始位置。

始何解释这种现象呢？经过反复的实验和思考，法拉第认为：当接通电源时，由电流产生的磁力线影响了另一组线圈，使它带上电流，因此电流计的指针发生了偏转。而切断电源时，指针又动，说明电流的产生与磁力线的运动有关。

这样，法拉第发现了电磁感应现象：当穿过闭合电路的磁通量发生变化时，电路中就有电流产生，这个电流就是感生电流。

后来，他进一步确立了电磁感应的基本定律，被称为法拉第电磁感应定律：电路中感生电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化成正比。这一发现成为现代电工学的基础，用于发电、送电等技术。

法拉第在电磁感应的基础上，制成了一架仪器，能使磁针不停地围绕着固定的导体旋转，从而弄清楚了电动机的工作原理。遗憾的是，他没有对电动机进行进一步的研制，又转入电化学的研究。

感生电流的发现，充分揭示了磁和电的内在联系，电不仅能转化为磁，而且磁也能转化为电。同时，为人类利用新能源开辟了前景，预示着人类将要进入电气时代。

1833年，法拉第在实验中得出两条电解定律，被称为法拉第电解定律。

法拉第第一电解定律是：电解时，在电极上析出的物质的质量和通过电解液的电流强度及通电时间成正比。

法拉第第二电解定律是：一定量的电量所析出的物质的质量与该物质的化学当量成正比。

在发现电解定律的过程中，法拉第最先使用了电极、阳极、阴极、离子、阳离子、阴离子等名词。

1843年，法拉第第一个证明了电荷守恒定律，认为电荷既不能被创造，也不能被消灭。只能在物体内或在几个物体之间相互转移，电荷的代数和是守恒的。

法拉第还提出了电场、磁场、电力线、磁力线的概念，否定超距作用说，认为电力和磁力是通过电场和磁场传递的，并用电力线和磁力线直观描述电场和磁场。

1845年9月，法拉第在一次实验中发现了旋光效应，这就是著名的法拉第效应。在他用磁力线测试不同物体的磁效应时，发现透明固体和液体中的光的偏振面发生了旋转。对此，法拉第解释为“光线被磁化了”，这实际上是后来光的电磁说的萌芽。

上述成就是法拉第在各种自然力是统一的前提下长期探索的结果。

法拉第杰出的实验成就奠定了电磁学的基础，开创了电磁学研究的新时代。

由于法拉第没有受过正规教育，完全靠自学走上科学道路，对数学是不精通的。虽然在实验中发现了感生电流、电解定律、旋光效应，取得了杰出的成就，但对它们无法进行充分的数理分析和论证，以致有人说他的《电学实验研究》是一个实验报告汇编。

运用数学方法进一步总结当时的实验电磁学成就，建立经典电磁学理论大厦的，是英国科学家麦克斯韦。

电磁学理论创立人

今天，我们生活在电波世界里，电视、广播、通讯、雷达等，都是通过电磁波来传播信息的。然而在上个世纪前期，人们根本不知道什么是电磁波。

有一位物理学家，从理论上总结了人类对电磁现象的认识，创立了电磁学理论，预见电磁波的存在，在科学上取得了伟大的成就。他的成就可与牛顿和爱因斯坦相提并论，可是很少有人知道他的名字。

他的名字叫詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。

1831年11月13日，麦克斯韦出生在苏格兰古爱丁堡。恰好是这一年，法拉第发现了感生电流。

麦克斯韦的父亲是一名律师，但对科学技术非常热心，经常去听爱丁堡皇家学会的科学讲座，这对幼年的麦克斯韦有一定的影响。

麦克斯韦小时候总是提出各种各样的问题。当他看到清晨的太阳冉冉升起时，便问“太阳为什么是红的？”当看见树木郁郁葱葱枝繁叶茂时，便问“树木为什么朝天上长？”当看见夜晚的天空繁星闪烁时，便问“天上的星星有多少颗？”

对于儿子天真无邪的提问，父亲很高兴。他是一个思想开放、讲究实际的人，既然儿子对自然科学感兴趣，就带着儿子一起听科学讲座，使小麦克斯韦受到了不少科学熏陶。

麦克斯韦在8岁时，母亲不幸因病去世，从此和父亲相依为命。10岁时，他进入爱丁堡中学学习，非常勤奋。课外，其他同学都玩去了，只有麦克斯韦一个人躲在教室里，专心致志的演算数学题。

在他13岁时，学校举行了数学和诗歌比赛，两科比赛的一等奖是同一个人。这个人不是别人，正是出类拔萃的麦克斯韦。

14岁时，他写了一篇数学论文——《关于椭圆曲线的作图和多焦点椭圆曲线》，发表在《爱丁堡皇家学会学报》上，显示了数学才华。他的父亲感到非常自豪。

1847年，16岁的麦克斯韦中学毕业后，考入苏格兰最高学府爱丁堡大学，学习数学物理。

他的成绩依然是最优秀的。有一次，他指出一位讲师的公式推导有错误，这位讲师根本不相信，并说：“这是不可能的，如果要是你的推导对了，我就叫他麦式公式。”然而，讲师经过仔细的验算，还是自己错了。

在爱丁堡大学，麦克斯韦又发表了两篇论文：《关于旋输线》、《论弹性体的平衡》，使他的数学水平进一步提高，为后来经典电磁学理论的建立打下了良好的数学基础。

1850年，麦克斯韦考入剑桥大学三一学院。

麦克斯韦在这里读了大量的科学专著。他的学习方法不是循序渐进，井井有条，而是不注意系统性。有时候，为了钻研一个问题，往往几个星期都目不旁顾；有时候，又见到什么读什么，五花八门，漫无边际。

勤奋学习和善于思考的麦克斯韦，需要名师指导，才能放出异彩。

剑桥大学著名的数学家和物理学家霍普金斯，有一天去图书馆借一部数学专著，不巧被人借走了，扑了个空；一天再去借一本数学期刊时，又被人捷足先登了。

书刊没有借到，又浪费了宝贵的时间，对于特别珍惜时间的教授来说，怎能不心烦呢。为了查找一个资料，霍普金斯便问图书管理员，是谁借去了这本书。

“被麦克斯韦借去了。”

“这本书很深奥，学生是难以看懂的，这个学生借这本书干什么呢？”

霍普金斯这样想着，强烈的好奇心驱使他来到麦克斯韦的宿舍。只见房间乱糟糟的，他要借的书摊在桌子上，另外还有几本书横七竖八地摆着，一个小伙子正在认真的攻读，埋头在摘抄，笔记本上涂得乱七八糟。

凭直觉，这不是一般的学生，将来定能有所建树，霍普金斯高兴地说：“小伙子，无论是生活还是学习，都要有秩序，否则是难成大器的。”

就这样，麦克斯韦幸运地得到了这位著名教授的器重，可以说是伯乐智识千里马。

霍普金斯首先帮助麦克斯韦克服了杂乱无章的学习方法，并对他进行了严格的训练，每一个选题，每步运算都要求极严。

麦克斯韦在名师指点下，很快掌握了当时所有先进的数学方法，并对光、热、电、磁等各种物理问题产生了浓厚的兴趣，成绩优异，在毕业学位考试中，获得第二名。

霍普金斯为有这样的学生而感到自豪，他说：“在我教过的所有学生中，毫无疑问，这是我遇到的最杰出的一个！”

在剑桥大学的学习过程中，麦克斯韦打下了良好的数理基础，同时也在教授的指导下练就了娴熟的实验技巧，为以后的研究和用数学分析方法总结实验成果铺平了道路。

1854年，麦克斯韦在剑桥大学毕业，即留校任教，开始了他的教学和科学生涯。

工作不久，麦克斯韦读到了法拉第的名著《电学实验研究》，立即被书中的实验和新颖的见解吸引住了。

作为实验大师，法拉第有许多过人之处，但是他几乎没有数学功底，只能用直观的形式来表达他的创见。当时，“超距作用”的传统观念还影响很深。因此，一般的理论物理学家都瞧不起法拉第，对他的工作不以为然。

甚至有位天文学家公开宣称：“谁要是在精确的超距作用和模糊的力线观念之间有所迟疑，那简直就是对牛顿的亵渎！”

但麦克斯韦通过对法拉第著作的刻苦攻读，相信其中包含的真理，并悟出了力线思想的宝贵价值。这位初出茅庐的青年科学家决心用数学定量表述来丰富法拉第的电磁理论。

麦克斯韦精心研究了法拉第的“力线”概念，在1855年发表了第一篇电磁论文——《论法拉第的力线》。通过数学方法，他把电流周围存在磁力线的特征，概括为一个矢量微分方程，导出了法拉第的结论。

这一年，法拉第告老退休，结束了30多年的电磁学研究，在科学笔记上写下了最后一页。而麦克斯韦以这篇论文接过了法拉第手中的熊熊火炬，开始向电磁学领域的纵深挺进。

1860年，麦克斯韦受聘于伦敦皇家学院。

在研究电和磁的关系中，以前一直认为电流产生磁场，这个电流是指传导电流，法拉第也是这样认为的。麦克斯韦在实验中有了新的发现。

把两块中间夹着介质的金属板，也即是电容器，接在交变电源上，介质

内并不存在自由电荷，也就是没有传导电流，但磁场却同样存在。

这个磁场是怎样产生的呢？麦克斯韦经过研究和分析，认为这里的磁场是由另一种类型的电流产生的，这种电流存在于任何电场变化的电介质中。他把这种电流称为“位移电流”，指出在位移电流的周围空间同样产生磁场，这种磁场和传导电流产生的磁场完全一样。

1862年，麦克斯韦发表了《论物理力线》的论文。这篇论文是他在电磁学理论方面的第二篇论文，已经不再是法拉第观点的数学翻译了，而是有了重大的引申和发展，首创了“位移电流”的新概念，指出不仅变化的磁场产生电场，而且变化的电场也产生磁场。

在这篇论文中，麦克斯韦还预见了电磁波的存在。在研究电场和磁场的交相变化过程时，他认识到这种相互变化的电磁场以波的形式向空间散布，由近及远。

他还对电磁学的定律进行了高度的概括，写出了数学方程，导出了电磁场的能量密度和电磁波的能量密度，指出电磁波就是能量的流动过程，从而说明了电磁波的物质性。

但是麦克斯韦并没有用实验来证实电磁波的存在。

1864年，麦克斯韦发表他的第三篇电磁学论文《电磁场的动力学理论》。在这篇论文里，麦克斯韦方程更完备了，它导出了电场与磁场的波动方程，其波的传播速度正好等于光的速度。这启发他提出了光的电磁学说，指出光也是一种电磁波，只不过是一种频率很低的电磁波，从而进一步认识了光的本质。

1873年，麦克斯韦出版了他的电磁学专著《电磁学通论》。

这部著作全面而系统地总结了电磁学研究的成果，成为电磁学的经典理论著作。这部著作的巨大意义，可与牛顿的《自然哲学数学原理》相媲美。如果说帕然哲学数学原理》是对经典力学的大综合，成为力学发展的里程碑，那么《电磁学通论》就是对电磁学的大综合，成为电磁学发展的里程碑。

在这部著作里，麦克斯韦以他特有的数学语言，建立了电磁学的微分方程组，揭示了电荷、电流、电场、磁场之间的普遍联系。这个电磁学方程，就是后来以他的名字著称的“麦克斯韦方程”。

麦克斯韦方程包括四个方面的内容：

1. 法拉第感应定律；
2. 描述电磁场对位移电流密度和传导电流密度的关系；
3. 相当于库仑定律；
4. 表明了除电源外，没有其他磁场源。

在《电磁学通论》中，电磁场、电磁波、光的电磁说都具有了严密的理论形态与数学模型，使电磁学发展到了高峰。

这样，一座宏伟的经典电磁学的理论大厦就由麦克斯韦建立起来了。

为了纪念他，人们把电磁单位制的磁通量单位定名为“麦克斯韦”。

赫兹的证明

真的有一种看不见、摸不着、玄而又玄的电磁波吗？一些守旧的学者摇头晃脑地望着天空，大加反对。

能否证明有电磁波的存在，是检验麦克斯韦理论的关键。

当人们对电和磁的理论认识处于莫衷一是的状态时，在德国却有人认真地从事电磁理论的研究。最先力图证明电磁理论正确的是玻尔兹曼，但是没有成功。不久，赫尔姆霍茨加入了这一行列，而他的学生赫兹最终攻下了电磁波这个堡垒。

赫兹于 1857 年 2 月 22 日生于德国汉堡，在 1880 年以优异成绩获得了博士学位，随后当了赫尔姆霍茨的助教，在老师的影响下，对电磁学进行了深入的研究。

赫兹认为，麦克斯韦的理论比各种超距作用理论更令人信服。他说：“假使在通常的体系和麦克斯韦的体系之中仅能选择一个，那么后者无疑是占优势的。”于是，他决心用实验来进行检验。

1883 年，赫兹到基尔大学任理论物理学讲师。就在这一年，爱尔兰教授菲茨杰拉德根据麦克斯韦的理论作出一个推论，就是如果麦克斯韦的理论正确，那么莱顿瓶在振荡放电时，即可产生电磁波。

那么，如何测出电磁波呢？

1885 年，赫兹被聘为卡尔斯鲁厄工业学校的物理学教授，即开始了后来使他名垂史册的电磁学实验。经过反复实验，赫兹在 1886 年秋发明了一种电波环。他把一根粗铜线弯成圆环状，环的两端分别连着金属小球。这是一个十分简单但却非常有效的电磁波检测器。

1888 年，赫兹终于发现了人们所怀疑的电磁波。

赫兹在两块正方形锌板的边缘中心，各接一根钢棒，然后使两根铜棒相隔一定距离并彼此绝缘而组成一个振荡器。在暗室中将电波环放置在距振荡器 10 米处。

实验时，将感应圈的高压电引至振荡器的两根铜棒上，使两铜棒间产生电火花，由此而辐射电磁波。

历史性的时刻到来了！

电波环的两个小球间闪现了电火花，这正是振荡器辐射的电磁波！

紧接着，赫兹进一步用实验证实了电磁波可以反射、折射、产生驻波，并测定了电磁波的传播速度。

赫兹在一间大而暗的教室墙上，安置了一块金属板。根据波动理论，如果电磁波能被反射，则反射波和人射波叠加应产生驻波。赫兹在金属板的对面放置有感应圈的振荡器，证实了振荡器发射的电磁波和金属板反射的电磁波叠加形成驻波。

赫兹还测定了电磁波的波长，计算出电磁波的传播速度，这个速度和光速的实验测定值非常接近，再次肯定了电磁波是以光速传播的。

他还用一块有孔的屏阻挡电波，使电波产生衍射；将电波通过一块大的沥青棱镜，证明电波像光波一样的折射，等等。

这些实验令人信服地证明了电磁波是存在的，而且电磁波和光是统一的，有力地支持了麦克斯韦的电磁理论。

赫兹的实验轰动了全世界的科学界。这样，由法拉第开创，麦克斯韦总结的电磁理论，至此才取得了决定性的胜利！有趣的是，赫兹发现电磁波时和麦克斯韦预见电磁波时年龄一样大，都是 31 岁。然而麦克斯韦无法见到这一天了，但是，他的遗愿终于实现了。

电磁波的发现对人类产生了巨大的影响。6 年后，意大利的马可尼、俄国的波波夫实现了无线电传播，其他无线电技术如无线电报、无线电话、电

视、雷达、卫星通信等等，像雨后春笋般涌现出来了。
法拉第、麦克斯韦、赫兹将名垂千古！

电气时代的到来

在电磁理论逐渐完善的同时，技术发明也一个接一个地实现了。

19世纪电学的发明主要有电动机、发电机、电报、电话、电照明等，这些发明导致了第二次技术革命，从而使人类进入电气时代。

在电机史上，电动机的诞生比发电机早。

电磁效应和安培定则，揭示了电和磁的相互作用能产生机械运用，奠定了电动机的理论基础。

1821年，法拉第试制出了一种将电能转化为磁能再转化为机械能的实验装置，这就是最初的直流电动机。

英国电学家斯特金通过实验，将电能转化为磁能，在1823年发明了电磁铁。

1831年，美国电学家亨利以伏打电池为电源，并引用了电磁铁，试制出一台电动机模型，产生的动能比法拉第的装置要大，向实用电动机的发展迈进了一步。

但是早期的电动机使用的电源是伏打电池，提供的电流有限，功率极其微弱，没有什么实际意义。因此，必须寻找强大的电源，才能产生更大的动能。这样，电动机的试制推动了发电机的试制。

世界上第一台发电机是由法国的皮克西制成的。

皮克西是法国电学工程师，1832年成功地试制出一台手摇永久磁铁旋转式发电机。这台发电机的线圈是固定的，它运用手轮转动形磁铁，使磁铁相对于线圈运动。在这台发电机中，装上了最初的换向器，把发电机产生的交流电变为工业生产所需要的直流电。

但这台永磁式电机设备笨重，又要用手摇，从而难以提高转速，输出的电压很低，实用价值不大。

1834年，俄国科学家雅科比制成一台回转运动的直流电动机。雅科比不用永久磁铁，而用几个磁性很强的电磁铁来产生磁场，他设计的换向器可看做近代换向器的胚芽。

为了试验这台电动机，雅科比把它装在轮船上，制成了第一艘电动轮船，在涅瓦河上航行。由于电源没有保证，成本高，不能和蒸汽轮船匹敌。但是雅科比电动机由实验模型走向了实用，并进一步促使发电机的试制。

1834年，英国的克拉克试制成功了实验室使用的直流发电机。该机产生的电压高于一般电池组，还配制了各种线圈，以供需要不同电流时使用。

1854年，丹麦的乔尔塞在发电机中不但装有永磁铁，还加装了电磁铁，试制成功了一种永磁铁和电磁铁混合激磁的混激式发电机，功率有明显的提高。

后来，人们发明了自激式发电机，利用发电机本身的电势来产生激磁电流，从而使发电机的制造进入了一个新的阶段。对自激式发电机做出卓越贡献的是文尔德和西门子。

1863年，发电机制造家文尔德制成了自激式发电机，取得了英国专利，而享有盛名。这种发电机用电动机运转过程的电磁铁代替永久磁铁，并运用自

激原理，产生较强的电流。

文尔德在向英国皇家学会递交的论文《新的大功率发电机》中，指出一个无限小的电流或磁力能够产生一个无限大的电流，对自激原理有了清楚的认识。

文尔德接着申请自激原理的专利，他在申请书中说，自激磁场依赖于原来磁场系统的剩磁。这就是说，原来磁极中存在着剩磁，它产生的磁场可在转子电枢中感应出电势，这个电势又可给激磁绕组供应激磁电流，所以称为激磁。

1867年，德国发明家西门子利用自激原理，制成了比较完善的发电机。

维纳·西门子，于1816年12月13日出生在德国汉诺威，祖辈是世代耕种土地的贫困佃农，由于家庭极其困难，无力继续接受高等教育，便考进了既不花钱又可求学的柏林炮兵军事学校。

德国在19世纪初就不断进行战争，于是大力发展军事教育。西门子接受了比较良好的工程技术训练，具有一定的科学素养和科研能力。

西门子在炮兵学校毕业后，成为炮兵少尉，可是不久违反了军纪而入狱。就在坐牢期间，他发明了电镀法，成功地实现了金属器皿的电镀，当同伴拿着他制作的镀金的金钥匙时，简直不敢相信是出自这位炮兵少尉之手。

西门子兄弟四人都是出色的发明家，老大是维纳，老二是威廉，老三是弗里德里希，老四是卡尔。

维纳出狱后，转到火花制造队。1847年，他退役后和机械工哈尔斯克一起开办了一个小电信机工厂。这时候弟弟卡尔已成为实业家，帮助兄长成立了西门子公司，以生产电器设备为主，并建立了科研实验室。

西门子发明电镀时，使用的电源是伏打电池，但功率甚低，随后改为永磁铁发电机，不久又改用电磁铁发电机。在这个过程中，西门子着手研制功率更大的发电机。

1866年，维纳向柏林科学院递交一篇论文，阐述他的发电机自激原理。1867年初，其弟卡尔把他的论文内容告诉了英国皇家学会，并展示了自激发电机模型而公诸于世。

西门子发电机用强有力的电磁代替传统的永久磁铁，并用发电机本身产生的一部分电向电磁铁供应，使电磁铁得到一种自馈电流，从而大大加强电磁铁的磁场，最终进一步提高了发电机的功率。

西门子发电机在技术史上的地位相当于瓦特的蒸汽机，发电机和内燃机共同导致以电为标志的第二次工业革命，具有划时代的伟大意义。

人类通讯的革命

从发电机的发明开始到西门子发电机的出现，为人类利用能源开辟了道路，以电为基础的新的技术发明不断出现，电报、电话、电灯、电影等应运而生。

古希腊人马拉松跑了几十公里把希波战争的消息传到雅典，这是现代马拉松长跑的起源。随着生产的发展，贸易交往的增加，金融情报及各种情报需要迅速的传播，古代长跑的方式已不能满足了，就是利用蒸汽机车和轮船也远远不够。

当电登上历史舞台的时候，立即引起人们的注意，各种原始电报相继出

现。

当奥斯特发现电流可以影响磁针偏转后，1820年，安培用26根导线连接发与收两端各26个相对应的英文字母，试制出了一种以电磁感应为基础的磁针电报装置。

1833年，德国数学家高斯和青年电学家韦伯在哥丁根建立了一个电报系统，它在相距为8000英尺的实验室和天文观测站之间建立了电信系统。

真正使电报成为一种实用通讯设备的，是美国画家莫尔斯。

一个外行的画家怎么能是电报机的发明人呢？

1832年10月，莫尔斯乘坐“萨利”号邮轮从欧洲回国。当时从巴黎电学讨论会归来的青年医生杰克逊也在这一条船上，他大谈安培电学的新发现，深深地吸引了莫尔斯。

莫尔斯回国后，就放弃了绘画，潜心研究电报，此时已经41岁。对于这般年纪的人，要丢掉熟悉的美术，从零开始钻研电学，此中艰辛，难以想象。

在研制电报的过程中，莫尔斯拜美国大电学家亨利为师，学习必要的理论基础和技术基础。经过几年的探索，在1837年，莫尔斯发明了一套用点、划组成的著名的“莫尔斯电码”。

1844年5月24日，莫尔斯用一连串的点、划成功地发出了电文，实现了第一次通话。当年，莫尔斯在美国政府的资助下，建成了华盛顿到巴尔的摩之间的世界上第一条有线电报线路。后来，他的发明又被应用于铁路通讯，并在海底铺设电缆，进行环球通讯。

1895年，意大利物理学家马可尼又发明了无线电报。

电报的发明是人类通讯史上的一次革命。

当莫尔斯电报广泛应用，成为一种新兴的通信工具时，人们就想“既然电流能够传递电波信号，为什么不能传播音波信号呢？”如果用电缆直接通话，那该多方便啊！

1876年，美国的贝尔首先发明了电话。

贝尔和麦克斯韦是同乡，1847年生于英国爱丁堡的一个声学世家，大学时学习声学，毕业后当聋哑学校的教师。由于专业的原因，他研究过听和说的生理功能，并潜心研究传送声音的“音乐电报”。

1869年，贝尔受聘为美国波士顿大学的声学教授，教学之余，仍进行电话研究。

在研究中，贝尔认识到，要把声音传送出去，必须先在这端将声音信号变成电信号，然后再在受话的一端将电信号变成声音信号。

怎样实现这个转换呢？

贝尔曾看到电报中，应用了能够把电信号和机械运动相互转化的电磁铁，受到很大启发。于是开始设计制造磁式电话。

他最初把音叉放在带芯的线圈前，音叉振动引起铁芯作相应运动产生感应电流，电流信号传到导线另一头作相反转换，变做声信号。

随后，贝尔又把音叉改换成能够随着声音振动的金属片，把铁芯改做磁棒，经过反复实验，制成了实用的电话。

1876年2月14日，贝尔向政府提出了电话专利的申请。几个小时后，美国的另一名电技工程师戈雷也提出了电话专利申请。但戈雷电话的送话器和受话器不在一个装置中，使用时不如贝尔电话方便，加上时间在后，美国最高法院把电话的发明专利权判给了贝尔。

1881年，贝尔在美国建立了第一家著名的贝尔电话公司。1884年，波士顿和纽约之间架设了第一条长途电话线路。

电话的发明是人类通讯史的又一次革命。

让电照亮世界

电报和电话被发明后，另一项影响最大的发明，就是电灯了。

电灯是美国的“发明大王”爱迪生在1879年发明的。从此，白炽电灯驱走了暗夜，使人类第一次真正看到了电能的光辉。

很久以来，人类一直使用约略看见东西的微弱火光来照明，直到1800年意大利人伏打发明电池才有变化。

把电转化为光用作照明，是从英国科学家戴维开始的。他用2000组伏打电池为电源，发明了电弧灯。但电弧灯价格昂贵，光线太强，不适宜普通照明。

当发电机问世，并能生产大量电流时，不久，爱迪生就发明了白炽电灯。

1847年2月11日，爱迪生出生在美国俄亥俄州的米兰市，自幼身体瘦弱，不爱说话，但极富幻想，爱动脑筋思考问题，对周围的一切事物都充满好奇心。

在他5岁那一年，当看到母鸡孵小鸡时，也异想天开地蹲在鸡窝里孵起小鸡来。

父母到处在找小爱迪生，终于在鸡窝里找到了他。

“你跑到鸡窝里蹲着干什么？”

“我在孵小鸡呀。”

“傻瓜，你怎么能孵出小鸡呢！”说着就把他拉了起来。

“母鸡能孵出小鸡，我为什么不能呢？”

就这样，爱迪生什么事都想问，什么事都要于。

7岁时，爱迪生上学了。

他仍然是寻根求源，问一些与书本无关的问题，而且还打破砂锅问到底。他的老师无法回答，便骂他是个小傻瓜，并用木板进行体罚。

爱迪生的母亲曾做过教师，懂得教育方法，对老师的做法很不满，便一气之下让他退了学，决定自己教他。爱迪生接受学校的教育只有3个月，从此再没有受过正规教育。

爱迪生一边在父亲的木工厂做工，一边在母亲的教育下读书写字。

12岁时，由于家庭经济困难，爱迪生便到火车上当报童，一边卖报，一边自学，阅读了很多书籍，对化学和电学非常感兴趣。

他利用积攒的钱，买了一些化学药品，在火车上的吸烟室搞了个小实验室，做着各种有趣的实验。在15岁时，由于火车的震动，把实验室的一瓶磷震倒了，磷遇空气立即燃烧起来，引起一场大火，幸亏车上的抢救及时才没有闯下大祸。

车长恼羞成怒，狠狠地打了他一个耳光。爱迪生的右耳膜被震破，从此右耳就聋了。

爱迪生的化学实验做不成了，但是却意外地得到一个学习电学的机会。

就在这年8月的一天，爱迪生正在一个小站上卖报，忽然看见一个小孩在铁轨旁玩石子，而一列火车正飞驰而来。爱迪生迅速冲向铁轨，救出小孩，

与此同时，火车呼啸而过，爱迪生摔倒在铁轨旁，小孩得救了，而他的脸和手却被划破了。

小孩的父亲是这个站的站长，亲眼目睹了这一惊人场面，感动万分，以教爱迪生收发报技术作为回报。

对电学非常感兴趣的爱迪生，十分珍惜这一难得的学习机会，勤学苦练，在3个多月的时间里，就熟悉地掌握了收发电报的技术，并在那位站长的推荐下，当上了火车站的报务员。

在当报务员时，爱迪生即用自己掌握的理论知识和技术经验，对单路电报进行改革，1869年，发明了可以在同一线路上同时发送两路电报的双重发报机。此时，他才22岁。

紧接着，爱迪生发明了一种商情自动报价机，报酬是40 000美金。他用这些钱开了一家工厂，一心一意地从事发明工作。

1876年，爱迪生发明了留声机。美国各大报纸都以醒目的标题刊登了这条惊人的新闻：今日最大发明——一个会说话的机器。

留声机的发明，为爱迪生赢得了巨大的声誉。

爱迪生没有停留在荣誉面前，继续沿着他的发明道路不断前进。

当时家庭照明普遍采用煤油灯或煤气灯。这些灯，光线虽柔和，但是亮度低，燃烧时有黑烟，还要添燃料擦灯罩。弧光灯虽然亮度高，但光线太强，人眼不能直接看它，不适合家庭使用。

爱迪生陷入了沉思：怎样使弧光灯的刺眼强光变得柔和呢？

英国人戴维曾发现，当电流通过较细的白金丝时，白金丝会发出微弱的光来，但白金丝在空气中很快就烧掉了。

但这微弱的光亮，使爱迪生看到了前进的方向。

爱迪生进行了大量的分析研究，夜以继日地工作，有时候甚至几天不合眼，实在困了，就趴在书上打个盹。以致有人说：“爱迪生知识如此丰富，原来他连睡觉的时候都在吸收书里的营养。”

通过不断的研究和实验，爱迪生认为，必须解决两个问题。一是玻璃泡里的空气问题，白金丝被烧掉，是空气里的氧气捣的鬼，空气是发明电灯的大敌，因此，必须把玻璃泡里的空气抽成真空。

二是改进灯丝，寻找一种耐高温的导体材料。

对于第一个问题，相对来说比较容易解决，因为在1875年，英国化学家克鲁克斯发明过一种既迅速又经济的真空技术。

第二个问题是难以解决的。究竟用什么材料来做灯丝呢？爱迪生绞尽脑汁，煞费苦心。他先后试验了1600种矿物和金属耐热材料，结果都失败了。

1879年10月1日，爱迪生在《科学的美国人》杂志上看到了英国电技工程师斯旺用碳丝做灯丝的报道，便开始研制碳丝灯泡。

在经过种种困难之后，爱迪生终于把一根棉线烧成碳丝，小心翼翼地装进灯泡里，抽出灯泡里的空气，然后把抽气口密封起来。

当给灯泡接通电流时，奇迹出现了，灯丝放射出了夺目的光辉。

这一天是1870年10月21日。

这是一个永远值得纪念的日子！

爱迪生和他的助手日夜用全部心血浇灌的电灯，终于放出了明亮的光芒。他们高兴得又蹦又跳，并一直守护在灯旁，细致地观察着。世界上第一盏白炽灯亮了45个小时。

爱迪生又制出了几个碳丝灯，亮的时间也没有延长多少，这就要继续寻找高质量的灯丝。

爱迪生先后试用了 6000 多种植物纤维，发现用一种日本产竹子的碳化纤维做成的灯丝，寿命长达 1200 小时。于是，他派人到东方收购竹料，大批量生产白炽电灯。

1882 年，爱迪生在纽约建立了一个发电站，架起了相应的电力输送网，推广使用他的白炽电灯。

后来，人们对爱迪生的灯泡加以改良，用钨丝做灯丝，并在灯泡内注入一种不与钨丝起化学反应的惰性气体，大大延长了灯泡的寿命。这就是我们一直使用的电灯泡。

爱迪生在发明电灯后，又不断地努力，发明了蓄电池、电影等。有人统计，爱迪生一生中的发明，在专利局正式登记的有 1300 种，这个成就是世界上任何人都无可比拟的。

人们称爱迪生为发明大王，非常称赞他的天才。爱迪生说：“所谓天才，那是假话，艰苦的工作才是实在的。”“天才不过是百分之一的灵感，加上百分之九十九的汗水。”

1931 年 10 月 18 日，发明大王逝世。

化学的黄金时代

物质构造的探讨

工业革命兴起后，机器大工业所产生的精密天平、分光仪器、化学试剂、电解方法等，为化学研究提供了大量新课题和物质技术手段。

玻义耳在 18 世纪提出元素概念，把化学确立为科学。紧接着拉瓦锡提出燃烧的氧化学说，推翻了燃素说，使化学走上了正确的发展道路。

19 世纪，化学由它的经验阶段迈进到理论阶段，建立了由无机化学、有机化学、分析化学、物理化学组成的完整体系，成为化学发展的黄金时代。

19 世纪无机化学的发展，主要是围绕原子—分子学说的创立、各种新元素的发现和化学元素周期律的最后完成来展开的。

原子—分子学说，是化学各个分支共同的理论基础，在它创立之前，化学上发现了当量定律、定比定律等一系列的经验定律。

1791 年，德国化学家李希特尔在进行完全化学反应时，发现定量的一种元素总是和一定量的另一种元素相互作用。在酸碱反应中，他发现中和一定数量的酸，也需要确定的相当数量的碱，反之亦然。于是，他提出了中和定律和当量定律。

法国化学家费歇尔揭示了任何纯净的化学物质在相互化合时，都按照相当的量成比例地进行。在 1802 年，他制定出早期的酸碱化合当量表。

1799 年，法国药剂师普罗斯在大量的实验中，通过定量研究发现，两种或两种以上的元素，在化合成某种化合物时，它们的比例是天然一定的，各种成分既不能增加，也不能减少。于是他在系统的、精密测定的基础上，提出了定比定律。

普罗斯的定比定律没有立即得到人们的承认，而是引起怀疑和反对。当时，法国化学界的权威贝特雷从“化学亲和力”的角度，认为一种物质可与

有相互亲合力的另一种物质以一切比例相化合。直到 1860 年，比利时化学家斯达才把这一定律确定下来。

随着当量定律和定比定律的发现，人们感到氧化学说不能解释一切化学现象。

怎样科学地解释在化合物和化学反应中的数量关系呢？人们想到化学元素可能是由古希腊人提出的原子构成的，也可能是玻义耳等人主张的物质微粒所构成的。

古希腊哲学家德漠克利特提出了比较系统的原子学说。他认为，原子是一种不可再分的最小的物质粒子，是构成物质世界的统一的物质本原。原子本身具有运动的属性，物质世界的运动，实际是原子的运动。

玻义耳认为，物质是由基本微粒构成的，微粒的不同排列和组合，构成了各种物质。

原子论的创立

但是，无论是原子说还是微粒说，都只是一种猜测，近代化学的物质结构学说需要有可靠的实验事实、精确的定量分析、合理的逻辑论证。

这首先是由英国化学家道尔顿完成的。他所创立的科学的原子论，对化学、物理学乃至整个科学都产生了极为深远的影响。

约翰·道尔顿于 1766 年 9 月 6 日出生在英国坎伯兰郡一个穷乡僻壤的茅屋里。父亲是个贫苦农民兼做织工，由于收入微薄还要养活 6 个子女，家庭经济相当困难。

尽管家境贫寒，在道尔顿 6 岁时，父母还是想方设法让他上了本村小学。道尔顿好学深思，成绩优秀。对于一些难题，一般学生在做不出来时，就去请教老师了。但道尔顿有股韧劲，解不出难题决不罢休。

有时候，为了一个难题，道尔顿要思考几天，老师便想指点一下，道尔顿说：“请不要帮忙，我一定要自己做。”因此，道尔顿深受老师的喜爱，弗莱彻先生称赞说：“在这些孩子中间，就思想的成熟而论，谁也比不上道尔顿。”

几年后，由于家里实在交不起学费，道尔顿被迫辍学。但热爱学习的道尔顿仍然不时地去学校旁听。

道尔顿在 12 岁时担任本村小学的教师，一边教书，一边从事田间劳动。

1781 年，15 岁的道尔顿外出谋生，来到肯代尔镇，在他表兄办的中学担任教员。在教学之余，他发奋读书，无论是数学、物理，还是哲学、文学，他都爱不释手，广泛阅读。

1793 年，道尔顿受聘到曼彻斯特一所新学院，讲授数学和自然哲学。

这一年，道尔顿第一部科学著作《气象观察和研究》在曼彻斯特出版。在这部著作里，道尔顿分析了云的形成、蒸发过程和大气降水量的分布等，总结了观测结果，对气象学的形成和发展，起了一定的启蒙作用。

这部著作的出版，使年仅 27 岁的青年教师道尔顿引起了科学界的重视。

在曼彻斯特期间，道尔顿教学负担繁重，又缺乏实验室，妨碍了他对自然界的科学探索。1799 年，道尔顿毅然辞去了教授职务，以当家庭教师为业，过着清贫的生活，在科学的道路上不断地探索、研究。

道尔顿原子论的建立是从对混合气体扩散的考察开始的。

道尔顿说：“由于长期做气象记录，思考大气成分的性质，我常常感到奇怪，为什么复合的大气，两种或更多种弹性流体的混合物，竟能在外观上构成一种均匀体，在所有力学关系上都同简单的大气一样。”为了了解混合气体的组成和性质，他开始了气体和气体混合物的研究。

1801年，道尔顿在一组论文中认为，各地的大气都是由氧、氮、二氧化碳和水蒸汽四种主要物质成分的无数微粒或终极质点混合而成的。

混合是怎样发生的呢？道尔顿指出，气体混合物的形成是因为气体彼此扩散的缘故。

通过一系列的实验，道尔顿总结出物理学上的气体分压定律：混合气体的总压力等于各组成气体的分压力之和，而每一组成气体的分压力等于该气体独占混合气体原有体积时的压力。这个定律被称为“道尔顿分压定律”，至今仍被广泛应用。

正是从这里出发，使道尔顿最终走向了有关物质结构和化学反应的原子论道路。

1802年11月，道尔顿在曼彻斯特学会上宣读了他的第一篇化学论文《组成大气的几种气体或弹性流体的比例的实验研究》，揭示了元素化合存在着某种数量关系。

元素化合时为什么会表现出这种数量关系呢？要解释这个问题，必须揭开物质构造的秘密。

道尔顿在研究气体时，提出过微粒的思想。他又想到古希腊的原子论，它认为一切物体都是由不可再分的原子构成的，原子小到不可计量，但是形状、大小和排列都是不同的。

把两者联系起来，道尔顿觉得物质应该是由微粒或者是由原子构成的，但是必须加以证明，才能成为科学的理论。

道尔顿最先提出原子量的概念。他以实验为依据，认为物质一定由原子组成，而且原子有一定的大小和质量。但原子的绝对质量非常小，不可能直接测量。于是他把最轻的氢原子的质量规定为1，并以此为标准来测定其他原子的相对质量，这种相对质量即元素的原子量。

道尔顿最早规定的一些元素的原子量记载在1803年9月6日的工作日记上，后来他又增补了一些元素的原子量，并对原来的一些原子量数值做了修订。

道尔顿算出的原子量实际是元素的当量，算出的数值也不够准确。但他提出的原子量概念使过去模糊不清的原子观念有了比较明确的定量依据，并促进了原子量测定工作的普遍开展。

恩格斯说：“在化学中，特别是由于道尔顿发现了原子量，现已达到的各种结果都有了秩序和相对的可靠性。已经能够有系统，差不多是有计划地向还没有被征服的领域进攻，就像计划周密的围攻一个堡垒一样。”

1803年10月18日，道尔顿在曼彻斯特“文学哲学学会”上，首次报告了他的化学原子论的要点：

1. 化学元素的最终组成是看不见的、不可再分割的物质粒子，这种粒子就是原子。原子既不能被创造，又不能被消灭，在一切化学变化中保持其性质不变；

2. 同一元素的所有原子，在质量和性质上完全相同；不同元素的原子，在质量和性质上都不同。每种元素以其原子质量为其最基本的特征；

3. 一种元素的原子与另一种元素的原子化合时，它们之间成简单的数值比；

4. 有简单数值比的元素的原子结合时，原子之间就发生化合反应而结合成化合物，化合物的原子称为复杂原子。复杂原子的质量为所含各种元素原子质量的总和。同一化合物的复杂原子，其形状、质量和性质也必然相同。

道尔顿为了说明自己的理论，设计出一套符号，如：

氢：

氮：

氧：

碳：

水：

这种表示方法，实际上是化学分子式的早期形式。

道尔顿还创立了倍比定律。

他在分析当时已知的氮的三种氧化物——笑气(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)中氧的质量百分比时发现，如果把笑气中氧的质量百分比看成一个常数的话，它与一氧化氮、二氧化氮中氧的质量百分比之间存在着简单的整数比关系。

1804年，道尔顿进行了沼气(甲烷 CH_4)和油气(乙烯 CH_2)这两种气体的化学成份的分析实验，发现沼气中碳与氢的比例为4.3 : 4，而油气中碳与氢的比例为4.3 : 2，沼气中的氢含量为油气中氢含量的两倍。

倍比定律证实了道尔顿的原子论。因为，如果原子学说符合事实，原子不可分，那么元素必然以整个原子的形式相互化合，如果同一元素在不同化合物中数量不同的话，就只能成为整数比。

反过来说，如果倍比定律完全正确，也就证明了原子学说的正确性。

这样，在原子观点的启迪下，道尔顿发现并解释了倍比定律，同时倍比定律的发现又成为他确立原子论的重要基石。

道尔顿做了大量的实验，进行了复杂的计算，令人信服地证明了倍比定律的正确性，为原子学说提供了可靠的实验基础。

道尔顿认为，化学分解和化学结合是化学科学研究的中心课题。

他说：“化学分解和化学结合只不过是把终极质点或原子彼此分开，又把它们联合起来而已。要创造一个氢原子或消灭一个氢原子，犹如向太阳系引进一颗新的或消灭一颗原有的行星一样不可能。我们所能进行的一切化学变化无非是把处于化合状态的原子分开和把分离的原子联合起来。”

当时的化学领域是一堆杂乱无章的观察资料和实验的配料记录，材料的堆积多于材料的整理，虽然质量守恒定律、当量定律、定比定律等化学基本定律已经发现，但还没有用统一的理论来阐明。

1807年，道尔顿的代表作《化学哲学新体系》一书问世，全面而系统地阐述了他的原子论。

有人说，“原子论”是古老的，不是道尔顿的首创。但是，道尔顿以前的原子理论不是用来揭示化学的奥秘，而是探秘世界本原的含糊的哲学理论。

道尔顿说：“有些人总是把我的理论叫做假说，不过请相信我，我的原子论是真理。我所得到的全部实验结果，使我对这一点深信不疑。”

由于道尔顿的伟大贡献，1808年5月，他被选为曼彻斯特文学哲学学会“副会长”。

1816年，道尔顿被选为法国科学院的通讯院士，受到欧洲科学界的推崇。

1817年，道尔顿又被选为“文学哲学学会”会长，直至逝世。

享誉欧洲乃至全世界的道尔顿却不是英国皇家学会的会员。根据惯例，皇家学会不会选任何人为会员，加入者必须自己申请。戴维建议道尔顿提出申请，道尔顿说：“对科学来说，一个科学家摆在哪儿是无关紧要的，重要的是他要对科学作出贡献。”

1820年，戴维当选为皇家学会会长。因享誉世界的道尔顿竟然不是皇家学会会员，使皇家学会受到巨大压力。戴维没有经过道尔顿的同意，提议他为会员。

1822年，道尔顿成为英国皇家学会的会员。1826年，英国政府授予他一枚金质勋章。

1832年，道尔顿被授予牛津大学博士学位。这是牛津大学的最高奖，那时，只有著名物理学家法拉第获得过这一殊荣。

此外，道尔顿还是柏林科学院名誉院士，莫斯科科学协会会员，慕尼黑科学院名誉会员。

道尔顿曾用两句话来概括他的成功经验，那就是：“午夜方眠，黎明即起。”

道尔顿的一生可以说是艰苦奋斗的一生。他性情比较孤独，沉默寡言，然而对科学一往情深，倾注了他的满腔热情和毕生心血。他没有结婚，过着单身生活，原因是“没有时间交女友，谈爱情”。

每天清晨，道尔顿就起床了，第一件事是到实验室里，扫地抹桌生炉子，准备好一天的实验工作。早饭后，他就走进实验室，开始了紧张的研究工作。在实验室里，他往往一呆就是一整天，常常忘了吃中饭。夜幕降临了，他才依依不舍地去吃晚饭。然后回到房间读书，直到深更半夜。

他坚持这种方式生活和工作，几十年如一日，是非常不容易的。

实验用的仪器大多数是道尔顿亲手制作的，实验材料也都是他搜集的不值钱的东西。有一件自制的气压计，度盘是用纸制成的，刻度是用笔划上去的，但却精巧实用。

由此可见，道尔顿一生在极其艰苦的条件下坚持科学研究是多么地努力，并取得了卓越的成就，更是难能可贵。

道尔顿在科学上的最大贡献是创立了原子论，抓住了化学学科的核心和最本质的问题，用原子的化合和分解说明了各种现象及化学定律间的内在联系，成为物质结构理论的基础。

原子论是17世纪末和18世纪初在化学研究中具有划时代意义的成果，对物理学和化学的发展产生了深远的影响。

道尔顿是世界的骄傲，更是曼彻斯特的骄傲，曼彻斯特人为了表达对道尔顿的崇高敬意，在市政府大厅里竖立了道尔顿的半身雕像，推选他为曼彻斯特市的荣誉市民。

1844年7月26日晚，78岁高龄的道尔顿做了最后一次气象记录，这时时间正好是9点差一刻。57年来，他每晚都是在这个时候记录下当天的气象数据。

可是，今天晚上，他的手颤抖着，不听使唤，道尔顿感到已近生命垂危，但是他仍坚强地拿起笔，记录下气压计和温度计的读数，并在最后一格记下了“微雨”两字。他站起身来，忽然发现日期没签上，便又坐了下去……

几个小时后，这位伟大的科学家已经静静地安息了。

8月12日，100多辆马车护送着道尔顿的灵柩，曼彻斯特人排成长长的送葬队伍，在哀乐的肃穆声中慢慢地向阿尔德维克墓地移动。

1962年，曼彻斯特市教育委员会将市立大学工学院命名为道尔顿工学院，并把道尔顿雕像从市政大厅移至学院新落成的现代化教学楼主楼前。道尔顿双眼凝视着前方，好像是在展望未来的科学发展。

分子学说的证明

道尔顿的原子论揭示了一切化学现象不过是原子的运动这一化学本质，真正地奠定了化学的科学基础。

但他的原子论有两个缺陷，一是否定了物质分割的不可穷尽性，认为原子是不可分的最小的物质微粒；二是忽略了原子和分子的区别，把化合物视为复杂原子。

道尔顿在后期固步自封，阻碍了原子论的进一步发展。

首先创立分子论的是意大利化学家阿佛加德罗。他在1811年发表了一篇题为《原子相对质量测定方法及原子进入化合物时数目比例的确定》的论文，首先提出了分子的概念。

他认为原子是参加化学反应的最小质点，分子是保持物质一定特性的最小单位，分子是由原子组成的。单质分子是由相同元素的原子组成，而化合物分子是由不同元素的原子组成的。在化学变化中，不同物质的分子间各原子重新组合。他还指出，一切气体在同温同压下，相同的体积中含有相等数目的分子。

阿佛加德罗的分子学说是正确的，但是人微言轻，他的理论没有得到化学界的重视，被冷落了大约半个世纪。原因一是阿佛加德罗拿不出充分的实验证据，二是当时化学界的权威如道尔顿等人否定他的理论。

直到1860年，意大利化学家坎尼查罗调和了原子学说和分子学说的分歧，使原子—分子论成为一个完整的理论体系。

1860年9月，在德国举行的国际化学会议上，坎尼查罗散发出论证分子学说的小册子《化学哲理课程大纲》，强调把分子和原子这两个概念区别开来。他指出，只要把原子和分子区分开来，不固守陈见，就能发现化合物的分子含有不同种类和数目的原子，单质分子中只含有一种原子。

坎尼查罗的论点很快被人们接受，原子—分子论的理论体系得到了完善。

电化学的创立

在道尔顿原子论发表后，理论化学领域除了分子论的提出之外，英国化学家戴维还提出了物质结构的二元学说，同时他还在实验化学领域发现了许多新的化学元素，推动了化学的发展。

1807年的一天，伯纳德兴奋的走进实验室，高声说道：“祝贺您，戴维

先生。”

正在忙于实验的戴维满腹狐疑，用一只眼睛不解地看着同事。

“法国拿破仑皇帝发布一项命令，授予英国化学家汉佛利·戴维勋章一枚。”

“为什么？”

“表彰你在电学及化学方面的功勋。”

“确实是很高的荣誉。”

“可是指定授奖仪式在巴黎举行，而我们正在和法国打仗，怎么能去敌国受勋呢？”

“我不同意您的看法，”戴维严肃地说：“我是为科学，为整个人类而工作的。如果说科学家要进行斗争，那么他只能为夺取某种信念的胜利而斗争，为坚持真理而斗争。”

“科学是不分国界的，我决定去法国。”

富丽堂皇的巴黎凡尔赛宫，法国科学院在这里举行了隆重的授奖仪式，授予为科学做出杰出贡献的戴维一枚勋章和 3000 法郎奖金。

戴维，于 1778 年 10 月 27 日生于英国一个木器雕刻匠的家里，幼年时期受过一定的教育，在文学方面表现出才能，不久父亲病故，被迫辍学。

17 岁时，戴维到一家药店当学徒，从医生和药剂师那里接触了化学。从此，戴维迷上了一些简单的化学实验。

1798 年，戴维被聘到克里夫顿气体研究所当医药化学家托马斯的助手。

在这里，戴维和托马斯共同发现了“笑气”，即一氧化二氮。

一天向来幽静的克里夫顿实验室，突然传来“哈哈、哈哈、……”的阵阵狂笑，隔壁的实验员进来一看，戴维和托马斯不知什么原因而笑个不停。

“你们发神经病了！”

当实验员把他们扶出室外后，渐渐地，他们恢复了平静。

“你那瓶气体被我碰倒打碎后，我就不由自主地笑了起来，现在只感到头疼，戴维，你呢？”

“我也不知为什么跟着笑了起来，看来是那瓶气体捣的鬼。”

这就是戴维和托马斯发现的一种奇怪的气体——一氧化二氮。紧接着，戴维反复研究这种气体，发现它具有麻醉作用，能令人狂笑不止。从此，人们称这种气体为“笑气”，戴维也成为“笑气专家”。

戴维发现笑气后，顿时闻名欧洲。

1801 年，戴维被聘为伦敦皇家学院教授，讲授应用化学和农业化学。戴维年青有为，讲课极为幽默生动，吸引了大批学生。

戴维同时还进行了电化学的研究，在伏打电池的基础上，对能够组成电池的物质进行了广泛的实验。1806 年，他在《论电的某些化学作用》中，探索了解法在化学实验中的某些作用。

1807 年，戴维用 250 对锌片和铜片组成的强大电堆，成功地实现了对草木灰（碳酸钾）和苏打（碳酸钠）的电解，在阳极上放出氧气，在阴极上析出金属钾和钠，从而发现了两种重要的新金属元素：钾、钠。

在电化学的研究中，戴维提出了二元论的接触学说。

他认为，物质由带阴电的部分和带阳电的部分组成，把这两部分结合在一起化学亲和力，就是它们之间的静电引力。因此，化学变化的本质是电变化。

当不同的原子相互接触时，就产生了感应而分别带上了相反的电荷，其强弱随元素而不同，在静电引力作用下将原子结合在一起。

这样，戴维对物质结构理论进行了探讨。

戴维用电解法发现了钾和钠这两种元素后，继续用电解法寻找新元素。他对生石灰、重晶石等进行电解，但是没有成功。

一天，戴维专心地忙于实验，当别人离开实验室去吃饭时，他仍然不停地忙着。

突然，实验室里响起爆炸声。

人们迅速赶来，只见戴维躺在地上，一只手捂住满是鲜血的面孔，不省人事。

戴维被送进医院，悲伤地躺在床上，虽然伤势并不太重，但是他从此只能用一只左眼观看这个美好的世界了。

尽管只是一只眼睛，一般人可能承受不了这个打击，但戴维表现出了一个科学家的刚毅和乐观精神。他说：“幸好只瞎了一只眼睛，但我还有另一只眼睛能看见东西，继续进行研究，这就足够了。”

1808年，戴维成功地对生石灰、重晶石、苦土和锶矿石进行了电解，发现了钙、钡、镁、锶4种新金属元素。

1809年，戴维又锦上添花地析出了硼。

从此，戴维的电解法受到举世瞩目，创立了物理化学中的电化学。

戴维在1808年还研究了元素氢。实验证明氢中不含有氧，它是一个独立的元素，确证酸的主要成分是氢。从而推翻了拉瓦锡“一切酸中都含氧”的错误结论，认为“一切酸中都含氢”。

戴维对科学做出了杰出的贡献。在1808年，重视科学的拿破仑，不顾英法处于战争中的敌对局面，授予他科学勋章。

贝采利乌斯的贡献

道尔顿的原子论，促进了对化学物质结构的研究。戴维在研究中用电解法发现了7种新元素，而瑞典的“化学大师”贝采利乌斯又发现了很多化学元素。

贝采利乌斯系统地发展了道尔顿的原子论，非常准确地测定了大约50种原子的原子量；创立了以拉丁名称的开头字母作为元素符号，意义重大；提出了“有机化学”的概念，奠定了有机化学的基础。

1779年，贝采利乌斯出生在瑞典南部的一个小山村，不久，父亲去世，为了生活，母亲被迫领着他改嫁。

贝采利乌斯在上中学时，在一位自然史老师的影响下，对自然科学产生了兴趣。17岁时，他考入乌普萨拉大学医学系，一边学习，一边当家庭教师。在这里，他有幸结识一位化学教授，学到了一些化学知识和实验技术，并对化学产生了浓厚的兴趣。

1802年，贝采利乌斯通过了论文答辩，被任命为斯德哥尔摩外科学校的助教。在教学之余，投身到化学实验中，第二年就发现了新元素铈。1806年，贝采利乌斯被任命为该校的化学讲师。

1807年，道尔顿的原子论发表后，贝采利乌斯进行了研究，并立即接受了，但他觉得道尔顿的原子量测量不精确。这一年，他被任命为斯德哥尔摩

大学的化学教授，开始了原子量的测量工作。

道尔顿的原子量是以氢作为基数 1 而间接推算出来的。贝采利乌斯认为氢只能与少数的元素结合成化合物，那些不能与氢化合的元素原子量就难以测定了。而与氧结合的元素要比与氢结合的元素多得多，因此应该以氧的原子量为基数。

在贝采利乌斯测量原子量时，条件是非常差的，一是仪器设备较简陋，一二是缺乏试剂，就连分析用的盐酸都要亲自制取，但他有奉献的精神、满腔的热情、惊人的毅力、高超的技巧、不依靠助手的帮助，独自进行了浩繁的原子量测量工作。

1813 年，贝采利乌斯准备发表他的原子量测定报告，由于当时化学界使用的元素符号和化学式不相同，他感到有必要建立一个统一的符号系统。

贝采利乌斯最早使用了字母作为元素符号，规定每种元素的拉丁名称的开头字母作为元素的代号。如氧的拉丁名称是 Oxygenium，它的元素符号就用第一个字母“O”来表示。

如果拉丁名称的第一个字母相同，就在第一个字母后加上第二个字母或者别的字母加以区别，如：用 B 表示硼，用 Bi 表示批，用 Ba 表示钡，用 Br 表示溴。这套符号一直沿用至今。

贝采利乌斯还把他的元素符号运用到化学式中。

贝采利乌斯对 2000 多种化学物质进行了分析，把当时已知的 40 多种化学元素的原子量进行了较为精确的测定，他花费的劳动量可想而知。

辛勤的劳动结出了丰硕的成果，1814 年、1818 年、1826 年，贝采利乌斯先后 3 次发表了原子量表。精确度达到小数点后第三位，绝大多数数值和现代值相差极小。

贝采利乌斯在原子量方面做出了卓越的贡献。

贝采利乌斯在物质分析中，发现了一些化学元素。1803 年发现了铈，1817 年发现了硒，1823 年发现了硅，1824 年发现了钽，1828 年发现了钷。

贝采利乌斯还指导学生发现了新元素。塞尔斯达姆在研究铁矿时，发现一颗不寻常的黑色颗粒，便预感到这是一种新元素的化合物，便和老师共同分析研究。连日来的实验，使塞尔斯达姆失去了信心，因家里有事便回老家去了。

学生走了。但老师仍然耐心地研究着，不久，终于发现了钷。

从钷的发现过程来看，它可以说是贝采利乌斯发现的，而他非常谦逊，把这一发现让给了塞尔斯达姆一人独享。

贝采利乌斯除了精确地测量原子量、创立科学的元素符号和化学式、发现一系列的元素外，还探讨了物质结构理论。

在 1812 年，贝采利乌斯发表了以二元学说为基础的电化学说，认为任何物质都是由带正电和带负电的原子相互吸引而形成的，一切化合物的亲和力，在本质上都是静电力和两种相反电荷的相互吸引。

贝采利乌斯最早在 1806 年引用“有机化学”的概念，认为它是研究动物、植物有机体的化学，从而和无机界的矿物化学相区别。还提出了催化剂的概念，在 1830 年还研究了物质结构的同分异构现象。

贝采利乌斯很重视教学，编写了《化学教程》，培养了莫桑德尔、维勒等一批著名的化学家。

贝采利乌斯既是理论化学大师，又是实验化学大师，是永放光芒的一代

宗师。

1848年8月7日，辛勤劳动一生的贝采利乌斯，终于能够安静地“休息”了...

贝采利乌斯用分析方法、戴维用电解法分别发现了很多元素。

19世纪，英国的武拉斯顿、台耐特和俄国的克劳斯，进一步发现了钡、铍、铯、铊、铷、铟等元素。

法国化学家库特瓦和德国的罗威分别发现了碘和溴。

法国的另一化学家莫瓦桑还成功地制得了最难分离的氟。

氟的化学性质非常活泼，且有剧毒，要制取它十分不易，充满危险。虽然在18世纪末期就已发现了它的存在，科学家们通过奋斗和牺牲，一直制取不出来，被视为科学研究的“死亡之路。”

从1884年伊始，法国的莫瓦桑以超人的胆略，知难而上，决心征服这个元素。他在实验中虽有失败，但终于在1886年首次制得了单质氟。

除了分析法、电解法，人们还用光谱法寻找新元素。创立光谱分析的是德国化学家本生和物理学家基尔霍夫。

在1811年，德国的哥廷根诞生了一个婴儿，他就是后来成为著名科学家的本生。1830年，他获得博士学位，即从事化学研究，为科学事业奋斗终生。

1853年，他发明了“本生灯”，也就是煤气灯。他用煤气灯做实验时发现，各种金属盐在火焰中呈现不同的颜色，如钠盐呈黄色，钾盐呈紫色，钡盐呈绿色。

本生把这一发现告诉了朋友基尔霍夫。他很感兴趣，两人决定共同研究化学物质的光谱。

1859年，他们把望远镜和三棱镜联合起来，创制了分光镜。用分光镜可以精细地观察各种金属元素所呈现的分立的彩色线条，这些线条叫做谱线，故称“线状光谱”，这与7色依次相连的太阳光线是不同的，太阳光线称之为“连续光谱”。

他们用分光镜研究了一系列元素的线状光谱，认识到每种金属元素各有其特征的谱线，并且不受其他元素的干扰，不受含量多少的限制。这就为人们寻找含量稀少的新元素，提供了可靠的手段。

1860年5月10日，他们利用分光镜从矿泉水中，发现了金属元素铯。1861年2月23日，他们又从锂云母矿中，发现了金属元素铷。这两个元素的光谱呈现美丽的蓝线和红线。

1861年，英国物理学家、化学家克鲁克斯，利用光谱仪测定制备硫酸的剩余残渣的光谱时，发现了一条明亮的绿色谱线。他经过分析研究，断定这是一种新元素发射的，把这种新元素命名为铊。

1863年，德国化学家赖希发现了新元素镉。

这样，通过不断的分析研究，到19世纪60年代，人类已经发现60多种化学元素。

化学元素的分类

随着时间的推移，人们发现的元素不断增加，对元素性质的认识也不断深入。

那么人们不禁要问，自然界到底有多少元素？元素之间有没有什么关

系？当时人们在测定元素原子量的同时，开始对元素进行分类研究。

最早把元素分类的是法国的拉瓦锡，把他认为是元素的 33 种元素分为 4 类：金属、非金属、气体、土质。这个分类只能是个尝试，其中有很多不是元素，也没有触及到元素之间的内在联系。

瑞典化学家贝采利乌斯把元素分为 3 类，即负电性元素、过渡性元素、正电性元素。他试图以元素的本质来分类，稍微有些进步。

1851 年，英国医生普劳特第一次试图把所有的元素统一在一定的秩序下。他根据当时测定的原子量都近似整数，并且是氢原子量的整倍数，提出所有元素都是由氢原子构成的假说。

普劳特假说过于牵强，当然不能成立，但他第一次从原子量方面来研究元素之间的关系，影响较大。

1829 年，德国化学家德贝莱纳在探索元素的原子量和其化学性质相互关系的基础上，对元素进行局部分类，提出“三元素组”的分类法，从已知元素中抽出 15 种，分为 5 组：

第一组：锂钠钾

第二组：钙锶钡

第三组：氯溴碘

第四组：硫硒碲

第五组：锰铬铁

德贝莱纳发现，原子量相近的元素，其性质也比较接近，在上面划分的 5 组中，同组元素的性质相近，中间一个元素的性质介于前后两个元素之间，而它的原子量正好是前后两个元素原子量的算术平均数的近似值。

“三元素组”分类法，向人们揭示了元素的原子量和元素的性质之间确实存在着内在关系，为人们指明了探索元素规律的方向。

1850 年，德国药物学家培顿科弗提出，性质相似的元素原子量相差常为 8 或 8 的倍数，并对“三元素组”分类法进行了修正，把一些原子量相近、性质相似的元素加进相关的组中去。

另外还有法国化学家尚古多把元素按原子量大小排列的螺旋图，英国化学家纽兰兹把 8 个元素按原子量递增排列的“八音律”等等。

在化学元素周期律最后完成之前，人们对元素的分类不下 50 种，有些比较牵强，有人挖苦地说：“把元素按字母顺序排列起来，是否能得出什么规律呢？”

但人们对元素规律的探索，为最终的元素周期律打下良好的基础。正是在这样的条件下，德国化学家迈尔和俄国化学家门捷列夫最后完成了化学元素周期律。

1830 年 8 月 19 日，罗塔·迈尔生于德国奥顿堡，父亲是医生，母亲是护士。由于家庭环境的影响，迈尔上了医学院，在 1854 年获得医学博士学位，但他并不喜欢医生这个职业，而对化学兴趣极大，于是在毕业后并没有开业行医。

迈尔来到海德堡大学，著名化学家本生和他的朋友基尔霍夫正致力研究光谱学，影响很大，迈尔拜他们为师，努力学习化学知识，并学到了一定的实验技术。

1858 年，迈尔被聘为布累斯劳大学的物理化学讲师，教学之余，也加入了元素规律研究的行列。

1864年，迈尔出版厂《近代化学物理论》一书，发表了第张化学元素周期表。

这是迈尔在详细研究各元素物理性质的基础上，按照元素原子量的顺序编排的“六元素分类表”。这个表只列入了当时已经发现元素的一部分，表中留有一些空格，表明他认识到还有一些元素有待发现。

迈尔已清楚地认识到原子量和元素性质之间的内在联系，明确指出：“在原子量的数值上具有一种规律性，这是无疑义的。”

这个表按原子量排成顺序，对元素的分族作得已经很好，有了周期表的雏形。只可惜表中元素还不及当时已知元素的一半。

揭示元素周期律

德米特里·伊万诺维奇·门捷列夫，1834年2月7日生于西伯利亚的托波尔斯克，父亲是中学校长。

1841年秋天，不满7岁的门捷列夫考进了托波尔斯克中学，成为当地的一大新闻。由于年龄太小，需要在中学一年级学习两年。他十分爱好数学、物理和地理，成绩优秀，父母为儿子的聪明和好学而自豪。

门捷列夫非常喜爱大自然，他和老师一起外出旅行，采集花卉和昆虫标本，深得老师的器重。

1847年，门捷列夫的父亲去世，第二年他母亲经营的玻璃工厂也失火倒闭。

1849年春，门捷列夫中学毕业了。老师们都说他具有卓越的才能和智慧，将来一定很有出息。母亲也了解儿子的志趣，希望儿子能成为科学家，便带着他到莫斯科求学去了。

然而，莫斯科大学并不欢迎这位西伯利亚的乡间少年，因他不是豪门贵族出身而拒绝让他入学。

他母亲不气馁，又带着他去了彼得堡。幸好他父亲有一位朋友现在身居要职，帮助门捷列夫进了彼得堡师范学院物理系。

在学院一些有名望的教授和物理学家楞次、数学家奥斯特罗格拉德斯基、地质学家库托尔加等的指导下，门捷列夫一方面受到了良好的科学教育，特别在矿物化学方面打下了坚实的基础，另一方面开始了创造性的科学研究。

1854年，门捷列夫以优异的成绩从彼得堡师范学校毕业，前往敖德萨一所中学任教。在1855年5月，他荣获了“一级教师”的光荣称号和金质奖章。

在此期间，道尔顿的原子论和贝采利乌斯的二元学说，引起了门捷列夫的极大关注，促使他探索物质的内部奥秘。他一边教书，一边准备硕士论文。

1856年，门捷列夫顺利通过彼得堡大学的硕士论文答辩。第二年初被批准为彼得堡大学的化学副教授，时年23岁。

门捷列夫讲授的是理论化学和有机化学，教学工作非常繁忙，但他主要把精力放在科学研究上。当时，研究条件是非常差的，他的实验室是石头铺的两间小房子，设备非常简陋，连基本的试管也很少。

俄国当时的科学发展水平也很落后，无法和西欧一些国家相比。这些常常使门捷列夫感到苦恼。1859年，他获得去德国海德堡大学深造的机会，跟随著名化学家本生研究物理化学。

1860年9月，国际化学会议在德国的卡尔斯厄召开，门捷列夫也出席了这个盛会。在会上，化学家们广泛地探讨原子、当量以及分子、原子价等问题，并希望统一化学符号。

门捷列夫得以全面了解欧洲化学的实验水平和理论现状。特别是意大利青年化学家坎尼查罗不畏权威，力陈阿佛加德罗的分子观点，给门捷列夫留下了为真理而斗争的伟大形象。

1861年，门捷列夫回国。为了反映化学新成就，他着手编写教材。但在编写的过程中，如何排列已发现的63种化学元素呢？

当时，大多数科学家热衷于研究物质的化学成分，醉心于发现新元素，但很少有人整理和概括这方面的材料。虽然一些有识之士也曾探索这方面的理论，由于存在这样或那样的缺点，不断遭到攻击，研究的人越来越少。

门捷列夫知难而上，渴望能在理论上有所建树。这需要多么大的勇气啊！

门捷列夫从事纯理论工作，没有得到德高望重的前辈们的赞同。一位老教授劝告他不要搞这些难有结果的研究，不妨做些别的工作。就连他的老师齐宁也不支持他的工作，甚至在门捷列夫发现了元素周期律后，还毫不客气地训诫他是不务正业，希望他干点正事。

门捷列夫坚持自己的奋斗方向。

他说：“当我在考虑物质时，总不能避开两个问题：物质有多少和物质是怎样的？就是说，有两个概念，物质的质量和化学性质。我相信物质质量的永恒性，也相信化学元素的永恒性。因此，自然而然地产生出这样的思想：在元素的质量和化学性质之间一定存在着某种联系。”

于是，门捷列夫紧紧抓住原子量这个元素的基本特性，去探索原子量和元素的性质之间的相互关系。

在这个过程中，首先对前人的工作进行了认真地核对，批判地继承了前人的成果，又对所掌握的大量资料进行比较、核对和验证，进行去粗取精、去伪存真的整理工作。

在研究元素的原子量和原子价时，为了便于排列，门捷列夫把每个元素制成一个卡片，上面详细地注明他们的原子量、原子价、溶解度及性质，然后按照原子量的大小摆满了宽大的实验台。

门捷列夫的家人看到一向珍惜时间的教授突然热衷于“纸牌”游戏，感到非常奇怪。而他却拿起卡片像玩牌一样，一会摆到这儿，一会摆到那儿。

通过对卡片深入的研究，他发现各种元素的原子量可以相差很大，而不同元素的原子价变动范围却比较小。而且有许多元素具有相同的原子价。

在比较同价元素的性质时，发现它们的性质非常相似，而且所有1价元素都是典型的金属，7价都是典型的非金属，4价元素的性质介于金属和非金属之间。这使他坚信各种元素之间一定存在着统一规律性。

门捷列夫把元素按原子量的大小排列起来，发现像氯和钾这两个性质截然不同的元素，其原子量相差不多。而钾和钠的原子量相差很大，性质却十分相似。在钾以后的元素随原子量的增加其性质又显示出与钠到氯相类似的变化。

这些有规律的现象的出现，使门捷列夫更坚信各种元素的性质呈现出周期性变化的规律。

门捷列夫认为元素呈周期性变化的规律，应设法把它们排列起来。可是，排来排去都觉得不满意。夜深了，彼得堡大学的化学实验室仍然亮着灯光，

门捷列夫仍在排列卡片，他已经从鲜花盛开排到落叶缤纷，从赤日炎炎排到大雪飘飘，排了一年又一年...

这一天，他仍然在排着，已经三天三夜没合眼了，不知不觉中坐在椅子上睡着了，很快进入了梦乡，梦到了井然有序的**元素周期表**。

醒来后，立即排出梦中的表，后来发现只有一处需要修正。

这就是门捷列夫的第一张元素周期表，时间是1869年2月。

门捷列夫制成周期表后，立即把它打印出来，分送给他熟悉的物理学家和化学家，并决定在3月份举行的俄罗斯化学学会上发表。

化学学会召开了，由于门捷列夫患病不能亲自出席，便委托他的朋友门舒特金代为宣读了题为《元素属性和原子量的关系》的论文，阐述了元素周期律的基本论点：

1. “按照原子量的大小排列起来的元素，在性质上呈现明显的周期性”；
2. “原子量的大小决定元素的特征，正像质点的大小决定复杂物质的性质一样”；
3. “应该预料到许多未知单质的发现，例如预料类似铝和硅的，原子量位于65至75之间的元素”，“元素的某些同类元素将按它们原子量的大小而被发现”；
4. “当我们知道了某元素的同类元素以后，有时可以修正该元素的原子量”。

这样，门捷列夫初步实现了使元素系统化的任务，把已发现的63个元素全部列进表中。尤为注目的是，他在表中列出了4个只有原子量而没有元素名称的空位，表明门捷列夫预示必有这种原子量的未知元素存在。他还对表中的钽、碲、金、铋4个元素的原子量表示了怀疑。

门捷列夫的发现没有立即被承认，甚至他的老师也不支持。但门捷列夫深信自己的研究工作具有重要意义，不顾名家和权威的指责，继续对周期律进行更深入细致的研究。

门捷列夫从元素周期律的基本观点出发，大胆地修改了某些元素的原子量。

他在把元素按原子量大小排列时，发现元素铍破坏了化合价周期变化的规律。同时锂与硼之间相差太大，而碳与氮之间相距太近，好像前面少了1个元素，而后面多了1个元素，那么这个元素是铍吗？

于是他把铍放在锂和硼之间，化合价便呈现由小到大的规律性变化，但是原子量从小到大的变化却被破坏了，便果断地把铍的原子量由13.5改为9。紧接着他重新测定了铍的原子量，果然是9.4。

门捷列夫还对铀、钍、镱、铟、铈、钕等元素的原子量进行了修改。

1871年，门捷列夫发表《化学元素的周期性依赖关系》，制作了第二个“元素周期表”。

在这个表中，他首先将元素周期表由竖行改为横排，使同族元素处于同一竖行中，更突出了元素化学性质的周期性；在同族元素中，他和迈尔一样划分为主族和副族。他还预言了未知元素的性质。

元素周期律在化学发展史上具有重要的科学价值。从此，自然界的各种元素不再被看作是彼此孤立、不相依赖的偶然堆积，而是把它们看作是有内在联系的整体。

元素周期律的发现，使人们对世界的物质统一有了进一步的认识。

元素周期表中，表明了元素性质发展变化的过程是一个由量变到质变的过程。每一周期的元素随着原子量的增加显示出性质逐渐地发生量变，到周期的末尾就显示出质的飞跃。到下一个周期不是简单的重复，而是由低级到高级的发展过程，从而反映了物质内部的本质联系，证明了辩证唯物主义的正确性。

门捷列夫的元素周期律是 19 世纪科学的重要成果，对当时以及后来的化学，还有相关科学产生了深远的影响。

门捷列夫的元素周期律为进一步寻找新元素提供了理论依据。

他在元素周期表中留有 6 个空位，预言其中有 3 个元素的性质分别类似于硼、铝、硅，他们的原子量大约是 44、68 和 72。

他指出，类铝这个元素的原子量为 68，原子体积为 11.5，比重为 5.9~6.0，它熔点低，易挥发，可希望在光谱分析中发现。

在门捷列夫预言的 4 年后，即 1875 年，法国化学家布瓦博德朗，在分析比利牛斯山的闪锌矿时，用分光镜发现了一个新元素，命名为“镓”。他把这一成果发表在《巴黎科学院院报》上，关于镓的几个数值是：

原子量：69.9，原子体积：11

.7，比重：4.7。

布瓦博德朗发现的镓正是门捷列夫预言的“类铝”。他兴奋地看到了这一消息，但布瓦博德朗的比重是 4.7，和自己预言的 5.9~6.0 之间相差较大，“肯定是他弄错了，或者是那块物质纯度不够！”门捷列夫非常自信。

不久，布瓦博德朗收到了门捷列夫的来信。信的大意是：衷心祝贺你发现了新的元素镓，但根据我的元素周期律推测，它的比重应该是 5.9~6.0 之间，希望你重新测量一下。

布瓦博德的感到非常奇怪，自己是世界上唯一拥有镓的人，这个俄国人怎么知道它的比重应该是 5.9~6.0 呢？于是将信将疑地重新进行了测定。

在对镓进行进一步的提纯后，布瓦博德朗测得的比重为 5.94，正处于 5.9~6.0 之间。

布瓦博德的大为惊讶，立即回信对门捷列夫表示感谢，并著文盛赞他的元素周期表的成功，并指出：“我以为没有必要再来说明门捷列夫这一理论的巨大意义了。”

化学史上第一次预言的新元素发现了。

镓元素的发表，在科学界引起了巨大的反响，元素周期律迅速地闻名天下，得到了人们的承认。各个国家的实验室迅速行动起来，以期发现门捷列夫的其他元素。

在这场竞赛中，瑞典化学家尼尔森在 1879 年首先发现了“钪”。这是他在对硅铍钇矿石和黑稀金矿进行研究时发现的，它的特征几乎和门捷列夫预言的“类硼”完全符合。

钪的发现又一次光辉地证实了门捷列夫的元素周期律。

1886 年，德国化学家文克勒发现了“锗”，这又与门捷列夫预言的“类硅”极其相似。文克勒大为惊奇，由衷地赞叹道：“再也没有比‘类硅’的发现能这样好地证明元素周期律的正确性了，它不仅证明了这个有胆略的理论，它还扩大了人们在化学方面的眼界，而且在认识领域里迈进了一步。”

门捷列夫的元素周期律获得了伟大的胜利，它的天才成就得到了全世界的公认。

门捷列夫一生著述颇丰，发表 431 部（篇）著作，在 1869~1871 年写成的名著《化学原理》，是有史以来第一部根据元素周期律安排材料的化学教程，生前再版 8 次，各种外文本也多次再版。

门捷列夫的成就得到了全世界的承认，几乎所有的外国科学院都聘请他为名誉院士，他还担任了世界上 100 多个科学团体的名誉会员。

门捷列夫从一个西伯利亚的穷孩子，成长为世界上杰出的科学家，是他不懈努力的结果。

1907 年 1 月 27 日，门捷列夫坐在椅子上，手里握着笔。人们发现他已经逝世了。

