

科学史及其与哲学和宗教的关系（下册）

第六章 十九世纪的物理学

科学时代——数学——不可称量的流体——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，不能与世界分离来考虑，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) 与摄尔黎斯 (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，虽然我们已知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利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）是韦斯特摩兰（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。

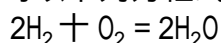
道尔顿在小圆圈中加上点、星和十字等记号来代表元素的原子。这个方法后来为瑞典化学家柏采留斯（Berzelius, 1779—1848 年）加以改进，形成我们现今所用的体系，即用字母为符号去代表同一个元素的原子量相当的该元素的相对质量。例如 H 不是模糊地代表氢元素，而是代表等于 1（1 克、1 磅或其他单位）的氢的质量；O 代表等于同一单位的 16 倍的氧元素的质量。

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（Grotthus）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《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 $2c/r$ ，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)。

世纪。

不过，到 1840 年，人们就开始了解自然界里各种能量至少有一些是可以互相变换的。1842 年，迈尔（J.R.Mayer）主张由热变功或由功变热均有可能。迈尔在空气被压缩的时候，所有的功都表现为热的假定下，算出了热的机械当量的数值。同年，英国裁判官兼 226 科学家、以发明一种伏特电池著名的格罗夫（w.R.Grove）爵士，在一次讲演中说明了自然间能量相互关系的观念，并在 1846 年出版一本书《物理力的相互关系》中，阐述了这个观念。这本书和 1847 年德国大生理学家、物理学家与数学家赫尔姆霍茨（H.L.F.vonHelmholtz，1821—1894 年）根据独立的研究写成的《论力的守恒》，是一般地论述现今所谓的“能量守恒”原理的最早著作。

1840 至 1850 年间，焦耳（J.P.Joule，1818-1889 年）以实验方法测量了用电和机械功所生的热量。他先证明电流通过导线所生的热量，与导线的电阻和电流的强度的平方成正比例。他压水通过窄管或压缩一定量的空气或使轮翼转动于液体中，而使液体生热。他发现不管用什么方式作功，同量的功常得同量的热，根据这个等值的原理，他断定热是能量的一种形式。虽是这样，“经过多年之后，科学界领袖才开始赞同这种看法”，虽然斯托克斯告诉威廉·汤姆生（William Thomson）：“他宁愿做焦耳的一个信徒”。1853 年，赫尔姆霍茨访问英国时就已经看见许多人对这个科学问题发生兴趣，他到法国时又看见雷尼奥（Regnault）已经采取了新的观点。焦耳的最后结果表明：使一磅水在华氏 55 至 60 度之间温度升高 1 度所需要消耗的功为 772 呎磅。后来实验证明比较接近精确的数字是 778 呎磅。

焦耳用热与功等价的明确的实验结果，给予格罗夫所主张的“力的相互关系”、和赫尔姆霍茨所倡导的“力的守恒”的观念以有力的支持。这个观念就这样发展成为物理学上以“能量守恒”得名的确定原理。能量作为一个确切的物理量，在那时的科学上还是新东西。这个名词所表示的观念，曾经用不准确的、具有双重意义的“力”一词来表达。托马斯·杨指出，这样就把“能量”和“力”混淆起来了。能量可以定义为“作功的力”，而且如果两者的转换是完全的，能量便可以用所作的功来测度。“能量”一词用于这种专门的意义应归功于兰金（Rankine）与汤姆生。汤姆生采用了托马斯杨所提出的把力和能量区别开来的主张。

焦耳的实验证明在他所研究过的情况里，一个体系中能的总量是守恒的，功所耗失之量，即作为热而出现。一般的证据引导我们把这个结果推广到其他的变化上去，例如机械能变为电能，或化学能变为动物热之类。直到近年为止，一切已知的事实都适合于这句话：在一个孤立的体系中，总的能量是守恒的。

这样确立的能量守恒原理可以和较早的质量守恒原理相媲美。牛顿的动力学的基础就在于这样一种认识：有一个量，——为了便利起见，称为一个物体的质量——经过一切运动而不变。在化学家手里，天秤证明：这个原理在化学变化中也一样地有效。在空气中燃烧的物体，它的质量并不消失。如

Liebig's Annalen, May, 1842.

w.R.Grove, The Correlation of Physical Forces, London, 1846.

Helmholtz, Abhandlung, von der Erhaltung der Kraft, 1847.

J.P.Joule, Collected Papers.

果把所产生的物质收集起来，它们的总量必等于原物体与所耗的空气中的份量的总和。

能量也是这样的：质量以外的另一个量出现在我们的意识里，主要是因为它经过一系列的转换仍然不变，我们觉得承认这个量的存在，把它当作一个科学的概念，并且给它起一个名字，是有种种便利的。我们称它为能或能量，用所作的功量或发生的热量来测量它的变化，并且费了许多工夫，经过许多疑惑，才发现它的守恒性。

十九世纪的物理学，没有一个方法可以创造或毁灭质与能。二十世纪出现了一些迹象，说明质本身就是能的一种形式，从质的形式转变为能的形式并非不可能的事，但直到近些年为止，质与能是截然不同的。

能量守恒的原则，约在 1853 年为汤姆森 (Julius Thomsen) 首先应用于化学。他认识到在化学反应里所发出的热是这个系统的含能量在反应前后的差异的衡量尺度。既然在一个闭合的系统中，最后的能量和最初的能量必然是相同的，因此，在某些情况下，我们就有可能预言这个系统的最后状态，而不必顾及中间的步骤，也就是一步跳到一个物理问题的解答，而不必探究达到目标的过程，象惠更斯对于某些比较有限的力学问题所做过的那样。由于这个 223 实际的用途和它固有的意义，能量守恒原理可以看做是人类心灵的重大成就之一。

但是它有自己的哲学上的危险性。由于质量守恒原理和能量守恒原理在当时可以研究的一切情况下无不有效，这两个原理就很容易被引伸为普遍的定律。质量成了永恒而不灭的；宇宙里的能量，在一切情形下及一切时间内都成了守恒而不变的。这些原理不再是引导人们在知识领域内凭借经验逐渐前进的万无一失的响导，而成了有效性可疑的重要哲学教条了。

气体运动说

1845 年，瓦特斯顿 (J.J. Waterston) 在一篇手稿备忘录中，进一步发展了由于热与能统一起来而显得更加重要的气体运动说。这篇备忘录在皇家学会的档案搁置多年而被人遗忘了。1848 年，焦耳也研究了这个问题。这两位科学家把这个理论推进到别尔努利所没有达到的地步，并且各不相谋地算出分子运动的平均速度。1857 年，克劳胥斯 (Clausius) 才首先发表了正确的物质运动说。

由于分子碰撞的机会很多，而这种碰撞又假定带有完全的弹性，所以在任何瞬间，所有的分子必定向一切方向，带着一切速度而运动。全部分子的平动总能量可以量度气体的总热量，而每一分子的平均能量可以量度温度。

从这些前提，我们可以用数学方法推导出气体的压力 p 等于 $\frac{1}{3}nmv^2$ ，这里 n 是单位容积中的分子数， m 是每个分子的质量， v^2 是气体速度平方的平均值。但 nm 是单位容积中气体的总质量，即是它的密度，所以如果温度和 v^2 不变，则气体的压力与其密度成正比例，或与其容积成反比例，这是波义耳由实验

见第十二章。

Life of Lord Rayleigh, p.45; Joule, sCollectedPapers, 又看“Joule.”, in D.n.B. by Sir Richard Glazebrook. O.E. Meyer, Kinetic Theory of Gases, Eng. trans. R.E. Baynes, London, 1899.

发现的定律。如果温度变化的话，由于 p 与 v^2 成比例，压力必随温度而增加，这就是查理定律。如果我们有两种气体在同压与同温之下，从以上的方程式可知在单位容积中两气体的分子数相等，这是阿伏伽德罗从化学事实得到的定律。最后，就这两种气体来说，分子的速度 V 必定与密度 nm 的平方根成反比例，这关系可以解释气体渗透多孔间壁的速度，这正是 1830 年格雷厄姆 (Thomas Graham) 由实验所发现的定律。

从这些演绎可见别尔努利、焦耳和克劳胥斯等提出的初步的气体运动论和气体的比较简单的实验性质是符合的。而且如瓦特斯顿和焦耳所表明的，这个学说使我们可以近似地算出分子的速度。例如，在摄氏零度及水银柱 760 毫米标准大气压，或每平方厘米 1.013×10^6 达因的压力下，氢的单位质量的容积是 11.16 升或 11,160 立方厘米。因此从 $P = \frac{1}{3} nmV^2$ 方程式得到 V 为每秒 1844 米，或每秒一英里多。氧元素的相应数字是每秒 461 米。这些数字是 V^2 的平均值的平方根； V 本身的平均值，即分子速度，稍小一些。1865 年，劳施米特 (Loschmidt) 根据气体运动论，首先算出一立方厘米的气体在 0°C 和大气压下所有的分子数目为 2.7×10^{19} 。

麦克斯韦与波尔茨曼 (Boltzmann) 将高斯由概率理论所导出的误差律应用到速度分配的问题上去，这个理论现时对许多研究部门都十分重要。它表明由于分子的偶然碰撞的机会极多，它们可分为几群，每一群在某一速度范围内运动，其分布如图 5 所示。横标代表速度，纵标代表以某一速度运动的分子数。如果以最可能的速度为单位，我们就可以看出，速度三倍于最可能速度的分子数差不多可以略而不计。人们还可以划出类似的曲线来表示靶上枪弹分布，物理量度中的误差分布，按身长、体重、寿命长短、或考试中表现出的能力等划分的人群的分布。不论在物理学、生物学或社会科学上，概率理论与误差曲线都有很大的重要性。预测一个人的寿命长短或一个分子在未来某时刻的这度，是不可能的；但如果有了足够数目的分子或人，我们就可用统计的方法来加以处理，我们可以在极窄狭的范围内，预测有好多分子在某一速度范围内运动，或好多人将死于某年。从哲学上来说，我们不妨说我们已经达到一种统计决定论，虽然在这个阶段里，个体的不确定仍然存在。

波尔茨曼与沃森 (Watson) 查明。原来以他种速度运动的分子有归于麦克斯韦—波尔茨曼分布的倾向，因为这是最可能的分布。他们证明这种倾向与热力学上一个名为“熵”的量趋于最大值的倾向相当。达到这种最可能的情况——即熵达于最大值，速度按误差定律分布的过程，和洗纸牌相似。这种现象在自然界里是随时间的推移自然出现的；现时在科学上和哲学上，都有极大重要性。

麦克斯韦还指出气体的粘滞度必依其平均自由程而定，所谓平均自由程即一分子在两次碰撞之间所经过的平均路程。氢的平均自由程约为 17×10^{-6} 厘米，氧为 8.7×10^{-6} 厘米。碰撞的频率约为每秒 10^9 次，这个数字很大，说明为什么虽然分子的速度很大，气体的弥散仍然很慢。气体的粘滞度并不象一般人所想象的那样随密度而变小，而是随着气体的被抽出，始终保持不变，除非密度达到很低的水平。这些理论的结果为实验所证明，因此这个理论的部分很高深的部分很早就得到人们的信任。

根据气体运动论，温度是用分子的平均能量来度量的，但这些分子也可能具有由转动、振动等而来的能量。麦克斯韦和波尔茨曼表明总能量

应与分子的“自由度的数目”，即决定一个分子的位置所需要的坐标数成比例。空间一点的位置决定于三个坐标，因此决定温度的分子整体的运动，含有三个自由度。设自由度的总数为 n ，当气体受热时，热能的一部分 $3/n$ 变为平动的能量，以使温度增高，其余 $(n-3)/n$ 加则被分子用到其他运动上去。气体在容积守恒的情况下加热时，所有的热都用来增加分子的能量，但如压力不变，容积必增加，因此它必反抗大气的压力而作功。我们可以证明，从这里可以得出如下结论，在定压和定积的情况下，两种比热之比可以表为 $1 + 2/n$ 。所以，如 $n=3$ ， $\gamma = 1 + \frac{2}{3} = 1.67$ 。

在麦克斯韦进行这个计算的时候他还不知道有什么气体有这样的比值，但后来发现分子各单原子的气体，如汞蒸气、氫和氦都合于这个计算结果，因此，就热能的吸收而论，它们与简单的质点并无分别。平常的气体如氫与氧是双原子的分子。它们的 γ 等于 1.4，表明这些分子有五个自由度。

如果将温度的改变一并加以考虑，波义耳定律—— $pV = \text{常数}$ ——可扩张为 $pV = RT$ ， R 是一个常数。分子间的吸引按密度的平方 a/v ，而变化，这里 a 是一个常数，所以，其效果将 p 增加到 $P + \frac{a}{v^2}$ 。分子本身所占的容积，不能再加压缩，所以其效果将 v 缩减到 $v-b$ ，因此，范·德·瓦尔斯 (Van der Waals) 于 1873 年得到以下的方程式：

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT,$$

这个方程式用来表达某些“非理想气体”，同波义耳定律有出入的情况，颇为合适。

有几位物理学家，特别是安德鲁斯 (Andrews)，用实验方法对这种气体加以考察。安德鲁斯在 1869 年左右对气体与液体两种状态的连续性进行了研究。他指出每种气体都有其确定的临界温度，在这温度之上，无论压力怎样大，都不能使这种气体液化。因而气体液化的问题是一个怎样把温度降低到临界点以下的问题。

植物学家布朗 (Robert Brown) 1827 年在显微镜下看见极微质点的不规则运动，从而直接证明了分子的运动；1879 年拉姆赛 (William Ramsay) 在解释这个现象时，认为这是由于液体分子冲击悬于液体中的质点而造成的。克鲁克斯 (Crookes) 注意到如将轻的风车翼一面涂黑，装置在高度真空管中的旋转轴上，再把它放在日光中，它必按光亮的一面的方向旋转。麦克斯韦在解释这种旋转时认为这是由于黑的一面吸收了较多的热而造成的。分子受热激动，以较高的速度跳跃，碰撞风车翼时，便将黑面向后推动。

热力学

1824 年，“胜利的组织者”的儿子卡诺 (Sadi Carnot)，指出每一热机（或热引擎）必须有一热体或热源与一冷体或冷凝器，当机器工作时，热即由较热的物体传到较冷的物体。卡诺在其手稿中谈到能量不灭的观念，但

Royal Society, Phil. Trans. 1869, ii, P. 575.

指法国大革命时代的政治家、军事家拉查尔·尼古拉·卡诺 (Lazare Nicolas Carnot, 1753—1823 年)。

——译注

有很长时间，人们都按照热质说去了解他的研究成果，以为热经过机器后在量上不减，是靠温度的降低来作工的，正象水由高处降落，使水车工作一般。

卡诺认为要研究热机的定律，必须首先想象最简单的情形：热机全无摩擦，热不会因传导而散失。他还认识到在研究机器的工作时，我们必须假定热机通过一个完全的观察的循环，作工的物质，无论是蒸汽也好压缩空气也好或其他任何东西也好，经过工作之后仍然回复到原来状态。如果不是这样，机器可能从工作物质内部的能量中吸取功或热，全部的功可能就不全是经过机器的外部的热所做的了。

卡诺的循环说的现代形式是克劳胥斯与维廉·汤姆生（即后来的凯尔文男爵）完成的。当功变成热或热变成功的时候，其间的关系可以用焦耳的结果来表示。不过虽然永远有可能把一定量的功全部变成热，反过来要把一定量的热全部变成功，一般来说却是不可能的。在蒸汽机或其他热机里，所供应的热量只有一小部分变成机械能，其余的部分由机器中较热部分传到较冷部分，不能做有用的功。经验证明：热机开动时从热源取来一定量的热 H ，而把其中的一部分热量 h 传给冷凝器。这两个热量之差 $(H-h)$ 就是可变为功 W 的最大热量，而实际完成的功与所吸收的热量之比 W/H ，可作为这个机器的效率 E 。

一个理论上完善的机器，既不会由传导失去热，也不会由摩擦失去功，所以而

$$W = H - h,$$

$$\text{而 } E = \frac{W}{H} = \frac{H - h}{H}$$

一切完善的机器具有相同的效率，否则，我们便可把两个机器连结在一起，从冷凝器的热能中得到功，或通过一种自动的机制，继续不断地把从冷体吸到热体中去，这两者都是同经验不合的。因此，效率以及由热体吸取的热与冷体放出的热之比，是与机器的形式或工作物质的性质无关的。和这些数量有关的只有热源的温度 T 和冷凝器的温度 t ；而吸收的热与放出的热之比，只要写成了 $T/t=H/h$ 的形式时，便可用来做两个温度之比的定义，于是：

$$E = \frac{H - h}{H} = \frac{T - t}{T}$$

这样，汤姆生就制定出一种热力学的温标。它是绝对的，因为它与机器的形式或工作物质的性质无关。如果一个完善机器的冷凝器的温度是零度，即 $t = 0$ ，或 $E = 1$ ，那就是说所有吸收都转变为功，没有热到冷凝器去，这时效率是 1。任何机器不能作比它吸收的热当量更多的功，或者说任何机器的效率都不能大于 1。因此这种温标的零度是绝对零度，即没有比这更冷的温度了。

这样规定的热力学的温标，纯粹是理论上的。实际上，我们根本无法测量一个完善机器所吸收的热量与所放出的热量之比，来比较这两个温度。单说一个理由：我们根本无法制造出一个完善的机器。因此我们必须把热力学的温标变成实用的东西。

焦耳在一个研究里，和他以前的迈尔一样，利用对空气进行压缩的办法来把功变为热。不过为了说明他采用这个办法的理由，焦耳重新进行了盖伊—吕萨克的被忘记了的实验，并且证明让空气膨胀而不作工，则温度没有可觉察的改变。由此可见当气体膨胀或收缩的时候，气体的分子状态没有什么

变化，在压缩空气时，所作的功都变形为热。汤姆生与焦耳设计了一个更精细的实验方法。证明将气体压过一个多孔的塞，然后任其自由膨胀，温度的改变实在有限，空气稍为变冷，氢气甚至稍稍变热。根据数学上的考虑可以知道，如果用空气或氢气制成温度计（零度接近 -273°C ），这种温度计差不多和绝对的热力学的温标相合，其间的小小差异，可以从自由膨胀的热效果计算出来。

热力学上的推理所得出的推论，不但使工程师可以把热机理论放在坚实的基础之上，而且在许多别的方面大大推动了现代物理学和化学的进步。法拉第单单利用压力，就在一个简单仪器中将氯气液化了。但绝对温标的理论以及汤姆生和焦耳的多孔塞实验为现代的一系列研究开辟了道路。经过这一系列研究，终于使一切已知气体都液化，并且最后证明各种类型的物质都在三种状态下连续存在。多孔塞的效果在平常温度下固然很小，在把气体先行冷却以后，就变得很大。如果不断迫使一种冷气体通过一条管嘴，它会变得更冷，并且可以用来冷却后面流来的气体。这样，235 这个过程的效果就累积起来，气体最后就被冷却到临界温度而液化。杜瓦（James Dewar）爵士在 1898 年用这方法使氢液化，卡麦林-翁内斯（Kamerlingh-Onnes）在 1908 年把最后剩下来的氦气液化。杜瓦用来进行液化实验的真空玻璃瓶，就是现今人所熟习的保温瓶。

有不少人研究过这种极低温对于物体性质的效应。最显著的一种变化便是电的传导率的急剧增大；例如铅在液态氢的温度（ -268.9°C ）的导电率比在 0°C 时，约大十亿（10）倍。电流在这种低温的金属电路里，一经开始，便经历许多小时而不稍减。

要从热的供应得到有用的功，温差是必需的。但在自然界中，通过热的传导与其他方式，温差是不断变小的。因此在一个有不可逆的改变进行的孤立的系统中，可作有用的功的热能倾向于不断地变得愈来愈少，反之，克劳胥斯称为熵的数学函数（在可逆的系统中是常数），却倾向于增加。当可用的能达到最小限度或熵达到最大限度的时候，就再没有功可做了，这样就可以确定这个系统的平衡所必需的条件。同样，在一个等温（即温度不变）的系统中，当吉布斯（Willard Gibbs）所创立的另外一个数学函数：“热力学的位势”到了最小限度的时候，也可以达到平衡。这样，克劳胥斯、凯尔文、赫尔姆霍茨、吉布斯与奈恩斯特（Nernst）等就创立了化学和物理学平衡的理论。现代的物理化学的很大一部分，以及许多工业上重要的技术应用都不过是吉布斯热力学方程式的一系列的实验例证而已。

最有用的结果之一就是所谓的相律。设想一系统里有 n 个不同的成分（例如水与盐两个成分）和 r 个相（例如两个固体、一个饱和溶液和一个蒸汽等四个相），根据吉布斯定理，自由度的数目 F 将是 $n-r$ ，这上面还须加上温度与压力两个自由度。因此相律可表为下式：

$$F=n-r+2。$$

以前发现的第二个方程式给出如下四个量——即任何物态变化的潜热 L ，绝对温度 T ，压力 p 与容积的变化——之间的关系，即

$$L = T \frac{dp}{dT} (v_2 - v_1) \text{ 或 } \frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(v_2 - v_1)}$$

这个方程式的原理本来是詹姆斯·汤姆生 (James Thomson) 所创立的, 1850 年左右, 由凯尔丈男爵、兰金和克劳胥斯等人加以发展, 以后更由勒·夏特利埃 (Le Chatelier) 应用到化学问题上。潜热方程与相律方程合在一起提供了不同的相的平衡的一般理论, 以及系统不平衡时压力随温度的变化率。由此也可以知道, 外界对系统的作用在系统内造成一种对抗的反作用。

在相律方程里, 如 $r = n + 2$, 则 $F = 0$, 这个系统便是“非变系”。例如, 在只有一个成分的情况下, 当水质的冰、水和汽三相集在一起的时候, 它们只有在某一特殊温度才能达到平衡, 而且只有在压力调整到某一特殊数值的时候, 才能达到平衡。如果只有两相, 例如水与汽, 则 $r = n + 1$ 与 $F = n = 1$, 因而系统只有一个自由度。在 pT 曲线上任何一点上, 这两相都可以达到平衡, 这曲线上每点的斜率都可用潜热方程测定。不只一个成分的系统自然更加复杂。

相律关系在科学与工业上极重要的一种应用, 便是合金结构的研究。这一研究为人们提供了具有特殊性质、适合于特殊用途的许多金属。这方面的理论主要是利用三种实验方法创立起来的: (1) 以适当的液体侵蚀金属, 放在显微镜下研究其磨光的截面; 在 1863 年, 英国谢菲尔德 (Sheffield) 的索尔比 (H.C. Sorby) 和德国夏罗滕堡 (Charlottenburg) 的马顿斯 (Martens) 创立了这种方法, 主要是用来研究铁, 其后, 这个方法又有很大的改进。这个方法清楚地揭示了金属与合金的晶体结构。(2) 热方法。让熔融的金属冷却, 对时间和温度加以测量。当物态改变, 例如由液态变成固态时, 温度的降落变缓, 或有一段时间完全停顿。在这方面, 可以举出鲁兹布姆 (Roozeboom) 关于吉布斯理论的研究 (1900 年) 和海科克 (Heycock) 与内维尔 (Neville) 的实验为例。(3) X 射线 237 方法。这个方法是劳厄 (Laue) 与布拉格爵士父子创立的, 它揭示了固体 (不论其为盐类、金属或合金) 的原子结构, 并开辟了一般原子研究的新领域。

双金系的最简单的平衡可以用海科克和内维尔关于银与铜的研究为例来说明。纯银沿曲线 AE (图 6) 从液态里凝冻, 纯铜沿曲线 BE 从液态里凝冻。在交点 E, 银、铜两晶体同时出现, 因而凝固是在不变的温度下进行的。在这种合金里, 银占 40%, 铜占 60%, 其结构是有规则的, 因而名叫“易熔合金”。

如果固体象液体一样可以改变其组成成分, 我们将得着“和晶”或“固溶体”, 与更复杂得多的现象, 鲁兹布姆首先用吉布斯的理论, 阐明了这些现象。在表示固溶体的图里, 固体的溶度曲线的交点指明了一个极低的、以易熔点得名的温度。在这里, 两个固态相一块从其他固态相结晶出来, 而形成一种在结构 L 类似易熔合金的易熔质。图 7 是说明铁碳 (碳少于 6%) 混合物的鲁兹布姆图的现代形式。这个图可以说明现已查明并且有了名称的各种化合物与固溶体, 甚至说明了完全是固体的各种合金在确定的温度下的变化。这种金相图帮助我们探索组成成分、温度调节与物理性质之间的关系, 以及铁和钢“回火”的结果。

近年来制出了许多具有各种特殊性质、适合各种用途的新合金, 特别是铁的合金。供和平目的使用的合金如不锈钢, 供制造武器使用的铁合金, 都含有少量的镍、铬、锰、钨等金属。这些金属经过适当的热处理之后, 可使

铁的刚硬度或坚韧度增大或具有其他需要的性质。这些近年来的发展都是建立在上述理论与实验的基础之上的。以下举出几个这样的合金的例子：

将 3% 的镍加在钢内，增加强度而不减少延性。如果使用 36% 的镍的话，由于碳含量低，膨胀系数将变得很微小，这种合金可用于很多用途，称为“殷钢”或“因瓦 (invar) 合金”。铬能使碳化物稳定，加少许于钢内，所造成的合金能抗腐蚀。镍铬钢在机器制造上很重要，特别是含有少许铝的镍铬钢。锰也能使碳化物更加

稳定，如果锰的成分很多则造成的合金易脆，锰的成分再多一些，最后就制成含碳 12% 的“高锰钢”。对这种合金的表面加工，可使其坚硬，获得极高的抗磨性，常用以制造碎石机的部件。钨原子量大，能减少固溶体里的移动性，因而保持高度的抗蠕变能力，并延缓相变。钨钢与钴钢相同均可用以制造恒磁体。

在非铁合金里，铝的合金特别有趣，也特别有实用价值。1909 年左右，维耳姆 (Wilm) 等人开始对于这种合金进行认真的研究。后来主要是由于航空工业需要质轻而强的金属，这一研究又有进一步的发展。铝合金里有一种名叫“硬铝”，含铜 4%，镁 0.5% 和锰 0.5%，其余 95% 为铝。为时间所硬化后，硬铝的强度可与软钢相比。还有许多别的铝合金与其他金属的合金，各具有特殊的性质。

热力学第一定律是能量守恒原理，第二定律是可用的能量愈来愈少。在把这些观念扩大应用到整个恒星宇宙上的时候，就有人认为，宇宙间的能量不断地通过摩擦转化为热而浪费了，同时，可用的热能又因温差减少而不断地减少起来。于是有些物理学家便想到在遥远的将来宇宙中所储蓄的一切可用的能量可能都要转化成热，平均分布到保持机械平衡的物质中，以后就永远不可能再有任何变化了。但这个结论建立在几个未经证明的假设上。(1) 它假定根据有限的观察结果得出的结论，在大体上还没有弄清的更广泛的局面中同样有效；(2) 它假定恒星宇宙是孤立的体系，没有能量可以进去；(3) 它假定单个分子由于互相碰撞，速度不断地改变，我们不能追踪它们，把它们分为快速与慢速两类。

麦克斯韦想象有一个极小的生物或妖魔，有极微妙的感觉，可以跟踪每个分子的行动，负责管理墙壁上一扇无摩擦的滑动门，墙壁两边有两个装满气体的房间。当快速分子由左到右运动时，小妖立刻开门，当慢速分子来时，他立刻关门。于是快速分子聚集在右室，慢速分子聚集在左室。右室里的气体逐渐变热，左室里的气体逐渐变冷。这样，有了控制单个分子的能力就可以使弥散的能量重新集中起来。

在十九世纪所了解的自然界的情况下，在我们只能用统计的方法来处理分子的时候，能量耗散的原理原是不错的。人们生活与活动需要的能量的供应量好象不断地愈来愈少，而热力学上的衰变的过程也有慢慢消灭宇宙里的生命的危险。按照新近的知识，这个结论究竟在多大程度上得到修改或证实，我们将在后面的一章内再加论述。在这里，我们应该指出，当分子的速度按照麦克斯韦-波尔茨曼定律分配的时候，熵达到最大值——即能量的耗散达到最大限度——的热力学条件就达到了，而这种分配的概率却是一个最大值。这样，就把热力学同概率论的已知定律及物质运动论联系起来。

光谱分析

那种把天和地区别开来的传统看法，经过整个中世纪，人们还是这样相信，但伽利略与牛顿却把这种看法打破了。他们用数学方法与观察方法证明，通过实验确立的落体定律在整个太阳系中一样适用。

可是要最后证明天地同一，不但需要天地在运动方面是类似的，而且还需要证明天地在结构上与组成成分上也是类似的，还需要证明构成地上物体的习见化学元素，在太阳、行星与恒星的物质中也一样的存在。这好象是一个无法解决的问题。可是在十九世纪中叶却找到了一个解决的办法。

牛顿已经证明日光通过棱镜所形成的彩色光带，是由于白光分析成物理上比较简单的成分的缘故。1802年沃拉斯顿发现太阳的光谱被许多暗线所截断；1814年弗朗霍费（Joseph Fraunhofer）重新发现这些暗线，并用多个棱镜增加光谱的色散度，仔细地将暗线的位置描绘下来。另一方面，1752年，梅尔维尔（Melvil）首先观察到，金属或盐类的火焰所造成的光谱，在黑暗的背景上呈现特殊的彩色明线；1823年，约翰·赫舍尔（John Herschel）爵士又一次表示这些谱线可以用来检验金属的存在。这建议引起人们对于谱线位置进行观测，并加以描绘与记录。

1849年，弗科研究了炭极间的电弧光所生的光谱，发现在黄橙两色之间，有两条明线，恰在弗朗霍费称为D的两条暗线位置上。弗科更发现当日光通过电弧时，D线便比较平常为暗，若将一个炭极的光（它本身产生连续光谱而无暗线）通过电弧，则D线又会出241线。弗科说：“可见，电弧光本身是发生D线的，但若D线从旁的光源而来，电弧光就加以吸收。”

弗朗霍费谱线的理论好象首先是由斯托克斯（George Gabriel Stokes, 1819—1903年）在剑桥的讲演中加以阐明的，可是由于他特有的谦逊，他并没有将他的见解广泛宣传。任何机械体系都能吸收与自己的天然振动合拍的外来能量，正象只要对儿童秋千不断地给予和它的自然摆动周期一致的一系列小冲击，便能使它动荡不停一样。太阳外围的蒸气分子也必定能吸收从比较热的内部射出的特殊光线的能量，只要这些光线的振动周期同蒸气分子的振动周期一致。这样射来的光必定缺少了具有那种特殊振动周期的光（即某一色彩），结果太阳光谱中便产生一条暗线。

1855年，美国人奥尔特（David Alter）描述了氢和其他气体的光谱。1855至1863年间，本生（von Bunsen）在罗斯科（Roscoe）的合作下，进行了一系列的实验来研究光的化学作用，1859年，他与基尔霍夫（Kirchhoff）合作创立了最早的光谱分析的精确方法，于是化学元素，尽管只有微量，也可由它们的光谱检查出来。铯与铷两个新元素就是用这个方法发现的。

本生与基尔霍夫在事先不知道弗科实验的情况下，让发连续光谱的白热石灰光，通过含有食盐的酒精火焰，结果，看到了弗朗霍费的D谱线。他们又把锂放在本生煤气灯中重新进行了这个实验，找到一条在太阳光谱中找不到的暗线。他们断定太阳的大气中有钠，但没有锂，或者是含量太少，观察不到。

这样开始的天体光谱学，经过哈金斯（Huggins）、詹森（Jan-ssen）与洛克耶（Lockyer）等人的努力，有了很大的发展。1878年，洛克耶在太阳色球层的光谱的绿色部分看见一条暗线，和地上光谱中任何已知线都不符

合。他和弗兰克兰 (Frankland) 共同预言。太阳里有一个可以说明这种现象的元素；他们并把这个元素命名为氦。1895 年，拉姆赛在一种结晶铀矿里发现了这个元素。

1842 年，多普勒 (Doppler) 指出，当一个波源与观测者作相对运动时，所观测到的波的频率便会发生改变。如果波源向观察者逼近时，每秒钟达到观察者的波数必定增多，结果是声或光的频率变高。反之，波源离观察者而去时，声或光的频率降低。在快车穿过车站时，汽笛声音由高而低，就充分说明了这种变化。如果一颗星向地球而来，其光谱线必向紫色一端移动，如果离地球而去，则向红色一端移动。这种多普勒效应虽然很小，却可以量度，经过哈金斯及以后许多人研究，使我们对恒星运动增长了不少知识，在近来还使我们对其他现象增长了不少知识。

同时光与辐射热具有相同的物理性质，也得到充分证明。1800 年，威廉·赫歇尔 (William Herschel) 爵士指出，将温度计放在太阳光谱中就可以看出，在可见的红色光之外，仍有热效应。过后不久，利特尔 (Ritter) 发现可见的紫色光以外仍有射线，可使硝酸银变黑。1777 年，舍勒 (Scheele) 就发现了这种摄影作用。1830 至 1840 年间，梅洛尼 (Melloni) 证明看不见的辐射热和光一样，有反射、折射偏振、干涉等性质。有许多物理学家，特别是基尔霍夫、丁铎尔 (Tyndall) 与鲍尔弗·斯特沃特 (Balfour Stewart) 把发射与吸收两种强度的等价原理，扩大应用到热辐射。他们发现，一个能吸收一切辐射的黑体，受热时也能发射一切波长的辐射。普雷沃斯特 (Prevost) 在其交换理论 (1792 年) 中指出，一切物体都辐射热量，只是在平衡时，其所吸收之量恰等于所发射之量。

麦克斯韦从理论上证明辐射对它所照射的面施加一种压力，这压力虽然极其微小，但近年来已用实验方法加以证实。1875 年，巴托利 (Bartoli) 指出这种压力的存在使我们想象一个充满辐射的空间，可以有理论上的热机的汽缸作用。1884 年，波尔茨曼证明黑体的总辐射按其绝对温度的四乘方而增加，或 $R = aT^4$ 。斯蒂芬 (Stefan) 在 1879 年就已经凭经验发现了这个定律。这个结果很有用，不但对于辐射理论很有用，而且可以利用这个结果，通过观察所放出的热能来测量火炉的温度，甚至太阳和恒星的表面温度。温度增加时，不但总辐射照这个方式增加，而且所发射能量的最大值，也向比较短的波长的方向移动。

最后，一个元素的不同谱线的频率之间的确定关系，虽然到二十世纪才在物理学上显出无比的重要，在十九世纪时就已开始引起人们的注意，1885 年，巴尔默 (Balmer) 指出氢元素的可见光谱里的四条线，可用一个经验公式来代表。后来哈金斯指出，这个公式还可表达紫外谱线的频率以及星云谱线和全食时日冕光谱线的频率，因此，这些可能都是氢元素的谱线。由此，他断定星云和日冕之内有氢元素存在。

电波

上面说过，法拉第的许多电学实验工作应归功于他对电介质或绝缘质的重要性的本能的理解决，当电流的作用越过空间使磁针偏转或在不相联的另一

电路上产生感应电流时，我们要么就必须想象有一种未经解释的“超距作用”，要么就必须想象空间里有一种传达效应的桥梁。法拉第采纳了第二种想法。他假想在“电介极化”里有一些力线或一些质点链。他甚至想象它们离开来源后，可以在空间里自由行进。

麦克斯韦（1831—1879年）把法拉第的想法写成数学公式。他指出法拉第电介极化的改变即相当于电流。既然电流产生磁场，磁力与电流正交，而且磁场的改变又产生电动力，显然磁力与电力有相互的关系。因此，当电介极化的改变在绝缘介质中，四面传布时，它必作为电磁波而行进，电力与磁力则在前进的波阵面上相互正交。

麦克斯韦所发现的微分方程式说明，这种波的速度只随介质的电与磁的性质而不同（这也是很自然的），而这个速度可表为

$$v = 1 / \sqrt{\mu k},$$

式内 μ 代表介质的磁导率， K 代表介电常数或电容率。由于两个电荷间的力与 K 成反比，两个磁极间的力与 μ 成反比，所以用这两种力来规定的电与磁的单位必含 K 与 μ 。而任何单位的静电值与电磁值之比，例如电量的单位，必含 μ 与 K 的乘积。所以只要通过实验比较两个这样的单位，便可测定电磁波的速度 V 的数值。

麦克斯韦和几位物理学家发现，这样测定的 V 的数值为每秒 3×10^{10} 厘米，和光的速度相同。于是麦克斯韦断定光是电磁现象，有了一种以太就可以传播光波和电磁波，无需再臆造好几种以太了。原来光波与电磁波，波长虽然不同而却是同类的。

但是我们怎样对待人们化费了那么多心血来研究的弹性固体以太呢？我们究竟应该把电磁波看作是“准固体”里的机械波呢还是应该按意义还不明白的电与磁来解释光呢？麦克斯韦的发现，第一次向世人提出了这个难题。可是他却加强了人们对于传光以太存在的信心。很明显，以太既能传光，也能执行电的作用。

麦克斯韦的研究成果在英国立刻得到承认，但在大陆上则没有得到应有的注意。到 1887 年，赫兹（Heinrich Hertz）才用感应圈上的电花所发生的振荡电流，在空间产生并检验到电波，而且用实验方法证明电波具有许多与光波相同的性质。如果真的有以太，它里面就挤满了“无线电波”，而这些波绝不是空气里传播的。这一发现主要应该归功于麦克斯韦与赫兹的工作。

麦克斯韦要求物理学家集中注意绝缘的介质，以为这是带电系统中最重要的一部分。很明显，电流的能量是在介质中通过的，而电流自己不过是这种能量耗散为热的路线，这条路线的主要功用是引导能量沿着有可能耗散的路径前进。在很迅速变化的交流电中，如在感应圈的电花的电流或闪电电花的电流中，能量刚进入导体，电流方向就改变了。因此，只有导线或避雷针的表皮可以有效地带电，电阻也就比在稳恒电流的情况下高得多。

麦克斯韦理论的主要困难是不能对电荷给予明白的说明，至少不能对法拉第的电解实验所指明的相异的原子电荷给予明白的说明，麦克斯韦死后不久，原子电荷的观念就成了极重要的问题，我们现在就必须加以论述。但是

麦克斯韦用了拉格朗日和哈密顿所创立的数学方法，得到关于不传导介质的方程式这些方程式决定一个以速度运动的扰动的传播。参看作者的书：Theory, of Experimental Electricity.

我们须得先离开本题，去作一点题外的叙述。

化学作用

很早以来，化学作用的原因与机制便成为臆度的题材，引起牛顿很多的注意。1777年，温策尔（C.F.Wenzel）进行了确定的测量，想通过观察化学变化的速度来估计酸类对于金属的化学亲合力。他发现化学反应的变化率与酸类的浓度，即试剂的有效质量成比例，贝尔托莱（Berthollet）也独立得到这个结果。

1850年，威廉米（Wilhelmy）研究了蔗糖加酸时的“反旋”，即蔗糖分子分解成为较简单的左旋糖和右旋糖的过程。他发现当蔗糖液的浓度在反应进行过程中减少的时候，变化率便与时间的几何级数成比例而减少。这就是说在任何瞬间离解的分子数与当时存在的分子数成比例——假定蔗糖分子的离解互不相干，这种结果是很自然的。不管什么时候，只要这个关系对于某一化学变化有效，我们便可推断分子是单个地在起作用，而这种变化便称为单分子反应。

另一方面，如果两个分子互相起作用（双分子反应），变化率显然决定于分子碰撞的频率，而这频率又与两种起作用的分子的浓度或有效质量的乘积成比例。如果分子的浓度相等，则此乘积将等于浓度的平方。

如果反应是可逆的，当两种化合物AB与CD互相作用而成AD与CB时，后二种同时也互相作用，而回到AB与CD；当相反的变化以同等变化率进行时，即当 $AB + CD \rightleftharpoons AD + CB$ 时，必成平衡状态。

这种动态平衡的观念是威廉森（A.w. Williamson）在1850年首先明白提出的。1864年，古德贝格（Guldberg）与瓦格（Waage）对化学作用的质量定律加以完满的表述；杰利特（Jellett）在1873年，范特-霍夫（Van't Hoff）在1877年又重新发现了这个定律。这个定律不但如上所述，可由分子运动理论推出，也可根据热力学原理从溶液体系的能量关系诱导出来。它在许多化学反应中得到实验上的证明。

上面说过，蔗糖的反旋在有酸类在场时进行得很快，否则进行得极慢。酸类并没有什么变化，它好象只促进反应，自己并不参加反应。这一现象在1812年首先为基尔霍夫发现。他发现在淡硫酸溶液中，淀粉可变化为葡萄糖。戴维注意到铂能使醇蒸汽在空气中氧化。多贝赖纳（Dobereiner）更发现铂的粉末可使氢氧二气化合。1838年，德拉托尔（Cagniard de Latour）与施旺（Schwann）各不相谋地发现糖所以能发酵而成酒精与二氧化碳，是由于一种微生物的作用，柏采留斯更指出发酵与铂粉所促成的无机反应有相似性。柏采留斯把这种作用叫做“催化”，说促成化学反应的试剂具有“催化能力”。他指出在生物体中由普通物质、植物液汁或血而生成的无数种化合物，可能是由类似催化剂的有机体所制成的。1878年，库恩（Kuhne）把这些有机催化剂叫做“酶”或酵素。

1862年，拜特洛（Berthelot）与圣吉勒斯（Pean de St Gilles）发现，如按分子比例将乙基醋酸与水混合，经过几星期之后，乙基醋酸就部分水解而成乙醇与醋酸，变化的速度是递减的。如果从酒精与酸开始，则化学变化朝反方向进行，最后平衡时的比例是相同的。这些反应很慢，但如有矿

酸在场，则几点钟内即可达到同样的平衡。这样酸就成了一种催化剂，而且可以看出，催化剂的功用在于促进两个方向中任何一个方向的化学反应。从某种意义上说，它的作用，好象滑润剂对机器所起的作用一样。1887年，阿累利乌斯（Arrhenius）发现酸类的催化作用与其导电率有关。

气体也有同样的现象，1880年，狄克逊（Dixon）发现如果氢氧二气很干燥，这两种气体就不能爆炸而成水气。1794年，富勒姆（Fulhame）夫人已早观察到这个现象。1902年，贝克（Brereton Baker）指出，如化合进行得很慢并且形成了水，就没有爆炸现象。阿姆斯特朗（Armstrong）表示，反应自身所形成的水过于纯粹，没有催化作用。据我们所知，还有一些时候，纯粹的化学物质也是不起作用的，似乎须有复杂的混合物在场，才能促进变化。有机催化剂或酶在生物化学上的重要性将在以后几章内叙述。

十九世纪最后几年发现了几个新的惰性元素。1895年，第三代雷利爵士（third Lord Rayleigh）注意到，从空气得来的氮比从其化合物得来的，密度要大一些，因而导引他和拉姆赛发现了一种惰气，命名为氩。跟着发现的还有氦（参看241页）、氦、氖与氙，这是四年间从空气里发现的五个新元素。氩现在用于炽热的充气电灯，氙与氖用于广告霓虹灯。氖因其红光具有穿透性，更用于灯塔。和别的天然气一道从加拿大和美国的某些土地里逸出的氦气，过去用来充填飞船上的气球。这些元素在门得列耶夫周期表内形成原子价为零的一族，而在以后要叙述的莫斯和的原子序数表里也有其适当的地位。阿斯顿等人后来对于原子量与同位素所进行的研究使得这些气体在理论上比以前更加重要。

溶液理论

物质在水中或其他液体中可以溶解，这是人所熟知的现象。有些液体，如酒精与水，按任何比例都可互相混合，而有些液体如油与水，一点也不能混合。固体如糖可在水里自由溶解，金属就不溶解；空气与类似的气体仅少许溶解于水，而氨气与氢氰酸气则大量溶解。

物理变化可与溶解同时发生。溶液的容积可能比溶质和溶剂相加的容积小，而且可能有吸热和放热现象。许多中性盐溶解于水时产生致冷效应，可是也有少数盐类如氯化铝溶解时发出热来。酸类与碱类也常发热。

这些反应，经过许多化学家研究。他们认识到这种反应的性质很复杂，其中有混合与化合两种情形，不过，它们的成分不断改变（与其他化合物之有一定比例不同）说明其间存在有一些特殊关系。但在十九世纪以前没有人将溶液现象当作特殊问题。

首先有系统地研究溶解物质的扩散的人是格雷厄姆（Thomas Graham，1805—1869年）。他对于气体扩散的实验，我们在前章已经说过了。格雷厄姆发现，晶体，如许多盐类，溶解于水时，常能自由地穿过薄膜，可以比较快地从溶液的一部分扩散到另一部分。但明胶一类不形成晶体的物质，溶解后扩散极其缓慢。格雷厄姆称第一类物体为凝晶体，第二类为胶体。起初以为胶体必定是有机物，但后来才知道许多无机物如硫化砷，甚至金属如黄金，

Lord Rayleigh and (Sir) Wm. Ramsay, Phil. Trans. 189s. M.W. Travers. The Discovery of the Rare Gases London, 1928.

-W.C. Dampier Whctham, A Treatise on the Theory of Solution, Cambridge, 1902.

经过特殊处理，也可以呈胶体状态。

伏打电他的发明以及立刻随之而来的关于溶液电解性质的研究，已经叙述过了。1833年，法拉第指出，使一定电量通过电解液时，总是有一定量的离子在电极上析出。如果我们把电流看作是依靠离子的运动而传递的，这就意味着每一个原子价相同的离子必定带着同样的电荷，这样单价离子所带的电荷，就成了自然的单位或电原子。

1859年，希托夫(Hittorf)在这个问题上又前进了一步。他让电流通过两个不溶的电极，结果两个电极附近的溶液就程度不等地稀薄起来。希托夫看出，利用这个事实就可以用实验方法把异性离子运动的速度加以比较，因发放速度较大的离子的电极必失去较多的电解质。这样就可以测定两种异性离子的速度比。

1879年，科尔劳施(Kohlrausch)发明了一个测量电解液电阻的好方法。由于极化作用，直流电是不能使用的，但科尔劳施却克服了这个困难。他采用了交流电和大面积的海绵状电极，来减少沉淀物的表面密度。他不用电流计，而用对交流电有反应的电话机来作指示器。在这样避免了极化作用之后，他发现电解液也服从欧姆定律，即电流与电动力成比例。因此最小的电动力也可以使电解质中产生相应的电流；除了在电极附近之外，也没有极化的反作用。所以离子必定可以自由交换，象克劳胥斯所说的那样。

科尔劳施就这样测定了电解质的传导率，并且指出由于电流为反向离子流所传送，传导率一定可以用来测量反向离子速度的总和。再加上希托夫的测定离子速度之比的方法，我们就可以计算个别离子的速度了。在每厘米有1伏特电位差的梯度下，氢在水里运动的速度为每秒0.003厘米，而中性盐类的离子的速度则约为每秒0.0006厘米。氢离子的速度值，经洛治(Oliver Lodge)爵士在实验中加以证实。他用一种对氢灵敏的指示剂给明胶着色，使氢离子通过其中，然后加以追迹。中性盐离子的数值，则为本书作者所证实(本书作者观察了它们在着色盐类中的运动)，从沉淀的形成中也可以得到证实。这些方法以后又由马森(Masson)、斯蒂尔(Steele)、麦金尼斯(MacInnes)等研究者加以改进。

荷兰物理学家范特-霍夫对于溶液有另外一种看法。我们早已知道，经过细胞膜而渗入植物细胞的水，可以产生一种压力，植物学家佩弗(Pfeffer)用人工薄膜，即在不釉陶器上用化学方法造成沉淀而制成的薄膜，量度过这种渗透压。范特-霍夫指出，佩弗的测量表明，渗透压和其他因素的关系很象气体的压力，即与容积成反比，并随绝对温度而增加。在溶液不能渗透的薄膜中，水或其他溶剂可以进行可逆的渗透的现象使我们可以设想具有渗透性的细胞就是一个理想机器的汽缸，因此，范特-霍夫可以把热力学的推理应用到溶液上去，从而开辟了一个新的研究领域。他将溶液的渗透压和其他物理性质如凝固点、汽压等联系起来，这样，通过测量凝固点(这是一项比较容易做的工作)，就可以算出渗透压。他从理论上证明稀溶液的渗透压的绝对值必与同浓度的气体压力相同，然后他又用实验证明了这个结果。我们并不能象有些人所设想的那样因此就得出推论说：两种压力具有相同的原因，或溶解的物质保持着气体状态。热力学的推理并不涉及机制的问题，它表明有联系的量之间的关系，但却不涉及这种联系的性质。渗透压也许象气体的

压力一样，是由于分子的碰撞而产生的；也许是由 230 于溶质与溶剂之间的化学亲和力或化学化合而产生的。不管它的性质怎样，只要它存在，它就必定适合热力学原理，在稀溶液中，如范特—霍夫所证明的，它就必定遵循气体定律。可是它的原因未定，至少不是热力学所能确定的。

1887 年，瑞典人阿累利乌斯证明渗透压与溶液的电解性有关。我们都知道，电解质的渗透压异常之大，例如氯化钾或任何类似的二元盐类的溶液，其压力为同分子浓度的糖溶液的压力两倍。阿累利乌斯发现，这种特大的压力不但与电解的导电度有关，并且与化学的活动性，如酸类在糖发酵而变为酒精的过程中的催化能力也有关系。他的结论是这种压力说明电解质中离子互相离解。因此，举例来说，在氯化钾溶液中，虽然有若干中性的 KCl 分子存在，同时也有钾离子与氯离子各带着正电荷与负电荷，成为溶液导电度与化学活动性的来源。溶液越淡，离解的盐越多，到溶液淡到极度时，液中只有 K^+ 离子和 Cl^- 离子。有人认为这两种离子彼此分开，是和溶剂化合在一起的。

科尔劳施、范特—霍夫、阿累利乌斯的工作成了物理化学的庞大的上层大厦的起点。在这座大厦里，热力学与电学结合起来，使理论的知识不断地增进，并且愈来愈广泛地实际应用于工业。不但如此，我们也不要忘记后来有一些伟大的物理学家研究了电在气体中的传导，建成了现代科学中最有特征性的一个分支，而他们的离子观念却是溶液理论给予他们的。

从实验的观点来看，直接测定渗透压是很困难的，但是，美国的莫尔斯 (Morse) 与怀特尼 (Whitney)，以及英国的贝克莱 (Berkeley) 伯爵与哈特莱 (E.G.J.Hartley)，却先后在 1901 年和 1906—1916 年间，对高浓度的溶液中的渗透压进行了直接测定。莫尔斯与他的同事所用的测定方法基本上与佩弗的方法相同，只是在细节上大有改进。贝克莱与哈特莱并没有观察溶剂的流入在半渗透 251 透的小室里造成的压力，而是使溶液受到逐渐增长的压力，直到溶剂掉转运动的方向被排挤出去。他们把所得的结果和范·德·瓦尔斯方程式 (见 232 页) 加以比较；就蔗糖与葡萄糖而言，发现与下列公式最符合：

$$\left(\frac{A}{v} - p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

奥斯特瓦尔德 (Ostwald) 把质量作用的化学定律 (245 页) 应用于阿累利乌斯所想象的电解质的离解，找到一个稀化定律。

$$\frac{a^2}{V(1-a)} = K,$$

式内 a 代表电离度， V 代表溶液的容积， K 是常数。这个方程式对于弱的电解质有效，如轻度离解的酸和盐，这时上式变为

$$a = \sqrt{VK},$$

但此式对于高度离解的电解质无效，这一失败，有很长时间成为电离理论不能为人接受的一个障碍。

这个困难为最近的研究大体上克服。1923—1927 年间，德拜 (Debye)、尤格尔 (Huckel) 与翁萨格 (Onsager) 指出，由于离子间的作用力，离子周

围形成一种异性的离子大气。离子运动时，它须在前面建起一个新的大气，而其背后的大气消散。这一作用形成一种阻挡的电拖曳，使它的运动，与其浓度的平方根成比例而减少。这样就导出一个相当复杂的方程式。如将离子的可能的缔合一并计入，这个方程式与实验而得的关系，即浓度与导电度的关系，大致符合，就是对强电解质浓溶液来说也是如此。

阿累利乌认为强电解质只有部分离解，而最近的研究却表明是全部电离。至于浓溶液里相对电离度的减少，那是由于离子速度的变缓的缘故。用 x 射线分析，表明原子就是在固态的晶体内，也是彼此离开，以后，也有人提出这样的看法（见 384，427—8 等页）。

第七章 十九世纪的生物学

生物学的意义——有机化学——生理学——微生物与细菌学——碳氮循环——自然地理学与科学探险——地质学——自然历史——达尔文以前的进化论——达尔文——进化论与自然选择——人类学

生物学的意义

在随着文艺复兴开始的科学时期里，天文学与物理学的进步所引起的思想上的革命是最大的一次革命。当哥白尼把地球从宇宙中心的高傲地位上推下来，牛顿把天体现象收服到日常习见的机械定律管制之下的时候，许多构成整个神意启示理论基础的默认假设，恰好也遭到了破坏。这样，人们的观点就发生了彻底的改变，可是还要经历相当长的岁月，效果才能表现出来。地是宇宙的中心，人乃创造万物的唯一目的和意义一类的流行看法，在一般人的信仰里虽然仍有其地位，可是有知识的人士早已把同这些看法有联系的一些天文学观念抛弃了。

在十九世纪的飞跃进步中，最有效地扩大了人们的心理视野，促成思维方式上的另一次大革命的既不是物理知识的大发展，更不是在这些知识基础上建筑起来的上层工业大厦。真正的兴趣，从天文学转移到了地质学，从物理学转移到了生物学和生命的现象。自然选择的假说，第一次给进化的旧观念提供了一个可以接受的基础，使人类思想在它的无尽旅途中走上下一段漫长的行程。在这个过程中，达尔文成为生物学中的牛顿——十九世纪思想界的中心人物。单是自然选择也许不能完全解释后来出现的许多事实，但进化论本身却建立在一个广博的基础上了。这个基础随着时间的推移，只是更加巩固。

要追溯进化哲学的历史和意义，我们必须从第五章谈到的地方，去考察生物知识的进步。在构成生物学的基础的各门科学当中，物理学与物理化学，已经叙述过了，但是有机化学在十九世纪 253 才成为一个确定、独立的科学，须要在这里加以叙述。

有机化学

动植物体内复杂物质的化学，主要是那个奇特的碳元素的化学。碳原子有一个特殊的性质，既能自己互相结合，又能和别的元素结合，以构成很复杂的分子。我们说过，自古以来就有两种对立的学说，一种学说主张生命是一种特殊的生命原质，另一种学说认为在生命体中，和在外界的物质世界中一样，机械作用可以最终地解释一切现象。有很长时间，人们一直以为组成动植物组织的复杂物质只有在生命的过程里才能形成，因此有人认为，对于生命的灵魂说的信仰就是随着这种看法兴起和衰落的。1826年，亨内尔（Hennell）用人工的方法合成了乙醇，1828年，韦勒（Friedrich Wohler）用氰酸与氨制成了尿素。这些事实说明以前仅仅存在在生物体内的东西，现在也可以在实验室内制造出来了。以后跟着又制造出许多人工合成物，1887年，费舍（Emil Fischer），由碳、氢、氧等元素合成了果糖与葡萄糖。二

百年来有机物只能用干馏方法分析，分析的结果经过称量，按份数记录下来，即气、液、油和碳滓各占若干份，可是到了十八世纪后期，就已经知道了许多有机化合物，舍勒（Scheele）就分离出几种有机酸。

有机化学的头一个基本问题是测定化合物中的元素与其组成的百分数。现今所用的方法是将要测定的化合物放在氧化铜放出的氧内燃烧，然后测量燃烧后的产物的数量。这种分析的方法主要是由拉瓦锡、柏采留斯、盖伊—吕萨克与泰纳尔（Thenard）等人发明出来的，又由李比希（Justus Liebig）加以极大的改进，到 1830 年，碳化合物的成分可根据经验得到相当精确的测定。一个惊人的结果便是发现了“同分异构体”（即有些化合物组成成分百分数相同而物理与化学性质不同），例如异氰酸银与雷酸银，尿素与氰酸铍，酒石酸与葡萄糖都是。柏采留斯认为这种现象是由于两种同分异构体的分子中原子的排列与联系不同的缘故。同样的现象也在元素中发现了，拉瓦锡证明木炭与金刚石在化学上是同一物质。

柏采留斯的见解，在弗兰克兰（1852 年）、库珀（Couper）与凯库勒（Kekule, 1858 年）等人将原子价的观念阐明以后，得到进一步的发展。如常用酒精的经验式 C_2H_6O 可以写成构造式如下：

式中，凯库勒所指出的碳原子的四价，可用四条线表示，而每一条线可与别的原子如 H 或与别的原子团如羟基 OH 相连接。

1865 年，凯库勒在讨论芳香化合物的文章中，把这些见解推广去解释这类化合物中最简单的苯（ C_6H_6 ）的结构。凯库勒指出苯与乙醇不同，乙醇的碳链两端开放，而要解释苯的化学性质与反应，须将碳链的两端连成一个闭合的环，如下图所示：

只要设想有一个或多个氢原子被其他原子或原子团所置换，便可以表达比较繁复的芳香化合物的结构。

这样，有机化学便理论化了。人们根据理论上可能的结构式，预言有某些新的化合物存在，而许多预期的新化合物也真的合成或分离出来了。这样，就有机化合物而言，结构式的理论就使我们可以把演绎的方法应用到化学上去。

米彻尔里希（Mitscherlich）本来早已指出原子结构与晶状有关，在 1844 年，他又促请人们注意一个事实：酒石酸的同分异构物，虽然化学反应，组成成分及结构式都是一样，可是光学性质却不 255 相同。1848 年，巴斯德（Louis Pasteur, 1822—1895 年）使葡萄糖酸盐重结晶时，发现有两种晶体形成，它们的关系如右手与左手或实物与镜中的影像一样。如果将这两种晶体分别取出，再加溶解，一种溶液可使偏振光的偏振面旋转向右，另一种溶液则使偏振面旋转向左。第一种溶液后来证明含有一种普通酒石酸的化合物，第二种溶液则含有另一新盐，与第一种混合，即得葡萄糖酸盐。葡萄糖和类似物体的分解可以利用酵素一类有生命体的选择作用来实现。事实上，从有生命的物质中得出的许多产物在光学上都是活泼的，而在实验室中合成的同样的产物却是不活泼的。

1863 年，维斯里辛努斯（Wislicenus）根据乳酸的类似现象断定，这两

种不同的晶体一定是由于原子在空间的排列不同而造成的。1874年，勒·贝尔(Le Bel)与范特—霍夫也各自独立地得到这个观念。他们推断说，一切在光学上活泼的碳化合物都具有不对称的原子结构。范特—霍夫以为碳原子C位置在四面体的中心，其四角上放有四个其他原子或原子团(图8)。如果这四个原子或原子团各不相同，就可得一种不对称的结构，这里可能有两种安排，彼此的关系和实物与镜中影像的关系一样。勒·贝尔、琼斯(H. O. Jones)、波普(Pope)、基平(Kip-ping)等人又发现碳以外的其他元素，特别是氮的化合物也有同样的现象。

1832年，李比希与韦勒指出：在许多情况下，一个复杂的原子团(后来叫做“基”)通过化学作用在一系列化合物都是紧紧抱成一团的，就象一个元素的原子一般。

例如氢氧基OH，不但发现于水中，就是在一切苛性碱类与醇类中也一样存在。此外在有机化学与生物化学里还可找着无数的复杂的基，而且是有机化学和生物化学的反应所必需的。

从基的观念自然而然要走到构型的理论。这个理论是罗朗(Laurent)与杜马(Dumas)提出的：在1850年以后，又由威廉森(Williamson)与热拉尔(Gerhardt)加以发展。化合物可按照它们的构型分类，例如氧化物可以看做是在水型的基础上构成的，氢原子的一部或全部被同价的原子或原子团所置换。这种基与型的观念代替了柏采留斯的电性二元论。

构成生物机体的无数有机物逐渐被分离出来，在十九世纪后半期又按其元素用人工方法合成出来。它们都是以下三类化合物的某一类的成员或其衍生物：

(1) 蛋白质，含碳、氢、氮、氧，有时还有硫与磷。

(2) 脂肪，含碳、氢与氧。

(3) 碳水化合物(糖类)，含碳、氢、氧，氢和氧的比例和它们构成水的比例一样。

在这三类化合物中，蛋白质的化学结构最复杂，主要的基础是氮，它们容易分解为许多大致相同的成分，一般叫做氨基酸，含有氢、氮二元素结成的氨基NH₂。这类酸中有许多在十九世纪里被分离出来，并加以化学的检验。它们的结构是多样的，但都具有一个或多个酸性碳氧基(COOH学名“羧基”)和一个或多个碱性的氨基，所以它们同时具有酸、碱两性。各种有机体中发现的各种蛋白质，即是许多氨基酸以不同的比例所构成的。

1883年，库尔蒂斯(Curtius)用人工造成一种物质，其化学反应与蛋白质产物相同。跟着，费舍研究了这种物质与类似化合物的结构。他发明了几个方法来使氨基酸结合成复杂的物体。这种物体同消化酶作用于蛋白质而造成的蛋白陈很相象，这些物质就叫做“多肽物”。这样，在十九世纪结束以前，在测定生物机体的组成成份的性质方面，甚至在合成这些成分方面，都有相当的进步，但对于更复杂的蛋白质，仍然了解得很少。

生理学

十九世纪生理学上最早的概念之一就是，身体的生命是组成身体的各个组织的生命的总和结果。比夏(Bichat, 1771—1802年)提出了这个理论，

并且在弄清这些组织的特性方面有很多贡献。他以为在生命中，生活力与物理和化学的力量经常在斗争之中，后两种力量在生物死后，就重新主宰一切而毁灭了生物的躯体。

有些个别的观察已经说明大脑的各种功能各有一定的部位。例如 1558 年，威尼斯的马萨 (Massa) 注意到左眼后面的部位受伤可以妨碍说话的功能。哈勒 (Haller) 以为神经在脑髓中有一个共同的会合点，但迟到 1796 年，有资格的解剖学家仍然把脑室里的流体与盖伦的“动物元气”和亚里斯多德的“感官交会所”或“灵魂的器官”混为一谈。这种理论最后为先在巴黎、后在维也纳行医的加尔 (F.J.Gall, 1758—1828 年) 的解剖所驳倒。他把马萨的见解加以发扬光大，揭示了大脑的真正构造，并说“灰质是神经系统的活泼而必不可少的工具，白质只是联系的链条而已”。加尔被人指责为唯物主义者。他坚持遗传的重要，尤为人所不满，因为遗传一说和当时教会的道德责任观念是抵触的。他习惯于把无可置疑的事实与谬误丛生的学说混合在一起，这就给他招来更多的纠葛。他所辞退的助手斯珀茨海姆 (Spurzheim) 根据他对于大脑各部位功能的研究结果建立了荒唐的“脑相学”，因而使人以为加尔本人也不过是一个走江湖的骗子。但现代脑神经学仍然是建立在加尔的研究成果的坚实部分之上的。

比夏所主张的活力论，为另一位法国生理学家马让迪 (Majcn-die) 所修改。他以为生物的某些现象是一种不可解的生命原质造成的。自 1870 年以后，马让迪对于他认为适于用实验方法研究的问题进行了辛勤的研究，有不少成就。他反对当时流行的理论观点，崇拜实验，甚至盲目的实验；当时采用培根的实验方法的人很少，他却是一个。他证明脊神经的前后根功能各异，正如贝尔 (Charles Bell) 爵士所推测的那样，——这是神经系统生理学上的一个基本发现。马让迪还创立了研究药物效应的实验药理学，而且证明血液在血管里流动的主要原因是心脏的抽唧作用。

笛卡尔与他的学生以为由神经纤维传达到中枢的刺激会自动地变成向外去的神经冲动，而激发适当的器官或肌肉，这样，人体便成了一副机器。医疗学派接受了这个观点。贝尔、马让迪与霍尔 (Marshall Hall, 1790—1857 年) 等人对这问题提供了不少的证据。霍尔把随意的反射作用与无意识的反射作用区别开来。许多生活中的寻常动作如咳嗽、喷嚏、行走、呼吸都可以看做是反射，另外还有许多动作，从前认为包含复杂的心理作用，到十九世纪末年，人们，特别是夏尔科 (J.M.Charcot, 1825—1893 年) 与他的学生才把这些动作划归到反射作用去。到了二十世纪，在这些问题上更积累了不少的证据。

十九世纪初年，德国最著名的生理学家是约翰内斯·弥勒 (Johannes Muller)。在他的名著《生理学概论》中，他搜集了当时所有的生理知识。他对于神经功能也进行了不少研究。他有一个很有效果的发现：我们经验哪一种感觉，与刺激神经的方式无关，而只取决于感官器官的性质；例如光、压力或机械的刺激，作用于视神经与视网膜时，同样产生光亮的感觉。自从伽利略的时代以来，哲学界就相信，人们单凭感官是无法真正认识外界的。弥勒的发现给这一信念提供了生理学的根据。

见前 187 页。

G.ElliotSmith 在 The Times, August 22nd, 1928 上的文章。

不管这种研究多么成功，就是用物理与化学的实验方法来推进生理学的人们也往往感觉有许多问题是这些方法所不能奏效的。此外，还有一些人把主要兴趣放在形态学方面。他们采取更加彻底的活力论的观点。在法国特别是这样。在那里尽管有马让迪的实验工作，但科学界研究自然历史的气氛比研究生理学的气氛更浓一些。博物学家居维叶（Cuvier）的影响也有利于活力论。

马让迪的有名学生是克劳德·伯纳德（Claude Bernard, 1813—1878年）。他在实验才能上不亚于他的老师，认识到在设计实验室工作时需要心思与想象力。伯纳德所研究的主要是神经系在营养与分泌上的作用。他进行这项工作一面采用实验方法，一面进行直接的化学研究。他的工作成为现代生物化学的许多成果的先声。

在弥勒的书中，食物在胃里所经过的化学变化就仿佛是消化的全部过程。1833年，美国陆军外科医生博蒙特（Beaumont）发表了有关消化的许多新事实。这些事实都是他从一个受了枪伤、胃上留有一个孔穴的病人身上观察到的。伯纳德也在动物身上造成同样的情况，证明胰液可以把由胃进入十二指肠的脂肪分解为脂肪酸与甘油，把淀粉转化为糖，并溶化含氮物质或蛋白质。

杜马与布散果耳（Boussingault）认为植物与动物的功能完全相反。植物吸收无机物，制造有机物。动物本质上带寄生性，靠了把有机物变为无机物，至少是变为比较简单的残滓而生活。动物吸取有机食物，有时略加改变，但他们认为动物绝不能制出脂肪、碳水化合物或蛋白质。伯纳德用狗作实验，证明肝在神经控制的内分泌影响下，可从血液制成葡萄糖。1857年，他又用实验证明肝在活着时能生成一种类似淀粉的物质，他叫做肝淀粉或糖元，经过与生命无关的酵解后，即成葡萄糖。这样，他使人明了了糖尿病的性质，并指出动物也能制成某些有机物质。

伯纳德的第三个大发现便是所谓血管舒缩神经的功能。这种神经可以在感官冲动的刺激下产生不随意动作，以控制血管。他是由于研究一种神经的节引起的“动物热”，而发现这种功能的。后来事实证明，所谓动物热实际是由于血管的扩张而产生的。福斯特（Foster）说：“任何稍具广度的生理学讨论都迟早难免要遇到血管舒缩问题”；这些问题是由于伯纳德在一个活的动物身上进行一次简单实验而产生的。“假使伯纳德生在今天的英国，这个实验可能要遭到禁止，这样，他的工作成果……在出生前就要被扼杀了。”从历史上可以很明白地看出：有关重要器官与身体各种功能如循环、呼吸、消化的基本知识，现代生理学、现代医学与现代外科所依赖的知识，都是由于在动物身上进行实验而得来的。不准用这个方法增进知识的人，应负很大的道德责任，即令他们不了解事实或不了解这种实验牵涉多么重大的问题，他们的责任也丝毫不能减轻。

神经系统的研究为韦伯兄弟（E.H. and E.F. Weber）所推进。他们发现了抑制作用，如刺激迷走神经而使心跳停止之类。

1838年，马格纳斯（Magnus）对于呼吸获得进一步的知识。他 260 指出动脉和静脉管中的血均含有氧与二氧化碳，但其比例不一样。他以为气体是溶解在血液中的，但在 1857 年迈耶尔证明这两种气体与血组成一种松弛的化

合物。伯纳德指出一氧化碳的毒性作用是由于它从红血球的血红蛋白里将氧气不可回复地置换了，因此血红蛋白不起作用，再不能将氧气输送到身体的组织中去了。

哈维在 1651 年出版的《动物的生殖》一书中，已经把观察的胚胎学放在正确的基础之上，但真正开辟了现代发展的人是沃尔弗 (Caspar Frederick Wolff, 1733—1794 年)。他生于柏林，死于圣彼得堡，应俄国女皇叶卡特林娜之召到了那里。在沃尔弗生前，他的研究成果被人怀疑与忽视，但事实上他却开创了现代一切结构理论的先河。他用显微镜研究过细胞，指出怎样从一个原来性质纯一的胚子逐渐分化而形成各种器官。

冯·贝尔 (von Baer, 1792—1876 年) 指出细胞的增殖与分裂是一切胚胎发展的共同过程，后来更认识在整个动物界里，发育都是按这个过程进行的。1827 年，冯·贝尔再度发现克鲁克香克 1797 年所看见的哺乳动物的卵子，从而推翻了每一卵子都包含具体而微的小动物的旧说。我们可以说冯·贝尔创立了现代胚胎学。他批评了梅克尔 (Meckel, 1781—1833 年) 关于“个体历史是种族历史的重演”的理论；这个假说得到过早的承认，使胚胎学在十九世纪末年成了研究进化论者喜用的方法。当时，人们以为这个方法在个体历史中可以发现某些事实，而用另外的方法，只有经历无穷的困难，在动物界中进行广泛的比较调查，才能得到这些事实。

生物结构的细胞理论开始于十七世纪。胡克在显微镜里看见了“小匣或小室”，跟着雷汶胡克、马尔比基 (Malpighi)、格鲁 (Crew) 等人也有同样的发现。但大进展发生于十九世纪初期，那时米尔伯 (Mirbel)、杜特罗舍 (Dutrochet) 与他们的追随者逐渐将细胞理论奠定成形，而且按照从有核胚胎中产生的细胞不断分裂过程研究了植物和动物组织的形成。细胞理论是很多研究者的集体成就。

杜宾根 (Tubingen) 的冯·莫尔 (Hugo von Mohl) 研究了细胞的内容，并将细胞膜内的粘性物叫做原形质。冯·耐格里 (Karl von Nageli) 发现这种物质含有氮元素。舒尔茨 (Max Schultz) 把事实综合起来而形容细胞为“一团有核的原形质”并主张原形质是生命的物质基础。

柏林的微耳和 (Rudolf Virchow, 1821—1902 年) 将细胞理论应用于病理组织的研究，而在医学上展开了一个新的篇章。他在《细胞病理学》(1858) 一书中指出，病态结构是由原有的细胞变化而来的细胞组成的。例如癌有赖于细胞的病理发育，如果能找到一种治疗的方法，它就必须建立在控制细胞活动的方法的基础之上。

与扩大化学范围把许多生命变化包括在内的同时，在把物理学的原理应用到生理学问题方面，也取得很大的进展。哈维在解释血液循环时认为，血液靠了心脏的机械作用，被压到动脉和静脉里去；这个学说赋予生理学的研究以自然主义的色彩。但到十八世纪的后半期，由于这个问题非常困难，活力论的假说又普遍地被人采用；法国学派的“超机械力”到十九世纪中期还维持着它的影响。以后，意见就开始改变。这种局面最初是有机化合物的合成和我们叙述过的生理学方面的研究成果促成的，后来又为物理学方面的研究成果所加强：路德维希 (Karl Ludwig) 在生理学中使用了物理仪器；迈尔

与赫尔姆霍茨的工作表明，能量守恒的原理必定也适用于生物机体。

许多人认为这是非常可能的，没有证明的必要，但在许多年后，这一点才得到精确的实验证明。李比希的确说过动物热不是天生的而是燃烧的结果，但直到有人把各种食物放在量热器里燃烧测定其热值以后，才得到定量的证明。1885年，鲁布纳(Rubner)测定蛋白质与糖类的热值为每克4.1卡，脂肪为9.2卡。1899年，阿特沃特(Atwater)与布赖恩特(Bryant)发表了他们在美国所进行的更广泛的实验的结果。他们扣除了各种食物中不能消化部分，对鲁布纳的数字加以修正：蛋白质与糖类的热值为4.0卡，脂肪为8.9卡。一个从事重劳动的人每日所需的食物的燃料值为5,500卡，而不用肌肉工作的人，每日所需的食物的燃料值仅为2,450卡。伍德(T.B.Wood)等人新近对农场牲畜的研究，又把食物分为维持量(即动物存活所需的食物)，与增加量(即为发育与产乳所需的食物)两类。

要研究能量不灭的问题，我们就必须测定从食物中输入的能量与肌肉作工发热及排泄时输出的能量。鲁布纳在1894年对狗身上的输入和支出作了估计，算出这两个量出入在0.47%之内。1901年，阿特沃特、罗莎(Rosa)与本尼迪克特(Benedict)在人体上进行实验。他们的结果说明，两数出入在千分之二以内。脑力活动与其他没有计入的活动，很可能也需要能量，但其数值必然很小。

这种大体上符合能量守恒原理的结果说明，人体的体力活动归根结蒂应溯源于所摄入的食物的化学能量与热能量。由此，我们可以得出一个即使不严格符合逻辑也是十分自然的结论：能量的总输出额既然符合物理定律，那末中间过程当然也可以完全用这些定律来描述。

这种自然主义的观点不但因为许多观察者的工作证实了细胞理论而进一步巩固下来，而且还由于其他研究而进一步巩固下来，其中包括关于细胞结构与功能的研究。人们很快就把与胶体物质有关的物理现象的知识应用到生理学的问题上去，同时还发现神经作用的现象总是伴有电的变化。

事实证明，有许多种以克汀病得名的先天白痴，是甲状腺功能衰退造成的。1884年，希夫(Schiff)发现，如果用甲状腺素饲喂动物，可以防止切除甲状腺的后果。这个结果不久就应用于人体，使许多从前本来会以白痴终身的儿童，都成长为快乐而有智慧的人。

由于用科学方法说明了许多人体的生理过程，十九世纪中叶机械哲学愈见盛行。于是人们就产生了这样一个信念：生理学不过是“胶体物理学和蛋白质化学”的一种特殊情况。不管整个生理学问题以及构成这个问题的基础的心理学和形而上学的问题的真相怎样，有一点是很明显的：为了促进孤立地研究自然界的个别部分或方面的科学，我们必须假定生理的过程，在细节上也是可以了解的。要增进知识，就必须应用已经确立的自然原则，而从科学的有限观点来看，物理学与化学的基本观念与定律实在是自然原则的最好的终极陈述。这种分析的方法与观念是否足以解决整个动物机体的综合问题，那是另外一个深奥得多的问题。举一个极端的例子：有一个学说，说人的心灵运用身体，就象音乐家运用乐器一样，即使乐器也不过是一种物质的结构而已。

在十九世纪的第三个季度里，人们已经由研究同无机化学里催化作用相

这里指的是“大卡”，即将1公斤的水升高1所需的热量，等于物理学上所用的单位的1,000倍。

似的催化作用，进而去研究在生物机体中进行的许多过程。到 1878 年，有机催化剂或酵素在生物化学上已经具有很大的重要性，那一年在阐明它们的作用方面有很大贡献的库恩（Kuhne），给它们起了一个特殊的名称：“酶”。催化剂或酶的主要性质是，它象滑油之于机器那样，能促进化学反应，增加其速度，而自己却不作为一个组成成分加入最后平衡的物质。酶常是胶体物，并带有电荷，这也许是它们的作用的一个原因。事实上，1887 年，阿累利乌斯已经指出离子自身便有催化作用，在蔗糖的旋转中就是这样。1904 年和以后几年，柯尔（Cole）、米凯利斯（Michaelis）与索伦森（Sorensen）研究了离子对于胶状酶的影响。有机变化的过程常需特殊的酶。有些酶分量极微，只有凭它们的特殊反应才能把它们发现出来；另外一些可以分离出来加以研究。比较重要的酶有如下几类：分解淀粉的淀粉酶，在酸液中分解蛋白质的胃蛋白酶，在碱液中分解蛋白质的胰蛋白酶，以及分解酯类物的脂酶等。虽然在生物体内，酶的最明显的作用，是促进复杂的物体使其分解为比较简单的成分，可是它们的作用是可逆的。它们只在化学变化的进行方向上，促进其反应的速度。

十九世纪生物学最惊人的发展之一，是人们对于动植物和人类的细菌性疾病的来源与原因的认识大大增进。这种认识由于能增加我们控制环境的能力，因而和其他科学的实际应用一样，也显著地影响了我们对于人与“自然”的相对地位的看法。1838 年左右，德拉托尔和施旺发现发酵过程中的酵母是一些微小的植物细胞，而发酵液体中的化学变化在某种程度上是这些细胞的生活造成的。施旺还发现腐败也是一个类似的过程。他指出如果我们设法用加热的方法把所有与受检查的物体相接触的活细胞都毁灭净尽，并且以后只让它和经过赤热试管的空气接触，则发酵与腐败都不会发生。这样他就证明了发酵与腐败都是活着的微生物的作用造成的。

这些结果在 1855 年前后又由巴斯德加以证实与发挥。他认为每一个已知的自然发生的例子，都不是事实。他指出细菌的存在都是因为细菌从外面进来，或者里面原来就有细菌，后来才发育起来。巴斯德证明某些疾病如炭疽、鸡霍乱与蚕病就是由特种微生物造成的。后来许多别的疾病所特有病菌也发现了，它们的生活史也考查出来了，其中有许多疾病是人类中间流行的疾病。

利斯特（Lister）在 1865 年听说巴斯德的实验，到 1867 年就把这一成果应用到外科手术上去。他先是用石碳酸（酚）作为防腐剂，以后又发现清洁是一种有效的防腐方法。由于利斯特把巴斯德的研究成果应用于外科，再加上戴维爵士、马萨诸塞（Massachusetts）的莫顿（W.T.G.Morton）与爱丁堡（Edinburgh）的辛普森（J.Y.Simpson）爵士以前所发现的麻醉剂，外科手术就达到前此所未能达到的安全地步。这些发现在卫生、内科与外科方面所产生的效果，极其明显地表现在城市居民死亡率的降低上。如伦敦在二百年前每年的死亡率是千分之八十，而 1928 年则降低到千分之十二。

1876 年，科赫（Koch）发现炭疽杆菌的孢子的抵抗性比杆菌本身更强。1882 年，科赫又发现了造成结核病的微生物。大大发展了细菌学的技术，使它成为公共卫生与预防医学所必不可少的一种艺术与科学的，就是科赫。特殊的微生物，一经分离之后就可以让它们在明胶或其他媒介物的纯粹的培养液里自行繁殖。然后就可以在动物身上测定这些细菌的病理效应。

人们发现，至少在有些情形下，与微生物细胞的生命有关的某些变化所

以产生，是因为微生物细胞里有某种酶，或者是由于微生物细胞的活动而产生某种酶。1897年，毕希纳（Buchner）从酵母细胞内分离出了特种酶，并表明这种酶与活的酵母细胞相同能引起同样的发酵作用。这种酶的作用与一般的情况相同，反应完成之后，酶仍不变；单单它的存在就足以引起和促进化学反应。

1718年，蒙塔古（Mary Wortley Montagu）夫人从君士坦丁堡传入天花病的接种法。十八世纪末，杰斯提（Benjamin Jesty）根据一般人的信念，认为患过轻微牛痘的挤奶姑娘不会感染天花，英国柏克利乡间医生詹纳（Edward Jenner）用科学方法去研究这个问题，而发明了种痘的方法。他将病毒放在小牛体内，待其作用减弱时，再将痘浆注射于人身，使人得减轻或完全避免这种疾病的危害。这一发现开创了免疫学的研究。病原体产生有毒的物质或毒素。这种毒素是1876年首先在腐败物内发现的。1888年人们可用过滤培养液的方法，从细菌得到毒素。就白喉病而言，我们先从其细菌培养液取得毒素，然后把这种毒素逐渐加多地注射入马体内，马的组织内即制成一种抗毒素。由免疫的马血制成的血清，可以保护与病菌接触过的人和帮助已经患白喉病的人恢复健康，此外，用病菌的消毒培养法，我们可以制出各种疫苗，使人们对活的病菌所造成的各种疾病部分的或完全的免疫。1884年，梅契尼科夫（Metschnikoff）发现“食菌细胞”（白血球），具有消除致病性细菌的功能。

伯登—桑德森（Burdon-Sanderson）与巴斯德等把詹纳的毒素减弱的原理推广应用，去治疗其他疾病。巴斯德证明狂犬病或恐水病，就是在已经感染以后注射，一般也是有效的。这个可怕的、从前认为无法治疗的疾病，经注射后死亡率减少到百分之一左右。显微镜下看不见有细菌。这种病是一种比一般细菌小得很多的病毒所造成的。

病原微生物的生活史常常是很复杂的，有些病原微生物在不同的寄主里度过其生活的几个阶段。只有通过给活动物接种的极 266 周密的实验，才有可能研究它们的性质。有些寄主有时并不感受侵入的微生物的影响，这就使我们在研究感染的来源时遇到极大困难。人们最后战胜疟疾的经过是研究传染病时所遇见的困难与危险的最好的例子。疟原虫是法国军医拉维兰（Laveran）在1880年左右发现的。五年后意大利人观察到人们感染疟疾是由于被蚊虫咬伤。1894—1897年间，曼森（Manson）与罗斯（Ross）证明一种特殊的蚊虫（Anopheles，疟蚊类）身上有一种寄生虫，这种寄生虫就是疟原虫的幼虫。因此，防治疟疾的正确方法就是毁灭蚊虫的幼虫。而要毁灭蚊虫的幼虫，就需要把沼泽地带的积水排清。或用油膜覆盖于静水的池沼上面，以防止其生长。

同样，人们也查明马尔他病或地中海热，是一种微生物的作用造成的。这种微生物的一段生命寄生在山羊体内，由羊乳传染到人，可是山羊却不生病。人们还发现黑死病（鼠疫）与鼠、蚤及其他传递病菌于人的寄生虫有关。这是病菌通过间接途径进入人体的又一例子。只有明了这些病菌的生活史之后，防治的斗争才能收到最好的成效。

1893年，莱夫勒（Löffler）与弗罗施（Frosch）最先透彻地研究了超

我国的人痘接种方法于十七世纪传入欧洲，这里作者没有作进一步的探溯。——译注
AngeloCelli-Malaria,Eng.trans, London, 1901。

显微镜的病毒。他们指出患口蹄疫的动物的淋巴液经过可以隔离一般细菌的滤器后，仍然可以使其他动物感染疫病。他们断定所处理的对象，不是无生命的毒质而是能生殖的微小机体。我们至今还不能断定这些超显微镜的可滤过的、可以使动植物感染，很多疾病的病毒，究竟是不是粒子状的细菌。无论如何，它们的大小，必与分子接近，有人以为它们是一种非细胞的新型的有生命的物质。

碳氮循环

我们再来谈呼吸的问题。拉瓦锡与拉普拉斯证明动物的生命需要碳和氢经氧化而成二氧化碳与水。1774年，普利斯特列发现，如果把绿色植物放在小鼠“弄坏”过的空气停一个时候，这种空气就可以再一次恢复维持生命的功能。1780年，英根豪茨（Ingen-housz）证明植物的这种作用只有在日光下才能发生。1783年，塞尼比尔（Senebier）表明这种化学变化是把“固定下来的空气”变成“脱燃素的空气”，即由二氧化碳变成了氧。1804年，德·索热尔（deSaussure）对这个过程作了定量的研究。这些结果启发李比希进行研究，并提出一个概括的理论，说碳元素和氮元素在动植物交互生长与腐败的过程中，必经过循环的变化过程。

帮助植物增殖的活性物质是叶绿素。它的化学结构与在日光下的化学反应都很复杂，现在还不完全明瞭。但是它有一种能力，是地球上我们所看到的生命所必需的：它能利用日光的能量去分解空气中的二氧化碳，释出氧气，使之与植物组织的复杂有机分子里的碳相结合。在叶绿素的吸收光谱中，最大吸收量的位置恰与太阳光谱中最大能量的位置相合，这样一种手段与目的适应，不管是怎样产生的，毕竟是很奇妙的。

有些动物靠食用植物过活，也有一些动物靠吃其他动物维生，因此，一切动物都是依赖叶绿素所收集到的太阳能生活的。动物呼吸时，将碳化物氧化为有用的衍生物与排泄物，同时靠氧化所发出的其余能量维持体温。植物也慢慢放出二氧化碳，不过在日光中这种变化为具逆向的反应所掩蔽而已。植物与动物都把植物吸取的二氧化碳归还给空气中，无用的有机化合物就堆积在土中。在这里它们为无数土壤细菌所分解，变成无害的无机物，同时将更多的二氧化碳倾注于空气中。这样就完成了碳的循环。

与此相当的氮循环是较近的发现。罗马诗人味吉尔在其《农事诗》里，已经劝告在种麦之前须种黄豆、紫云英或羽扇豆。这种作法的好处是大家都知道的。但是其中道理直到1888年经过赫尔里奇尔（Hellriegel）与威尔法斯（Wilfarth）研究方才弄明白。豆科植物根上的瘤藏有一种细菌，能固定空气中的氮，用我们不知道的化学反应，把氮变成蛋白质，然后输送到植物里去。1895年，维诺格拉兹基（Vinogradsky）寻出另外一个过程：土中细菌直接由空气中得到氮，其所需要的能量大概是由死植物的纤维分解而来的。268植物可以从这两种来源得到氮。含氮的废物，主要是在土壤中适宜的细菌的帮助下，变成氨盐，最后变为硝酸盐。这是植物制造蛋白质所需要的氮的最好来源。土壤是物理的、化学的与生物的混合体，主要是胶体。为了维持它的平衡，它既需要从动植物腐败而来的有机盐，也需要从矿物而来

的无机盐。

李比希说明了矿物盐在农业上的重要性，但他忽略了氮的极端重要性。十九世纪中叶，这个问题才由布散果耳（Boussingault）以及吉尔伯特（Gilbert）和劳斯（Lawes）在罗森斯特德（Rothams - ted）实验站加以研究；他们的研究成果成了现代人工施肥的基础。植物生命不可缺少的元素是氮、磷与钾，但这些元素通常只有极少量。如果这些元素的一种分量过少，农作物的收成必受限制。只有按照植物能利用的方式添加不足的元素，植物才会自由生长起来。微量的其他元素，如硼、锰与铜，也是植物所需要的。

人工施肥的科学研究使农民在耕作方法上得到更大的自由。当人们可以把农作物所吸取的元素还给土地来维持土地的肥沃性的时候，旧日的轮种和休种方法就可以大大改变了。

自然地理学与科学探险

在十八世纪后半期和整个十九世纪，系统的世界探险工作进行得很快，而且大部分是在真正科学精神下进行的。1784年，英国军需部在洪斯洛荒地（Hounslow Heath）测定基线，开始利用三角学进行测量。这样，法国地图学家丹维尔（d'Anville）所创始的精密地图和海洋图就都有可能绘制出来了。

我们应当叙述一下普鲁士博物学家和旅行家洪堡男爵（von Humboldt，1769-1859年）的工作。他最喜欢住在巴黎。在那里，他协助盖伊-吕萨克完成气体的研究（见211页）。他花了五年的时光在南美洲及墨西哥海湾的海上与岛上探险。根据这次旅行所得的观察结果，他认为应该把自然地理学与气象学当做是精确的科学。洪堡首先在地图上绘出等温线，因而得到一个比较各国气候 269 的方法。他攀登过安第斯山脉的琴博腊索山（Chimborazo）与其他高峰，以观察温度随海拔增高而降低的比率。他研究了赤道带暴风与大气扰乱的起源；他研究了火山活动带的地位，认为火山活动带与地壳的裂缝是符合的。他调查了动植物在自然条件影响下的分布情况；他研究了从两极到赤道地磁强度的变化，并且创造了“磁暴”这个名词来描述一个他首先加以记录的现象。

洪堡的劳动与人格引起人们很大兴趣，从而推动了欧洲各国的科学探险。1831年英国派出“猎犬号”（the Beagle，或音译为“贝格尔号”）进行了一次有名的航行，“完成了巴塔哥尼亚（Pata-gonia）与火地（Tierra del Fuego）的测量；又测量了智利、秘鲁的海岸和太平洋上一些海岛；并且进行了定期的环球联测”。当时宣布，这次航行“纯粹是为了科学的目的”，达尔文就以“博物学家”的身分，在这艘船上服务。

几年以后（1839年），有名的植物学家胡克（W.J. Hooker）爵士的儿子约瑟夫·胡克（Joseph Hooker，1817—1911年）加入了罗斯（James Ross）爵士的南极探险队，在那里花了三年时间研究植物。后来他又参加一个政府资助的远征队，到了印度的北边。1846年，赫胥黎（T.H. Huxley）离开英国，在“响尾蛇号”船上做外科医生，在澳大利亚海上进行了几年测量与制图工作。他生性热情，观察力锐敏，常常因为没有机会从事普遍感兴趣的精密科学研究而慨叹。这样，在十九世纪思想革命中起了重大作用的人物当中，就有三个在科学探险的航行中当过一个时期的学徒。有组织的发现与研究的最高潮是“挑战者号”（the Challenger）的远征。这艘船于1872年出发，

在大西洋与太平洋上游弋几年，记录了有关海洋学、气象学及自然历史各个部门的资料。

海洋学尤其变得重要起来。美国海军部的莫里 (Maury) 研究了一个半世纪以前丹皮尔 (Dampier) 所留下来的有关风和洋流的问题，对于海上路线航行作了很大改进。海上的集群生物具有无数的形态，有显微镜下才看得见的、经亨森 (Henson) 命名的浮游生物、原生动物、变成海底软泥的放射虫的骸骨，还有各式各样大 270 小的鱼类；它们的生活迁徙部分地以浮游生物为转移，因为有些鱼群以这些生物为饵料，常追随它们而游行。

地质学

拉普拉斯由于企图提出一个合理的学说来说明太阳系的起源，就促使人们注意到这个问题并激发了人们把地球当做太阳系的一部分加以研究的兴趣。不幸，在不顾教皇的无上权威，思想自由最为盛行的国家，《圣经》文字的权威也最为深入人心。所以在《创世记》以外任何有关地球起源的看法，必须经过一番新的斗争，才能得到一般的承认。就是在十九世纪中期，还有人认真地说法石是上帝 (或魔鬼) 埋藏在地下，以考验人们的信心的，但是我们都知化石告诉我们的是另外一套故事。

从很早的时候以来，在开矿的过程中，人们就得到一些有关岩石、金属与矿物的知识。正象一些希腊哲学家那样，达·芬奇与帕利两 (Palissy) 已经认识到化石是动植物的遗体，但是一般人却以为化石是“造物的游戏”，是一种神秘的“溯形力”——自然界以各种方法创造所喜爱的形式的倾向——的产物。只有个别的观察者，如斯但森 (Niels Stensen, 1669 年)，才认识到我们可以利用化石来探索地球的历史，但这种看法没有得到一般人的接受。伍德沃德 (John Woodward, 1665-1728 年) 赠给剑桥大学的大批化石大有助于证实化石来源于动植物的看法。1674 年，佩劳尔 (Perrault) 证明地上的雨量足以解释泉水与河流的来源而有余，盖塔尔 (Guettard, 1715 - 1786 年) 说明风化怎样改变了地球的面貌。虽然如此，仍然有人对事实加以曲解，以附会圣经中关于天地开辟时有洪水或大火的说法，而有水成派与火成派的争论。

首先有系统地和这种观点作斗争的是在 1785 年发表《地球论》的赫顿 (James Hutton, 1726-1797 年)。这一次又是对自然过程的实际认识，铺平了科学前进的道路。赫顿为了改进他在柏韦克 271 郡 (Berwickshire) 的农场，先在诺尔福克 (Norfolk) 研究本国农业，再到荷兰、比利时与法国北部学习外国的农业方法。他对人们所熟悉的沟、坑、河床等熟思了十四年，然后回到爱丁堡，奠定现代地质科学的基础。赫顿认为岩石的层比与化石的埋藏现今仍在海、河、湖沼之内进行。赫顿说：“不是地球固有的因素不予使用，而且不了解其原理的作用不予承认”——这是一句真正的科学格言，因为它力求避免一切不必要的假设。

一直到沃纳 (Werner) 指出地质岩层有规律地相继出现以后，一直到史密斯 (William Smith) 根据化石的窖藏算出岩层的相对年龄以后；一直到居维叶根据在巴黎附近发现的化石与骨骼、重新构成久已绝迹的哺乳动物以

后；一直到拉马克(Jean BaPtiste deLamarck)比较现今的介壳和化石的介壳，而加以分类以后；最后一直到赖尔(Charles Lyell)爵士把说明水、火山与地震等因素至今仍在改变地球的证据以及有关化石的事实，都收罗在他的《地质学原理》(1830—1833)之内以后，赫顿的“天津不变学说”才得到普遍的公认。长期不断的过程所积累的效果第一次为人类所充分把握；人们觉得利用岩石的记录，印证眼前仍在进行的自然作用进行推理，我们可以寻出地球的历史，至少可以寻出地球上生物的一段时期的历史。

化石的生态说明生命在各确定的时期里有很大的改变。这与阿加西斯(Agassiz)与巴克兰德(Buckland)在1840年左右最先收罗到的关于冰河作用的地质证据是符合的。这些地质证据可以说明各个冰期。

人类的起源与年龄的问题是人类特别感兴趣的问题。由于发现原始人所用的石器，由于在现今欧洲已绝迹的动物遗骸附近发现兽骨和象牙雕刻，赖尔才得以在1863年确定人类在生物的长系列中的地位，而且指出人类在地球上存在的时期比公认的圣经年代学所说的年代要长得多。现在看来，很可能，我们的祖先摆脱比较原始的状态成为真正的人，约在距今百万至千万年之间，而文明不过是五千至六千年间的事。

自然历史

在布丰发表了他的巨著《动物的自然历史》以后，又有一位法国人对分类问题进行研究，把分类法放在坚实的基础之上。乔治·居维叶(Georges Cuvier, 1769—1832年)是一新教教士的儿子。他父亲从朱拉(Jura)迁居符腾堡(Wurtemberg)保护国境内。在法国革命初期和恐怖时代，他在诺曼底(Normandy)安静地学习，随后到巴黎，即在法兰西学院得到一个重要的位置。他的特殊贡献在于，他在博物学家中最先对现在的动物的构造和古代化石的遗骸加以系统的比较，从而说明在研究生物发展的时候，过去与现在应当同样注意。居维叶站在科学发现的新时代的门口。他的主要著作《按其组织分布的动物界》(Le Regne Animal, distribued' apres son Organisation)，是两派人的研究成果之间的桥梁。一派把世界及其现象当做是静止的问题加以研究，一派把世界及其现象当做是一出巨大的进化戏剧中一系列变动不已的场景加以研究。

不幸，科学家与从事实际工作的花匠和农民之间缺乏密切的联系，后者用杂交与选种的方法不断培育出许多动植物的新品种，或把已有的品种加以改良。十八世纪末，贝克韦尔(Bakewell)把长角羊改良为新的有用的勒斯特(Leicester)种。科林(Colling)兄弟应用贝克韦尔的方法改良了提斯(Tees)山谷的短角种，这样就培育出最重要的英国羊种。

巨大变异的自发出现，是园艺家们都熟知的事实：

例如，一种变种梨会忽然生出一支结满优良水果的枝条来；山毛榉会莫名其妙地长出绿叶扶疏的枝干；山茶会开出意料不到的好花。如将它们从母树取下插枝或嫁接，这种变种可以长久维持下去。园圃中的许多花卉与果木的品种便是从这样得来的。园艺家所培植的新品种，多数是由不同品种甚至种的个体杂交而来。在后一情况下，我们晓得杂交的结果常比纯种生育不蕃，

有时简直不能生殖。

达尔文以前的进化论

自然界处在进化过程中的观念至少可以上溯到希腊哲学家的时代。赫拉克利特认为万物皆在流动状态之中。恩培多克勒说生命的发展是一个逐渐的过程，不完善的形式慢慢地为较完善的形式所代替。到了亚里斯多德的时候，思辨好象更进一步，以为较完善的形式，不但在时间上来自不完善的形式，而且就是从不完善中发展而来。原子论者常被称为进化论者。他们好象认为每一物种都是重新出现的。但由于他们相信只有与环境适合的物种才能生存，他们在精神上已经接近自然选择说的实质，虽然他们的事实根据还不充足。有人说得对：“在科学中没有充分考虑到有关事实的意见，不能借口正确而固执不舍。”象在其他许多知识领域中一样，希腊哲学家所能做到的，只是提出问题，并对问题的解决办法进行一番思辨性的猜测。

事实上，花去了两千年时间，花费了无数沉静而不关心哲学的生理学家与博物学家的心血，才收集到足够的观察与实验证据，使得进化观念值得科学家加以考虑。博物学家大半都把进化观念留给哲学家去议论，而且在达尔文与华莱士（Wallace）发表他们同时得出的研究成果以前，科学界的意见就发表出来的而言，倒是反对进化论的。这是在资料不确凿时暂不下判断的真正科学态度的很好例证。另一方面，哲学家也尽了他们的本分，因为他们对于一个还不能交给科学家处理的学说，不断地提出思辨性的见解。他们对于一个极其重要的问题始终不作最后决定，然而又提出解决的方案。到相当的时候，这种解决方案可以成为科学家的工作假设，他们让科学家去做最后的决定。当文艺复兴时期进化观念再度出现时，它主要出现在哲学家（如培根、笛卡尔、莱布尼茨与康德）的著作之中，就是这个道理。与此同时，科学家却在慢慢地研究事实。这些事实最后会经过哈维的胚胎学和约翰·雷（John Ray）的分类系统，引导他们朝同一方向前进。有些哲学家在考虑物种目前的易变性及用实验方法研究的可能性时，甚至达到完全现代的观念，但我们不要忘记另外一些称为进化论者的哲学家（达尔文的前驱）却是从理想的意义上，而不是从现实意义上看待进化的。歌德（Goethe）274 的有些见解属于这一类，谢林（Schelling）与黑格尔也是这样。在他们看来，物种间的关系在于在概念领域内表现这种关系的内在理念。黑格尔说：“变化只能归之于理念本身，因为只有理念才在进化。……把从一个天然的形式和领域到一个更高的形式和领域的变化，看做是外部的与实际产物，那是一个蠢笨的念头。”可是，哲学家对于进化论的贡献的价值，并不因为哲学家从理想观点来看进化而化为乌有。最有趣味而且引人注意的是，哲学家与博物学家之间的分工与见解的不同，一直维持到最后的一刻。斯宾塞（Herbert Spencer）虽也是一位合格的生物学家，基本上还是一位哲学家。他在达尔文的《物种起源》发表以前几年，已经在鼓吹一种成熟而具体的进化论学说，而当时大多数博物学家还不愿接受任何这样的学说。就连搜集过不少变异证据的植物学家戈德伦（Godron），到 1859 年，即《物种起源》出版的那一年，也还是反对进化观念。哲学家和博物学家都是对的，他们各遵循正当的途径。哲学家所处理的是一个哲学问题，还没有达到可以用科学方法加以考察的地步。博物学家不接受一种没有确凿证据，而且无法着手研究的见解，甚至不把它

当作一项工作假设，也正是真正科学家的审慎态度。

虽然如此，在十八世纪，就已经渐渐地有一些博物学家不顾当时流行的科学意见，维护某种进化学说，到十九世纪前半期，这样的人更是愈来愈多了。摇摆于巴黎大学正统派与“生物连锁论”的信仰之间的布丰，提出了外界环境直接改变动物的学说。诗人、博物学家与哲学家伊拉兹马斯·达尔文（Erasmus Darwin），看到了一点启示。这一启示后来在他孙儿手中得到了圆满的发展。他说：“动物的变形，如由蝌蚪到蛙的变化……人工造成的改变，如人工培育的马、狗、羊的新品种，……气候与季节条件造成的改变，……一切温血动物结构的基本一致，……使我们不能不断定它们都是从一种同样的生命纤维产生出来的。”

最早的一个有条理的合于逻辑的学说是拉马克（Lamarck，1744 - 1829年）的学说。他想要在环境造成的改变的积累性的遗传 275 中，寻找进化的原因。照布丰的见解，环境对于个体所起的改变影响，常常很小，拉马克却认为，如果习惯的必要改变变成是经常的和持续的，这就可能改变旧的器官，并在需要新器官时使新器官产生出来。例如长颈鹿的祖宗由于不断地伸长颈脖去吃高处的树叶而获得愈来愈长的颈，这样获得的结构的变化又通过遗传而得到发展和强化。虽然这样的遗传没有直接的证据可寻，但它却不失为一种合理而前后一贯的工作假设，可以供其他博物学家，如梅克尔（Meckel）加以使用与发挥。

人们既然注意到环境对于个体的影响以及可以正当地归之于外界环境的变化范围，这自然要对人们的思想与行动产生很大的影响。我们很难相信，个体可以发生深刻的变化，而其种依然一成不变。因此在十九世纪，就有人把通过环境造成改变的学说当做默认的前提，而兴办了很多社会慈善事业。虽然如此，随着时间的推移，我们已经明了后天获得的性质，即使有，也很难发现。这个问题在今天还在讨论之中，始终没有定论。

十九世纪另外两位主张环境对于个体有直接作用的进化论者是圣提雷尔（Etienne Geoffroy Saint-Hilaire）与钱伯斯（Robert Chambers）。后者隐名出版的《创造的痕迹》（Vestiges of Creation）一书，曾经风行一时，帮助人们在思想上做好准备便于接受达尔文的进化论。

但达尔文的工作的中心思想，是从一个人而来的。由于奇特的机遇，他还把同样的线索给予华莱士。此人便是马尔萨斯（Thomas Robert Malthus，1766-1834年）。有一时期他做过英国萨里（Surrey）的阿耳伯里（Albury）副牧师。马尔萨斯是一位能干的经济学家。在他所生活的时代里，英国的人口增加极速。1798年，他的《人口论》第一版问世。他在这本书里宣布人口的增加常比食物的增加快，只有靠饥谨、瘟疫与战争除去过多的人口，才能使食物够用。在以后版本中，他又承认了节制生育的重要性，当时生育节制主要是通过迟婚来实行的。因此，就应用于人类来说，不免削弱了他的简单明了的主要论点。

达尔文谈到过这本书在他思想上所起的作用：“1838年10月，我为了消遣，偶然读了马尔萨斯的《人口论》。我长期不断地观察过动植物的生活情况，对于到处进行的生存竞争有深切的了解，我因此立刻就想到，在这些情况下，适于环境的变种将会保存下来，不适的必归消灭。其结果则为新种的形成。这样，在进行工作时，我就有了一个理论可以凭持。”

达尔文

得到这个启示的人，由于遗传与环境的缘故，也具有充分利用这个启示的条件。查理·达尔文（Charles Robert Darwin 1809—1882 年）是施鲁斯伯里（Shrewsbury）乡间能干而有资财的医生罗伯特·达尔文（Robert Waring Darwin）的儿子。他的祖父是伊拉兹马斯·达尔文，上面已经讲过了。外祖父约瑟亚·威季伍德（Josiah Wedgwood）是埃鲁里亚（Etruria）的一个陶工，也是一位具有科学能力与智慧的人。威季伍德族是斯塔福德郡（Stafford-shire）的小地主世家，达尔文族也是地主，但来自林肯郡（Lincoln—shire）。查理·达尔文最初在爱丁堡攻读医学，后来改到剑桥大学基督学院，想成为牧师。他在“猎犬号”船上做博物学家，在南美海面上航行五年，得到最好的训练。在热带与亚热带的地区里，生物繁茂。达尔文看到了各种生物互相依存的情况，归来后不到一年，便着手整理记载与物种变迁有关的事实的许多札记中的第一册。十五个月以后，他读了马尔萨斯的书，发现一个线索，结果便形成了新种通过什么方法产生的学说。

属于一个种族的个体，天赋性能各不相同。达尔文对于这些变异的原因不表示意见，只是把这种变异当做事实加以接受。如果生殖过多或追求配偶的竞争过大，任何在争取生存和争夺配偶的斗争中，有用的性能都具有“生存价值”，而使具有这种性能的个体占有优势，有更大机会延长生命或得到配偶，顺利地生产压倒多数的后裔以继承这一有益的变异性。由于不具有这种性能的个体逐渐被淘汰掉了，这一特殊性便有扩大到全种族之势。种族改变了，一个不同的永久的种别慢慢地确立起来。这是一个新观念。关 277 于它在思想史上的重要意义，赫胥黎有过确当的说明。赫胥黎凭借他的阐释的天才、辩论的技巧与争辩的勇气，在促使一般人接受达尔文与华莱士的见解方面比任何人尽力都多。他说：“新种可由个体离开种的类型的变异，经过环境的选择作用而形成。这种意见，在 1858 年以前，不论科学思想历史家和生物学家都是闻所未闻的。我们把这种变异称为‘自然发生’，因为我们不知其中的原因。但这个意见却是《物种起源》的中心思想，它包含了达尔文主义的精髓。”

达尔文把这个观念当做工作假设，花了二十年的功夫搜集事实和进行实验。他博览群书，阅读旅行游记，阅读有关运动竞赛、自然历史、园艺种植和家畜培养的书籍。他进行了家鸽交配的实验，研究了种子的传播，以及动植物在地质与地理上的分布。在融汇事实、权衡事实与已产生的一切复杂问题的关系以及最后排比事实上，达尔文表现了无上的本领。他的坦率的诚挚，对真理的爱好以及心境的平静与公正，都是理想的博物学家的典范。他为了指导工作，形成许多假设，但他绝不让先人之见蒙蔽了事实。他说：“我不断地努力保持心无拘执，以期任何心爱的假设（我对每一问题都要成立一个），只要证明与事实不合，我都可以立刻放弃。”

达尔文到 1844 年已经相信物种并非不变，而物种起源的主要原因是自然选择，但他年复一年地继续工作，以期得到更可靠的证据。1856 年，赖尔敦促他发表他的研究成果，达尔文觉得他的研究尚未圆满，没有听从。1858 年 6 月 18 日，他收到华莱士（Alfred Russel Wallace）由特尔纳特（Ternate）寄来一篇论文。论文是华莱士读了马尔萨斯的书之后，在三天内写成的，达尔文立刻看出这篇论文中包含有他自己的理论的要点。他不愿意争夺二十年

的在先权。这虽然是他应得的权利，但却会使得华莱士的贡献失去意义。因此达尔文把经过告诉了赖尔与胡克。他们两人和林耐学会商议，于 1858 年 7 月 1 日，把华莱士的论文和达尔文 1857 年写给阿萨·格雷 (Asa Gray) 的一封信及他在 1844 年所写的他的理论的提要一并发表。

进化论与自然选择

接着，达尔文就开始写作，把他多年辛劳的结果简略地写了出来，1859 年 11 月 24 日，他的书命名为《物种起源》发表了。

我们已经探讨了进化思想的各个支流——字 278 宙理论的、解剖学的、地质学的与哲学的。这些支流，虽然为物种不变的成见所阻，但在堰闸后面愈聚愈深。达尔文所搜罗的自然选择的证据是一个巨流，它以不可抵抗的威力冲破了这个堰闸，于是汹涌的洪水便泛滥于整个思想领域。随着时间的进展，我们对事实的认识大有增加，现在我们已经可以看出，达尔文，尤其是他的门徒，和他们以前的希腊原子论者一样，低估了生命问题的复杂性。虽然从形态学与古生物学的事实来看，进化的一般进程现在是很明显了，但物种起源的详细情节，还没有阐明出来。单单自然选择似乎还不能充分解释。但是，后来的更审慎的精神，不能减少达尔文的原理在历史上的重要意义。到最后，它也许证明是不充分的，但在当时确是必需的假设。自然选择的观念，引导人们接受了一个更重要的东西——有机进化论。

最初许多人觉得接受这个理论就要把人类在哲学上和宗教上的各种重要成果一概推翻，摧毁的东西就未免太多了。我们决不可不加思索地斥责当时广泛流行的这一心理状态。今天，进化的观念已经成为我们的学术观点的一个熟悉的因素，我们很难想象它在那时具有怎样的革命意义，我们也很难想象当进化论的证据放在世人的面前的时候，有能力判断这种证据的价值的人又是多么寥寥无几。这些证据是详细考查了活着的生物和化石遗迹以后得来的，一般人是不熟悉的，事实上大多数人连知道也不知道。现在，他们却觉得自己被迫要作一抉择：要么否认所得出的结论的有效性，要么抛弃祖先世代代传下来的信仰。在责备他们以前，让我们诚实地问问自己：从事物的表面来看，究竟是相信蛙与孔雀、鲑鱼与蜂鸟、象与小鼠有共同的祖先容易一些呢，还是相信它们是分别创造出来的容易一些。虽然如此，素来爱好郊野及其动植物的英国人，凡是能领会达尔文所提出的证据的，都还是乐于听从进化论。

可是，就连某些博物学家也对这个新观念有抵触。大解剖学家欧文 (Richard Owen) 爵士就在《爱丁堡评论》上发表了很凶猛的 279 反驳文章，他的许多同事也附和他的意见。但胡克立刻表示赞同达尔文的意见，赫胥黎、格雷、拉伯克 (Lubbock) 与卡本特尔 (W.B.Carpenter) 接着也都表示赞同，赖尔也于 1864 年秋天在皇家学会的聚餐会上，宣布他接受这个信念。

从一开始，赫胥黎就是进化论者阵营的主角。他自称是“达尔文的看家狗”。他凭着极大的勇气、能力和明晰解说的本领，首当其冲地抵抗各方面对达尔文的著作的攻击，而且时时带头对狼狈的敌人展开成功的反击。

赫胥黎 (Thomas Henry Huxley) 于 1825 年生于伊林 (Ealing)，但其祖宗居住在考文垂 (Coventry) 及韦尔斯沼泽地区，所以他具有真正边境

民族的斗争气质。他告诉我们：《物种起源》出版，对于当时科学家，好象黑暗中的一道电光。他写道：

“我们不愿相信这种或那种空想，而要抓住可以和事实对照、经过考验正确无误的明白确定的概念。《物种起源》把我们所需要的工作假设给予了我们。不但如此，它还有一个极大用处，那就是使我们脱离了一个进退两难的处境：你不愿承认上帝创造世界的假设，可是你又能提出什么学说，让任何小心慎思的人都能接受呢？1857年我不能回答这个问题，也不相信有什么人能够回答。一年以后，我们责怪自己为这样的问题难倒真是太愚蠢了。我记得当最初我把《物种起源》的中心思想抓住的时候，我的感想是‘真笨，连这个都没有想到！’”

1860年，赫胥黎与威尔伯福斯（Wilberforce）主教在英国科学协会牛津会议中展开的有名的争论是人们常常引述的。威尔伯福斯青年时代在牛津数学院得过头等奖，他的大学认为他对自然知识的各个部门无不精通，所以选定他来维护正统的教义。这位主教对于这个问题并无真正的了解，企图用讥笑来摧毁进化观念。赫胥黎对于他的论点给予有效的答辩之后，更对于他的愚昧的干涉给与严厉的抨击；同时拉伯克，即后来的艾夫伯里勋爵（Lord Avebury），则说明了胚胎学上的进化证据。

到辩论与讥评不能阻止达尔文学说传播的时候，他的对手就采取了平常的步骤，说这个学说并不是他的创见。但对于这个问题最有裁判资格的人却有不同的见解。牛津会议之后两年，赫胥黎写信给赖尔说：

如果达尔文的自然选择说是对的，在我看来，这个“真实因”的发现，就使他处在和他一切先辈完全不同的地位。我不能说他的理论是拉马克的理论的修正，犹如我不能说牛顿的天体运动理论是托勒密的体系的修正一样。托勒密解释这些运动的办法是空想出来的。牛顿却根据定律和显然起作用的力来证明天体运动的必然性。我想，如其达尔文是对的，他将与哈维那样的人立于同等的地位，即使他错了，他的清醒而精确的思想也使拉马克不能和他同日而语。

赫胥黎指出了证据方面的一个缺陷。积累变异而成新种的观念忽视了这样一个事实：血缘相近而不同的物种杂交后往往在某种程度上生殖不蕃。如果物种有一个共同的来源，我们便看不出为什么竟有这样一个现象，而且我们也找不到明显的例证，说明确实生殖不蕃的杂种是在实验中从共同祖先传下来的多产亲体所养育出来的。

把自然选择当作主要决定力量的主张的确当性，也就是在这一点上最有问题。“适者生存”，用来说明进化的轮廓是可称赞的，但应用在种的差异上就不行了。达尔文的哲学告诉我们：每一物种如要生存，必需在自然里繁盛起来，但没有人能说出我们所说的种的差异（常常是十分显著固定的）在事实上怎样使物种能够繁盛起来。

赫胥黎虽然指出这个困难，但当时没有人感觉这是一个严重的问题。人们以为进一步的研究会弄清楚这个问题，直到二十世纪大规模地进行科学的育种实验时，人们才感觉到这个问题的全部重要性。那时的生物学家，在最初的奇异感消除之后，便接受了进化论，并且认为自然选择是真实而充足的

原因。

大陆上最有名的人种学家微耳和没有接受达尔文的理论，但进化通过自然选择与适者生存进行的学说在德国得到极热烈的欢迎。海克尔与其他博物学家以及跟在他们后面的条顿哲学家与政论家一块创立了所谓达尔文主义，使他们的许多信徒比达尔文自己还要达尔文些。

可是达尔文研究变异与遗传所用的观察与实验的方法，反陷 231 于中止的状态。人们同意自然选择是进化与物种来源的经过证明的充分的原因。达尔文主义不再是初步的科学学说，而成了一种哲学，甚至一种宗教。实验生物学把注意力转向形态学与比较胚胎学，特别是鲍尔弗(F.M.Balfour)和赫特维希(O.Hertwig)所创立的形态学和比较胚胎学。由梅克尔提出，经海克尔加以发挥的一个假说，认为个体的发育追随、并表现种族的历史。这样一来。胚胎学就具有进化意义，迟缓而费力的研究方法也就更为人所忽视了。

在田野里系统地研究动植物的博物学家，在园圃农场上培育新植物和动物的育种家，日益扩大他们对于物种及品种的正确知识。在博物学家与育种家看来，物种的界限依然是分明的，新种不是由于感觉不到的逐渐变化而形成的，而是由于忽然的、常常是很大的突变而形成的；而且一开始就成了纯粹的种。但实验室里的形态学家并不征求实际工作者的意见，也不对他们的经验知识给予足够重视。贝特森(Bateson)说：“十九世纪八十年代的进化论者极其肯定地以为物种是分类学家胸中的一种虚构，不值得识者注意。”但是到了九十年代在实验室中工作的生物学家，在大陆上以德·弗里斯(de Vries)为领袖，在英国以贝特森为领袖，重新回去研究变异与遗传。

达尔文自己虽然相信自然选择是进化的重要原因，但并不排斥拉马克的意见，即由于用进废退的长期作用而获得的特性可以遗传。当时拥有的证据还不能解决这个问题。但在十九世纪快结束的时候，韦斯曼(August Weismann)在这个问题上揭开了新的一页。他指出体细胞与体内的生殖细胞必须截然分清。体细胞只能产生与自己相同的细胞，但生殖细胞不但产生新个体的生殖细胞，而且产生体内一切无数类型的细胞。因此组成生殖细胞的单元必须有足够多的数目，在种类与排列上必须有足够的差别，以形成自然界里的无数机体。生殖细胞由细胞质一脉相传，复制生殖细胞，但体细胞总是溯源于生殖细胞。因此，每一个体的身体，不过是亲体生殖细胞的比较不重要的副产品；它可以死去而不留下后裔。主要的传统是细胞质，它由细胞传到细胞，有一个不断的历史。

从这个观点看，身体所遭到的改变不大可能影响生殖细胞的 282 产物。这样的影响好象一个人的伯叔父身上的改变，对他本人的影响那样。包含生殖细胞的身体可以损害生殖细胞，但却不能改变它的性质。于是韦斯曼就去严格地研究后天获得性质的遗传的证据，但他认为每个证据都不够充分而加以抛弃。自那时以后，人们通过观察与实验也发现在某些情况下，环境的长期的改变，可以产生一些效果，但这些好象都是例外，没有得到博物学家一致的承认。

在韦斯曼宣布他的结果以后，人们一度有些惊愕。因为，生物学家一直是用“用进废退”来解释没有解决的适应之谜的。进化论的哲学家，特别是斯宾塞，一直是把后天获得性质的遗传当做种族发展的重要因素的，而慈善家、教育家与政治家则默认这种说法为真理，而且将它看做是社会“进步”的根本基础。生物学家很快就接受了这种新的见解；斯宾塞却一直死还和

韦斯曼辩论；政治改革家就是到现在，还对和他们的先人之见相反的理论熟视无睹。如果承认后天获得性不能遗传，即等于说“天性”（nature）重于“教养”（nurturc），遗传重于环境。改善生活条件，个体当然会得到好处，但除了通过自然选择或人为选择的间接过程之外，这丝毫不能提高一个种族的天赋性质。

韦斯曼为了解释遗传而设想出来的特殊类型的机制，也许是一些聪明的玄想，但足以指导他的许多追随者的研究工作，促使他

们去考察生殖细胞究竟是通过什么过程形成的，体细胞又是通过什么过程从生殖细胞中发展出来的。这些新研究开始于十九世纪，但最显著的结果到后来才出现，所以这个问题留在第九章里讨论比较合适。

十九世纪末，开始了另一场围绕着新知识的争论。纯粹达尔文主义的维护者如韦斯曼，开始认为自然选择是一个可以充分解释适应和进化的原因。而且他们还以为自然选择所形成的变异是很微小的变异，例如人体身高便有一序列连续的差异。在相当多的数目中，我们可以发现在平均数的两边相当宽广的范围内，各人的身高相差不过百分之一英寸。他们以为，选择就在这样细微差异中进行，而且只要有相当长的时间，便可以产生新的品种和新种。

但在新世纪开始以前，有些博物学家，主要是德·弗里斯与贝特森，把育种家、饲鸟人与园艺家积累的经验当作起点而进行实验，发现以上的设想不符合事实。大的突变常常发生，特别是在杂交以后；新的品种可以立刻出现。到了1900年，久被遗忘的孟德尔的研究成果重新发现，因而又展开了新的一页。即令微小变异的选择不能解释进化，这些新的观念好象还可以解释。这个希望在多大程度上得到实现，我们将在以后讨论。

人类学

在由于达尔文的缘故而恢复生气的各种学术中，人类学，即人类的比较研究，得益最大。事实上，即使说现代人类学从《物种起源》而来也不为过。赫胥黎关于人类头骨的经典研究著作，是从达尔文学说的争论得到启发的，也是精确度量人体特点的开始。这种度量现在成为人类学的重要方法。自然选择的观念和进化的观念则成为后来的一切研究工作的基础。

在其他方面，创立人类学的条件也成熟了。爱好新奇的心理，热切的好奇心和收藏家的搜集癖好不但为欧洲的园圃与博物馆带来了异域的动物和植物，也带来了发展阶段不同的其他民族的美术、工艺产品以及其他宗教的法物祭器。

当人类学家开始工作的时候，大部分必要的材料已经齐备了、熟悉了或部分地分好类了，只待有人出来重新加以解释，以揭示其内在意义的另一方面。

达尔文在《物种起源》里，没有详细地研究人类，可是他指出他的关于一般物种的结论，对于这个问题有明显的关系。1863年，在彻底地研究了解剖学的证据之后，赫胥黎说人在身体与大脑方面与某些猿猴的差异比猿猴与

G.C. Bourne, Herbert Spencer and Animal Evolution, Oxford, 1910.

A. Weismann, The Evolution Theory, Eng. trans. J.A. and M.R. Thomson, London, 1904; Beatrice Bateson, William Bateson, Naturalist, Cambridge, 1926, p.449.

猿猴间的差异还要小些。因此，他回到林耐的分类法，将人类列为灵长目的第一科。在心理方面，人与猿猴的距离要大些，但脊椎动物的心理过程与人类的心理过程是对应的，虽然不及人类的有力与复杂。布雷姆（Brehm）在其《动物的生命》中和达尔文在其较晚的著作中都指出了这一点。可是华莱士仍然认为不应当把人类与其他动物放在一起，因为“他不但是生物大系的首领与进化过程的顶点，在某种程度上还是一个新的截然不同的纲目”。

人类学把人类分为几个种族或人种时，主要是根据身体特点，不过，人们也始终认为身体特点和心理特点是相互关联着的。通常都按照肤色把人类分为白种、黄种、红种和黑种；很明显，这四个人种之间的实际差别不但包括肤色差别，而且也包括其他特点方面的差别，当然进一步的细分也是必要的。在重要性上仅次于肤色的是头骨的形状，一般用雷特修斯（Retsius）的方法来分类。从上面来看头颅时，由前到后的长径作为 100。以此为准，短径或横径的长度就叫做“头骨指数”。如果指数小于 80，头颅即列为长的一类，大于 80，即列为短的一类。

我们可以对欧洲居民加以分析，作为例子，来说明这些方法及其结果。从身体方面来看，欧洲人的差别主要表现在三个特点上：身高、肤色与头形。按大数目平均来说，当我们由南到北向波罗的海前进时，身高逐渐加高，肤色变淡，如果转向南行，则身高变短，肤色变深。在中间的阿尔派恩区（Alpine），身高与肤色介乎两者之间。但头颅的形状则是另外一回事。北方与南方的人都是长头的，其头骨指数是 75 到 79，而中间山区的人则是扁头的，头骨指数是 85 到 89。

要说明这些事实，我们假定欧洲有三种本原种族：第一种是身高皮白的北方种族，在波罗的海周围可以找到，最为纯粹。第二是身短肤黑的南方种族，生长在地中海沿岸以至大西洋岸边。这两种种族都是长头的。但在地理上介乎这两个种族之间的是圆头的阿尔派恩种族，身高与肤色也介乎这两个种族之间，生长在中欧的 285 山岳地带。从一个方面来说，欧洲的历史就是这三个种族的迁徙与互相作用的历史。人们还根据头发的组织等其他特点，运用同样的研究方法，研究了其他大陆上的人类的体质情况。在这些大陆上，可以找到更原始的居民。

自从赖尔描述了人类在地质记录中所留下的遗迹之后，已经发现许多证据，说明在遥远的史前时期已经出现了各种不同种族。在十九世纪里人们做了不少的工作。我们发现在几万年以前穴居的人已经用相当生动的野牛与野猪的形象来装饰他们的石壁。1856 年在尼安德特（Neanderthal）地方，1886 年在斯普伊（Spy）地方，发现更古的人骨，说明有更原始的人类存在；1893 年杜布瓦（Dubois）在爪哇鲜新纪地层中发现了一些人骨，大多数权威学者认为这些人骨是介乎猿人与已知的最早期的人之间的一种原人的骸骨。

我们不能认为人类是现存的任何猿类的后裔。即使人类不是猿类的直接苗裔，至少也是它们的远亲。也许在现时的一切猿类以前，有一些更富于可

T.H. Huxley, *Man's Place in Nature*, London, 1863.

Charles Darwin, *The Descent of Man; The Expression of the Emotions in Man and Other Animals*.

A.R. Wallace, *Natural Selection*, p.324.

W.Z. Ripley, *The Races of Europe*, Boston and London, 1890.

A.C. Haddon, *The Wanderings of Peoples*, Cambridge, 1911.

变异性的种类是它们共同的租宗。可以肯定，进化的过程比起初想到的更为复杂。有史以来，地面上可见的分枝别于是从一个复杂的相系生长出来的，而这个根系则深藏在地下——一去不复返的过去。

统计方法在人类学上的应用，可以说开始于十七世纪配第 (William Petty) 爵士与格龙特 (John Graunt) 关于死亡统计表的研究，后来又由比利时天文学家奎特勒 (L.A.J. Quetelet, 1796—1874 年) 加以恢复。1835 及其以后若干年，奎特勒证明概率的理论可以应用于人类的问题。他发现苏格兰兵士的胸围量度或法国新兵的身长，围绕一个平均数而变化，其规律和枪弹围着靶子中心分布的规律或赌场上运气高低的规律一样。用图线表示 (如图 9) 量度的变化曲线，除了两边差不多对称外，很象说明气体分子速度的曲线 (230 页)。

1869 年，达尔文的表弟高尔顿 (Francis Galton) 把《物种起源》中的遗传观念应用于人类智力的遗传。他用受试人的考试分 286 数的分布，证明在体质特点和分子速度方面有效的定律也适用于智力方面。大部分人都属于中等智力，由中等而上到达天才，或由中等而下到达愚钝，其数目都按照人所熟悉的方式减少。

在同一次数学考试里，一等优秀生的平均分数约三十倍于分数最低的优秀生，而后者的分数又可能比一般及格学生的分数还高，如果他们参加同一考试的话。因为有时间限制，这些分数低估了智力的差别，这种差别显然是很巨大的。高尔顿认为，一百万人中，大约只有二百五十人的品质称得起是“优秀”，一百万人或一百多万人中，只有一人的品质称得起是“杰出”。另一方面，一百万人中，约有 250 人是没有希望的白痴与低能。他们在一个方向上离开中等标准的距离，正如优秀的人在另一方向离开中等标准的距离一样。高尔顿研究了有关的参考书，发现优秀的人常比任意挑取同数量的一般人有较多的优秀亲属。例如，他说一个能干裁判官的儿子成功的机会比普通人要大五百倍。如果有人提出异议说，裁判官帮助他儿子成功的机会比大多数人多些，那末，我们可以回答说，高尔顿的数字也说明，一个裁判官常有一个能干的父亲正如有一个能干的儿子一样，而裁判官根本没有多少机会去教育或栽培他的父亲是显然的。用了这样的论据，高尔顿公平地驳回了对于他的著作的批评。我们不能过分重视他的数字，但一般的结论是明白而正确的。对于个人的预测虽不可能，但按大数目平均来说，才能的遗传是确定的；天赋才能的差别是很大的；“人人生而平等”的说法，如果是指才能而言，显然是错误的。

达尔文的自然选择学说使人们认识到法律、社会或经济环境的任何改变必定对于同一批居民的某些特点特别有利，因而可以改变人们的平均生物特性。高尔顿起初怀疑后天获得性能够遗传，等到韦斯曼的研究成果证明获得性遗传的证据，没有一个经得住严格考验时，高尔顿的原则便更加巩固了。很明显，环境的影响被人大大高估了，教育只能使已经存在的特点突出起来，而要提高一个种族的生物特性，唯一的办法就是给它的比较优秀的特点以发

Sur l'Homme et le Développement de ses Facultés, 1835. Physique Sociale, 1869. Anthropométrie, 1870.

Hereditary Genius, London, 1869.

这种宣扬上智下愚，把人分为等级的资产阶级谬论。必须给予批判！——译注

展的机会。育种所以非常重要的道理已经很明显了。

当然，我们必须把生物学上的遗传和文化上的遗传截然地分开，后者借语言或文字一代传给一代，而形成民族性。人们对遗传的这一意义已经有了清楚的认识；但生物学上的遗传的效果却常常遭到人们的忽视。

第八章 十九世纪的科学与哲学思想

科学思想的一般趋势——物质与力——能量的理论——心理学 生物学
学与唯物主义 科学与社会学——进化论与宗教——进化论与哲学

科学思想的一般趋势

十七与十八世纪中，取代了中世纪教会大一统主义的民族主义的影响开始明朗化。不但科学，就是一般思想，也都具有了极显著的民族色彩，各国的学术活动各自分道扬镳。欧洲各国的国语也代替了拉丁文，成为科学写作的工具。知识分子的旅行，使重要的发现得以传播，如伏尔泰于1726年到英国，亚当·斯密(Adam Smith)于1765年到法国，华兹华斯(Wordsworth)与科尔里奇(Coleridge)于1798年到德国，使牛顿的天文学，重农学派的经济学，康德与谢林的哲学，驰名于本国以外的国家。

十九世纪的初叶，世界科学的中心在巴黎。1793年法国革命政府把拉瓦锡、巴伊(Bailly)与库辛(Cousin)送上了断头台，迫使孔多塞(Condorcet)自杀，并且封闭了科学院。但不久它就发现它还需要科学人员的帮助。在“为了保卫国家一切都是需要的”口号下，科学成为一般社会的必需品，1795年科学院重开，成为法兰西学院的一部分。拉普拉斯、拉格朗日与蒙日(Monge)的数学，拉瓦锡所倡导的新化学，与阿雨(Hauy)创立的几何晶体学，合起来形成了物理科学的光辉星座。

帕斯卡尔与费马在十七世纪所发明的概率理论，由拉普拉斯发展成为一个体系，不但用来估计物理测量的误差，而且用来从理论上说明牵涉到大数目的人事问题，如保险，以及政府管理和商业管理的统计。居维叶对比较解剖学进行了精密的研究，并且以科学院常任秘书的身份，使科学精神在各学科中都保持着高度的标准。

十八世纪中，只有在法国，科学才渗透到文学中去，“其它国家当中，没有一个国家有象丰特列尔(Fontenelle)那样的人，象伏尔泰那样的人，与象布丰那样的人”。到十九世纪初叶，科学与文学的这一联系，仍然维持着高度的水平、主要是由于科学院成为法兰西学院的一部分的缘故。

法国科学的中心是科学院，而德国科学的中心在大学之中。在巴黎，人们早已经在采用精密科学的方法了，德国大学，虽然以古典学术和哲学研究著名，却依然在讲授一种混杂的“自然哲学”，这种自然哲学的结论，并不是靠耐心研究自然现象得来的，而是根据可疑的哲学理论得来的。1830年左右，这种影响才消逝了，一半应归功于高斯的数学与李比希的化学工作。李比希旅居巴黎，在盖伊-吕萨克(Gay-Lussac)手下受过训练，1826年在吉森(Gies-sen)建立了一个实验室。从那时到1914年，学术研究的有的系统组织工作，在德国异常发达，远非他国所及；德国关于世界科学研究成果的摘要与分析，也是很有名的。不但如此，德语中Wissenschaft(科学)一词含义较广，包括一切有系统的知识，不论是我们所谓的科学也好，还是语言学、历史与哲学也好。这样就大有助于这几门学科互相保持接触，

大有助于相应地扩大这几门学科的眼界。

英国科学最显著的特点，或许是它的个人主义的精神，光辉的天才的研究成果往往是非学院出身的人物——如波义耳、卡文迪什和达尔文——完成的。十九世纪前半期，牛津与剑桥两大学虽然已经是高等普通教育的不可比拟的学府，但仍然没有具备大陆上的研究精神。当时时常有人指责科学状况在英国甚为不振，后来靠了巴贝奇(Babbage)，赫舍尔与皮科克(Peacock)所组织的学生团体的推动，才把大陆的数学介绍到剑桥大学中来。这种数学虽然是牛顿发明的，在大陆上反而得到很大的发展。

不过，十九世纪中叶牛津大学与剑桥大学都进行了改革，很快地不但在传统的古典学术研究方面卓有成效，而且在现代学术研究方面也卓有成效。所谓各门科学之冠的数理物理学，再度在剑桥得到温暖的孕育之所，其后，在麦克斯韦、雷利爵士与汤姆生(J.J.Thomson)、卢瑟福诸人的倡导下，又创立了驰名世界的卡文迪什实验室的实验学派。经福斯特、兰利(Langley)与贝特森诸人倡导又创立了生物学学科，这样剑桥就成为今天我们所知道的科学研究的重要中心。

因此，持续到十九世纪上半期为止的欧洲各国学术活动各自为政的现象，到下半期已不复存在。交通的便利增进了个人间的接触，科学期刊与学会会议，使一切研究者随时都可以得知新的成果，而科学也就再度国际化了。

另一方面，国际间的壁垒虽然打破了，但知识的分科愈渐专

门，各部门间的隔阂又复增加。在十九世纪初期，德国各大学还能讲授百科全书式的课程，使人以为知识的统一与完整，可以在统一课程里找到。在康德、费希特(Fichte)与施莱尔马赫(Schleier-macher)诸人的影响下，哲学仍然把知识的各部门都包罗在内，而且还侵入科学思想中。

科学与哲学怎样一度失去了联系，我们将在后面叙述。这一过程无疑由于一门科学分为几门科学而加速起来。知识的进展非常迅速，以致无人能追踪其全部进程。所谓实验室，在过去只是个别自然哲学家的私人房间，这时却由各大学修建，或由别人出钱替各大学修建，结果，不但促使学术的研究者掌握了实验研究方法，就是初学者也懂得了这种方法。这样比较透彻研究每一学科的机会增多了，致力于一般性研究的时间减少了，科学家也便倾向于只见树木而忘却森林。近年来各科学间的相互关系日渐明朗化，而数学与物理学也正在指出创立一种新哲学的途径。但一般来说，这种各自为政的倾向一直持续到十九世纪末，只有少数概括性的结论是例外，如能量守恒的原理，在物理上有效，在化学上与生物学上也同样有效。

要探讨十九世纪科学的进步对于其它学术特别是对于哲学思想所产生的影响，我们不应忘记，数学与物理的进展所产生的影响，在这个时期要比以前三个世纪少得多。数学和物理学研究在数量上比以前多得多了，科学的观点在1800与1900年间的变化也是巨大的，然而从哲学的观点来说，十九世纪在物理学上却没有象哥白尼和牛顿的发现那样的革命性的发现。那些发现，曾经深深地改变人们对于人类世界与人本身在宇宙中的位置与重要性的观念。在十九世纪中，富有同样革命性的成果来自生物学方面：生理学与心

例如，可参看 Edinburgh Review, Vol. XXv, 1816, P.98, 和 C.Babbage, DeCline of the State of Science in England, 1830.

Merz, 上引书 vol.1, p. 37.

理学研究了心与物的关系；达尔文在自然选择的基础上创立了进化论。

我们说过，在文艺复兴与牛顿时代，由于科学家创立了适宜于研究自然的新的归纳方法和实验方法，科学与哲学间的联系因而渐呈松懈。哲学家仍然企图维持他们对整个知识领域的法律上的宗主权，不过，他们已经丧失了他们对一大部分知识领域的事实上的主权。在康德的时代以前，哲学家仍然设法使他们的体系把物理科学的成果包括在内。

但是，在我们现在所谈到的时期中，主要是由于后期黑格尔派的影响（不是由于黑格尔本人的影响），哲学与科学的分离愈益明显。

赫尔姆霍茨对这一情况有很好的叙述。他在 1862 年写作时，离当代不远，因而了解当代的影响。他说：

近年来有人指责自然哲学，说它逐渐远离由共同的语文和历史研究联结起来的其他科学，而自辟蹊径。其实这种对抗很久以来就明朗化了，据我看来，这主要是在黑格尔派哲学的影响下发展起来的，至少是在黑格尔派哲学的衬托下，才更加明显起来。上一世纪末，康德哲学盛行的时候，这种分裂局面从未有所闻。相反地，康德哲学的基础，与物理科学的基础正复相同，这可以从康德自己的科学著作，特别是从他的天体演化理论中看出来。他的天体演化理论是在牛顿的引力定律的基础上建立起来的，其后以拉普拉斯的星云假说的名义为世所公认。康德的“批判哲学”的唯一目的，在于考验知识的来源与权威，并确定同其它科学相比的哲学研究的确定范围与标准。根据他的学说，由纯粹思想“先验地”发现的一条原则，是一条适用于纯粹思想方法的规则，而不及其它；它不可能包含任何真实的、确凿的知识。……黑格尔的“同一性哲学”（它所以叫作同一性哲学是因它不但主张主观与客观的同一，而且主张存在与非存在一类对立面也是同一的）要更果敢一些。这种哲学，从一种假说出发，以为不但精神现象，就是实际世界——自然与人——也是创造性的心灵的一个思想活动的结果，它认为这个创造性的心灵在种类上与人的心灵相似。根据这一假说，人的心灵，即使没有外界经验的引导，似乎也能够揣度造物者的思想，并通过它自己的内部的活动，重新发现这些思想。“同一性哲学”就是从这一观点出发，用先验的方法构造其他科学的成果。在神学、法律、政治、语言、艺术、历史问题上，总之在其题材的确是从我们的道德本性中产生出来，因而可以总称为道德科学的一切科学中，这个方法也许可以有或多或少的成就。但是，即令承认黑格尔用“先验方法”构造道德科学的重要结果大体上是成功的，仍然没有任何证据证明他所根据的“同一性假说”是正确的。本来自然界的事实才是检验的标准。我们敢说黑格尔的哲学正是在这一点上完全崩溃的。他的自然体系，至少在自然哲学家眼里，乃是绝对的狂妄。和他同时代的有名的科学家，没有一个人拥护他的主张。因此，黑格尔自己觉得，在物理科学的领域里为他的哲学争得象他的哲学在其他领域中十分爽快地赢得的认可，是十分重要的。于是，他就异常猛烈而尖刻地对自然哲学家，特别是牛顿，大肆进行攻击，因为牛顿是物理研究的第一个和最伟大的代表。哲学家指责科学家眼界窄狭；科学家反唇相讥，说哲学家发疯了。其结果，科学家开始在某种程度上强调要在自己的工作中扫除一切哲学影响，其中有些科学家，包括最敏锐的科学家，甚至对整个哲学都加以非难，不但说哲学无用，而且说哲学是有

害的梦幻。这样一来，我们必须承认，不但黑格尔体系要使一切其他学术都服从自己的非分妄想遭到唾弃，而且，哲学的正当要求，即对于认识来源的批判和智力的功能的定义，也没有人加以注意了。

这种科学和哲学互相分离的状况，历时约半个世纪，在德国尤其是这样。黑格尔派对实验家表示轻视，同希腊的哲学家有些相象。科学家则讨厌黑格尔派，最后干脆不理睬他们。就连赫尔姆霍茨在对这种态度表示感叹时，也认为哲学的功能只限于它的批判功能——阐明认识论，它没有权利去解决其他更富于思辨性的问题，如实在的本性和宇宙的意义等更深奥的问题。哲学家在自己方面也是同样地盲目。他们不择手段地攻击实验家。诗人歌德在动植物的比较解剖学领域做过一些有益的工作。

在这个领域内，事实是摆在表面上的。但是，在需要更深刻的分析的领域中，如象在物理学中，歌德的方法就失败了。诗人的洞察力使他相信，白光一定比有色光更简单、更纯粹，因此，牛顿关于色彩的理论一定错了。他不愿考虑周密的实验所揭示出的事实，也不愿考虑由这些事实得出的推论。他以为感官一定可以马上揭示出自然的真相，而事物的内在本性，也能由直接的审美想象所展露。因此，他就创立了一种关于色彩的理论，以白光为基本色。这种理论经不起最简单的物理学的分析，支持这种理论的仅有歌德对于牛顿的辱骂与黑格尔派的调解援助而已。因此无怪乎科学家不屑读哲学家的著作。但科学和哲学完全分离的状况不能持久，而科学很快就开始再一次影响当代的一般思想了。

在英国发生了一场旧论战的新表演。论战的一方惠威尔，认为数学的性质是先验的，论战的另一方赫舍尔与约翰·穆勒（J.S.Mill），认为欧几里得的公理，例如二平行线无穷延长不能相交，是从经验中归纳出来的。康德象对于其他科学概念一样，把这些公理的有效性归因于我们的心灵的性质，而在今天，我们可以认为这些公理不过是我们的几何学里所要研究的那一种空间的定义罢了。我们还可以创立另一套公理来得出非欧几里得空间的几何学。

事实上，洛巴捷夫斯基、波约、高斯与黎曼的研究成果，渐渐表明我们所谓的空间，只是一般可能的流形（可有四或四以上的维数）的一种特殊情况。我们的心灵可以创立另一套公理，而研究别的各种“空间”的性质。的确根据经验，我们所观察的空间近似是三维的，而且是欧几里得的，但经爱因斯坦的精密考查，证明它并不是分毫不差是这样的，只不过就目前的精确度而言，与许多可能空间中的一种相合而已。由此可见，惠威尔和穆勒的争论，亦如其它许多争论一样，已消失于一种新的解决方案，这种新方案要把原来的两个方案的精华都包括在内。

惠威尔认为数学的公理是必需的，而自然科学的假说，却是从 294 经验中归纳出来的，仅仅是有可能而已，二者实有区别。不过，惠威尔又跟在康德的后面，以为在每一认识的活动里，都有一种形式的成分，即心理的成分，同直接由感觉而来的成分互相合作。穆勒的态度一半是由于当时的经验派还有有意无意地反对“内在理念”（innate ideas）的旧日幽灵——柏拉图式

Helmholtz, 上引书 p.33.

W. Whewell, Philosophy of the Inductive Sciences, London, 1840, and History of the Inductive Science, London, 1837; J.S.Mill, Logic, London, 1843.

的超感官世界的启示。看来,也正是这种残余的倾向,使字伯威格(Ueberweg)在和康德论战时走上歧途。其实,经验不能引导我们直接达到事物的真相,经验只不过是事物的外现在我们的心灵中出现的一种过程,因此,我们所构造的自然界的画面,部分先验地取决于我们心灵的构造,部分取决于我们毕竟还有经验这一事实。十九世纪的经验论者,似乎没有看出这种看法的力量或影响。

事实上在十九世纪的大半时期中,多数科学家,特别是生物学家,都以为他们已经摆脱了形而上学,因而不加批判地接受了科学所构造的自然界的模型,而认为这种模型是终极的实在。但有些物理学家与哲学家则比较谨慎。就连把自己的工作建立在当代科

学的基础上的斯宾塞,也以为物理学的根本概念,如时、空、原子之类包含有心理上的矛盾,清楚地说明现象背后的实在是不可知的。

斯宾塞断言,在这里,科学就与宗教携起手来,因为除去一切可疑的成分以后,宗教其实只不过是一种信念,以为万物都是我们所无法认识的一种伟大力量的表现。

科学的哲学在英国还有以下诸人研究:布尔(G.Boole)在1854年把符号语言与记法介绍到逻辑学中去;杰文斯(w.StanleyJevons)在他的《科学原理》(Principles of Science, 1874)中断言,在科学的发现方法中,直觉具有崇高的地位;克利福德(w.K.Clifford, 1845—1879年)认为康德为了证明几何学的真理的普遍性和必然性而提出的论据是有力的,足以驳倒休谟的经验论,但洛巴捷夫斯基与黎曼的研究证明,虽然理想的空間可以用先验的方法加以规定和研究,我们所知的实际的空間及其几何学却是经验的产物。达尔文的自然选择的理论,对于这个问题不无关系。我们将在本章中重新加以论述。

但布尔、杰文斯、克利福德三人对于科学家的影响,却甚为微小。就连物理学家也和哲学完全失去联系。当1883年马赫请求人们注意力学的哲学基础的时候,一部分物理学家对他的工作不加理会,另一部分人认为他的学说想入非非而加以轻视,只有少数物理学家对他的见解加以研究,表示赞赏,但又对他的见解的独创性估计过高。

马赫写作力学方面的论著时,采取了当时人们很少用的历史方法。他对于牛顿的质量定义的批评,以及他对于已发现的动力学基本原理的论述,已在本书的第六章中叙述过了。

马赫遵守洛克、休谟与康德的传统,以为科学只能把我们通过感官所能了解的自然界构成模型,力学决不是象有些人所相信的那样当然是自然界的最后真理,而只是观察上述模型的一个角度。其它角度,如化学、生理学之类,也同样是基本的与重要的。我们无权假定我们对于绝对空間或时间有所认识,因为空与时仅仅是一种感觉,空間只能参照于恒星的间架,时间只能参照于天文运动。由于黎曼与其他数学家想象出别种空間或类空流形,我们所知的空間,只不过由经验得到的一种概念而已。“所谓物体乃是触觉与视觉感觉的相对不变的总和。”自然律乃是“简明扼要的规则”。它只能提供

参看 F. A. Lange, *GeschichtedesMaterialismus*, English, trans.E.c.Thomas, vol. , 3rd ed.P.173。

Dr Ernst Mach, *Die Mechanik in threr Entwicklung historisch-kritischdargestellt*, Ist ed.1883, 4th ed, 1901, Eng. trans. T.J. MoCormack, Chicago,1883.2nd ed.London,1902。

过去经验的结果，以指导将来的感官知觉。马赫的意见大多数都可以在过去的哲学家的著作中找到，但是，十九世纪后期的没有哲学头脑的科学家，却觉得这些见解十分新奇。

物质与力

或许从哲学的观点来看，物理科学新发展的最早的和唯一的重要影响，是拉瓦锡证明物质通过一切化学变化常住不灭以后所造成的影响。由触觉得来的物质概念，是常识给予科学的最早的概念之一，由这里又产生出形而上学的概念，把物质看作是在空间里延伸，在时间里延续的东西。在前面数章中，我们说过，在历史上的某些时期中，对于物质的刚性的经验，屡次引起唯物主义的哲学。拉瓦锡用科学方法证明物质经过化学作用，虽然在表面上有改变与消灭的现象，然由其重量测得，总质量恒定不变，这样他就大大加强了把物质看作是最后实在的常识性的看法，因为人们凭 296 借常识觉得，历时不灭乃是实在的标志之一。

但在十九世纪前三分之二的时期中，对哲学思想影响最大的是物理科学的成功所造成的一般印象。道尔顿的原子理论，电磁现象归结为数学的定律，光的波动学说与实验相符合，通过光谱分析，揭示出太阳与恒星的组成成分，以构造式解释大群有机物的结构，新化合物甚至新元素的发现，而且在发现前就可以预言它们的存在——这一切成就，以及其它成就，都使人产生一种压倒一切的感觉，觉得人类解释自然与控制自然力的力量在不断地增加。人们很容易忘记，所谓打破一个谜团，其实不过是用另一谜团来解释它。最后分析起来，实在的基本问题仍如往昔，并无进展。但事实上，在十九世纪的前六七十年间，人们往往忘记这一事实，缺乏批判头脑的人最初愈来愈坚信物质与力是最后的解释，后来又愈来愈相信物质与运动是最后的解释。

人们所以在后来形成物质与力支配一切的观念，中间有一些思想上的演变线索，我们应该在这里更加仔细地加以探讨。牛顿本人在创立万有引力的假说时，从来没有承认引力是物质固有的终极本性，也没有把超距作用当作它的物理学上的解释。他说他对引力的原因不能有满意的说明，仅仅疑心它可能起因于以太，这种介质在自由空间内比在物质附近更密，所以能压迫有引力的物体互相接近。牛顿并没有强调这种见解，但是，他显然认为引力尚待解释，其原因须留给后人研究。

但在十八世纪与十九世纪初期，许多哲学家与少数物理学家以为牛顿的体系（伽利略的力的概念的推广）和超距作用有关，在这方面与起源于笛卡尔的另一学派有别。他们想用某种可了解的机械方式来解释物质间的相互作用，例如法国物理学家安培与柯西（Cauchy），根据牛顿的平方反比律用数学方法来研究电力，在英国，法拉第——其后有威廉·汤姆生与麦克斯韦——则研究了中间的介质的效应，企图断定电力所以可以在介质中传播是靠了一种机械作用。

在原子与分子的研究方面也有类似问题。古代的人认为，事实上，伽桑狄与波义耳，也以为原子只能靠冲撞与接触相互作用。他们假设原子有粗糙的表面，甚至有齿与钩，以解释物质的黏着与其他性质。但如果原子的相互作用可以是超距的，那么这些概念就都不必要了。的确，运动说只是在表面上回到原子或分子通过直接冲撞而相互作用的见解那里去。但这个学说必须

假定分子在互相接近时才彼此起作用，而且由于它们在冲撞后能够跃回，因此必须把分子看作具有弹性，因而必须有结构，并由更细小的部分所组成。即使原子在实际上不可分割，在想象中却可以对原子作无限的分割，最后就可以得到一个无限小的质点，这个质点因为能影响别的类似的质点，必定是一种力的中心。十八世纪的一个耶稣会士波斯科维奇（Boscovitch）就根据这种推理，认为原子本身是非物质的力的中心；而十九世纪的具有逻辑头脑的法国物理学家。如安培与柯西，则认为，他们时代的原子，经过分析，已经成为没有广延性的力的承载者了，只是没有哲学头脑的人士，才会凭借他们唯物主义的本能，保留把原子看作是刚硬质点的看法。时至今日；原子已经不再是非广延的了，就连电子也表现出有更精微的结构，因此有人把它看作是一种辐射的来源，或一种没有具体形态的波系。当我们注视到电子之外时，我们似乎仍然需要在两种看法中选择其一：一种看法是，把物质的终极单位看作是非广延的力的中心；另一种看法是，把物质看作是一个无限序列的微细的结构，内外相合，愈在内部愈微细。

尽管波斯科维奇、安培和柯西把原子看作仅仅是一个力的中心，牛顿的科学，却是建筑在把物质看作是微粒的看法基础上，拉瓦锡也把类似观念应用到化学上去，这就使许多对于这类东西发生兴趣的人，得到一种相反的哲学，以为硬块的物质，乃是唯一的实在，而硬块物质之间的力则是它们的唯一作用方式。赫尔姆霍茨与其他物理学家，以为把问题归结到物质与力就充分解决了问题。在这方面他们是随牛顿亦步亦趋的。这是一种数学的解答，作为数学的解答是令人满意的，虽然不是物理学上的解释，但是，不熟悉物理学的人，就以为他们把数学上的解答，看作是最后的解释了。

十八世纪时，第五章所叙述过的唯物主义的哲学，在法国复生，十九世纪时，又在德国再起。早期的领袖，如摩莱肖特（Moleschott），毕希纳（Buchner）与福格特（Vogt）都把他们的哲学建立在科学成果上，特别是生理学与心理学的成果上。毕希纳的书名《力与物质》（Kraft und Stoff, 1855）就说明把力与物质看作是最终的实在的观念构成这个唯物主义运动的一个必要部分。在有些玄妙的黑格尔唯心主义盛行半世纪以后，有这样的唯物主义学派，促使人们注意自然科学的明晰成果，其影响究属良好，但是值得注意的是这种唯物主义哲学兴起之时，科学家已经用有确切定义的量“质量”代替了物质，并且指出“力”一词具有“力”或“能量”的双重含义，因此意义非常含混。而且这些德国作家，还把他们的唯物主义同感觉论和怀疑论混为一谈。历史上唯物主义的旧观点复活过来，因为同夸大的达尔文主义吻合无间，就被有些共产主义者看作是经济学和政治学的基础。

能量的理论

物质守恒的原理，经人公认以后，引起一种朴素的唯物主义，已如上节所述。与之对应的能量守恒的原理，也跟着确立起来。哲学上的唯物主义，虽然不能强行利用这一原理来为自己服务，但却可以把它当作哲学上的机械论与决定论的联合理论的证据。

第一，这一原则，使人对流行的生物学上的活力论产生怀疑。这种活力

论以为在生物里有一种生命力，可以控制甚至停止物理和化学的定律，使机体适应环境，并决定机体的目的。到这时候，人们已经知道动物也象机器一样，只有在从外面取得能量——取得食物这种燃料以及空气中的氧——的时候，才能够运动和作功，如果有一种生命原质来进行控制，其方式当较以前的假定更为复杂。还可以设想用麦克斯韦假想的“鬼魔”的作用一类东西来规避热力学的第二定律（统计学定律），但是，第一定律（即能量守恒的原则）已经证实对于有生命的与无生命的体系都是有效的。

其次，如果宇宙间的能量有一定限量，我们就要遇到太阳活动有可能停止的问题，以及地球过去的年龄与将来的寿命等问题。人们已经知道，把太阳看作是一个缓慢冷却的热体的旧观念是不正确的；即令它是一团纯炭，它也会很快会焚竭热尽，但这些新的物理学原理还证明，当原始的星云逐渐凝结，星云的几个部分聚集在一起形成太阳时，会有巨大的能量储藏转化为热。而且太阳的不断收缩，如果仍在进行的话，也会继续产生热量，或许会使太阳有充足的时间存在下去。据赫尔姆霍茨在 1854 年计算，太阳收缩其半径的万分之一所生的热量，足以供其辐射二千多年而有余。

威廉·汤姆生（即凯尔文爵士）根据同样的计算，估算了地球的年龄，用于补充别人根据下面的情况推算出的数字：（1）地壳对于热的传导，（2）使日夜延长的潮汐的摩擦效应。1862 年，他估计在不到二亿（ 2×10^8 ）年以前，地球还是一团溶液，1899 年，他又把这一年限缩短为二千至四千万年之间。到这时，地质学家与生物学家又都要求把地球与地球上居住者的存在年限大大延长。于是发生一种争论，但物理计算的根据很快就发生问题，最初是因为发现放射物质而得到一种新的热源，后来是因为有了目前新的原子与宇宙的理论。现在人们认为，在太阳与恒星的高温下，物质可以发生嬗变，即由一种元素变为另一种元素，物质甚至可以直接化为能量，因此，所供给的能量的储量就远远超过旧有理论的想法。研究宇宙与有机演化的史学家，无论需要如何悠久的历史，现在都不成问题了。

早期计算出的数字，并不重要。无论太阳与地球在过去的年龄如何悠久，能量守恒与散逸的原理，都说明它们是有始有终的，因而也就把这种研究纳于科学范围之内。

威廉·汤姆生还利用热力学的第二原理以另一种方式研究了这个问题。由热量而来的机械功，只有当热量由一热体传到冷体的时候才能得到。这一过程总是倾向于减少温度的差异，这种温差还因为热的传导、摩擦与其他不可逆的过程而减少。在不可逆的体系里，可用的能量总是愈来愈少，而其相反的量（克劳胥斯称之为熵）则总是倾向于达到一个最大值。所以在孤立的体系，以及人们这样设想的宇宙内能量渐渐转化为热，趋于平均分布，不能成为有用之功的来源。当时人们认为，由于这种能的逸散，最后宇宙必将变得静寂而无运动。

汤姆生的研究成果，象牛顿的研究成果一样，被那些把物理科学与机械哲学混为一谈、把我们所制定的自然模型与终结实在混为一谈的人们，加以利用。“宇宙的寂灭”被看作是无神论与哲学上的决定论的另一证据。但根据相反的有神论学说，如果世界是上帝创造出来的，看来就没有充分理由说明为什么上帝在厌恶这个世界的时候不能把它毁灭；而且，如果根据这一假说，人的灵魂是有灵性的和不朽的话，它当然可以对物质世界的更换无动于衷，因为老早就不能把它禁锢在这个物质世界中了。再者，至少根据十九世

纪的证据来看，把热力学的原理应用于宇宙理论，其有效性是可疑的。把从这样有限的例证中推出来的结果，应用到宇宙上去，是没有道理的，即令过去利用这些结果去预言有限的独立的或等温的体系的情况很有成效。我们现在知道这个问题比最初提出时人们所了解的要复杂得多。不但如此，即使今天存在的太阳与地球的始末为科学所阐明，我们也必须指出，这一结果对于整个宇宙的起源、意义与目的这一形而上学问题，也没有很大关系。在探究太阳与地球，甚至全银河星系的生命时，我们或许可以从最初的星云起一直探索到最后的寂灭境界。但是，即令是这样，我们也仍然只是探究了宇宙演化历程的几个阶段，和以往一样仍然不能解决这个伟大存在的秘密。

人们的心灵可以凭理性与经验两种方法去研心理学究。我们可以先接受某种形而上学的宇宙体系，如罗马教会体系或德国唯物主义哲学的体系，然后凭理性推出人的心灵在这个体系内的地位，以及人的心灵和这个体系的关系。另一方面，我们也可以不接受任何这样的体系，而通过经验的观测与实验，研究心灵的现象。这种凭借经验的研究，又可用两种方法进行，即我们自己心里的内省，以及对自己或别人的心灵加以客观地观察与实验。靠了这后一方法，心理学才变成自然科学的一个分支。

十九世纪初叶，理性的心理学是德国所特有的，在大学里，同宇宙论与神学结合成为一门广泛的形而上学的学问。经验的心理学早已在英格兰与苏格兰出现，并且采用内省的方法。这种方法在本世纪三分之二时间内盛行一时，尤其是在詹姆斯·穆勒（James Mill）与贝恩（Alexander Bain）的手中。在法国，人们开始把心理的外在表现当作生理的与病理的问题加以研究，并且开始研究心理的外部符号，如语言、文法与逻辑。

当科学方法推广到产生这种方法的学科以外的学科中去的时候，理性的心理学在各国就很快为经验的心理学所代替了。海尔巴特（Herbart）在德国利用经验的心理学来对抗当时流行的系统的唯心主义哲学，虽然他的心理学不但建立在经验基础上，而且建立在形而上学的基础上；另一方面，特别是在洛采（Lotze）的著作里，它却成为关于唯物主义的假说的讨论的基础，这种讨论比在福格特、摩莱肖特与毕希纳诸人的著作中可以找到的讨论更为深刻。德国人对于这种经验的“无灵魂的心理”（心理学在德语为 Seelenlehre，原义本为灵魂学）即没有一个预定的形而上学体系的心理学，自不免有所惊异，因自莱布尼茨以来，德国思想界总想在研究宇宙的任何部分以前，就制定出一个关于宇宙的广泛理性理论。但是经验派的心理学，在英国人及苏格兰人的“常识”性的观点看来，是十分自然的。和过去常有的情况一样，他们可以孤立地遵循一条思路，只要它证明在实践上 useful，而毫不顾及这种思路对其他学科的明显的逻辑影响。大部分英国心理学家，把神学留给神学家，把形而上学留给形而上学家，即令在他们所用的方法，带有内省的性质（虽然也是经验性）的时候，他们也是这样。当他们所用的方法变为实验的时候，这个态度自更鲜明。在法国，研究心理学的主要是生理学家与医生，因此，法国的心理学在科学实验方法方面自然走在前面，而没有受到形而上学体系的影响的危险。当心理学象自然科学一样变为国际性的时候，法国的贡献大概影响最大。

包括生理学与实验生理学在内的物理科学的态度是分析的，它对问题从

各个不同角度——机械的、化学的或生理的——陆续加以考察，并且在每一角度都要把研究的题材分析为简单的概念，如细胞、原子、电子与其相互间的关系。但生物学说明每一个生物都是一个有机的整体，而且更显著的是每一个人都对自身存在的统一性有深切的意识。科学所处理的关系，可以由任何有能力的观察者加以验证，但各个人的心理的确只有本人方能完全达到。因此，科学方法无法对这种统一性的意识给予充分的研究。在生理学与实验心理学中，必须假定动物受制于物理学和化学的定律，并可以用这些定律去解释，至于人则必须假设他是一架机器，因为如果根据别的假定，便不能有任何进展。不过当大陆上的伪逻辑学家断言这一有用的假设可以代表实在，而人不过是一架机器时，英国人则凭他们通常的常识见解，以为这一主张虽然与一套事实相合，却与另一套事实相背；他们完全满足于在生理实验室中把人视为机器，在日常事务上把人视为具有自由意志与责任的个人，而在教堂礼拜，则把人视为一个不朽的灵魂。既然每一种看法都是适合它的特殊用途的良好工作假设，为什么不能在适当的时间与地点，把这些假设一并采用？或许有朝一日按照将来的知识，这些假设可以调和起来，但现时这些假设却各有助于工作的进行。英国人的这种特殊心理态度，不但在牛顿的时代与现代心理学创始之际表现出来，而且也在十九世纪的与其后的许多科学与哲学问题上表现出来。此种态度在大陆的人看来，或许是不合逻辑的，但仍不失为真正科学的态度。他把某些理论当作工作假设，只要它们能产生有用的结果；而且只要它们能产生有用的结果，他们也毫不犹豫地同时采用在当时的知识情况下看起来互相矛盾的两种理论。如果其中之一证明与事实（或与信念）不符，他们可以立刻放弃不用。物理学一向被视为最富于理性的科学，现在却仍旧采用表面上看来有很大矛盾的两种基本理论，这或许可以证明英国人的心理习惯是有道理的。

亚力山大·贝恩（1818—1903年）是首先使用现代科学知识，以内省法对心理过程进行经验的研究的人士之一。他遵循洛克的理论，以为心理现象可以追溯到感觉，同时又采取从休谟到詹姆斯·穆勒的英国作家所主张的“联想心理学”，以为比较高级的和303比较复杂的观念是简单元素靠联想所组成的。贝恩从生理学中引来证据，用以证明这些原理，不过他并没有充分领会法国人关于变态心理的研究对正常心理理论所产生的影响，在进化论的时代使人明白遗传与环境两种不同的因素的影响以前，他已经完成了他的主要的工作。

就是在心理学求助于自然科学的时候，在应用方式上，各国的心理学有一时期也各有各的特色。法英两国注重科学的方法——观察，假说，推论的演绎，并且把推论与进一步的观察及实验加以比较。在德国，黑格尔的唯心主义哲学虽然有些威信扫地，不再被人当作基础，心理学家仍然想在一个形而上学的体系的基础上有所建树。这时自然科学正在进展，弥勒与李比希把生理学与化学应用于医学与工业而大著成效，因此，心理学家不但采用了科学的方法，而且采用了科学的概念。他们企图“把自然科学中习用的所谓基本概念，如物质与力，抬高到心理科学的基本原则的地位，甚至抬高到新的信条的地位”。结果人们就“对于心理现象采取一种抽象和简单化的看法，匆遽地得出一些概括的结论，最后则作出一些纯粹言词上的区别”。

但大约就在这时候（十九世纪的中叶），由于采用从各方面借来的物理学方法，心理学中也发生一场革命。说也奇怪，心理物理学竟可以追溯到贝克莱主教。他在《视觉新论》（New Theory of Vision）一书中指出，我对于空间与物质的知觉，归根结蒂来源于触觉。心理学后来的发展是在伽伐尼发见用两种金属接触蛙腿时蛙腿发生痉挛现象的时候开始的。这一发现不但成为伟大的电流科学的肇始，而且在生理学与心理学方面也引起许多怪诞的幻想。没有科学素养的狂热者利用伽伐尼的发现与麦斯美（Mesmer）关于催眠现象的研究（他们说这种现象是“动物的磁性”），把关于电在生理学中的作用的研究庸俗化。直至一代以后，赫尔姆霍茨与杜·博瓦·雷蒙（du Bois Reymond）才重新采用了科学方法。

我们说过加尔关于感觉在大脑中的部位的研究成果，怎样在愚昧无知的人手里变成了荒唐的“骨相学”，而在比较细心的研究者手里，又怎样增进了关于大脑作用的知识。从物理方面研究特殊的感官的，有以下诸人：托马斯·杨修正和改进了牛顿关于色彩视觉有赖于三种原色感觉的理论，赫尔姆霍茨首倡生理声学，阐明了音乐与言语的生理基础；赫尔姆霍茨还研究了生理光学，不但增进了我们对于视觉和色彩感觉的知识，而且帮助分析了我们对于空间的知觉。在他所使用的方法中，就有惠斯通（Sir Charles Wheatstone）在这以前所发明的体视镜。

但现代实验心理学的创始者，当推来比锡的韦伯（E. H. Weber）。他的贡献在于他对于感觉极限的观察。例如，他用二针同时触刺皮肤的不同部分，在我们感觉有两处受到压力的时候，测量两点间的距离。他还研究了刺激必须增加多少，才能使感觉有所增加。在这里，他发现有一种确定的数学关系，即刺激应按每一步骤开始时的强度而增加，换言之，即按几何级数增加。

比较富于哲学头脑的人士，早已认识到这一新的观点。例如贝内克（Beneke）在1833年发表的《自然科学的心理学》（Psychologie als Naturwissenschaft）中就认识到这一点，洛采在1852年承认数学的方法适用于心理学的几个部分，费希纳（Fechner）在1860年首先使用“心理物理学”一词。现代学派在冯特（Wundt）的著作中就已经明显地出现了。他进行了许多测量，如测量了我们对时间的感觉，而且还把许多研究的线索整理成一个条理分明的体系。冯特虽然充分认识到分析方法在特殊问题的研究中的用处，但他绝未忽略内心生活的基本统一性。在这个问题上，达尔文的研究成果也揭开了一个新的纪元。达尔文对于人与动物的情绪表现的研究，是现代比较心理学的先河，这种研究对于认识人的心理有不少的贡献。

十九世纪后期，对于心理学上的问题——即身与心的关系的问题——最富特色的贡献是心理物理学上的心身平行的理论。这个理论的萌芽可上溯到笛卡尔、斯宾诺莎、莱布尼茨、韦伯、洛采、费希纳与冯特。生理的现象与心理的现象显然是平行的，纵然没有联系也属同时。这个理论认为意识是伴随神经系统内虽然复杂却可以研究的变化而产生的外部现象。对心理物理学来说，这就够了，我们不需要追问这一外部现象是否有其独立的存在。但意识的生活具有不断发展的能力，它表现在语言、文学、科学、艺术与一切社会活动上——一个心理价值增长的过程。因此心理学不但和语言、科学、语文学、语音学等联系起来，而且给予这些科学以新的力量，并且通过这些科学由外面的世界深入内心思想世界。

研究自觉生活的统一性的中心问题，现时还不在精密科学的方法的能力

范围以内，因为它仍是形而上学的问题。对于统一性的感觉是一个实在反映吗？内部心灵（或称灵魂）有其独立的存在吗？另一方面，象“联想心理学”后期的学说所设想的那样，这仅仅是一种由感觉、知觉与记忆等组合而成的后天获得的心理状态吗？心灵控制着身体吗？它仅仅是大脑的外部现象吗？还是有某种更高级的统一性呢？卡巴尼斯(Cabanis)以为与思想相联系的大脑的功能，应该和其他身体器官的功能一样来加以研究。福格特更以粗俗的口吻，说大脑分泌思想，正象肝分泌胆汁一样。这种唯物主义的观点，不但浅薄，而且不能令人满意，但它使得人注意到心理学向哲学提出的最大的问题。

生物学与唯物主义

如果说物质与能量守恒原理的发现加上原子论被人当作唯物主义的根据的话，十九世纪前半期生理学与心理学的同时发展，就加强了机械论哲学的地位。当时人们把这种机械论哲学与唯物主义混为一谈，这虽然不合逻辑，却是不能避免的。著有《生理学手册》(Handbuch der Physiologie, 1833)的弥勒与韦伯是在德国首先把科学方法应用于生理学的开路先锋。以后就开始受到法国的影响，特别是在大脑与神经系统的生理学以及建立在大脑和神经系统生理学基础上的精神病的精神学和心理学和治疗上。再往后又有奎特勒出来把统计学应用到人的活动上。德国的福格特、摩莱肖特、毕希纳与其他唯物主义者都利用科学向新领域发展的事实来支持他们的形而上学的理论。一百年前在法国流行的论调，这时得到新的物理学、生理学、心理学的帮助，又复活过来，发展起来，在有些大陆国家中，教会的守旧派有效地抑制了这些见解，到后来争取政治自由的斗争就与争取学术自由的斗争结合起来，酿成了1848年的革命。

在后来的几年，在英国早有深入发展的工业改革开始扩张到大陆上来。科学，特别是化学，与日常生活发生密切的关系。在注重实际的英国，这一过程对于宗教信仰影响很小，但在讲究逻辑的法国与崇尚形而上学的德国，这个过程对于机械论哲学与唯物论哲学的方兴未艾的浪潮，肯定起了推波助澜的作用。此外，与唯心主义体系比较，唯物主义具有一种浅薄的简单性。毕希纳在《力与物质》(1855)一书中说：“凡是受过教育的人不能理解的论著，都是枉费纸墨，不值得印刷”，因此，在德国，“唯物主义的争论”就普及到广大阶层中去，这在其它国家是办不到的。正像朗格(Lange)所说，“在世界各国中，只有在德国，药剂师开处方时才不能不意识到他的活动同宇宙结构也是有关系的”。

我们拜读十九世纪中叶自称为唯物主义者的德国人的著作时，不能不注意到，他们的唯物主义并不是和笛卡尔的二元论的一面相象的、彻底的、合乎逻辑的唯物主义。摩莱肖特、福格特与毕希纳总是把唯物主义与自然主义、感觉论、甚至不可知论混淆起来。事实上，唯物主义一词差不多可以包括一切与流行的德国唯心主义和教会正统教义相反的见解。这是一种叛逆的哲学，手边有什么武器，他就使用什么武器，哲学上的唯物主义，认为终极的唯一实在只是成团的死物质。这种哲学不能解释意识，也经不起批判的分析。

但在条顿民族的氛雾里与这种唯物主义混淆不分的许多哲学体系却不是一下就可以驳倒的，因此这场讨论就拖了很长时间，而且一般来说，并没有什么结果。

在这一思想领域中，特别是在德国，达尔文的研究成果是一条重要分界线。《物种起源》风行之后，德国哲学家在海克尔的领导下，把达尔文的学说发展成一种哲学信条。在这种达尔文主义基础上，他们建立了一种与唯物主义相关联的新的二元论，从此以后，各国这类争论就围绕着进化概念进行了。

达尔文在自然选择说基础上建立的进化论，经公认以后，不但使直接有关的科学发生深刻的变化，而且也在其它思想领域中引起深刻变化。现在论述于后。

科学与社会学

甚至在十九世纪的上半期，科学就已经开始影响人类的其他活动与哲学了。排除情感的科学研究方法，把观察、逻辑推理与实验有效地结合起来的科学方法，在其他学科中，也极合用。到十九世纪的中叶，人们就开始认识到这种趋势。赫尔姆霍茨说：

我以为我们的时代从物理科学学到不少的教训。绝对地无条件地尊重事实，抱着忠诚的态度来搜集事实，对表面现象表示相当怀疑，在一切情况下都努力探讨因果关系并假定其存在，这一切都是本世纪与以前几个世纪不同的地方，在我看来，都足以说明这样一种影响。

我们如果研究一下到今天为止的政治史，就会感到赫尔姆霍茨未免过于乐观。但是如果和以前的时代比较一下，就可以知道他的话是有相当道理的。在十九世纪人们才知道至少经济学问题有若干部分是适于用数学方法处理的，这种排除感情的专门的研究始终是有益的，其结果有时或不免于谬误，但至少是寻求真理的诚实尝试。

在统计学中，数学方法和物理学方法被明确应用于保险问题与社会学问题。前面讲过数学方法和物理学方法本来是先在人类学中加以应用的。配第与格龙特以及奎特勒先后在十七世纪和 1835 年以后进行了这番工作。奎特勒证明，在不同程度上具有某种特点——如身长——的人数环绕着一个平均值而分布，因此，可以应用概率理论。他所得的结果，与赌博的机遇或分子速度的分配相似，可以用类似的图解表示。社会统计学在英国由法尔(William Farr, 1807—1883 年)加以发展。他服务于登记局，对于医药与保险统计的改进颇有贡献，并且把人口统计放置在稳固根基之上。

在十九世纪末期，进化哲学深刻地改变了人们对于人类社会为看法。它在事实上永远摧毁了终极目的论的观念，不论在今天的国家中，或将来的乌托邦里都谈不上有终极的目的。政治制度亦如生物，必须适应其环境。两者都在变化之中，为了社会福利，它们必须按部就班地前进。在一个种族当中有成效的制度，在另一个种族当中可能遭到悲惨的失败。英国式的代议政府不一定适宜于每一国家。身心方面的先天的差异与不同，得到证明以后，就

参看 p.285。

参看 Cowleson Malihus, Darwin and Bagehot, Isis, No.72, 1937, p.341。

摧毁了从生物学上来说“人人生而平等”的见解。

经济学也发生了同样的变化。科学时代早期的重形式的政治经济学，想要找出一些普遍的、永恒的、超时间与空间、对于一切民族都有效的社会规律。经济学的历史学派早就怀疑有这种绝对定律。他们从各方面证明，每一社会都有它自己特殊的经济规律，而且这种规律的表现形态又随着变动不已的环境而异。

政治制度与经济情况的变比，不象生物学上的变化那样缓慢。然而就是在这种迅速的变化中，也没有办法通过捷径达到下一阶段，或预知下一阶段要把我们引到哪里去。旧时代的残余和新生事物的萌芽同时出现在我们眼前。正如形态学揭示出动物身上存在的有机演化以往阶段中有用的器官的痕迹一样，社会制度的研究也揭示了社会制度过去所经历各阶段的痕迹。对这种痕迹加以正确的解释，常常可以推知它们的历史与起源。而弄清历史与起源，也就不难了解它们今天的意义和真正的重要性，甚至可以预测将来的前途。

如果人类演变至今所经历的过程与动物一样，人类今天也仍旧要同样地受制于变异与选择。1869年左右，高尔顿根据这一见解研究了人类生理的与心理的特点的遗传，断定必须让选择继续发挥作用，以便不但使种族朝着文明人一致认为是向上的方向前进，而且防止种族的退化。高尔顿把研究人类可遗传的天赋特点和运用这种知识来增进人类福利的学问，叫作优生学。

在现今文明的情况下，自然选择最有力的因素大概是疾病。凡是特别容易感染某种疾病的往往早死而无后，这样就从种族中消除了容易感染这种疾病的遗传特性。但第七章所说的环境变化，不管是法律造成的也好，风俗造成的也好，或经济压力造成的也好，在混合的种族中，必然对于某些特性特别有利，这样就改变了居民的平均生物特性。高尔顿的研究成果，可以帮助人们更清楚地了解社会问题：生物学的知识也适用于政治学、经济学与社会学。但他的见解与十九世纪的平等思想很不调协，一时不易产生很大效果，直到十九世纪末，才得到部分的承认。

至于达尔文的研究成果，对于政治学说的影响，意见很不一致。布尔热（Vacher de Bourget）、阿蒙（Ammon）与尼采（Nietzsche）等人利用适者生存的原理来重新提倡贵族主义的思想。但是，另一方面也有人以为恶劣的特性，在现在的情况下也未尝没有好处，贵族地位稳稳当当，就没有了竞争，因此也就没有了选择；而“机会均等”却是达尔文式进步的本质。社会主义者更指出动物为了互助而组成的社会，要求人们注意这种社会有巨大的生存价值，这样就在蜂与蚁的社会中找到了共产主义社会的论据。但这种社会引向发展的终极，最后结果是停滞不前。人们观察蜂的世界，已有两千年之久了，在这二千年间蜂的世界并没有任何进步的迹象。这种社会是刻板的，功利的和自给自足的——它是把人的欲望和主动性消灭无余的共同生活的模型。由达尔文理论导出的结果这样分歧，至少说明一个事实：把自然选择的原理应用到社会学上，是一个异常复杂的问题，几乎任何思想学派都可以从这里为自己的特殊学说找到有力的根据。

不论是在研究家族的历史的时候，还是在思考人类的起源的时候，人们

这是资产阶级学者站在反动阶级立场上对共产主义社会所进行的恶毒污蔑。只有无产阶级才能认识共产主义是最进步、最合理的社会制度。——译注

都喜欢想象他们的祖先要比自己高贵，不认为他们自己在社会水平上和种族质量上胜过祖先，这是一种奇怪的心理事实。这种对于遗传价值的信仰同其它先人之见一样，自有其价值，大概比十九世纪的人所愿相信的更有价值，我们应该予以尊重。所以在自然与纹章院没有给人们以高贵的祖先的时候，人们就自己给自己找一些高贵的祖先，是完全可以原谅的。原始种族相信自己是神的直系后裔或为神所特造，也和这种情况相仿佛。文明人又何尝不是这样呢？当他们被迫在《创世记》与《物种原始》之间作一抉择时，他们最初也是随着迪斯累里（Disraeli）高喊：他是“站在天使方面的”。

但人与动物有亲属关系，证据非常确凿，不久即为有理性的少数人士所信服。正象哥白尼与伽利略把地球从宇宙中心的地位上谪贬下来一样，达尔文也把人类从堕落天使的冰冷而孤独的地位上拉下来，强迫他们认识他们与鸟兽有兄弟的亲属关系。正象牛顿证明地上力学可以应用于天空与宇宙的深处一样，达尔文也要证明我们用来改良家畜的习见的变异与选择方法，也可以说明物种怎样产生出来和人类怎样从低等动物演化出来。达尔文的自然选择假说或许不能说明今天的世界里一个物种到另一物种的变化。但是新近的知识却完全证明了进化的一般概念。有机世界正如无机世界一样，可以从这个观点出发当作一个整体看待，这是人类心灵所得到的崭新而伟大的启示。

进化论与宗教

如果说达尔文对社会学的影响十分巨大，那末他对宗教理论与神学当时为宗教而创立的教义的影响就更深刻了。上帝分别创造万物的粗糙的教义被摧毁了。在现在看来，这虽然是各种结果中最表面的结果，但也是最明显的结果，冲突也是首先在这个问题上展开的。中世纪，常有人注意推想各种生命的起源。新教改革者注重圣经文义，因此人们对圣经就更加从字面上加以解释了。到十八世纪时，《创世记》第一章所载的有机创造的细节，就被视为正统的看法。十九世纪，几乎整个基督教人士都有这样的信仰。地质学的研究，必定使人对厄谢尔主教（Archbishop Ussher）的年代学发生怀疑。他以为世界创造于公元前4004年，但是连一位有知识的人，在1857年还真的认为上帝是故意把化石放在岩石之内以考验人类的信仰的。从逻辑上来驳倒这种说法是不可能的；事实上，人们也未尝不可说世界是上星期创造出来的，一切化石、记录、记忆应有尽有，但虽然如此，这一假说究属不可能。

1859年《物种起源》发表后所引起的争论，开始动摇一般人对于物种分别创造的普遍信仰。进化的证据逐渐增多，自然选择至少是进化的一个因素的证据逐渐增多，引起各国知识界的注意。而且，自然选择的原理似乎给予基督教旧教派的“天意说”以严重的打击。动植物身上表现出来的手段对目的适应，经过一番自然科学的解释，虽然还不能对问题的奥秘给予完备的说明，至少有助于求得表面上的解决。这样就不再需要假设有一聪明善良的造物主，来说明身体构造的细节，或蝴蝶何以具有保护色了。如果还需要一位造物主的话，看来他早已离开这部巨大的机器，任其循变化的涂辙运转，不复加以注意了。

但是渐渐地人们就可以清楚地看出，进化论把难于成立的信条摧毁，实

在是对神学的真正的贡献，不久神学家的领袖和胆怯的教士们，都先后认识到必须把世界的创造看作是一个连续不断的过程，而生命在本质上是一体的，比他们以前所设想的要更加奇妙和神秘。进化论虽然可以说明生物用什么方法从早期的形态进而发展到有复杂的生理与心理特点的物种，但对于生命的起源与基本意义，或意识、意志、道德情绪与审美情绪等现象，却不能有所说明。至于存在的大问题（为什么有物存在或无物存在），那就更没有谈到了。今天还有许多地方——事实上是整个宇宙——使人惊奇敬畏，使人虔诚探讨，使人崇敬不能目见之物。上帝在六日内创造天地万物一类幼稚故事虽然无人相信了，却产生了巨大惊人的“存在”问题。

当赫胥黎、阿盖尔公爵(Duke of Argyll)和主教们为了进化论与《创世纪》展开热烈的争论的时候，比他们所讨论的问题更重要、更根本的变化，却在一旁悄悄发生。我们今天的正统宗教信条与仪节，有一些是从原始的崇拜演变而来的。少数思想家如休谟与赫德(Herder)早有这种见解，但在达尔文的研究成果的推动下，这种看法就成为比较宗教学的有效的起点。这种研究最新的结果是二十世纪的事。但在十九世纪结束以前，就已经发现一些惊人的事实。最先进行这种研究的人类学家之一泰罗(Dr. E. B. Tylor)，在1871年发表了一部讨论原始文化(Primitive Culture)的著作。达尔文对于此书有以下的评论：

作者从低级种族的精灵崇拜一直探讨到高级种族的宗教信仰，真是了不起。从此，我就要用另一种眼光来看待宗教——对于灵魂等等的信仰了。

以后还有一些别的人从这面推进了人类学的研究。1887年弗雷泽(J. Frazer)发表了《图腾主义》(Totemism)一书，叙述图腾与婚俗，征引至为渊博。图腾信仰是由精灵崇拜而来的，不过礼节更加繁重，中心观念是图腾，所谓图腾就是一种神圣的动物，与按这种动物命名的部族或个人有密切而神秘的关系。野蛮人的生活异常危险，灾祸不时降临，而神秘不测的恶运更是他们力求避免的。因此，他们就形成一些他们认为可以帮助他们避免灾祸与恶运的风俗，谁违背这种习俗，灾祸就立降其身。

弗雷泽的《金枝集》(Golden Bough)第一版在1890年问世。作者叙述了意大利阿里恰(Aricia)附近奈米(Nemi)地方的礼节。在那里，从很早的时候起，一直到古典时代，始终有一个僧侣执政，俨如君王，然后由另一僧侣杀而代之。各原始或野蛮民族的类似风俗都起源于所谓交感巫术，这种巫术用各种仪式来表演，每年的季节循环的戏剧，包括收获时节万物的死亡，新春时节万物的欢乐复活等，以为这样才可以为人类祈得庄稼的丰收与家畜的兴旺。交感巫术还和对于死者的恐惧和其他因素混合起来，产生超人的神或魔鬼的观念，而膜拜自然的仪式，包括入教与通神的仪式，也就在新的意义下继续存在下去。最先采用进化观念的人类学家发现野蛮人的心理就是这样产生作用的，原始宗教的体系也就是这样形成的。他们的发现与文明种族的宗教早期历史的关系至为明显，但这种关系经过一定时期以后，才为大家所周知。这个问题或许不像万物分别创造的所争论的那样引人注目，但到二十世纪，它的影响却要大得多，今后更是这样。

这样，在自然选择的基础上建立起来的进化论，经人们承认以后，最初虽然在若干方面动摇了宗教的神学体系或教条体系（人们常把这个体系与宗教本身混为一谈），但是，后来又使这个神学体系受益不浅。基督教思想界除愚民主义派以外现已承认进化论，并且已经逐渐接受一般的现代观点。他

们被迫重新讨论基督教思想的前提，已经有了一种虔诚探讨和思想自由的新精神。宗教家明白了，一套刻板、完备、一劳永逸地传给圣徒的教义，很容易在历史上的发现的冲击下陷于紊乱，于是他们就采取另一种观点，认为宗教观念也在进化之中，上帝在不断地向世人启示，在一定的時候，才有至高无上的表露，但从来没有停止向世人解释神的旨意。不但如此，这种现代精神，还迫使他们在宗教的研究中不能不适当考虑在科学中证明十分必要的观察方法。由于采用这个方法，就不得不考虑各种宗教经验，并承认神秘性的洞察力的价值，因为这种个人经验对于团体崇拜的仪式与维持传统的权威都能有所补充。

在宗教的实际方面（伦理方面）进化观念首先使科学同道德的基础问题发生密切的联系。如果道德律真像圣经所载，是上帝在西乃山雷电中传授给人，而一成不变的话，便无话可说。人有充分理由自定其行为的理想，不但自身履行，并在自己能力范围内迫使他人遵循。

如果我们对圣经上西乃山的说法觉得没有把握，我们就不能不寻找较稳固的立足点。在这方面我们有两条道路可走：要么赞成康德的主张，把我们良心的道德律看作是天赋的一种“无上的命令”，人只能把它视为不可解释、不能怀疑的最后事实而加以接受。要么，我们就必须寻找某种自然科学的解释。

边沁（Bentham）、穆勒与功利主义者，认为谋求“最大多数人的最大幸福”就是这样一种自然科学的基础。他们以为如果从幼稚期开始就进行同类相亲的教育，像进行宗教教育那样，并且尽力给与实施的机会，这种利他行为的推动力的功效是无庸怀疑的。

西奇威克（Henry Sidgwick）对直觉学派与功利学派相反的论点，加以批评和调和。他以为道德的过程就是把注意的中心从暂时的与个人的利益转移到比较长远和比较广泛的社会福利上的过程。

但功利主义的伦理，只是在根据进化哲学加以修改以后，才接触到根本原则。首先有系统的尝试修改功利主义伦理学的人是斯宾塞，但是更极端的进化派伦理学则出现在德国的达尔文主义的新发展中。

自然，主要的论点是说，道德的本能是经过自然选择而保存和深化起来的偶然的变异。具有这种本能的家族和种族能够团结一致，互相合作，因此胜过没有这种本能的家族和种族。这样经过遗传，道德的本能就在人类身上发展起来的。

这不过是一种说明而已。这只是根据自然选择的假说，说明道德的本能一旦存在，力量就不断增强。但生存竞争不但在种族之间进行，而且在个人之间进行，而生存竞争所必需的自私性，恰与道德律相反。大多数作家对于这种矛盾，比对于只有经过更深入的分析才能看出的社会团结，印象更深刻一些。他们以为“自然的齿爪上都染着鲜血”，道德成功的机会很小。例如，赫胥黎就以为宇宙的秩序与道德的秩序常在永恒冲突之中，而善良或美德，同可以使人在生存竞争中获得成功的特性，是截然相反的。

有一个时期，关于伦理学的内容，并没有争论。直觉派、功利派与进化派都不反对传统的道德，即基督教的道德，他们只是担心宗教教义这种推动力取消以后，传统道德也要垮台。在伦理学的实际方面，三派的意见完全一

致；在思辨领域中则有不少纷争。

但当注重形而上学的德国与讲究逻辑的法国完全理解了自然选择的观念以后，就有人把生存竞争的教训加以极端化。如果全盘接受进化哲学的话，有利于适者生存的品质，不就是真正合于道德的品质吗？尼采尤其倡导说，基督教的道德是一种奴隶的道德，不但无用，而且过时了，世界应该要求“超人”来启发和管理他们，“超人”会完全摆脱这些桎梏的限制。这一学说为政客和军国主义者所利用，加上1866年与1870年两次战争的成功，就酿成德意志帝国的心理状态，惹出1914年与1939年的浩劫。这种影响在法国只及于个人，而不及于政治；但是“生存竞争”却变成各时代想要找到一个漂亮借口来蔑视传统道德的无耻之徒的口头禅了。

批评这一套特殊的观念是很容易的事情。如果只有暴力与自私才是具有生存价值的品质，那末，按照进化论的假设就无法解释多数人的胸中肯定存在着的道德感或良心；另一方面，如果把道德感的发展解释为人群中自然选择的结果，那也不能使道德感归于无效，只不过在少数人眼中，由于基础从天启宗教的武断戒律移到具有生存价值的社会本能上去，不免使这种道德感变弱一些而已。

自然主义伦理学的完备理论，在英国经许多学者，尤其是华德（James Ward）与索利（W.R. Sorley）加以批判的研究。这两位作家都断言自然主义的拥护者想要单单在进化论的基础上建立一种伦理理论是徒劳无功的，对于宇宙的唯一主义的解释，不但是理性的形而上学所必需的，也是稳当的伦理学所必需的。

达尔文对形而上学的影响，本来很可以在讨论宗教的本节中一并讨论，因为就武断性一面来说，宗教也是一种形而上学，但是由于所牵涉到的问题，有出乎宗教范围以外的，所以整个这个问题最好留在下节中讨论。

翰经论与哲学

要想估计进化论的确立对哲学思想的影响，我们须回顾一下以上各节所叙述的历史。

随着人们的思想，从一个时代向另一个时代前进，在怎样解释宇宙的问题上，机械论与唯灵论此起彼伏，轮番更迭，有如脉搏的跳动。到现在为止，这种转换对于认识的健全发展似乎是必需的。每当科学有巨大的进展的时候，每当一新领域被置于自然律之下（人们现在是这样看待这种过程的）的时候，人类心灵由于不可避免地夸大了新方法的力量，总以为马上就可以对宇宙提出完备的机械解释了。希腊原子论者对于物质的构造，作了一种猜度。这种猜测恰好与现代的理论不谋而合，但从科学的观点来看，他们的证据实在薄弱。原子论哲学家在把他们的理论应用于无机世界以后，并不满足，还按照“原子的偶然集合”的观念，对生命和生命现象提出各种说明和解释。他们既不知道无机世界极其复杂，更不知道还需要探讨更多的新现象，然后才谈到去接近他们深信不疑地加以解决的生命问题。但原子论者毕竟有很大贡献，而且他们是在一种唯物主义哲学的启示下作出这种贡献的。他们的证

A.J. Balfour, in *Mind*, vol. , 1878, p.67; T.H. Huxley, in *Nineteenth Century*, Vol. , 1877, p.539. James Ward, *Naturalism and Agnosticism*, 1899; W.R. Sorley, *Ethics of Naturalism*, 1885, 1904.

据不足，早为柏拉图与亚里斯多德所指出。但是这两位哲学家也在可疑的基础上，建立了两种唯心主义的哲学，这两种哲学相继被基督教神学所采用，传到中世纪，被看作是足以表现古代希腊特色的思想。

至文艺复兴时代，知识的发展重新开始，见解的自然摆动再度明朗化。哥白尼的胜利，与牛顿解释天体现象的惊人成功，使人们夸大了他们的方法的力量。拉普拉斯以为只要知道组成宇宙的各质量的瞬刻构形与速度，一个头脑精细的人就可以算出宇宙整个过去与将来的历史。科学每前进一步，机械论的力量总是要被人过高估计，这已经成为当代思想的特色。其实当新知识完全消化后，人们就看出旧问题本质上依然未变；而诗人、先知和神秘主义者也就出来重整旗鼓，以新的言语从更优越的地位向人类宣布他们的永恒的启示。

大致说来，达尔文的成功的一个主要结果就是机械论哲学浪潮的再起。我们不妨说：进化论的确立大大加强了自然界可以了解的感觉，并且增强了那些把他们的生命理论建立在科学基础上的人们的信心，我们这样说是完全正当的，而且毫无夸大之处。可以说进化论的确立，加上生理学与心理学，从生物学方面补充了在当代物理学中出现的一些趋势。这些趋势使人觉得很快就可以用永恒不变的质量及有限的数量和绝对常住不变的能量，来对无机世界给予完满的说明了。

由于可以把质量与能量守恒原理应用于生物现象，人们就产生了一种过分的信心，以为生物机体的各种活动，不论是物理的也好，生理的与心理的也好，都可以解释为分子运动的方式，及机械的或化学的能量的表现。进化论的流行，造成一种错觉，使人以为既然我们已经懂得进化通过什么方法进行，问题也就完全解决了；既然我们已经了解了人类的起源与历史，人的内在精神的性质与从外面所见的人体的结构也就揭露出来了。正是在德国，达尔文主义的这一发展，最为流行。

这种情况，在海克尔的《宇宙之谜》一书中表现得最为明显。达尔文不但证明动物与人的身体的进化，至少一部分可以用自然选择来说明，他并且证明动物的本能，如其它生命的过程一样，也要在选择的影响下发展；而人的心理机能是和动物的本能类似的，也要经历类似的变化。海克尔在达尔文的研究成果的基础上建立了一种完备而不调和的一元论哲学。他认为有机与无机世界是统一的。碳的化学性质是生命的运动的唯一原因，有生命的原形质的最简单的形态必然是从碳与氮的无机化合物，经过自然发生的过程，产生出来的（可惜这个结论并没有直接证据）。心灵的活动不过是一组完全决定于原形质的物质变化的生命现象。每个活的细胞都有心灵的特性，而由单细胞原生动物的简单“细胞心灵”演化而来的人类心灵的最高能力，只不过是脑细胞心灵功能的总和而已。

这种见解可与克利福德的见解比美。克利福德同意贝克莱的意见，也认为心灵是终极实在，但却持有一种唯心主义的一元论，以为意识由“心质”（mind-stuff）的原子所构成。

海克尔声称他自己的完备体系是建立在达尔文的理论基础之上的，而且附带他说明了达尔文直接影响这种类型的哲学的经过。

Ernst Haeckel, *Die Weltratsel*, 1899, Eng.trans.London, 1900.

E.Haeckel, chapter on "Darwin's Anthropologist", in *Darwin and Modern Science*, Cambridge, 1909, p.151.

我们现在完全同意一种对于自然界的一元论的看法，即全宇宙，包括人类在内，作为一个奇妙的统一体，都被永恒不变的定律所支配……我已经努力说明这种纯粹的一元论是根基稳固的，而我们既然承认宇宙为同一进化原理的全能规律所支配，就不能不提出一个单一的最高的定律，即囊括一切的“物质定律”，或质量守恒与能量守恒的联合定律。假使这个真正的“一元哲学家”查理·达尔文当初没有创立用自然选择说明人类起源的学说，为我们铺平道路，并且在他毕生伟大工作之余还把他的学说和自然主义的人类学联系起来的话，我们绝不会达到这一最高的普遍的概念。

达尔文本人大概不会赞同他的有名的德国门生的意见。事实 318 上达尔文本着谦逊的精神，对于他的研究成果的哲学意义，常默然不置一词。人类起源的问题，实在比达尔文的热烈信徒所设想的复杂得多。人的整个本性是一个更困难的问题，它是否可以在将来得到一个自然主义的解决，我们是无法断言的。但有一点是肯定的：这个问题至今尚未得到解决，并且在求得解决以前，还必须波浪式地经历许多回到机械论哲学和离开机械论哲学的反复过程。事实上进化论与十九世纪物理学结合起来所造成的一种特别思潮，已成过去。进化原理本身，就说明思想潮流永久在随时代而变动不已，而且过去的经验表明，这种发展过程不是稳定的和连续的，而是间歇与摆动的。

后期德国的唯物主义者与机械论者，主要是把他们的学说建立在生物学的基础之上。他们的教条受到柏林的生理学家雷蒙兄弟 (Emil and Paul du Bois Reymond) 的批评。他们说明即使生命的问题可以归结为物理学和化学的问题，物质与力也只是从现象中抽象出的概念，并没有给与人以最终的解释。他们还断言有些问题是永远超出人类认识之外的。

这种认为人类智力有其限度的观点，与赫胥黎及斯宾塞的不可知论相似。然而毕尔生 (Karl Pearson) 以为对于认识加以这样的限制是危险的。他在《科学规范》(The Grammar of Science) 中以为凡不是用科学方法得到的结果，都不能称为知识，但他引用伽利略的话问道：“谁愿给予人类的智力以限制呀？”他虽然承认尚有许多未知的事物，但却否认这些事物是永远不可知的，是超出科学研究能力之外的。

自然选择的原理，被斯宾塞与毕尔生应用于认识论。我们的基本概念，可以通过自然选择与遗传的过程得到，或至少通过那个过程发展。最适宜于表现和描写由感官得来的经验的各种观念和公理，将在世世代代的过程中确立起来，别的观念和公理却要遭到淘汰。因此，数学的基本概念，对于个人来说可以是“天赋观念”，对于种族来说却是经验材料。这是一个迷人的理论，不过，我们很难看出对于欧几里得几何公理或黎曼几何公理的天生的了解，何以能有很多“生存价值”或很多“配偶选择”的好处。或许他们认为这同其他更有吸引力的特性有关，也未可知。

就某种意义而言，自然选择理论获得公认是弗兰西斯·培根所开始和规划的哲学工作的完成，因为培根以为达到认识自然的唯一的道路是经验的实验方法。达尔文证明大自然自己在动植物世界所用的方法，也是经验的实验方法，正如德谟克利特与卢克莱修所猜测的一样。大自然尝试了一切可能的

E. du BoisReymond, Ueber die GrenzendesNatarerkennens, Leipzig, 1876; P. du Bois Rey mond,Ueberdie Grundlagen der Erkenntniss in denexactenWissenschaften, Tubingen, 1890.
Ist ed London, 1892.

变异，经过无数试验，才在少数情况下成功地确立了生物与其环境之间的新的和更大的谐和，由此而进化不息。

如果从最充分的意义上加以接受，自然选择是对一切目的论的否定。看不到有什么终极的目的：只有个体与环境的不断的偶然的变化的；有时二者之间偶然一致，这时从表面来看，暂时就好象有某种终极目的。

斯宾塞表述自然选择的用语是“适者生存”。孤立起来看这句话实在是一种循环论证：什么叫最适者？回答是：“最适者是指最能适应生存环境而言”。这种最适者可以是一种比以前的类型更高级的类型，也可以是一种较低级的类型。通过自然选择进行的演化，可以是进化，也可以是退化。诚如鲍尔弗伯爵(Earl Balfour)所说，按照极端的选择论哲学，适的证据为存——适者存而存者适。我们也许想打破循环论证说，就全体言，进化创造更高级的类型，人类比他们的猿猴的祖先要高级。但这样，我们就自己负起了权威地宣判，何者为高级，何者为低级的责任，而彻底的选择论者可以回答说，我们的判断本身就是通过自然选择形成的，因此，我们的判断会欣赏那些实际上只是具有生存价值的东西，并把它列为高级的东西——所谓生存价值事实上也就是使我们可以生存下去的东西。从纯粹自然主义的观点来看，出路似乎是没有的。如果我们想要寻找另一种观点，我们就必须接受根据某种别的高低善恶标准所得出的绝对判断。

事实上我们不妨指出，我们为天地万物规定的高低次序大半是一个种族问题和种族的宗教的问题。在东方佛教徒看来，生存便是祸患，意识是更大的祸患。在他们看来，从逻辑上来说，生命的最高形式是藏在沉静的海底的原形质的单细胞，其后，各时代的一切进化实际上都是从这种沉静的理想境界向下堕落，而这种境界同以前的无机物质相比又是一种堕落。

达尔文本人并不认为自然选择说可以充分解释进化的过程。

自然选择说也并未涉及变异或突变的原因。这种变异或突变可能是机体内单元成分的偶然结合造成的。正是由于这种偶然的结合，个体才按照概率围绕一个平均数值而分布，如观察所见的。再不然变异或突变就是有其它隐秘的原因。自然选择不能使变异发生，而只能淘汰无用的变异。它也不能说明更深刻的生命问题：如生命为何存在，生命为何到处尽量繁殖，以致达到和超出给养的限度。

从分析生理学及生物物理学与生物化学的观点来看，人可以说是一种机器，为理化的原理所支配：新旧活力论都是没有存身余地的。但当作一个整体来看——如在自然历史中那样——任何机体都表现出一种综合的统一，作为它所特有的生命的表现；人类把在其它动物身上可以看到的特性加以发展而表现出他们的心灵和意识具有更高度的统一，这是生命的一个新方面。进化论把这一综合过程向前推进一步，揭露出整个有机创造的基本一致。生命是宇宙过程的一种表现。原形质单细胞的生命，同塑造得奇妙而惊人的无限复杂的结构——我们所谓的人——之间，在各个部分都有着进化的联系。这构成一个问题，这个问题不能完全用科学的分析方法来研究，因为科学的分析方法总是要连续地从不同角度对它加以研究，而且在每个角度上，都要设法把它归结为它的最简单的成分；这个问题还需要哲学上的综观全局的观点，利用这种观点，我们就可以“凝视生命，看到生命的整体”；我们如果能解答这个问题，其他附属的问题也就迎刃而解，我们也就可以了解真、善、美的内在意义，从而为伦理学、美学与形而上学找到一个稳固的基础。解答

这个问题的一个线索，便是用达尔文的自然选择原理加以说明的进化理论。

第九章 生物学与人类学的进一步发展

生物学的地位——孟德尔与遗传——遗传的统计研究——人们后来对进化的看法——遗传与社会——生物物理学与生物化学——病毒——免疫——海洋学——遗传学——神经系统——心理学——人是机器吗？——体质人类学——社会人类学

生物学的地位

自十九世纪末以来，关于生命与其现象的知识大有进展，但指导人们取得这些进展的主要观念，却是在 1901 年以前形成的。二十世纪的数学与物理学，摆脱了牛顿的体系，在思想上引起一场实质上的革命，现在正在深刻地影响着哲学。二十世纪的生物学仍然遵循着上一世纪所奠定的主要路线前进。

十九世纪末生物学家接受了达尔文的研究成果，奉为定论，差不多放弃了足以表现达尔文的特色的实验方法——对育种和遗传进行实验的方法。自然选择式的进化论，被人当作确定不移的科学原理加以接受，甚至可说是成了科学信条。当时以为进化的进一步细节，最好在胚胎学中去寻求。这个信念的根据是梅克尔与海克尔的一个假说：个体的历史乃是种的历史的重演。

自然也有例外。德·弗里斯那时已经在进行变异的实验，1890 年贝特森 (William Bateson, 1861—1926 年) 批评了海克尔的所谓定律的证据的逻辑基础，提倡回到达尔文的方法。贝特森于是计划并进行了变异与遗传的实验，后来很有成就。当时流行的达尔文学说，在物种起源问题上遇到很多困难，以下列二点最为严重：

第一个困难是变异大到什么程度才发生新种。讨论进化论的较老的著作中，总是假定（虽然有时没有明白地说出）积累起来形成新种的变异是很小的。但如果变异很小，这种变异对于生物怎么能够具有充分的有用性以致使具有这种变异的生物优于它们的同类呢？这就是所谓变异太小的困难或起初的变异的困难。

第二个困难大略相似。假定有变异发生，而且假定这种变异能够存留持久并由此形成长久存在的新种，那么怎样才能使它们长久存在下去呢？变异的个体与其不变异的同类交配时，是否会把变异消灭掉？这第二个困难常称为“杂交的淹没效应”。

贝特森跟着指出，每一个植物或动物育种者都知道，与常态不同的小变异虽属常见，大的变异也是屡见不鲜之事。德·弗里斯与贝特森到 1900 年已经对于这个问题进行了不少的科学研究，足以证明大而不连续的突变绝非罕见，而且至少有一部分突变完整地传给后代。所以，新的品种可以很容易地迅速地确立起来，即令新的种还不能这样。当时还没有证据可以说明变异的原因；人们只是把变异的存在当做冷酷的事实接受下来。但是如果承认变异的存在的话，它们的不连续的现象，似乎很可以减少达尔文进化论的困难。而且就在同年（1900）又有一些新的事实（或者说久已遗忘的旧事实）被人

William Bateson, *Naturalist, Memoir by Beatrice Bateson*, Cambridge, 1928, p.32.

W. Bateson, 上引书 P.162. 这一段引自 *Journal of the Royal Horticultural Society*, 1900.

发现出来。

孟德尔与遗传

与达尔文后期的工作同时（1865年），有人在布吕恩（Brunn）修道院进行了一系列研究。假使达尔文当初知道这件事，他的假说的历史可能就大不一样了。奥地利的西里西亚人、奥古斯丁教派的僧侣、最后担任康尼格克洛斯特（Korigskloster）修道院院长的孟德尔（G.J.Mendel），不相信单单达尔文自然选择的理论就足以说明新种的形成。他进行了一系列的豌豆杂交实验。他的研究成果在当地科学学会的丛书中发表，湮没无闻至四十年之久，1900年经德·弗里斯、科伦斯（Correns）与切玛克（Tschermak）等重新发现，并由这些生物学家以及贝特森等加以证实和扩充，才开始了现代遗传学的研究，使这门学问发展为精确的实验和实用科学。

孟德尔的发现本质在于它揭示出，在遗传里，有某些特征可以看做是不可分割的和显然不变的单元，这样就把原子或量子的概念带到生物学中来。一个机体总是要么具有，要么不具有这些单元之一。具有或不具有这些单元构成一对相反的特征。例如以高茎或矮茎的豌豆和同类交配，则其后代也保存其特征。但如果使它们互相杂交，其后代杂种仍具高茎，貌似具有高茎的亲体。于是高茎称为“显性”特征，而矮茎称为“隐性”特征。但如果使这些高茎杂种以通常方式互相交配，它们的遗传情况却和它们所貌似亲体有所不同。它们后代不是纯种，而是互相不同， $\frac{3}{4}$ 有高茎， $\frac{1}{4}$ 有矮茎。矮茎的仍产纯种，但高茎的只有 $\frac{1}{3}$ 产高茎纯种，其余 $\frac{2}{3}$ ，在下一代中重演第一代杂种的现象，又再产生具有纯的矮茎、纯的高茎与混种高茎三类。

如果我们假定原祖植物的生殖细胞各具有高茎和矮茎两相反特征之一，则上面所说的关系不难解释。高的与矮的杂交以后，所有的杂种虽外貌与高的亲体、即具有显性特征亲体相似，但其生殖细胞有一半具有高茎特征，另一半具有潜伏的矮茎特征。每一个生殖细胞只有高或矮一种特征，而不能同时有两种特征。因此，当这些杂种的雄雌二细胞偶然配合产生新个体时，就高与矮两个特征而言，同类或异类细胞相配合的机遇相等；若为同类，则具有高茎特征的细胞互相配合的机遇和具有矮茎特征的细胞互相配合的机遇也是相等的。故第二代当有 $\frac{1}{4}$ 为高的纯种， $\frac{1}{4}$ 为矮的纯种，其余一半则为杂种。但因高茎特征是显性，这些杂种在外貌上都和高的纯种相似，故就外貌而言， $\frac{3}{4}$ 是高茎的。

从物理学近来的趋势来看，这是饶富兴趣的事，因为这一理论把生物的特性简化为原子式的单元，而且这些单元的出现与组合又为概率定律所支配。单个机体内孟德尔单元的出现，正如单个原子或电子的运动，是我们不能预测的。但我们可以计算其所具的概率，因此，按大数目平均来说，我们的预言可以得到证实的。

我们以后还要说明在显性特征的情况下和在隐性特征的情况下，遗传方法有所不同。虽然某一个体在它本身具有某一显性特征时只能把这一显性特征传给它的后代，但在其世系里，可以料想不到地有一隐性特征出现。如果支配的两个个体在它们的生殖细胞内各具有表面上看不见的隐性特征，通常在它们的后代中大约有 $\frac{1}{4}$ 表现这个特征。可是在多数情形下，遗传的条件，远比以上所说的豌豆里两个简单对照的特征复杂得多。例如特征之为显性或

隐性，可因性别而异；特征也可相连成对，有的必须联袂出现，有的互不相容，从不同时出现。

在动植物中，有许多孟德尔式的特征已经发现出来；同时，人们运用这种方法来实际指导育种也收到很大成效，既可以设法把某些符合需要的特性聚集在一个新品种内，又可以把具有有害倾向的特性淘汰掉。动植物的育种者采用这些原理，已经用科学部分地代替了纯经验方法。例如比芬(Biffen)就以选种法得到一个优良的小麦新种，既能不患锈病，又能有很高的产量，而且还具有某些烘烤特性，这几种优点所以同具于一个新种之内，是根据孟德尔的遗传定律，经过长期实验得来的结果。

在孟德尔的研究成果重新发现的时候，人们在研究细胞构造的时候已经发现每一细胞核内有一定数目的丝状体，称为“染色体”。两个生殖细胞结合时，在最简单的情况下，受精的孕卵所含的染色体数目加倍，每种染色体都成双数，各从父母的细胞而来。孕卵分裂时，每个染色体复分为二，两个子细胞各有其一半。即每个新细胞从原来的每个染色体接收一个染色体。这种情形在每次分裂时都照样进行，所以植物或动物的每一细胞，各具有一组成双的染色体，相等地从父母两方而来。

生殖细胞起初也有一组成双的染色体，但在其变化为精子细胞或卵细胞的后期，染色体相联成对。那时的分殖法不同：染色体不分裂，而是每对的两成员互相分开，每一成员进入一个子细胞之中。因此每一成熟的生殖细胞接受每对染色体的一个成员，染色体数目减少一半。

细胞现象与孟德尔式的遗传事实之间的相似性引起好些人的注意。但最先对这个关系给予明确表述，而为人接受的是萨顿(Sutton)。他指出染色体与遗传因子都在分裂，在每一情况下，都是由各对遗传因子或染色体自行分裂，不与他相干。

但由于遗传因子的数目比染色体的对数要多得多，按理应该有几个遗传因子与一个染色体相联系，从而结合在一起。1906年，贝特森与庞尼特(Punnett)在豌豆内发现这种相联的现象，例如颜色与花粉的形态等某些因子总是在一道遗传。洛克(Lock)说明了这一发现对于染色体理论的关系。

自1910年以来，摩尔根(T.H.Morgan)与其纽约同事，用繁殖迅速每十天一代的果蝇，对这些关系作了更详尽的研究。他们发现可遗传的性状的群数与染色体的对数，两者之间实在有数上的对应，即都是4。在通常的情况下，这个数字较大；豌豆为7，小麦8，鼠20，人24。

就是在有20对染色体的情况下，也可能有一百万种以上的生殖细胞，这样的两套可能的组合数目当更为巨大。由此我们很容易明白为什么在混种中没有两个个体完全相同。

遗传的统计研究

与孟德尔的研究同时，还有人按大数字进行统计，来研究遗传问题。奎特勒与高尔顿将概率理论与误差的统计定律应用于人体的变异。在二十世纪仍然有人继续进行这样的研究，特别是毕尔生和他的伦敦同事。

通常，只要对大数目进行一次统计就可以求得误差的常态曲线，或诸如

此类的曲线，但德·弗里斯关于月见草的研究说明使用这种曲线有某些危险性。图 10 表示三个品种的果实长度的变化。横标代表长度，纵标代表具有某长度的个体的数目。A 与 C 两品种具有特有的平均大小，其曲线与常态分配密切相似。但 B 曲线说明至少可以分为两群。如果将三个品种的种子放在一道测量，这三个曲线重合为一，而接近于常态形式。根据粗略数据常常很难判断材料究竟属于一类还是象在这个例子中一样由两群或多群所合成。

约翰森 (Johannsen) 发现：如果以一个单颗豆种作为一个自交世系的始祖，则这一“纯种”个体的变异（如种子的重量），准确地遵循误差定律。但这种变异不能遗传；如果将重的种子选出加以培植，后代的种子并不比平均值重。

除去这种同祖的纯系以外，通常的混种都有由于祖先特性混合而产生的变异，这种变异是可以遗传的。选择双方都具有某种特性的亲体，如快速的跑马，常能得到一种品种，使所需要的性质高于平均值。高尔顿指出，身材高的父母所生的子女平均来说，即使不象父母那样高，常常也比种族内的平均高度要高一些。毕尔生等对这现象作了更详密的研究。如一个种族的男人平均身材为 5 呎 8 吋，则 6 呎的人较平均值高 4 吋。按大数目平均来说，6 呎高的人的儿子，其平均身材约为 5 呎 10 吋，即较平均值高 2 吋，而较其父矮 2 吋。这一结果可以用统计术语即所谓“相关系数”来表达，为一半，或 0.5。如果子与父身材同高，则此系数为 1；如果儿子的身材回到其种族的一般高度，则无所谓关系，此系数为 0。再如儿子的身材反较其种族的一般高度为矮，则此系数为负。植物与动物的他种特性都有与此相似的关系，而且就任一特性而言，亲子间的相关系数常在 0.4 与 0.6 之间。法国一位世代选种者德·维莫兰 (R.L.de Vilmorin) 继续进行了变异和遗传的研究。他的工作像孟德尔的工作一样，当时并没有引起生物学家的注意。他证明，在育种时，要想得到最好的结果，并不在于选择个别的单体作 327 为亲体，而在于选择平均表现良好的一种植物世系。这个结果不能证明达尔文关于微小变异的遗传的看法。

有一时期，孟德尔派与根据达尔文的概念、使用了统计方法的“生物测量派”之间，颇有争执。其实在关于遗传的任何完备的研究中，这两派似乎都是需要的。

人们后来对进化的看法

随着古生物学上的证据愈积愈多，进化论作为对地上生命过程的一般说明，也愈巩固。例如，事实证明石炭纪并无被子植物，新种与新类的生物是后来才在地球上出现的。

有些生物学家仍然以为对小的变异起作用的自然选择如果时间延续很久，足可以解释进化。另一些生物学家以为在孟德尔的变异中肯定可以产生新的品种，所以新的物种是在孟德尔的变异中形成的。更有一些学者，其中还有一些现代思想界的领袖半信半疑，甚至抱怀疑的态度。例如贝特森在

R.H.Lock, Recent Progress in the Study of Variation, Heredity and Evolution, London, 1907; 并看上引贝特森书第 12 章。

1922 年说：

就其大体的轮廓而言，进化是很明显的。就事实而言，是必然的结论。但进化论中同物种的起源和本性有关的那一具体的根本的部分，仍然十分神秘。

系统论者仍然承认有界限分明的物种，无论达尔文的变异还是在遗传学的实验中所应用的孟德尔的突变，好象都不能说明物种的根本差异。也许早期的生物机体的可塑性较大，现在已经固定下来，因此仅仅有发生表面上的变化的可能。我们有证据表明就是在眼前，物种偶尔也有可能进入突变的阶段；人们认为，德·弗里斯所研究的月见草就发生了这种情况。

第七章所叙述的后天获得性能否遗传的问题，仍在争论之中，人们还没有普遍承认为了证明这种遗传而引证的事例是确凿无疑的。在动物身上发现的那种体细胞分裂而为生殖细胞的过程，在植物体内不能发生在那样早的阶段，所以后天性质的遗传，在植物内比较可能。关于最新的证据，我们可以提到鲍尔（F.O.Bower）所搜集的一些证据。这些证据似乎说明长久连续存在的不同的环境可以在羊齿植物身上造成能够遗传的特性。

这里又产生了另外一个困难。变异的发生好象是由于失去一些因子而不是由于增加一些因子。贝特森说：

就是在果蝇身上，在数百个遗传因子中，很少发现新的显性特征，即新增加的正的因子，而且我相信这些特征没有一个属于在自然情况下可以存在下去的一类。……但我们并不是怀疑进化的实在性或真实性，而是怀疑物种的起源，这是一个技术的，甚至可以说是驯化的问题。这个秘密随时都可以解决。近二十五年的发现，使我们第一次有可能合理地在事实的基础上来讨论这个问题。综合将随分析而来，这是我们不怀疑、也不能怀疑的事。

同时古生物学家，特别是美国的古生物学家，搜集了许多成套的有机体的化石遗迹，数目远远超过以前，而且包括许多地质时期，证明生命以各种生命形态连绵不断；有几种生命的形态，似乎表明进化是遵循着一定路线进行的。这个问题的复杂与困难远远超过五十年前想象的程度。进化的大体趋势已经明瞭，但是要对进化的详细情况加以新的描述，还有待于更多的知识。

遗传与社会

遗传与变异的知识在人类身上的应用由于孟德尔的研究而大大扩大。许多缺乏病与疾病，如色盲，内特尔希普（Nettleship）所研究的先天白内障以及血友病，都是按孟德尔定律遗传的。有一种常态特性（眼中的棕色素），经赫斯特（C. C. Hurst）研究，肯定证明遵循孟德尔定律，但也有不少迹象说明，人身的许多其他可遗传的特征，也象许多植物与动物的可遗传的特征一样是孟德尔单元。事实上，男孩与女孩的出生数目几乎完全相等极其有力地说明性别也是这种单元特性。如果所有的雌性细胞都具雌性，而雄性细胞中半具雌性半具雄性，这一现象便可解释。

我们知道在动物与植物身上，常有成对的单元特性相连出现，不可分离；

William Bateson, 上引书 p.395。

F.O.Bower, *The Ferns*, Cambridge, 1923—1928, vol. , p.287.

William Bateson, 上引书 PP. 395—398。

或彼此相斥，不能同时出现。在人类身上，实验既不可能，而观察所及，也仅限于数代。但研究的能力若能扩大，我们无疑地会发现人类也是许多单元特性的结合体；这些单元特性由双亲而来，互相有关，而且与内分泌腺体倾注于血浆内的各种分泌物的化学性质有关。这些孟德尔特性，究竟是构成人的基本结构呢，还是仅只是建筑在更深入的非孟德尔下层结构上面的表面型式，那就是一个有待将来研究的问题了。

1909年，有人企图使高尔顿的意见与1869年高尔顿发表他的著作以后积累的知识相适应。高尔顿本来十分重视遗传，孟德尔派的研究者，如赫斯特、内特尔希普等人的研究以及毕尔生与其门人的数学工作也都说明遗传十分重要，毕尔生和他的门生还把高尔顿的生物测量方法大加扩充。当时所有的证据似乎说明这样一个假定是值得研究的：现代国家里的混杂居民必然包含有一些具有各种不同先天特性的混合世系，它们受到了法律、社会、经济因素与变革所控制的自然选择的不断作用。因而居民里的各种世系的相对数目常在变化之中。虽然环境、训练与教育能使先天性格发展，并给予表现的机会，但却不能创造这种性格。有才能的人或天才是生就的，而不是造就的，一个民族所蓄的能力实在为自然所限制。

既然适者生存，如果适者的子孙不占很大的数目，则适者对于种族并无多大好处。因此人们就想到应该研究一下一个社会中各阶级的家庭的大小。根据有人对档案进行的统计研究，英国两代以上的世袭贵族，每一对可以生育的夫妇，自1830至1841年，平均生产7.1个子女，但自1881至1890年，这个数字已经降为3.13。其他能在《名人录》占一位置的有声望的人在1870年以前，每一对可生育的夫妇平均有5.2子女，但1870年以后，这个数字仅为3.08。在教士的家庭里与此相当的数字为4.99与4.2。就大尉以上的军人而言，这个数字为4.98与2.07。至于其他职业的人，详情虽有差别，但都有同样的趋势，有地产的阶级，自由职业者阶级，以及高等商人阶级的子女的生产数减少一半以上。根据技术工人所组织的友谊会的统计，他们所生育的子女数目的减少也大略相等。事实上每对可生育的配偶，平均须有子女四人始能维持人口的数目，可见就是在1909年，社会中最有效的部分，已经相对地与绝对地减少了。另一方面，信奉天主教的家庭、矿工、无技术的工人（更可惊的）低能的人们，仍维持其子女的出生数，而没有减少。

这种差别的后果的严重性，只要计算一下就可以看出。如果勤俭的家庭，每对可生育的配偶仅有子女3人，而1,000人中的死亡率为15，则在100年后原有的1,000人将变为687个后裔。另一方面，在奢侈的1,000人中，如果他们的出生率为33，而死亡率为20，则100年后将有3,600个后裔。假使在1870年出生率开始有显著差异时，双方人数相同，则到1970年，勤俭者仅存其原数的1/6，到了2070年，仅存1/30。这样，勤俭者就淹没在大量繁殖的奢侈者的大海中了。

在人们进行了这一研究以后的二十年间，出现两个较有希望的征象：“制裁低能的立法”，对于精神不健全者的出生，已稍加以控制（虽然还不够）。其次，伍兹（F.A.Woods）指出英美的上等社会中对社会作出贡献的人士，比

W.C.Dampier Whetham and Catherine D. Whetham, *The Family and the Nation*, London, 1909.

这几段文字，是资产阶级学者的历史唯心史观所散布的种种谬论之一，作者站在资产阶级的反动立场上，对劳动人民的诬蔑与对共产主义的仇视交织在一起，表现了鲜明的资产阶级党性。——译注

较“惰富”有更多的子女，其平均数字的比率为 2.44 与 1.95。这一结果也许说明了节制生育的好效果。凡是想要躲避生育几个孩子的责任、花费与烦恼的人，是自绝于其种族之外。1909 年，英国政府宣告，生育许多子女是健康、贤良公民的责任，希望人人能够履行。

可是目前，展望仍然令人不安。在现今世界上，不断的进步，事实上还有一般生活标准的维持全靠了知识分子的工作。从事这种工作的一向只有少数人。他们大部分都出身于子孙日益减少的阶级，虽然他们的子女现在还没有减少到最低的水平。奖学金与其他、从各阶级选拔贤能的方法也许能暂时弥补这一缺陷，但一国的才智有限，而且愈到下层社会愈稀少。这些人既变为知识分子，其生育率又再降低，最后遗留的只是无知识的无产阶级而已。这样，国家的优秀分子将逐渐被淘汰，文明前途亦日益危险。由国家控制大部分生产工具的社会主义的政府，在一个独裁或官僚统治的帝国里，也许能行之有效，即令不能给人民带来幸福，但在民主主义的国家则将失败。社会主义与民主主义在流行的政治术语方面虽然比较接近，但在实践上却难相容。近来某些国家里所实行的独裁制共产主义，证明这一种看法是正确的。

出生率的不同，不是现时起作用的唯一选择因素，我们还可以找出许多别的因素。疾病大概仍然可以消灭易感染者，而保留免疫者。有些法律，虽然是为了他种目的而制订的，却也常常产生选择的效果：如遗产税就使有产的旧家族迅速地被淘汰，而这些家族却是国家赖以维持地方公益事业以及教会、海陆军中的公益事业的。英奇（Inge）认为近来的立法有毁灭中等知识阶级的趋势。由于纺织工厂有雇用女工的习惯，纺织工人的出生率总是很低，而矿工都是男子，其出生率仍高。至少在 1925 年不景气以前是这样的。我们必须放弃十九世纪的观念，以为国家是许许多多具有同等潜在能力的个人，只等待受教育，只等待机会。我们应该把国家看做是具有各种天赋遗传特性的家系的交织网，这些家系在性格和价值上有很深刻的差别，它们的出现或消失决定于自然的选择或人为的选择。任何行动，不论是社会的、经济的或立法的，都要有利于其中某些家系而不利于其他家系，因而改变国家的平均生物特性。

这些一般的观念得到有名生物学家贝特森在 1812 与 1919 年所发表的论文的有力的证实。如果旧的出生率与新的死亡率同时并存，则数百年后地球上将充塞人口而无立足之地。因此，限制出生数是必要的，但是更重要的是限制一国内的低劣的家系，而不是限制优秀的家系。不但如此，竞争不但存在于个人之间，也存在于社会之间。既有劣等的家族，也有劣等的种族。贝特森说：

哲学家宣布人人生而平等。生物学家却知道这句话是不正确的。无论测量人的体力或智力，我们都发现有极端的差别。而且我们知道文明进步纯出于少数杰出者的工作，其余的人只不过是摹仿与劳动而已。这里所说的文明，不一定指社会的理想，而是指人类在控制自然方面的进步。国家之间也如个人之间，有同样的差别。……各国间名人分配的不均，是生物学上的一个事实。法、英、意、德与其他几个小国，自文艺复兴以来产生了许多学术界的

闻人。在特殊的艺术与科学，如绘画、音乐、文学、天文、物理、化学、生物学或工程方面，他们各有千秋；但从大处看，这些国家并无优劣之分。

贝特森指出另外一些国家产生的大人物比较少；他把这一事实归因于它们的生物学特征。可是这个困难问题不能看做业已解决。有些国家所以貌似劣等可能是由于它们还没有工业化；它们之所以贫穷可能是因为没有得到历史发展的机会，目前又没有机会使有才能的人出现。环境不能创造才能，但却可以很容易地摧残才能。总之，迄今为止，生物学的因素，社会学家研究得过少，而政治家简直不予过问。

遗传学研究的结果说明，人类社会，如果愿意的话，是可以控制自己的成分的。这件事做起来并不象从前所想象的那样困难。我们可以采取措施来除去那些属于人口中不良成分的家系。

将来的希望在于种族中优秀分子的责任感。如果他们能多生子女（伍兹的研究结果告诉我们的，这正是眼前的趋势），则世界各国可以挽回近七十年来来的不良选择的趋势，而逐渐提高他们的健康、美丽与才能的平均水平。

生物物理学与生物化学

二十世纪初的生理学的最显著的特色，是运用物理与化学的方法来研究生理的问题。事实上，差不多可以说生理学已经分成为生物物理学与生物化学两个分支。

胶体的物理学与化学对于生物学异常重要，因为组成生活细胞的内容的原形质是胶体，其核心较其他部分略为坚实。胶体对于农业科学也变得重要起来，因为过去以为土壤是岩石风化出来的固体粒子和腐败的动植物物质料混合而成的，今天则认为土壤是有机体与无机胶体的复杂结构，其中的微生物也起了重要的作用。我们脚下的土地是活的，而不是死的；土壤与其中众多生物的功能在于分解其中所含的或从外界得来的原料，使之变为土壤上面的植物的食料。

格雷厄姆在 1850 年已经认识到晶体与胶体的区别，后来又认识到二者性质上的差异，至少有一个原因是胶体的分子比晶体的分子更大。晶体如糖或盐的溶液是均匀体，但胶体的溶液是双相系，在二相间有一个确定的分界面，而且有足够大的面积，显示出表面张力的现象。

有些胶体分子颇大，在显微镜里也可以看见。这些分子的奇异而不规则的振动，在 1828 年经布朗（Robert Brown）观测过，1908 年贝兰（Perrin）证明这种布朗运动是邻近分子的碰撞造成的。如果是这样，胶体粒子应该和这些分子具有相同的功能。根据这些粒子的分布与运动，用三种方法求得的数字，同根据贝兰的假设所得的推论完全相合。

1903 年西登托夫（Siedentopf）与席格蒙迪（Zsigmondy）发明“超显微镜”以后，就促进了对小的胶体粒子的性质的研究。可见光的波长在 400 与 700 毫微米（一毫微米即百万分之一毫米）之间，比这一波长更小的粒子

William Bateson, *Mendel's Principles of Heredity*, Cambridge, 1909, pp. 304—5

在这几节中，作者大肆宣扬了反动的优生学“理论”，应该严加批判。——译注

Sir W. M. Bayliss, *Principles of General Physiology*, 4th ed. London, 1924. W. R. Fearon, *Introduction to Biochemistry*. 2nd ed. London, 1940.

无法清晰地看见。但是如果将一束强光射在这些粒子上，使发生散射现象，在观测者通过镜轴与光线正交的显微镜来看这些粒子时，粒子的大小和波长大致相等，粒子就在布朗运动中形成一些明亮的光轮；如果粒子大小比波长小得多，粒子就呈现一片朦胧不清的现象。先进的电子显微镜将在后面再加叙述。

胶体理论，由于研究了胶体的电荷性质而大有进步。胶体粒子在电力场里东奔西驰，说明这些粒子带有正的电荷或负的电荷，大概是由于对离子的选择吸附的缘故。哈迪 (W.B.Hardy) 爵士发现当周围的液体慢慢变化，由略带酸性而至略带硷性时，某些胶体的电荷发生逆转。在电荷为中性的“等电点”上，体系便不稳定，胶体即由溶液中沉淀而出。

由是可见粒子所带的电荷在胶体粒子的溶解中起了某种重要作用。试举一个大家所知道的例子：当牛乳变酸时，其中的乳酪即凝结。法拉第早已发现盐可以使胶体黄金的溶液凝结，格雷厄姆也研究过这个现象。1882年舒尔茨 (Schultze) 注意到凝结力随盐的离子的化学价而不同。1895年林德 (Linder) 与皮克顿 (Picton) 发现一、二、三价离子的平均凝结力之比，约为 1 : 35 : 1023。1900年哈迪证明活跃的离子所具的电性与胶体粒子所具的电性相反。1899年，本书作者根据概率的理论研究了这个问题，当时是根据这样的假定：要中和胶体粒子所带的异性电荷，使其凝结，需要把最低限度数目的单位电荷同时带到一定空间之内。离子所带的电荷与其化学价成正比，所以必须使两个三价的、或三个两价的、或六个单价的离子结合起来，而后才能具相同的电荷。根据数学计算，凝结力之比应为 $1 : \dots : X^2$ ，这里是一未知数，视系统的性质而不同。设 $X = 32$ ，则得 $1 : 32 : 1024$ ，与上面说的观测的数值接近。这只是一个近似的理论，因为它把反号离子的稳定作用及其他扰乱因素都略而未论。但所用的方法似乎可以扩大应用于相似的现象，事实上还可以扩大应用于化学化合本身，类似的概率的考虑，现在也应用于化学的热力学，成为量子物理学的基础。

粘土内胶体的集合状况，决定重土壤的物理性质；当土壤的柔软成份凝聚时，这种土壤才能变得多孔而肥沃。而且由于原形质具有胶体的结构，胶体的带电性与其他性质，对于生物学也有很大的关系。例如，化学价关系在生理学上的重要性，可以从迈因斯 (Mines) 在 1912 年所发现的一个例子中看出来：角鲛的心脏对于各种三价离子的作用的敏感度比对于二价离子（如镁）的作用的敏感度约强万倍。胶体凝结时通常会包含这种胶体的组织毁坏，幸又可以设法保护这些胶体不受电解质的作用。

法拉第已经知道加入一点“胶冻”就可以防止盐类对于胶体黄金的沉淀效应。自那时以后，迈因斯 (1912) 与其他生理学家研究过许多这类自身形成乳胶的保护性的胶体。这种乳胶质似乎形成一种薄膜，覆蔽着胶状质点，不让它们与活动离子接触。

水的纯度经过反复蒸馏而增加，其导电度降落到一个极限值与每公升内大约 10^{-7} 克分子的氢 (H^+) 与羟 (OH^-) 离子的浓度相当。如果在水里加酸，

Phil.Mog. [5], vol XI, 1899, P.474.alsoHardyandWhetham, JournalPhysiology, vol, XXIV, 1899, P.288。

为便利计，氢离子的浓度常写为 PH，而以其对数的负值表示。例如纯水的氢离子的浓度为 10^{-7} ，其 PH 便是 7。

氢离子浓度自然增加，测量一种介质的酸度，常用这个量，不但在物理化学中常用，在土壤科学与生理学中尤其常用。例如在物理化学上，蔗糖的反转率（由葡萄糖变为果糖的变率）就与氢离子的浓度有关。在农业上，土壤的酸性程度乃是土壤是否需要用石灰处理的尺度。在生理学上，人血内适合于生命的氢离子浓度的最大范围似乎在 $10^{-7.8}$ 与 $10^{-7.0}$ 之间，常态界限为 $10^{-7.5}$ 与 $10^{-7.3}$ 。由常态反应改变到包含最大可能度的酸，只不过等于在五千万份水中加入一份盐酸而已。

动物体内包含有复杂的机制，以保持生命所必需的确切的调整。例如，霍尔丹（Haldane）与普里斯特列证明（1905年），呼吸神经中枢对于血内二氧化碳的稀微增加，感觉异常锐敏，这时呼吸作用骤然迅速，而排出多余的二氧化碳。后来更证明起控制作用的因素是受溶解的碳酸影响的血内氢离子浓度。此外还有直接的化学控制。血液与细胞组织内各种物质，如重碳酸盐、磷酸盐、氨基酸及蛋白质等与各种酸反应，而成中性的盐。这样，这些物质就保护细胞组织，免受酸的作用，而维持近似的中性，所以这些物质叫做“缓冲剂”。

营养问题的研究，在二十世纪头二十五年大有进步，特别是发现有一种饮食虽然足以供给所需要的全部能量却不能使发育保持下去。1902年，霍普金斯（Frederick Gowland Hopkins）爵士进行了他的标准的实验。他证明，如果饲以化学上纯净的食物，幼鼠停止发育，但如果加入少许新鲜牛奶，则发育又复开始。所以新鲜牛奶包含有霍普金斯所谓的“附属的食物因素”。这种因素是发育与健康所必需的。后来的研究者把这些物体分为几类，通常称为维生素。维生素A与D主要包含在动物脂肪，如乳酪与鱼肝油及绿色植物之内，但两者的分布略有不同。维生素A能防止感染，并能防止一种眼病，后来知道它与维生素D是两种东西。维生素D是正在成长的动物骨骼的钙化所必需的。以后又发现一种惊人的结果，证明：将紫外线照射于儿童身体或其食物之上，在避免佝偻病方面，效果与维生素D相同。1927年，有几个独立的研究者从食物中提取出可以造成这种效果的化合物，并研究了它怎样在紫外线的影响下变成维生素。这是一种复杂的醇类，叫做麦角醇，很快就从酵母中制造出来，能发光，从而提供一种“盛在瓶内的日光”。维生素B存在于各种谷类的外皮与酵母之内，可以防治神经炎和一种脚气病。东方吃精米的人多患这种病。维生素C存在于新鲜绿色植物的组织和几种水果（特别是柠檬）内，可以防治坏血症。在美国近来还发现有第五种维生素，与维持生殖有关。差不多所有的维生素，只要有极少量，就可以产生特殊效果。这些维生素中有几种已经再分为两种或多种，因而增加了已知的维生素的总数。

内分泌器官对于动物机体的重要性，已经证明远远超出前人想象之上。除分泌肉眼可见的分泌物的腺体，如唾液腺之外，还有多种腺体倾注其分泌物于血液之内，向人体各部供应它们的健康与生长所必需的物质。

这些内分泌腺的机制与功能，一向视为神秘。1902年，贝利斯（Bayliss）与斯塔林（Starling）发现前人以为是神经反射作用造成的胰脏分泌是肠内酸质作用所产生、又由血液输送到胰脏的一种化合物诱导出来的。这种物质被他们命名为内分泌刺激物，平常是当胃内的酸性物进入肠内，需要胰液的作用时，才在消化过程中产生出来的。这一内分泌刺激物的发现，引起人们对于其他类似的内分泌物的注意。每一种内分泌物都在一个器官内产生，由

血液输送至其它部分以显其功效。哈迪提议给予这些物质以“激素”的总名称。这个名称后来为贝利斯与斯塔林所采用，现在已经成为生理学上常用的名词了。

1922年初，班廷（Banting）与贝斯特（Best）从羊的胰脏中提取出一种物质，注射到割掉胰脏而患糖尿病的狗身上，可使其血液中糖的浓度减少，而恢复对于糖的消化能力。这种提取物是一种激素，名叫胰岛素。现时大量制造，用来减轻糖尿病，很有成效。

甲状腺激素对于身体与精神的健康都是必需的。幼年人缺少这种激素，发育便迟缓下来，而且可以形成一种叫做克汀病的白痴。患者的面貌呈特殊的形象。成年人缺少甲状腺激素，则发生所谓粘液性水肿。这种病可用甲状腺提取物医治，第七章内已经讲过了。另一方面，如果激素过多，则发生所谓格雷夫斯病，即突眼性甲状腺肿。甲状腺内的有效成分，叫做甲状腺素，1919年经肯德尔（Kendall）分析出来，其化学构造则在1926年经哈林顿（Ha-rington）测定。他还在实验室中把甲状腺素合成出来。甲状腺素含有大量的碘，食物中缺乏碘质可使人患病，只需服用碘盐，其效果有时与甲状腺提取物相同。饲养牛羊和其他牲畜的实验已经证明，动物的机体也需要碘和食物中的其他矿物质。

几百年来，人们已经知道割去性腺的某些效果，但直到近年才有人对这个问题进行精密的研究。这种工作可以说开始于1910年斯坦纳赫（Steinach）的实验。他证明阉割后的蛙所缺乏的特征，可以用注射别的青蛙睾丸物质的办法加以恢复。其后更有实验证明把生殖腺移植到阉割或衰老的动物身上，至少可暂时恢复青春的力量。

我们还可以举出一些别的例子来说明内分泌的作用。大脑垂体虽小，在过分活跃时，却可以使身体异常高大，容貌反常，称为肢端肥大病；另一方面，如果缺乏这种内分泌物，则身材矮小，而患侏儒症。还有一种激素名肾上腺素，藏于肾上腺中，当惊悸及失却知觉之时，便会分泌，注入血液，刺激所谓内脏神经。反之，如果注射肾上腺素，就会引起通常在激动或恐惧时发生的那些生理现象。这种激素已经分离出来，其化学构造也于1901年经日本人高峰（Takamine）测定。

过去生理学多研究生物化学方面的问题而少研究生物物理学方面的问题，今天物理学方法的使用则日益广泛。例如有人用测量渗透压和沉淀率的方法，来估算蛋白质的分子量（参看256与431页）。

布拉格爵士父子（Sir William and Sir Lawrence Bragg）研究晶体结构的方法（这个问题将在后一章内叙述），已经应用于纤维素、丝蛋白、发角质与肌凝蛋白等丝状体。阿斯特伯里（Astbury）等人发现，根据x射线的照相图，可以用分子来解释这些东西的丝状性质以及在延伸时肌蛋白与角质的可逆变化。兰格缪尔（Lang-muir）用有机物的结构式去说明它们的物理性质。这一方法又由亚当（N.K.Adam）加以发展。他发现原子在空间的排列足以说明表皮膜的各种分子的情况。

唐南（F.G.Donnan）在1911年发表了关于平衡膜的理论。他用薄膜将一个电解溶液系统分开，而这薄膜是离子中的一种——通常是一种胶体——渗透不过去的。根据这一理论，薄膜两边常有可扩散的离子作不均匀的分布，

因而在两边的溶液之间，产生电位与渗透压的差异。这一理论在生物学上有许多应用。1924年，洛布（Loeb）用这一理论成功他说明了蛋白质的胶体性行，此后范·斯莱克（Van Slyke）与其合作者解释了血流里的离子事实。

血液的化学过程与物理过程近来更加明白。血红蛋白分子中的非蛋白部分（或血红素）经证明具有四个吡咯环，为一个铁原子联接，是许多生物的呼吸物质中所共有的。在许多脊椎动物和某些其他动物的血液里，它与血球蛋白相合，成为运载氧气的血红蛋白。差不多在所有的活细胞里，它都出现在所谓细胞色素的呼吸酶系里。维尔斯塔特（Willstatter）证明，在植物里，叶绿素分子的核基本上与血红素相似，只是以镁原子代替了铁。他发现了两种成份稍微不同的叶绿素，1934年他写出其结构式。其他金属也可进入呼吸物质中；例如多肽类的铜化合物存在于软体动物与甲壳动物之内，而钒蛋白化合物存在于被囊类海生动物体内。

在研究血液里氧运输问题的同时，人们还研究了组织里氧化问题。这些变化的复杂程度各不相同，但每一变化都包含酶对于底物分子的作用，使氢分子可以脱离出来。维兰德（Wieland）查明这个过程受到许多存在于一切活组织中的特殊酶，即脱氢酶的影响。最简单的情形是一个分子受到一个脱氢酶的作用，放出氢，与氧直接化合。在这一过程里，通常有一个或多个氢载体参加进来。这些物质可以还原，又可以氧化，因而它们可以接收并传递氢原子。这些物质里有瓦尔堡（Otto Warburg）的组织氧化酶，与“黄酶”（这是维生素 B₁ 与蛋白质的化合物），还有辅脱氢酶，森特-乔尔吉（Szent-Gyorgyi）的琥珀酸（丁二酸），霍普金斯的谷胱甘肽与抗坏血酸（维生素 C）等。

呼吸酶研究方面的主要进展，通常是在发现某种特殊毒物对于某种酶的作用的时候取得的。例如氰化物使氧化酶不起作用，麻醉剂使脱氢酶失效，而琥珀酸的氧化遇胡萝卜酸（丙二酸）则受到阻遏。

除了食物分子由于不断地脱氢而氧化之外，组织里还发生水解作用，这就要求分解时增加水分并要求氨基分裂。克雷布斯（Krebs）近来对这些化合物经过怎样的过程成为尿素被排除出去的问题，进行了研究。一向认为尿素是氨和二氧化碳简单凝结而成的。他发现这里实际存在着一个复杂的化学反应循环。至于经过这些过程剩下的小碎块怎样氧化而产生其余可用的能量，还不明白。细胞里二氧化碳的产生好象是由于羧化酶把它们从—C—COOH群里释放出来的缘故；它们的活动需要有辅羧化酶（维生素 B₁ 的磷酸盐）在场。二氧化碳在血液里是作为重碳酸盐输送的。梅尔德伦（Meldrum）与拉夫顿（Roughton）从血红蛋白里分出碳酸酐酶，这种酶使肺内含重碳酸盐的血迅速地放出二氧化碳。

细胞可以不经氧化，而靠了发酵——即分子的无氧分解——获得能量。巴斯德发现在酵母细胞里这两个过程是互相对抗的：发酵在无氧时发生，氧化出现时就停止。肌肉内糖原分解为乳酸的过程也是这一类型的反应。肌肉的收缩就是由这一过程造成的。这一情况是 1907 年霍普金斯与弗莱彻（Fletcher）两位爵士发现的。近年来这个过程被分析为八个化学阶段，需

E.H.F.Baldwin, *Comperative Biochemistry*, Cambridge, 1937.

Needham and Green 主编, *Perspectives in Biochemistry*, Cambridge, 1937.

C.A.Lovatt Evans, *Recent Advances in Physiology*, 6th ed., revised by W.H.Newton, London, 1939.

要有两种物质在场作为磷酸盐的载体，而且至少为十种酶所催化。迈耶霍夫（Meyerhof）、埃姆登（Emden）与帕纳斯（Parnas）是这一领域中的主要研究者。人们还研究了淀粉通过酵母的作用变为酒精的同样复杂的发酵过程，发现其中某些阶段与肌肉反应是一致的。

在呼吸载体与细胞酶当中，我们已经提到过维生素。这些物质当中某些物质的化学结构以及它们在细胞代谢的复杂过程中所起的作用，在1939年的战争以前，由于许多国家的许多研究者的辛勤工作，已经逐渐明白了。不过在发现这些维生素以后，有一个时期，只查明一种维生素的化学结构，那就是抗佝偻病的维生素D；至于这种维生素怎样发挥调节钙和磷的代谢的功能，仍然弄不清楚。冯·欧勒在1929年发现维生素A与植物里的胡萝卜素色素有密切的关系。这是一种复杂的不饱和醇类，是维持某些组织，如中枢神经系统、视网膜与皮肤的健康所必需的。夜盲是维生素A缺乏病的早期症状。瓦耳德（Wald）已经阐明了这种维生素通过怎样的化学反应造成视网膜的感光色蛋白。同哺乳动物的繁殖有关的维生素E的化学结构以及可以使血液凝结，防止出血的维生素K的化学结构也查明了；它们都是醌的衍生物。

“维生素B”已经证明是许多物质的混合体。维生素B₁，也称抗神经炎素，存在于酵母和植物种子之内，许多研究者部分离出它的结晶，而认为它是嘧啶-噻唑类的化合物。上面讲过，它是脱羧酶的一部分，可以分解部分氧化了的碳水化合物。正是由于这些化合物在缺乏这种维生素的情况下累积起来，才产生多发性神经炎和脚气病的特有症状。有些病人需要纯化的B₁，才能治愈。维生素B₂在化学上叫做核黄素，对于细胞的氧化很有关系。复式维生素B的另外一个成分是烟草酸，很多年来即知其存在于烟草之内，是辅脱氢酶的一个组成部分，可以防治吃玉蜀黍的人常患的一种名叫陪拉格拉病（pellagra，亦名糙皮病）的缺乏症。一种吡啶化合物，维生素B₆可以防治老鼠常患的类似陪拉格拉病的皮炎。还有B₃、B₄和B₅尚在研究之中，一件有趣的物种差别是：雀鸟需要B₃而哺乳动物却需要B₄。

B₁对于动物与植物同属必需之物，尤其储藏于植物种子之内。植物能自己制造B₁，有些细菌、酵母与真菌，和动物一样，需从外面吸取B₁。维生素C即抗坏血酸，好象在大多数动物体内都能合成。据现在所知，只有人、猴和豚鼠缺少了这种维生素才会患坏血病。就化学结构论，C是最简单的一种维生素，极不稳定，具有高度还原能力的化合物，在结构上与糖相关，结构式为C₆H₈O₆（见253页），在细胞代谢里中大概充当氢递体。它在叶绿素和发芽种子里的胡萝卜素形成以前便形成了，因而维生素C可能是综合这些基本物质的机制的一个部分。在动物体内它大量存在于两种内分泌腺里，即垂体与肾上腺皮质里。

人们一向把维生素叫做是必需的微量食物。我们也可以把它们看做是机体不能自己制造的激素，因为激素与维生素相同，也是人体各部分健康与发育必需的微量物质。关于内分泌腺所制造的分泌物或激素的研究已经成为一

Perspectives in Biochemistry。

W.R.Fearon, Introduction to Biochemistry, 2nd ed. London, 1940. L.J.Harris, The Vitamins, Cambridge, 1938。

例如本书作者，在患多发性神经炎时就是这样治愈的。

种专门的学科，叫做内分泌学，是界于生理学与病理学之间的一种边沿学科。

我们对于性激素的了解近年来进步很快。在早期关于睾丸激素的研究（337 页）之后，阿伦（Allen）与多伊西（Doisy）又发现了一些新方法，证明对割掉卵巢的老鼠注射卵巢提取物可以恢复其雌性周期。1927 年，阿舍姆（Aschheim）与宗德克（Zondek）发现怀孕动物的尿是雌性激素的一种方便来源。人们已经把四种密切关联的雌激素分离出来，而且定出它们的化学的结构，还从卵巢提出第五种最活跃的雌二醇。在黄体内发现一种相关的物质，名叫孕酮，排卵后就在卵巢之内形成与妊娠的准备和维持有关。人们还定出四种化学性质类似的雄激素的结构。1930 年，马里安（Marrian）指出，不论在雄性动物体内或雌性动物体内，雄雌两种激素都有，而且这种激素还存在于植物内；一种物质既可以充当雌性的激素，也可以充当雄性的激素，视条件而定。这些性激素都是甾醇，即菲的碳氢化合物的衍生物，与略带雌激素性质的维生素 D 有密切的关系，而且与肯纳韦（Kennaway）等人从煤焦油提出的致癌物质有关。但是甾醇结构并不是增进雌性性欲的活动所必需的，因为多兹（Dodds）和他的同事已经从一种简单得多的碳氢化合物合成了一些能够大大增进雌性性欲的物质。

性激素和脑垂体分泌的研究使我们了解到雌性周期的复杂的激素模式，因而开辟了有价值的治疗方法。有很大用处的妊娠试验就是靠在尿中寻找胎盘释放到血液里去的激素物质。

肾上腺皮质的激素近来被人制成很有效的药物，肯德尔发现这种药物是若干类似甾醇的物质混合而成的，皮质好象是这些物质的工厂与储蓄库。肾上腺皮质缺乏病叫做爱迪生病，如果在实验中将皮质割掉，几天后就会有死亡现象。

1924 年，科利普（Collip）首先提出副甲状腺激素的有效成分，并发现它表面上具有蛋白质的性质。它调节钙与磷的代谢。如果缺少这种激素，血钙就会降低，而出现手足搐搦的现象，即神经系统的过度兴奋，肌肉痉挛的发作；在施行手术割除生病的甲状腺时，由于同时割掉了不认识的副甲状腺，常常发生这种痉挛现象。

激素研究方面最有兴趣的一件事也许就是人们认识到垂体具有控制与统一调节作用。垂体激素负责刺激性激素的分泌和黄体的形成，这样就决定了青春期的开始，女性的月经周期的维持和妊娠的过程。垂体主宰授乳的开始，我们可以在没有卵巢的雌性动物（甚至雄性动物）的乳腺上来证明它的作用。垂体分泌物还影响甲状腺与肾上腺皮质。垂体提取物（垂体素），往往能促进身体的代谢，增长脂肪的氧化，而降低碳水化合物的消耗。垂体激素的化学结构还不明白，但它们似乎具有蛋白的性质。

有些作者把激素类扩大到另一类所谓“神经分泌”的物质。它们以化学反应方式把刺激从神经末梢传到起反应的细胞。1867 年便发现一种这样的物质，名叫乙酰胆碱。1906 年更发现乙酰胆碱注入血循环内，能暂时扩张小动脉，所以有显著而短暂的降低血压作用。乙酰胆碱的这一和其他反应，与刺激迷走神经或副交感系统其他神经所引起的反应相仿。因此，洛伊（Loewi）

Cameron, Recent Advances in Endocrinology, 4th ed. London, 1940.

上引 Lovatt Evans 的书。

与纳夫腊迪耳 (Navratil) 断定乙酰胆碱可能是神经冲动的化学传导物。由于一种特殊水解酶的作用，乙酰胆碱在组织里的时间异常短暂，长期不能从动物身上提取出来，到 1929 年。戴尔 (Dale) 与达德利 (Dudley) 才从脾内取得。正如乙酰胆碱似乎是从副交感神经系的末梢释放出来一样，刺激交感神经系统也能产生一种传导物质。对这方面的研究成果有很大贡献的坎农 (Cannon) 把这种物质命名为“交感素”。许多方面，它和肾上腺素 (即肾上腺的髓质所分泌的激素) 相象，例如升高血压与心率，但是人们以为这两种物质并不是一种物质，只不过彼此协作而已。

现代生理学和生物化学正在慢慢地闯入医学中。临床医学也不但提出问题，而且还为基础科学提供情报。我们可以以消化现象为例。现在我们对消化现象的了解，实在应归功于博蒙特 (William Beaumont) 对于一位胃上受了枪伤的人的消化过程所作的观察 (1833)，伯纳德 (Bernard) 关于消化道的研究以及巴甫洛夫后来关于消化腺的实验，这样就把生理学、病理学和治疗学结合在一起。由于放射学的出现，由于 1897 年坎农使用一种含钡的不透光食物，临床医学家现在已经能够观察消化道，这是从前所不能办到的事。

哈佛的迈诺特 (Minot) 的研究成果说明饮食具有治疗作用。他发现让人食肝或注射肝提取物就可以治愈从前认为了治的贫血症或阻止其继续发展。1928 年，卡斯尔 (Castle) 发现用正常的胃制成的肉类产品也有类似的作用。1935 年梅伦格拉奇 (Melen-gracht) 证明猪胃的幽门腺也包含有这种防治贫血的物质，这种物质在正常情况下是在胃里形成，从肠里吸收，而储蓄在肝内的。实践医学与理论生理学相互促进的另一个例子，是矿工痉挛病。在高温下从事沉重劳动的人出汗过多，由汗里失去过多的盐；如果他们只喝淡水，体液过度稀释，便发生痉挛而不能工作。矿工、火夫与冶炼工人自然爱吃重盐食物。近来根据生理学家的建议，发现让这些人饮用盐水，代替淡水，就可以避免这种痉挛病。

病毒

本书前几版发行以来，超显微镜的病毒研究大有进展。许多疾病如天花、麻疹、黄热病、流行性感 冒和普通感冒经过长期研究，现在已经认识到都是由于病毒所致。牲畜的口蹄疫，大瘟疫，植物的郁金香折断病，马铃薯卷叶病，烟草斑纹病等就是现在发现起因于病毒的感染的几个尽人皆知的例子。

用未涂釉的磁器或压实的浸渍的泥土过滤有细菌存在的液体，可以把细菌过滤出来，但病毒却能随液体通过这些滤器。1892 年伊凡诺夫斯基 (Ivanovski) 用烟草斑纹病证明了这个事实，七年后贝兹林克 (Beizerinck) 又重新发现了这个事实。莱夫勒 (Loeffler) 与弗罗施 (Frosch) 证明口蹄疫也有同样的现象。不过，现在，我们可以用火棉胶片制成特种滤器。这种胶片是用硝化纤维经过戊醇和丙酮处理后制成的，胶片上面有大小规律的微孔；微孔的大小可由水流穿过胶片上的一定面积的流速测定。

利用这种胶片我们就可以估计病毒粒子的大小，可是由于病毒形状不同，如有的是棒形，有的是球形，仍然有困难。别的几种方法是照相、紫外

见本书 258 页和 J.A.Ryle, *Background to Modern Science*, 第七章, Cambridge, 1938。

Pavlov, *The Work of the Digestive Glands*, London, 1910。

Kenneth M. Smith, F.R.S., *The Virus*, Cambridge, 1940。

显微镜、高速离心机或让磁场对真空里的电子射线起作用的电子显微镜。用这些方法所得的结果大致相合。病毒的大小不等，大的接近小的细菌（300毫微米），小的如口蹄疫病毒仅10毫微米，而一毫微米是一毫米的百万分之一。

我们所面临的主要问题是病毒的本质。它是微小的生物抑或较大的化学分子？美国普林斯顿（Princeton）的斯坦利（Stanley）用化学方法从烟草斑纹病病毒的悬浮液中得到一种高分子量的蛋白质，具有病毒的一切性质。这种蛋白质有晶体的亲合力，而有些病毒是有规则的晶体。同时它们又具有生物的某些性质；病毒所造成的病有传染性，病毒粒子可以在新寄主身上繁殖。戈特纳（Gortner）与莱德劳（Laidlaw）都主张病毒是寄生物的一种高度分化的形态。我们或许可以把病毒看做是一种利用寄主的原形质的无包被之核。

病毒的化学说和生物说都满有道理，因此，我们或许可以跟着肯尼思·史密斯（Kenneth Smith）说：“现在还没有生物的确切定义或生命的确切衡量标准。在这里我们也只能引证一下亚里斯多德在二千多年前说过的一句话：‘从无生命王国到有生命王国，大自然是逐渐过渡的，其间的界限是不清晰的和暖昧的。’”现在让我们暂时放下这个未解决的问题，至少在还没有得到更多的证据以前，把病毒看做是介乎生命与无生命之间的模棱两可的实体吧。

病毒转移的方法有多种。在动物寄主身上病毒可以通过血液、神经或淋巴转移，视病毒的种类而定。至于由一个寄主身上转移到另一个寄主身上的方式，那常常是一个复杂的过程。要研究这个问题，可能就得进行大量实验，有时还会毫无结果。有些病毒在水中生活，有些在空气中生活。流行性感病毒浮悬在空气中的水滴里的时候，还可以保持其传染性达一小时之久。烟草斑纹病的病毒就是在空气内生活的一个例子。有时新寄主身上要有伤口，如动物身上的抓伤，植物根毛上的裂缝，病毒才能进去。有些病毒以昆虫为媒介，如靠吃玫瑰生活的蚜虫。大多数带病毒的昆虫都是在吸取花液时通过它们长长的吸嘴感染毒素的。番茄与观赏植物的病毒是靠牧草虫传播的，绵羊的狂跃病病毒和牲畜的红孢子病病毒，是由蜱传播的。史密斯发现一种植物病，要有两种病毒才能引起这种疾病，其中一种由昆虫传播，另一种用别的方式传播。这里只举了几个例子说明其间的关系是怎样复杂而多样。

有许多动植物的疾病的传染方式还不清楚。口蹄疫向我们提出的问题尤其困难。某些传染病的一次流行与另一次流行之间似乎没有什么机械的联系。普通昆虫似乎不是媒介。病毒可以逆风传染，因此，病毒大概不是由风媒传染的。某些动物，如兔、鼠或猬有时可能是祸患的根源。也有人认为病毒是一种名叫欧棕的候鸟群，由大陆带到英国去的。有一事实是为佐证，那就是，这种候鸟不去的苏格兰，很少发生那些突如其来的流行病。

免疫

有关病毒的性质与其传播方式的实验，使人们能够更有效地防治和控制它们的危害，虽然某些早期的经验方法也是有成效的。本书第七章内已经讲过，天花病毒的移植和以后的牛痘的接种，是首先由杰斯提加以试验，后来又由詹纳加以更充分的研究的。人们常常发现病人得过一种传染病以后，就

可以不再感染这种疾病。詹纳所用的牛痘或疫苗是一种微弱的天花病毒，可以引起一种和缓的局部病害，其所以能帮助身体抵抗病毒的感染，大概是由于形成了保护性的“抗体”（或“免疫体”），这种抗体和得过天花以后体内所产生的抗体一样。同样地，巴斯德利用感染狂犬病的家兔的脊髓制出了狂犬病的弱化病毒。如果将这些弱化病毒注射在刚得病的病人身上，在有病的病毒还来不及分生的时候，病人身上就产生了防护性的抗体。

这种名叫“免疫”的复杂过程的性质还不很明白。1890年贝林（Behring），北里柴三郎（Kitasato）在对破伤风有免疫性的动物血清里发现了“抗毒素”，不久又通过观察了解到动物有制造抗毒素的能力，而且这是一个极普遍的现象。

化学家兼细菌学家欧立希（P. Ehrlich）对早期的免疫学有很多贡献。他在1891年证明植物蛋白，如蓖麻子和相思豆，注射在动物体内以后，都会促成特殊的抗毒素的产生。

十九世纪末，人们才认识到在细菌和许多蛋白性的物质注射体内后，身体的反应是产生一些新化合物，去中和注入体内的物质。这些出现在血液或组织里的新物质叫做“抗体”，而激发产生抗体的物质叫做“抗原”。

近来，兰德斯太纳（Landsteiner）又阐明了抗原的特殊性质的化学基础。他把重氮化的芳香胺与蛋白配合起来，制成了人造抗原，并且证明，这一特异性是重氮化胺造成的，而不是分子的蛋白部分造成的（1917）。1923年海德伯格（Heidelberger）与艾弗里（Avery）又前进一步。他们发现肺炎球菌的“可溶物”有抗原作用，按其化学结构来说是无氮的多糖。

抗原与抗体之间的反应还难于说明；至于免疫反应，有人说这是带相反电荷的胶体质点的组合，也有人说这是一种吸附现象。欧立希认为抗原与抗体按一定的比例而生化学变化。以后海德伯格与肯德尔的研究（1935）提供了有力的证据，说明抗原与抗体按倍数比例化合，因而海德伯格说这些化学反应很可能遵照经典的化学定律。

有些病毒疾病，如牲畜的口蹄疫，人的流行性感，可能是好几种不同品种的病毒造成的。对某一品种的病毒具有免疫性，也许并不能抵抗其他品种的病毒。在哥本哈根近来已经制出一种疫苗，人们希望它能够防治三种主要品种的口蹄疫病毒。

邓金（Dunkin）与莱德劳发现用甲醛使之弱化的犬瘟热的病毒仍然可以给人一些防疫能力，以后再注射活性病毒就可以证实这一点。另外还有一种双重注射法，即在动物体上，一边注射活性病毒，另一边注射免疫血清。

海洋学

第七章内所讲的海洋学的研究有继续的发展，特别是鱼类的生态学。鱼类的环游在生物学上既值得研究，对水产的捕捞更有实际的意义。

我们常常发现鱼类到一定的区域去产卵，通常是向上游游动，然后又分散到下游去觅食。例如北海的鳕鱼与板鱼的卵和鱼苗都在深海里，而鲑鱼则产卵在江河上游，幼鱼下游到海里去生活，等到成长以后再回到原来出生处去产卵，好象它们每个都具有很好的记忆力。

欧洲的鳗鱼，经施米特（Johannes Schmidt）证明，在淡水里度过其成年时代，然后迁居到几千英里外的马尾藻海的深水里去产卵。施米特还发现住在苏门答腊的另外四种鳗鱼，在西海岸的深海沟里产卵，因为在那里，海水具有适当的深度（五千米）与适当的盐度。

许多海鱼以硅藻和其他小生物为食物。我们在第七章讲过，这些小生物统称为浮游生物。我们研究一下浮游生物的聚集与飘荡，就可以了解食物的所在处，因而也是鱼类的所在处；自第七章写成以后，这方面的知识又积累了许多。哈尔的哈迪（A. C. Hardy of Hull）教授等人对于北海上空昆虫的飞荡也进行了不少的研究。

遗传学

自从细胞学和染色体方面的早期发现以来，科学家做了很多工作，帮助推进了遗传学，并开始影响植物和动物育种家的实用技术。

负载遗传因子或“基因”的染色体，在细胞里成对出现，而且在红细胞分裂时每个染色体分裂为二，以便在两个新细胞核里再造成同样的对数。但是当生殖细胞形成时，每对染色体的两个成员却分离开来，各到每个新细胞去，这种过程叫做减数分裂或成熟分裂。生殖细胞里染色体的数目是基本的，被称为“单倍体”数目。在受精时，两个单倍体数目由于两个细胞核的结合而合在一起，这样造成的新个体，就染色体的数目来说，称为“二倍体”。但是，染色体也有可能倍增，即出现多倍性，因而新的培养细胞里就可能出现两套以上的单倍体。这样，当细胞包含的染色体数目三倍于、四倍于或多倍于单倍体染色体数目时，就可能出现三倍体、四倍体或多倍体。例如多倍性就出现于小麦、燕麦与栽培的水果中。樱花是二倍体，梅是六倍体，苹果可能是稍微复杂的二倍体或三倍体。多倍体的情况对不孕的问题大有影响；如果多倍体在其营养细胞里有奇数的染色体，当生殖细胞形成时不能做均等的对分，那么，染色体分配方面的不规律现象就一定要发生，一般就要导致不孕。例如，在桃属植物中具有奇数染色体的多倍体，常不孕，因而不能结果，仅因其有观赏价值而被栽培。果实的许多品种，如苹果的一个品种 Cox's Orange Pippin，各种桃与樱都不能自身受孕，需要附近有某种其他的品种才能结果。

在解决牵涉两个遗传因子和发育因子的性别决定问题方面，我们已经取得相当的进步。我们前面提到的对男女出生数差不多相等的解释，现在认为是正确的。在人身上和许多动物身上，雌性生殖细胞只具有雌性，而雄性生殖细胞，一半具雄性，一半具雌性。在另外一些动物身上，这种关系反转过来，雌性动物具有两类生殖细胞。决定性别的染色体，在有些情况下，已经在显微镜下认出来了。例如在研究遗传用得很多的果蝇身上，雄细胞里的性别染色体，可以看出有不相等的对数，其中一对是钩状的。

还有人，特别是克鲁（Crew）对性别决定方面的发育因子加以研究，他

参看 Reports of Development Commissioners, H.M. Stationary Office.

C.H. Waddington, How Animals Develop, London, 1935; Introduction to Modern Genetics, London, 1939. J.B.S. Haldane, in Background to Modern Science, Cambridge, 1938. R.C. Punnett, in Background to Modern Science, Cambridge, 1938. C.D. Darlington, Recent Advances in Cytology, London, 1937. Evolution of Genetic Systems, Cambridge, 1939. D.H. Bell, The Farmers, Guide to Agricultural Research, J. Roy. Agric. Soc. 1932.

描述了家禽性别的颠倒。性激素在这里起了一定作用。我们不妨提一提同牡犊孪生而生殖器不完全的牝犊的例子——对这个未生犊的牝牛注射同胎的牡犊的性激素，就可以使它不孕。一种名叫后螭 (Bonellia) 的海生物，其幼虫可以成长为雄性，也可以成为雌性，视它在发育时究竟是依附另一雌体还是依附海底而定。从化学上来说，和病毒一样，它们的染色体是核蛋白所构成的，而染色体内的基因，也象病毒一样，或者是自身生殖或者是劝诱细胞的其余部分生殖它们。

受到基因影响的代谢的确切的化学阶段，在某些例子里，已经明白。例如有人在鼠身上发现一种基因，是导致矮小的原因。矮小的老鼠缺少制造两种垂体激素的细胞，如果注射了这一种激素就能得到正常的发育。蒙克里夫 (S. Moncrieff) 小姐从生物化学的角度说明了造成花的颜色的 35 个基因的作用。造成白化病的基因可以使缺乏色素的动物的细胞里缺少色素酶。已经发现若干基因，有一些对机体有害，有一些阻止发育，还有一些造成早夭。例如有些植物就继承了抑制叶绿素形成的基因。

在这方面遗传学与生物化学相互为用。遗传学家帮助生物化学家把代谢的过程分为各种连续的阶段，生物化学家告诉遗传学家是什么基因在起作用，最后也许还能告诉他们这些基因究竟是什么。生物物理学家与生物化学家的职责在于尽量从物理学和化学的角度去描述生命现象，但是也还有许多别的领域，在那里，这些解释至少暂时仍然是不够的。例如，谢林顿 (Sherrington) 就说：“在器官的功能起作用以前，身体的各种器官就开始在胚胎里发育。眼睛的复杂结构，在眼睛看东西以前已经形成。感觉与意识也是无法用物理学与化学解释的。”

人们研究生殖时发现受精有两个过程：即卵受刺激与卵和精核的结合。1875 年，赫特维希 (Oscar Hertwig) 首先描述了这种过程。他观察了海胆的精子进入卵中的情况，看到两个细胞核的并合。刺激有时可以造成单性生殖，生物学家对这一过程进行了不少研究。例如施佩曼 (Spemann) 就进行了人工双生。如果一个正在发育的卵一分为二，便形成“同样的双生”，如果两个卵同时受精，则形成“兄弟式双生”，即可能与同双亲的两个子女一样，不一定十分相似。

施佩曼为了进行这一研究，使用了显微镜下的外科手术来考察水螅，因为要在哺乳动物身上进行这样的考察，技术上的困难很大。胚胎上某些特殊部分的几小块组织可以决定发育过程，施佩曼称之为“组织中心”。它们好象包含有可以提供必需刺激的活性化学物质。例如两栖类身上的一个“组织导体”，是一种象性激素，维生素 D 和某些致癌物质那样的甾醇。

苏黎世的福格特 (Vogt) 等人考察了胚胎的进一步发育。他将原肠胚染色而观察其着色细胞的变化。至于胚胎的食物供给情况，李约瑟 (Needham) 在《化学胚胎学》一书里，对已经获得的事实，作了简明扼要的叙述。

1900 年左右，孟德尔的研究成果重新发现以后，跟着就发生了争论，一方面是贝特森所领导的孟德尔主义者，另一方面是毕尔生和韦尔登 (Weldon) 所领导的生物测量派。生物测量派持有严格的达尔文主义观点，以为进化是

F.A.E.Crew, *Genetics of Sexuality*, Cambridge, 1927.

Sir Charles Sherrington *Manon his Nature*, Cambridge, 1940.

J.Needham, *Chemical Embryology*, Cambridge, 1931.

从连续的细小变异而来的。这两派敌对的意见，以后又综合起来，主要是靠了费希尔 (R.A. Fisher) 的工作。他用他在数理统计学上的研究成果提供了一种新的研究工具。要测验一组事实是否合于孟德尔的规律，我们现在使用毕尔生所发明的数学的判别标准。要找人身上的孟德尔式遗传的例子，我们便参考毕尔生所搜集的数据。诺顿 (Norton)、霍尔丹、费希尔与赖特 (Wright) 运用数学方法在达尔文主义和孟德尔主义的基础上创立了一种多少带有诡辩性的进化学说，认为主要的遗传单元是基因而不是个体。由泽维里科夫 (Tsetverikov) 开创的关于自然群落的遗传的研究，证明各种族里可能存在着表面上同质的大数目的隐性基因。群落中品种愈多，自然选择的速度愈大，因为不适者被淘汰得更快；根据费希尔，适者的增长率与遗传性的差异度成正比例。

作为孟德尔式发育的基础的突变，在常态下也常出现，其中有一些可以用染色体的事实说明。但是弥勒发现，射线对于果蝇作用可以使突变的数目有所增加。

近来类人猿与类猿人的化石的发现给人类进化提供了证据。在爪哇与中国掘出的化石有很多相似之点，但是中国的北京猿人在发展上处于稍高的阶段。有关人科起源的其他古生物学证据还有新生代的中新世与鲜新世地层里的森林古猿化石。这些化石的某几种在特征上已接近现代类人猿，由此可见，向人科发展的线索和向类人猿发展的线索必定是在鲜新世的早期分道扬镳的。

新近在南非洲发现的猿化石有力说明森林古猿很有可能是人科的祖先，虽然中间还有一些空白有待古生物学家的发现加以填补。猿人化石的新材料足以说明猿人具有人科的身材，特别是它们的肢骨已经可以和现代人相比。猿人可能是后期各型人的发展的基础，其中一个旁支便是穆斯特期的尼安德塔型人。

在进而讨论一般化石时，我们注意到，虽然在寒武纪岩层（如在威尔士北部所发现的）里，已经有大多数主要类型的化石，但在寒武纪开始以前便寻不着化石的记录了。在寒武纪（也许在 5 亿年前）和最古的岩石（根据放射物证据大约在 20 亿年前）两个时期之间的某一个时候，地上已经出现了生物。生命起源的问题仍然没有解决。细菌与其他微生物的自然发生说已经为斯帕郎扎尼与巴斯德所否定（参看 186，264 页）。有人提出生命可能是由其他行星而来的。但是有生命的机体在宇宙空间的有强烈杀伤性的短波辐射里很难存活；人类为大气中的氧所蔽护，才得免于这些辐射的损害。因此生命必定起源于地球。比细菌更小而更简单的病毒——差不多和分子一样大的生物——的发现，重新提出一个老问题：“像病毒那样简单的物体需要什么样的环境？在原始的无机物里是不是也可以找着病毒？”电子显微镜或可对解答这问题有一点帮助，但是这问题现时还只好谈到这里为止。

神经系统

W.E. Le Gros Clark, "Palaeontological evidence bearing on human evolution", *Biological Rev., Cambridge Phil. Soc.* April, 1940.

C. F. A. Pantin, *Nature*, 12 July 1941.

生理学最重要的分支之一是神经系统的研究。机体和国家一样，须单元间动作一致，才能有效率与进步，神经就是单元间的交通机构，因而是生理综合的主要因素。在这一领域中，谢林顿爵士在 1906 年以后的年份中进行了现代的开路先锋的工作。亚德里安 (Adrian) 博士为作者写了以下一节。

在最复杂的动物体内，神经细胞及由神经细胞延伸出来的纤细的原形质，形成一个中心团块，依靠周边的神经纤维与其他部分相互交通。这就是信息从感官 (接收器) 传到中枢神经系统，再由那里传到肌肉和腺体的通道。神经纤维活动时，其表面常有电位差的微小改变。靠了研究这些改变 (近年来还得到真空管放大装置的帮助)，我们已经弄清纤维所传达的信息的种类。感觉信息与运动信息都是一串短促的“脉冲”，彼此差异很少，两者相距的远近，视刺激的强弱而定。但中枢神经系统里的变化情况究竟怎样，我们还是不得而知，有待解决的问题是发现进去的信息怎样在那里汇总而又怎样变成出去的信息使得动物以适当的动作去回答外界的刺激。

要彻底解决这个问题，就意味着从心理学的角度说明动物的全部行为，但谢林顿证明，只要研究一下简单反射与其相互作用就可以弄清神经系统的许多“整体性的作用”。例如，只有当一群肌肉的收缩伴有对抗的肌肉的松弛的时候，才有可能产生有秩序的运动，而这种情况的发生则是由于进入的信息产生了双重的作用，既使某些神经细胞兴奋起来，又“抑制了”其他神经细胞。他还证明，抑制与兴奋两种状态的时间关系可以说明为什么一个反射可以顺利地准确地继另一反射而起。在谢林顿创始这方面的研究以后，大家的注意都集中于反射，认为这是了解神经组织的钥匙，加上巴甫洛夫的工作，就造成了现代心理学机械论的趋势。

脑是中枢神经系统的最高部分，同视觉与听觉一块发展，这两个器官与远处物体相感应，谢林顿特称之为“超距接受器”。心理功能的位置在脑的一部分即大脑，而且特别是在大脑皮层。施刺激于大脑皮层的有限区域，四肢等部分便发生局部动作。弗里奇 (Fritsch) 与希齐格 (Hitzig) 在 1870 年首先对电刺激的效应进行了研究，后来又有些人绘出大脑皮层各区域图形并研究了各区域的反应。其中特别值得一提的有霍斯利 (Horsley)、谢林顿、布朗 (Graham Brown) 与黑德 (Head) 等人。

小脑是脑的另一部分，经人证明与身体的平衡、姿势与运动以及三者所需要的复杂调节有关。小脑接受肌肉与内耳的刺激，而作出反应。

不随意神经系统控制身体的无意识的机能。首先对不随意神经系统进行透彻研究的是加斯克尔 (Gaskell, 1886—1889 年) 和兰利 (Langley, 1891 年及以后)，他们证明这一神经系统虽然有一定程度的补助的独立作用，本质上仍然是脑脊髓系统的支脉，并且受它的总的控制。

巴甫洛夫在 1910 年指出，在研究高级神经作用时，不必象通常那样，引入心理学的概念。较简单机能的确定的无条件反射，可以变为受其他因素制约的较复杂的反射，但观察刺激与反应的方法仍可使用。如果一种现象经常与食物联系在一起，单单这种现象本身就能导致食物所引起的反射动作，例如开饭的铃声可以使人垂涎。这个研究方法没有涉及居间的意识的终极本性问题。但却促成了一个心理学派的诞生：行为主义的心理学，象生理学一样，在自己的研究中，对意识是不加注意的。

心理学

在十九世纪，韦伯(Weber)等首先把实验方法应用于心理学。由于在心理学中采用实验方法，以后的研究者就创立了一种可以明确列入自然科学之列的心理学。视、味、嗅、触等感觉的灵敏度，可以用机械的方法测量。比较复杂的同类测验，可以估计记忆、注意、联想、推理与其他心理功能；还有一套测验可以用来研究疲乏，对于刺激的反应，手眼间动作的配合。例如芝加哥凯洛尔(Kellor)女士就进行了一些实验来研究情绪对呼吸所产生的影响。结果她发现黑种女人不象白种女人那样容易受到影响。在这种研究中，心理学都使用了自然科学的客观的与分析的方法。

纯粹生理学家研究肌肉收缩，内分泌，神经冲动的传递及神经冲动与中枢神经系统的联系的物理学与化学，心理学家从精神角度研究这些身体上的表现。例如黑德爵士对于失语症一类病症的研究就远不止具有医学上的意义。1914—1918年大战中，神经病学家由于研究局部创伤在心理上的影响，而得到许多心理学上的新事实。

海耳巴特、穆勒父子(Mills)与贝恩等联想学派，以为自我并不象以前的正统观点所设想的那样是心理表象的预先存在的源泉，而是相异的观念的联想关系所形成的。巴甫洛夫所倡导的“条件反射”的生理学更促进了这种想法，自然要导致所谓行为主义的心理学。行为主义的心理学是沃森在1914年和以后的年份中创立的。这个学派的基本观念，在1894与1914年就已经由英国心理学家摩尔根(Lloyd Morgan)提出。动物心理学的美国学派就是他创立的。

这些研究者摆脱了用意识去解释动物的行动的流行观点，而动物的行为和人的行为，象客观地观察物理与化学的事实那样。没有人能从外面探测到他人的意识、感觉、知觉或意志；在研究刺激与反应时必须把这些放在一边。人眼的角膜一被触及，就要眨眼，观察者对于刺激所引起的感觉，实一无所知。

新生的婴孩不学而能的反应为数甚少，仅仅有呼吸与啼哭等基本动作。只有高声或骤失支持能引起他的畏惧。但只要某种条件几次伴随这些事件发生，小孩不久就学会对这种条件产生畏惧，而不问其间是否有真实的联系。换言之，即条件反射已经建立。这种条件反射一经建立之后，就只有通过打破自动的联想的“非条件化”的缓慢过程才能废止。

据沃森说，思想是一种第二性的产物，它是逾过语言的习惯缓慢地获得的，正象打网球与高尔夫球的技巧是通过肌肉活动得来的一样。小孩喃喃自语，是外来刺激引起的一种反射行动，心灵上的形象是以词为中心而建立起来的，以后小孩才逐渐知道不高声讲话要更好一些。但他以为，刺激总是要引起不完全或不发声的言语。如果我们真的要思想的话，实在是先说而后想。

这一理论的确有几分真理。凡是注意倾听茶余闲话或政治辩论的人都不能加以否认；从心理学的观点看，这一理论也有不少可以学习之处。可是它的哲学意义却不应给予过高的估价。如果说按照机械学的定义，人可以看做是一架机器的话，那么，在行为主义者眼里，人就仅仅是刺激与反应的关系，

因为行为主义，从它的定义与定理来说，只是一门研究刺激与反应之间的关系学问。就行为主义的成功方面而言，它证明它的假设导致与事实不相违背的结果，但这些假设的最后实在性的证据，不管它的价值如何，是形而上学的，而不是科学的。

现代心理学，在工业问题上有一个实际的用途。工业活动需要人来做，而人是有情绪、偏见与冲动的，大半很难服从理智或“开明的自我利益”。工业心理学家的职责就在于研究这些因素和更简单的因素，如疲乏之类，这样来调整工序活动，使工作不致引起过分的疲劳与厌倦。

每个人在活动中都有自己的自然的节奏与一定的周期活动速度；如果要想得到最好的结果，就必须顾及这种个人的特点。工厂里体力劳动的程序，都经过精密的研究，务使工人的动作简单化，或更有节奏，以避免疲劳，而增进其生产的效率，在美国尤其是这样。

同样，教育心理学也开始用观察和实验的方法对儿童心理进行研究。人们已经发明了测验儿童的心理活动与敏捷程度的方法，还有日益增多的迹象说明，可以想出一些办法来发现特殊才能以决定儿童的前途。

心理学在医学上也日益重要。过去一直有人想要发现与心理变化相应的脑内的物质变化，但很少成功，就是在疯狂病人的观念和情绪完全错乱的情况下，生理与病理的测验方法也发现不了丝毫异常的状况。随着每一心境或思想的变化，的确有物质变化，这是无可怀疑的事，但在还没有确切了解以前，我们只能从心理学的角度去解释心理与其错乱。现代精神病理学所涉及的范围较其名称为广，因为变态的研究有助于常态的了解。精神病理学的兴起主要应归功于弗洛伊德（Freud）的研究成果所引起的广泛的兴趣。他研究了无意识的行动与其原因。他所用的方法后来形成一种考察心理的方法叫做“心理分析”法。弗洛伊德的研究成果在现代心理学里加强了决定论的观念。他认为自细小的过失一直到最宝贵的信念，一切的一切都是由于强有力的本能的作用所致。这些本能随身体而成长；如果它们的发展受到阻挠或歪曲，它们就可能成为精神不健康的原因。

心理学的另一种应用，就是所谓灵魂的研究，我们还不能断定这种研究是否能产生有科学价值的结果。在“唯灵论”的现象中，有许多是出于自欺或有意的诈骗。但在合格的观察者眼里，即使把一切欺骗成分除去，仍有一些现象不能解释，值得加以科学的研究。要考察这些现象，研究者必须有特殊才能，对歇斯底里和邪术家的法术都要有一些经验。灵魂研究学会的刊物中载有许多精细的研究，但唯灵论的解释是否合理，有资格的人士尚无一致的意见。在获得更多用严格的方法检验过的知识以前，我们最好不下判断。

人是机器吗？

在最近三百年的生物学史上，活力论与机械论互为消长。笛卡尔的二元哲学认为，肉体与灵魂相反，纯粹是机械的，确实是唯物主义的。十八世纪中期和末期的法国百科全书派更进了一步。他们把自己的哲学建立在牛顿的动力学基础之上，以为人（肉体与灵魂）不过是一架机器。这种见解，不但受到正统派的神学家的批评，而且受到其他作家的科学上更有力的批评。十八世纪末，主要由于比夏的影响，活力论又复抬头。以伯纳德为领袖的十九世纪的生理学，加上自然选择的进化论，引起一种向决定论方向发展的反动，

在德国的哲学上的唯物主义学派与生物学家（如海克尔等）中，这种倾向尤为显著。

诺登许尔德（Nordenskiöld）与李约瑟对这场争论的最近历史作了扼要的叙述。实验生理学家与心理学家根据力学物理学和化学定律也适用于有生命物质的含蓄假定，不断地扩大研究范围，以为在这种范围内机械论似乎足以充分解释生命现象。但有些生物学家，感觉未知的境界还很宽广，或者对有生命的机体的表面上的目的性深有所感，因此又以为只有把有生命的物体看做有机的整体，才能解释事实。

在这些研究者之中我们不妨试举几人：冯·于克斯屈尔（Von Uexküll），1922年以为有生命的机体的特点，在于它们是时间中的单元，又是空间里的单元；霍尔丹（1913年）以为在外部和内部环境改变的当儿，动物常有守常不变的倾向；杜里舒（Driesch）以为胚胎的早期发展只能以一种非物质的导引力量去解释。他如汤姆生（J.A. Thomson）、罗素（E.S. Russell）与麦克布赖德（McBride）等都在生命的复杂现象中，举出了一个或几个无法给予机械解释的事例。

至于哲学家里格纳诺（E. Rignano）认为有生命的物质的本质就是有目的性——有一定目的，力求达到一个目标。这种目的性控制了身体与心灵的生长与功用，远不是机械与化学的盲目力量所能及的。例如他说：

有生命的物质从溶解在营养液里的极复杂的化学物质之中，丝毫不差地吸取可以重建其机体、保持其本来面貌的化合物或化学基。正因为是选择，这个过程才有显著的目的性。

新活力论者的许多论据，建立在现今生物物理学与生物化学知识的空白上面。依赖这种暂时的无知是危险的。这些论据已有一些为新近的研究所驳倒。其他论据，如上面所引的里格纳诺的话，在发表时就已经可以加以驳斥。我们只须指出：有生命的物质除了吸取重建其机体的化合物外，也能吸收毒害它的毒物。

洛采认为世界上的机械作用是有绝对普遍性的，也完全是附属性的。只有机械论的看法才为实验者提供了可用的工作假设。这只是“一种观点”，但在它的范围以内，它是至高无上的。物理科学从数与量度的角度去看自然，机械论的思想线索则由心灵的机杼织到它的基本结构中去。目的论的方面同科学是格格不入的，也必然是格格不入的，虽然它也可能是实在的精神方面的一部分或整个过程的意义的一部分。

韩德逊（L. Henderson）提供另外一种解答。他指出环境也象机体一样带有目的论的痕迹。生命，至少是我们所知的生命之所以能够存在，仅仅是由于碳、氢与氧的特殊化学性质以及水的物理性质的缘故。生命也只能出现于我们这个世界的温度、湿度等情况相宜的窄狭的条件范围内。因此，有机目的论当包含于宇宙目的论之中。

尽管生物物理学家与生物化学家用物理学和化学的概念解释生命现象，十分成功，愈来愈成功，作为一种哲学看，机械论也还有错误。从笛卡尔以

上引书 603 及以后各页。

Joseph Needham, *Man a Machine*, London, 1927.

E. Rignano, *Man a Machine*, London, 1926.

The Fitness of the Environment. 见上引书 357 页脚注。

来，机械论者以为物理科学揭示了实在，其实它只是从一个角度来看实在的抽象概念。因此，人们才周期性地认识到机械论不是对于实在的完备解释，这就自然要导致活力论，而认为有一种暂时地或永久地与肉体联系着的精神或灵魂，可以控制或甚至停止物理定律，以达到某种预定的目的。

活力论者的谬误，似乎在于他们企图把目的的概念应用于生理学上的有限度的科学问题。这些问题，按其性质，只能用物理学的分析方法去解决，至于目的（如果有所谓目的的话）只能在整个机体之中起作用，而且或许只有在用形而上学的方法研究实在时才能把这种目的揭示出来，因为只有这种研究才与存在的全体有关。

我们还必须指出：从 1925 年开始的物理学的最近的变化，看来很可能削弱了机械决定论的论据。哲学给科学上的决定论找到的最有力的证据，一向是从物理学中得来的，因为人们以为在物理学中，存在着具有数学必然性的体系。但如后章所述，新的波动力学好象说明测不准原理乃是物质的基本单元即电子的基础，因此要同时精密测定电子的位置与速度，是绝不可能的事。于是有人说，哲学上的决定论的科学证据已经被打破了，另外一些人则认为测不准原理不过是我们的测量系统无力处理这类实体的表现而已。

体质人类学

正如对于化石记录的不断的研究增强了我们对于动植物进化的一般学说的确切性的信念一样，二十世纪早期的古生物学上的发现，也证实了赖尔、达尔文、赫胥黎诸人关于人在自然界的地位的一般结论的真实性。此外，关于猿人及各类人种的起源的许多新证据也出现了。我们渐渐明白猿与人可能早在第三纪的新生代中期就互相分化出来。同时他们的血液相似的新资料则提供了生理证据，说明他们目前有着密切的亲缘联系。

1901 年，安德鲁斯（C.W.Andrews）在埃及法尤姆（Fayum）发现的化石也许可以代表现今哺乳动物的祖先，他还预言早期类型的类人猿也可以在那里发现。这个预言后来在 1911 年为施洛塞尔（Schlosser）证实。在喜马拉雅山麓，皮耳格林（Pilgrim）寻得猿化石，其结构的特点，说明它们是人科的祖先。1912 年，道森（Daw-son）与伍德沃德（Woodward）在英国苏塞克斯郡（Sussex）的辟尔唐（Piltdown）地方发现类人的遗骸，埋藏在新生代第四纪岩石之中，且有粗笨的火石工具。（见书末编者注）

1856 年，在德国尼安德塔（Neanderthal）山谷中第一次发现了尼安德塔人的骸骨。以后在其他地方又有同样的发现，因而大大增进了我们对尼安德塔人的了解。这些化石说明尼安德塔人头大而扁平，眉峰凸出，面孔粗糙，脑虽大但前部却不完全。尼安德塔人所代表的种类的年代当在包括现有一切种族的所谓智人以前，而且更为凶猛。

尼安德塔人以后，在欧洲有身材高大，头颅椭长的克罗马努（Cro-Magnon）人，实在是智人的一种。这种人的火石工具比较完善，其洞穴壁上的图画，颇有艺术意味。其他同时或继起的人种，和克罗马努人不同，分别命名为索鲁特里安（Solutrian）人，与马格德林尼安（Magdalenian）人等。这以后出现新石器时代的各族人民。他们在游荡中，把埃及和美索不达米亚

的伟大文明传播到西欧。

二十世纪初，英法两国的人都普遍地相信相似的文化可以在世界各种族里独立发生，这信念反使人对于有启发性的相似之点熟视无睹。另一方面，有一个重要的德国的学派，为拉策尔（Ratzel）1886年所创立，其后又有施米特（Schmidt，1910年）与格雷布纳（Graebner，1911年）的研究加以支持。这个学派认为相似的艺术文化起源于各民族的混合。里弗斯（W.H.R. Rivers）对太平洋岛屿民族的各种关系、社会组织和语言，进行了足资楷模的研究，也得

到相同的见解。里弗斯的早死是人类学上一大损失。他在1911年促请人们注意德国人的研究成果。这一理论后来也为研究他种艺术的人所采用。史密斯（Elliot Smith）在研究以香料保存尸体的技术时，尤其是这样。事实上，到处都有建立独石碑柱和其他石结构的风俗，它们的方位与太阳和星星既有关系，而且又和埃及的模型相似，可见即使种族不一定同出一源，文化也是同出一源的。

社会人类学

二十世纪内，如果说体质人类学大体上遵循达尔文与赫胥黎所奠定的路线发展的话，那末社会人类学就开辟了新的途径。这有几个原因：第一，象里弗斯那样的人久居于原始民族中，对于原始民族的心理有了更亲切的认识；第二，哈里森（J.E. Harrison）与康福德（F.M. Cornford）等人对希腊宗教进行了研究；第三，弗雷泽、里弗斯、马林诺夫斯基等人类学家搜集了遍及全世界的大量资料。里弗斯的工作所以重要，不仅是因为他搜集了不少关于原始生活的事实，而且因为他引起了一场方法上的革命。他发现以前探险家用来发问的概括性的话语，完全不是原始人所能了解的。例如问某人是否可以或为什么可以娶他的亡妻的妹妹，这是无用的话。你得先问：“你能娶那女人么？”然后再问：“你和她与她和你的关系怎样？”一般性的规则必须由个别的例子缓慢地综合而成。根据他在大洋洲的研究，里弗斯断言有一种敬畏和神秘的模糊感觉，一般叫做“马那”（mana），是巫术与宗教的来源，比泰罗所说的精灵崇拜更为原始。

经过长期研究野蛮地区至今仍然存在的原始形式的宗教，人们的观点完全改变了。过去，不论是信徒还是怀疑者，都以为宗教是一组教义，如果是他们所信仰的，便叫做神学，如果是其他民族的宗教，则叫做神话。就是在人们把仪式考虑在内的时候，人们也认为仪式只不过是公开表示已经规定和固定下来的信仰的一种形式。而从一个观点来看构成宗教的本质的“内在精神祈祷”却大半受到忽视，或者与教义混为一谈。不但如此，宗教信条，还形成一套完备而不可改异的教义，一劳永逸地照示世人，由一部神圣的经典和一个神圣的教会维护。人们的义务只是接受信条和遵循教规而已。

Presidential Address, Section H. British Association, 1911.

例如，看 Darwin and Modern Science, Cambridge, 1909; 及 Jane Ellen Harrison, The Study of Religions, P. 494.

但哈里森女士说：

宗教总是包含两个因素：第一，理论的因素，即人对于不可见者的看法——他的神学或神话。第二，人对于不可见者的行为——他的宗教仪式。这两个因素很少完全分离，它们是以各种不同的比例混合起来的。上一世纪的人主要是从理论角度把宗教看做是教义。例如希腊宗教，在多数有教育的人看来，就是希腊神话。但一加粗略的考察，便知希腊人与罗马人都没有任何信条与教条，没有任何硬性的信仰条目。只有在希腊的祭仪里我们才能找到所谓“忏悔式”，可是并不是表白信仰，而是表自自己所举行的仪式。我们研究原始人的宗教时，很快就看到模糊的信仰虽多，确定的信条却几乎没有。仪式占有优势而且是强制性的。

我们是由于研究野蛮人才注意到仪式压倒信条和先于信条的现象，但这种现象马上就同现代心理学不谋而合。一般人的信念以为我思故我行；而现代科学的心理学则以为我行（或者不如说我对外界刺激有所反应）故我思。因此发生一串的循环现象：行动与思想又成为新的行动与新的思想的刺激。

真正“盲目的异教徒”并不向木石叩头，而只忙于施行巫术。他并不向神祈求晴天和阴雨；他跳一次“太阳舞”，或学作蛙鸣，希望大雨来临，因为他已经懂得把大雨和蛙鸣联系起来。在许多图腾信仰中，人认为自己与一种动物有密切的联系，而把它看作是神圣的。有时这种动物被看作“禁物”，而不可接触；有时野蛮人食了它的肉，就觉有勇气与有力量。有节奏的舞蹈，不论是否借助于酒力都可以引人达到狂欢的境界，使意志获得自由，使人觉得自己有一种超越平常限度的力量。野蛮人不知祷告，但有愿望。

巫术对宗教的关系和对科学的关系如何，仍然是一个争论的问题。巫术企图迫使外界事物服从人的意志。原始形态的宗教想依靠上帝和多神的帮助来影响外界的事物。科学比巫术有更清晰的洞实力，它谦卑地学习自然的法则，通过服从这些法则而取得控制自然的能力，这正是巫术误认为自己已经获得了的能力。无论这三者的实在关系为何，巫术好象终归是宗教与科学的摇篮。

野蛮人由于希望实现自己的意志，就创立了一种仪式，然后就利用这种仪式与他们的原始的观念形成一种神话。他们不能分别主观与客观；凡是他所经验之事：感觉、思想、梦幻或甚至记忆，他都以为是实在的、客观的，虽然实在的程度或许有差别。

斯宾塞说野蛮人因为梦见死了的父亲，想加以解释，就创造了一个灵魂世界。可是原始人并没有斯宾塞这种复杂的推理能力。梦境对于他是实在的，也许不象他现在还活着的母亲那样实在，但却不是假的。他并不寻求解释，而把梦境当做实在加以接受，他的父亲在某种意义上还活着。他感觉自身有一种生命力，他虽然摸不到它，它却是实在的，因而他已死的父亲也必定有这种生命力。父亲死后，这种生命力不再寄寓在他的肉体内，但它又在梦中回来：这是一种气息、形象、幻影或鬼魂。这是生命本质与可以分离的幽灵的混合体。

“Darwinand ModernScience”，上引书 P.498。

要知详细情况，可参考：J.E.Harrison, ProlegomenatotheStudy of GreekReligions, Cambridge, 1903, p.155。

Korperseele or Psyche.看 Wundt, VolkerpSychologie, Leipzig, vol. , 1900, p.1. ; JaneHarrison, 上引书

泰罗指出野蛮人力求把常见之物分类，以达到类的概念，因而他们深信同种之物属于一家，有一个部落守护神保护它们，并有一个名称，以某种神秘的方式，包含它们的共同的本质。在野蛮人看来，数也是超感觉世界的一部分，而且本质上是神秘的，也是宗教的。“我们能接触并看见七个苹果，但七自身是一奇异的东西，由此物移至彼物，赋予物以七的意义，因此，它应是上界的仙人。”

仪式、巫术与有节奏的舞蹈等神秘经验，就和这种梦、鬼、名、影、数等混乱的超感觉境界揉合在一起。这些因素相互作用，野蛮人或许就凭借这种交织在一起的感觉与行动形成一种神的概念。

弗雷泽的主要著作《金枝集》是最惊人的社会人类学资料汇编。这部书初版二卷，刊行于1890年，1900年再版，扩大成十二卷。

在这部巨著中，弗雷泽描述了原始的风俗、仪式与信仰，其例证取自各种价值不等的来源，如石刻铭文，古代与中世纪的史籍，现代旅行家、传教士、人种学者与人类学家的记载。有些权威学者以为巫术是宗教与科学的共同来源，弗雷泽则认为它们是次第产生的。

当巫术企图直接控制自然失败以后，人们就用崇拜与祈祷的方式，祈求神给与这种能力；在人们看到这样做也没有效力并且认识天律不变时，他们就踏人科学之门。

另一方面，马林诺夫斯基认为原始人把可以凭借经验性观察处理、可以因袭相传的简单活动，同需要祈诸巫术、仪式和神话的、他们所无法直接控制的无法预料的事件，截然地区别开来。马林诺夫斯基说：宗教的起源应当到人对于死亡的反应中去寻找，它的基本内容在于信仰一个伦理的神灵，在于希望复活。科学是从人们在各种生活技术和手工艺中获得的逐渐增多的经验中产生出来的。但也有人认为原始人的心灵不能明确辨别自然与超自然的界限。人感觉自己有控制自己的思想的能力。野蛮人把这种能力扩大，以为自己也能控制外物。在他们梦见亡故的父母时，梦境中出现的朦胧的影子就上升成为朦胧的神。这些神想必也能控制万物，比较他自己的能力还大。在酒与舞蹈的刺激下，他感觉自己的能力扩大了，他的灵魂受了这些神的感召。还有受到更大神感的人：他们的君王与祭司，简直就是神了。

交感巫术企图用仿效自然现象或其效果的方式来复制自然现象，演变下去，就成为原始宗教的许多象征性的仪式。蔓延最广的仪式莫过于每年季节循环的戏剧：播种、生长、收获时节的毁灭、新春时节的万物复苏——这些都无的方式加以象征，流行于许多时代与许多地方。人们最初是举行仪式，诵念，符咒，以使雨落、日出、生物繁殖。后来，人们又感觉有某种更深刻而神秘的原因在幕后起作用，而且以为生长与凋谢必是神的力量涨落的影响。

这些神与祀神的仪式特别流行于地中海东面各地，神的名称有沃西里斯（Osiris），塔穆兹（Tammuz），阿多尼斯（Adonis）与阿提斯（Attis）。

P.501。

Primitive Culture, vol. , 4th ed. London, 1903, P.245.

Foundations of Faith and Morals, Oxford, 1936.

沃西里斯，古埃及人的死者的保护神，塔穆兹：巴比伦人的农神；阿多尼斯：腓尼基人阿斯塔尔特和希腊神话里的美男子，司花之神；阿提斯：古小亚细亚人司植物生长之神，下文的伊什塔尔和阿斯塔尔特：

巴比伦与叙利亚人的塔穆兹变成了希腊人的阿多尼斯。塔穆兹是伊什塔尔 (Ishtar) 的丈夫，她是司丰产的女神。

阿多尼斯是阿斯塔尔特 (Astarte) 或阿弗罗代特 (Aphrodite) 的爱人。他们的结合对于大地丰产是必要的，因而有许多仪式和神秘剧在他们的庙中表演，庆祝他们的结合。阿提斯是众神之母西伯耳 (Cybele) 的儿子，这位女神从前住在弗里季亚 (Phrigia) 国，于公元前 204 年前被带到罗马。举例来说，从在叙利亚的喇·香拉 (RasShamra) 地方发掘出来的古物中，就可以看出有这样一种祭仪。巴勒斯坦好象也受到这种影响。可是《创世记》的作者认为：既然上帝在天上放虹，这样的仪式是不需要的：“地还存留的时候，稼穡、寒暑、冬夏、昼夜就永不停息了”。

这些巫术祭仪的把神仪节大同而小异。每年都要哀悼神的死去，杀一个人或一个牲畜，以为象征，并于次日或另一季节内欢呼其复活。在有些祭仪里，祭礼在冬至日举行，以庆祝新年、太阳或代表太阳的为处女所生的神的诞生。

普卢塔克与希罗多德关于埃及的神爱西斯 (Isis) 与沃西里斯的故事更加复杂，但其根本观念与象征意义则完全相同。在希腊化时代主要的埃及神有爱西斯，安努比斯 (Anubis) (导引灵魂至永生界之神) 与塞拉皮斯 (Serapis)，这是“埃及王托勒密一世有意识创造的，是现代人造成功的唯一的神”。塞拉皮斯就是沃西里斯，加上希腊的色彩，目的在于把希腊人与埃及人联合于共同崇拜之中。埃及人不要他，于是他就成为亚历山大里亚的希腊神；他和他的妻子在地上的化身便是托勒密皇帝和皇后。

崇奉古波斯米思拉 (Mithras) 神的祭仪宗教，一方面与地中海边信奉西伯耳神的宗教极其相似，另一方面又与基督教相似；早期基督教神父很可能认为这种相似是妖魔以假乱真的诡计。当时，这个信奉米思拉的宗教是基督教的劲敌，它有隆重的仪式，又有道德的纯洁与不朽的希望。事实上，有一个时期，这两种宗教在争夺罗马世界的斗争中，似乎就旗鼓相当，不分上下。

基督诞生的前后几个世纪之内，对于古典神话的信仰已经衰微，帮助米思拉神教填补了这种衰微所留下的空隙的是同米思拉神教相似的其他祭仪宗教。这些宗教都企图通过人教与神交的仪式而与神合为一体。这种入教和通神的仪式，显然是由更原始的祭仪而来。弗雷泽爵士详细讨论了无数神交仪式的例子以及这种神交仪式与各地原始人民的图腾主义和崇拜自然的祭仪之间的联系。然后，他写了下面一段：

我们从这里很容易了解野蛮人为什么喜欢吃他们奉为神灵的人或兽的肉

腓尼基人的星神和保护地方的女神，阿弗罗代特：希腊的爱神；西伯耳：大地的女神。弗里季亚：小亚细亚古国。——译注

The Religious Background of the Bible, J.N.Schofield, London, 1944.

“我把虹放在云彩中，这就可作我与地立约的记号了。”见《旧约》《创世记》9章13节。——译注
见《旧约》《创世记》8章22节。——译注

爱西斯：古埃及人的司医药、婚娶、种植等的女神。沃西里斯神的妻子；安努比斯：古埃及的狗头人身之神；塞拉皮斯：古埃及托勒密朝代信奉的神牛与沃西里斯混合的大神。——译注

W.W.Tarn, Hellenistic Civilization, London, 1927, P.294.

米思拉：古波斯沃教的一位司命神，后与希腊的太阳神混合为一。——译注

体。因为吃了神的身体，便可得到神的属性与能力。如为谷神，谷便是他的身体；如为酒神，葡萄汁便是他的血；所以信徒吃了面包与饮了酒，便取得神的真实肉体与血液。因此在祀酒神〔如第沃力索斯（Dionysos）〕的仪式里饮酒不是放纵行为而是严肃的圣礼。

信仰虽有变迁，古代的仪式依然存在，而且升华为高级宗教的圣礼。以后就出现了罗马哲学家或新教改革者的批判精神。西塞罗说：

当我们称谷为谷神，称酒为酒神的时候，我们只是使用一种譬喻手法，我们想象到会有什么愚蠢得竟然相信他所吃的东西是神吗？

这种批评精神的谬误在于它以为人们的宗教信仰与其仪节只靠理智便可以成立，而不知人们的本能是百万年来信奉巫术和崇拜精灵的祖先的遗传。罗马教会在实践中，从来没有犯过这个错误，虽然在理论方面，它却把自己的哲学——中世纪后半期与十九世纪的——建立在阿奎那的唯理论的基础之上。

除公元第一世纪的正式的宗教与哲学之外，暗地里还普遍流行着这些更原始的异教仪节与信仰，而且其中还掺和着在这些信仰中和《旧约》所载的希伯来人的某些祭仪中都可以找到的那种牺牲观念。要想了解基督教发展初期一般人的心理情况，不应忽略这种原始的与东方的观念的暗流。

弗雷泽对于基督教里所混杂的东方因素，有如下的叙述：

被误认为是神灵附体的失神的疯癫，肢体的残毁重生的理论与流血赎罪，都起源于野蛮时代，自然能够吸引野性本能尚强的民族。……把粗暴的野蛮性和精神希冀奇妙地结合起来的崇奉大母（即地神）的宗教，只是许许多多类似的东方信仰的一种。这些信仰后来在异教盛行的时代，传播于罗马帝国，并把异教的生活理想贯注在欧洲民族心中渐渐摧毁了整个古代文明的大厦。希腊与罗马社会建立在个人服从集体、公民服从政府的概念上；国家的安全是个人行为的最高目的，远在个人安全之上，无论在现世或来世都是这样。……这一切都因为东方宗教的传播发生改变，因为这些宗教倡导灵魂与神交通与永远得救是生活的唯一目的，在这种目的的相形之下，国家的繁荣，甚至国家的存在，就变得无关紧要了……这种见解深入人心历时一千多年。直到中世纪末，罗马的法律、亚里斯多德的哲学与古代文艺复兴起来，欧洲才恢复其固有的生活与行为的理想，对于世界才有了更健全更合人性的见解。文明进展的长期停顿才告终止。东方侵略的潮流终被阻止。

持相反见解的人，也许可以满有理由指出这节论证欠圆满。如果神秘主义者的基本假设是正确的，则人的灵魂与神的交通实较政府与民族更为重要。不管人们在这两种相反的生活理想之间作怎样的选择，象弗雷泽这样一位对这门知识有很大贡献的专家的意见一定是值得注意与尊重的。

现代历史研究与人类学研究对基督教的起源与意义问题所产生的影响是一个更深刻而更重要的问题。这个问题至今仍在讨论之中。在这一讨论里，因袭的与先人为主的成见往往这样或那样地影响理性的运用。显然传统的基督教义有许多地方与以前或同时代的宗教的类似信仰相似，而且基督教的仪式也有许多地方与异教的祭仪相当。有人以为这些相似之点，说明基督教也

The Golden Bough, 3rd ed. Part V; Spirits of the Corn and the Wild, vol. , p.167 及以后几页。较简单的叙述有：Primitive sacramentalism, by H.J.D.Astley, Modern Churchman, vol.XVL, 1926, P.294。上引书 356 及其以后各页。

应列入第一世纪祭仪宗教之内。又有人指出，近来的人类学的推论或许言过其实。祭仪宗教与早期更原始的祭礼间的关系现在肯定已更加明了，但是祭仪宗教的存在与性质，早为史学家与神学家所熟知。形式的相似并不一定表示来源与意义是相同的。我们对于基督教，无论采取正统的见解与否，都必须承认现代人类学一方面帮助我们更好地了解心理学与基本宗教（对于不可见的神力的直接的领悟）的联系，另一方面也帮助我们更好地了解原始信仰与比较进步的神学的联系。

第十章 物理学的新时代

新物理学——阴极射线与电子——阳极射线或原子射线——放射性——
射线与原子序数——量子论——原子结构——玻尔学说——量子力学——
相对论——相对论与万有引力——物理学近况——核型原子——化学

新物理学

十九世纪最后十年以前，物理科学一直循着第六章所叙述的发展路线前进。当时以为物理学的主要框架已经一劳永逸地构成了。以后需要做的一点点工作就只是把物理常数的测量弄得再准确一些（小数点后面的数字再推进一位），并把看起来往往很快就能解决的光以太结构的研究工作再推进一步。二十世纪的前三十年，这一牛顿的体系渗入新的物理学学说中。在解释实验的结果时，起初这一体系唯一无二的学说，后来使和其他学说并用。慢慢地才发现还需要一些全新的概念。

新物理学可以说是从 1895 年慕尼黑伦琴 (Wilhelm Konrad Röntgen, 1845—1923 年) 教授发现 射线时开始的。在这以前，已经有很多人对气体中的放电进行实验，特别是法拉第、希托夫、盖斯勒 (Geissler)、戈尔茨坦 (Goldstein)、克鲁克斯等人 and 后来的 J. J. 汤姆生 (1856—1940 年)，即剑桥大学三一学院的主任教授约瑟夫·汤姆生爵士。但是只有持具远见的人才觉得这些实验重要，而最先引起物理学家注意这些实验的，便是伦琴的工作。

伟大发现之出于偶然，常较一般人所想象的为少。不过伦琴找到 射线的踪迹却是偶然的，这件事的确迟早要发生，但仍然是偶然的。伦琴发现紧密封存的底片虽丝毫不暴露在光线下，如果放在高度真空的放电管附近，仍然会变灰黑而至毁坏。这说明放电管内发出某种能穿透底片封套的光线。

伦琴发现，一个涂有磷光质，如铂氰酸钾的幕屏放在这种放电管附近时，即发亮光；金属的厚片放在管与磷光屏中间时，即投射阴影，而轻的物质，如铝片或木片，平时不透光，在这种射线内投射的阴影却几乎看不见。所吸收的射线的数量似乎大致和吸收体的厚度与密度成正比。真空管内的气体愈少，则射线的贯穿性愈高。具有相当“硬度”的射线，可使肌肉内的骨骼在磷光片或照片上投下阴影。因此，在有了适当的技术之后，这一事实对于外科医术，就具有无上的价值。

从纯粹科学的观点来看，继 射线之后，J. J. 汤姆生等人又有一个更重要的发现：当这些射线通过气体时，它们就使气体变成导体。在这个研究范围内，液体电解质的离子说已经指明液体中的导电现象有类似的机制。液体电解质的离子说是由法拉第创立的，后来主要由科尔劳施、范特-霍夫和阿累利乌斯加以发展。现在这个气体的离子说证明是更加成功。

在 射线通过气体以后，再加以切断，气体的导电性仍然可以维持一会儿，然后就渐渐消失了。汤姆生与卢瑟福又发现：当由于 射线射入而变成导体的气体，通过玻璃帘或两个电性相反的带电板之间时，其导电性就消失

一般叙述可参看作者所著：The Recent Development of Physical Science 一书前后数版（1904—1924）。

剑桥大学哲学学会，见 University Reporter, 1896 年 2 月 4 日。

见第六章，247—251 页。

了。这说明气体之所以能导电是由于含有荷电的质点，这些荷电的质点一与玻璃绵或带电板之一相接触，就放出电荷。卢瑟福又发现：在导电的气体中，电流的强弱起初和电动势成正比；但如果电动势继续增高，则电流的增加渐渐变慢，最后达到一个最大的饱和数值。从这些实验可以明白，虽然离子是液体电解质中平常而永久的构造的一部分，但在气体中，只有射线或其他电离剂施作用时才会产生离子。如果听其自然，离子就会渐渐重新结合而至消失。玻璃绵的表面很大，可以吸收离子或帮助离子重新结合。如果外加的电动势相当高，便可以使离子一产生出来就马上跑到电极上去，因而电动势再增高，电流也不能再加大。

伦琴的发现还开创了另一研究领域——放射现象的领域。射线既然能对磷光质发生显著的效应，人们自然要问：这种磷光质或他种天然物体，是否也可以产生类似射线那样的射线呢？在这一研究中首先获得成功的是亨利·柏克勒耳 (Henri Becquerel)。他在 1896 年 2 月发现，钾铀的硫酸复盐发出的射线，可以穿透黑纸或其他不透光的物质，对相底版发生影响，后来他发现铀本身与其所有化合物都有同样的作用。

次年，1897 年，是以超原子微粒（即远比任何元素的原子更轻的质点）伟大发现著称的一年。物理学的新时代从此开始了。

阴极射线与电子

当一只装有铂电极的玻璃管，经抽气机逐渐抽空时，管内的放电在性质上就经历多次变化，最后就在玻璃管壁上或管内其他固体上产生磷光效应。然后，这些物体就成为射线的来源。1869 年，希托夫证明放在阴极与玻璃壁间的障碍物，可以在玻璃壁上投射阴影。1876 年，戈尔茨坦证实希托夫的结果，而创造“阴极射线”一词，他以为这种射线是和普通光线同一性质的以太波。另一方面，伐利 (Varley) 和克鲁克斯提出证据——例如，这些射线在磁场中发生偏转——说明它们是由阴极射出的荷电质点，因撞击而产生磷光。1890 年，舒斯特 (Schuster) 观察了它们在磁场中的偏转度，测量了这些假想质点的电荷与其质量的比率，而估计这一比率为液体中氢离子的比值的 500 倍左右。他假定这些质点的大小与原子一样，推得气体离子的电荷远较液体离子为大。1892 年赫兹发现阴极射线能贯穿薄的金片或铝片。这一发现，似乎与组成射线的质点为普通原子流或分子流的想法颇难调和。1895 年，贝兰证明：这些质点偏转到绝缘的导体上时，就把它们所有的负电荷给与导体。在 1897 年，质点的速度及其电荷 e 与质量 m 的比值，为几个物理学家测定之后，它们的性质的问题就得到了解决。一月间，维歇特 (Wiechert) 证明几种射线的速度约为光速的十分之

一；而其 e/m 则等于电解液中氢离子的比值的 2000 至 4000 倍。他按电

J.J.Thomson, *Conduction of Electricity through Gases*, (Cambridge, 1903 and 1906). J.S.E.Townsend, *Electricity in Gases*, Oxford, 1915.

一个运动的带电质点相当于一股电流，因而可为磁铁所偏转（见 218 页），如果加上强度为 H 的磁场，则质点所受的机械力为 Hev 。这个力的作用方向与磁场和质点运动的方向在每一瞬间都成直角。这正是产生圆运动所需要的条件（见 152 页），因而这 Hev 即表向心力 mv^2/r ，故 $Sm = l^2/2r = l^2He/2vm$ 。在实验中，质点只走圆的一段，其离开直线行径的偏转为 $Sm = l^2/2r = l^2He/2vm$ 。

要知这些研究的历史，可看 Townsend 所著的书 453 及以后数页。

容器的振荡周期测量速度，而按磁场中的偏转测量 e/m 。七月间考夫曼 (Kaufmann) 发表他的实验报告：他从电极间的电位差与磁场中的偏转，求得质点的能量。同时 J.J. 汤姆生将这些射线导入绝缘的圆柱，测量其电荷，并观测其给予温差电偶的热量，而求得其动能。最后他于十月间发现在高度真空下，阴极射线不但能为磁场所偏转，也能为电场所偏转，他因而测量了这两种偏转度。

图 11 表明汤姆生用来进行上述有历史意义的实验的仪器。一支高度抽空的玻璃管装着两个金属电极：阴极 C 和开有小缝的阳极 A。从 C 发出的阴极射线的一部分，穿过小缝后，再为第二个小缝 B 所削细。这样得到的小束射线，经过绝缘片 D 与 E 之间，射在玻璃管他端的荧光幕或照相底片上。如将绝缘片连于高电压电他的两极，则其间产生电场。整个仪器放在一强力的电磁体两极中间，使得射线也受到磁场的作用。

假定阴极射线是荷有负电的质点的急流，由简单计算可以看出，射线的电场偏转度，亦如其磁场偏转度，是依质点的速度 v 及其电荷与质量之比 e/m 而改变的。所以通过测量电场与磁场的偏转度，便可求得 v 与 e/m 的数值。

汤姆生求得质点的速度在光速的十分之一左右，而略有变化，但其 e/m 则不管气体的压力与性质及电极的性质如何，均无改变。在液体电解质中，以氢离子的 e/m 为最大，约为 10,000 或 10^4 。汤姆生求得气体离子的 e/m 为 7.7×10^6 ，换言之，即为液体中氢离子的 e/m 的 770 倍，而考夫曼在 1897 年 12 月所求得的更精密的数值为 1.77×10^7 。这些结果也许表明，在气体内的阴极射线的质点中，不是象舒斯特所预料的那样，电荷比在氢原子中大得多，就是质量小得多。汤姆生暂时假定这些质点比原子小，他以牛顿所常用的微粒那个名词去称呼它们，并且说它们是我们寻求多年的各种元素的共同成分。但是当时还没有明确的证据可以证明这些微粒所负的电荷，不比电解质中单价离子所负的更大，因而也无法计算其质量。所以电荷的疑案就成了急待研究的下一个问题了。

1898 和 1899 年，汤姆生测量了 射线在气体中所造成的离子的电荷。他利用威尔逊 (C.T.R. Wilson) 在 1897 年所发现的方法，即离子和尘埃一样，可以成为潮湿空气中蒸汽凝成雾滴的核心。从这些雾滴在空气阻力下降落的速度，可以计算出雾滴的大小。从凝结的水的体积，可以求得雾滴的数目，再从已知电动势所产生的电流，可以求得电荷的总量。不久以后，汤森 (Townsend) 测量了离子渗入气体的扩散速度，而由此计算出离子的电荷。到了 1899 年，汤姆生用云室法与磁场偏转法，测量了相同一种质点 (以紫外光射在锌片上所产生的质点) 的电荷 e 和 e/m 。所有测量结果都证明：在实验误差限度以内，气体质点的电荷与液体单价离子的电荷相符合。事实上，在米利根 (Millikan) 新近的实验结果中，这两个数字相差不及四千分之一。

由此可见，并非微粒的电荷比液体中氢离子的电荷更大，而是其质量更

Phil. Mag. vol. XLIV, 1897, P. 293.

设一强度为 f 的均强电场，垂直地施于质量为 m ，电荷为 e 的质点的运动方向上，则质点所得的加速度 a 为 fe/m ，而在电场方向的位移为 s 。在时间 t 内该质点以其原有的速度 v 进行的距离 $l = vt$ 。因此 $t^2 = l^2/v^2$ ，而在与垂直于原来运动方向上的位移为 $S_e = fe l^2 / 2mv^2$

见第六章，217 页。

小。这些微粒是原子的一部分，无论元素的性质如何，均为其原子共有的成分。从汤姆生最初的实验来看，每一微粒的质量似约为氢原子的 $1/770$ 。但从上述考夫曼测量的 e/m ，已可求得较精密的结果。自此以后关于微粒的电荷与其 e/m ，接着又有新的测定，最著名的是米利根的测定。他在 1910 年改进威尔逊的云室法，又在 1911 年测量了小油滴在被电离的空气中降落的速度。当一油滴捉到一离子时，其速度便忽然改变。这样求得离子的电荷为 4.775×10^{-10} 静电单位。这说明这些微粒或电子的质量，为氢原子的 $1/1830$ 。从气体分子运动论可求得一个氢原子的质量约为 1.66×10^{-24} 克，所以一个电子的质量约为 9×10^{-28} 克。

这个伟大的发现终于解决了一个古希腊留下的问题：即不同的物质是否有共同的基础的问题。同时也阐明了“带电”的意义。汤姆生当时发表其个人的观点说：

我认为一个原子含有许多更小的个体；我把这些个体叫做微粒。这些微粒彼此相等；其质量等于低压下气体中阴离子的质量，约为 3×10^{-28} 克。在正常原子中，这些微粒的集团，构成一个中性的电的体系。个别的微粒，行为虽然好象阴性的离子，但聚集于中性的原子中时，其阴电效应便为某种东西所抵消。此种东西使微粒散布的空间，好象有与这些微粒电荷之和相等的阳电似的。气体的带电现象，我认为这是由于气体原子的分裂，致使微粒脱离某些原子。脱离出来的微粒，性质如阴性的离子，每个都荷有一恒量的阴电，为简便计，我们名之为单位电荷。剩余的原子的一部分，性质如一阳性的离子，载有一单位的正电荷，还有比阴电子更大的质量。由此观之，带电现象主要是由于原子的分裂，其中一部分质量被放出，而脱离了原来的原子。

这些新发展与前不久的一种研究，颇有关联之处。按照麦克斯韦的理论，光既然是一种电磁波系，那么光必定是由振荡的电体所发出的。由于光谱是元素所特有的而不是元素的化合物所特有的，所以这些振荡体（或称振子）必为原子或原子的一部分。依照这种推理，洛仑兹（Lorentz）在汤姆生的发现的前几年，创立了一种物质的电学说。这个学说预料，光谱的出现当受磁场的影响，而这一预料已为塞曼（Zeeman）所证实。塞曼在 1896 年发现光源放在强磁场之内时，其所发钠光谱的谱线即行变宽。他后来又以更强的磁场将单一谱线分成了两条或多条。根据测量这些线条之间的距离所得的资料，按照洛仑兹的学说，可以算出振荡质点的电荷与其质量之比 e/m 的新值。如是求得此值的数量级为 10^7 电磁单位 根据更精密的测量算出 此数字为 1.77×10^7 ，与根据观察阴极射线和他法所得的结果甚为符合。

洛仑兹利用斯托尼（J. Stoney）所定的名称“电子”来称呼这些振动的带电质点，而塞曼效应的发现与测量证明，它们就是汤姆生的微粒。我们可以把它们当做是孤立的阴电单位。拉摩（Larmor）以为电子既然有电能，就必定有与质量相当的惯量。这样，洛仑兹的学说就成为物质的电子学说，而且和由汤姆生发现而来的观点完全融合在一起。只不过汤姆生是用物质去解释电，而洛仑兹却是用电来解释物质。

R.A. Millikan, Trans American Electrochemical Society, vol. XXL 1912. ""P. 185. 又 Townsend, 上引书 p. 244.)P. 492

Phil. Mag. Ser. 5, vol. LX, 1899, p. 565.

见本书第六章 243 页。

应该指出，当时还有一个默认的假设并没有为后来的研究所证实。这一假设认为，原子中的微粒或电子是按照牛顿的动力学运动的，在最初的时候，人们甚至把原子比做一个小型的太阳系，电子在其中的运动有如行星之绕太阳。但在 1930 年以前，我们明白这种行星轨道的概念，并不一定符合事实，因而应该放弃。

接着人们便发现还可以用许多别的方法获得微粒或电子：例如高温下的物质及受到紫外光作用的金属，都能发出电子。这些效应由勒纳德(Lenard)、埃尔斯特(Elster)和盖特尔(Geitel)、理查森(O.W. Richardson)、拉登堡(Ladenburg)等人加以研究，此后这种热效应在无线电报与电话所用的热离子管中就取得了重要的实用意义。

阳极射线或原子射线

由上所述，阴极射线是在真空管放电时，自阴极射出的。其对应的、自阳极发出的阳射线，是戈尔茨坦在 1886 年发现的。观察阳射线的方法是在阳极对面的阴极上穿些小孔，这样在放电时，便有发光的射线经过这些孔，人可以在阴极以外去观察它。维恩(Wien)和汤姆生在 1898 年先后测量了这种“极隧射线”的磁偏转与电偏转。其 e/m 的数值表明这种阳射线是由质量与普通原子或分子相近的阳性质点所组成的。

汤姆生在 1910 年和 1911 年把阳射线的研究推进了一步。他利用一个高度抽空的大仪器，在阴极装上一个长而细的导管，这样便得到一个很细的射线束，其位置可以在仪器内的照相底片上加以记录。妥善安排磁力与电力，使二者所生的偏转互成直角。由于磁偏转与质点的速度成反比，而电偏转与其速度的平方成反比，如果射线中有速度不同的同类质点，则照片上将呈现抛物线形的曲线。但实际出现的曲线则视仪器中残存气体的性质而定。如气体为氢，则基本曲线所给与的 e/m 为 10^4 或 m/e 为 10^{-4} ，与液体电解质中氢离子的数值相等。第二条曲线所给出的值为前者的两倍，即表明有一种氢分子，其质量二倍于负有一个单位的电荷的氢原子的质量。其他元素给出多条抛物线组成的复杂体系。每个元素的 m/e 与氢原子的 m/e 之比，汤姆生称之为“电原子量”。

汤姆生考察氖元素(原子量为 20.2)时，发现两条曲线，一条表示原子量为 20，另一条表示原子量为 22。这说明，普通制备的氖气可能是两种化学性相同而原子量不同的元素的混合物。某些放射现象也说明有这种元素，并且可以给予解释，索迪(Soddy)把它们叫做“同位素”。

汤姆生的实验由阿斯顿(Aston, 1877—1945 年)加以继续和发展。他用改进的仪器，求得各元素的有规律的“质谱”。这样就证实氖有同位素。氯的原子量为什么是 35.46，也是化学家长久所不了解的，至此也证明氯是原子量为 35 与 37 的两种氯原子的混合物了。阿斯顿于他种元素也得到相似的结果。如果将氧的原子量定为 16，则其他所有已经测验过的元素的原子量，都非常接近整数，差别最大的是氢的原子量，它不是 1，而是 1.008。这些原子量所以与整数有微小差别，是由于原子核中阴阳二单位体密积在一起的缘故。这个问题还要在后面详细讨论。

这样，阿斯顿就澄清了另一老问题。纽兰兹与门得列耶夫的工作，证明各元素不同的性质与其原子量的陆续增加有某种关系，因而不可避免他说明原子量自身应当形成一个简单顺增的序列。普劳特关于各元素的原子量都是氢原子量的倍数的假说，至此证明接近真实。至于其中的稀微差异，在现代原子论中，既可予以解释，也饶有趣味。

放射性

在柏克勒耳对于铀的放射性质进行了创始的观察以后，跟着便发现铀的射线亦如 α 射线，能使空气和他种气体产生导电性。钍的化合物也经人发现有类似的性质。1900 年，居里 (Curie) 夫妇进行了有系统的研究，在各种元素与其化合物以及天然物中寻找这种效应。他们发现沥青铀矿与其他几种含铀的矿物，比铀元素本身更为活跃。他们采用化学方法，即按其放射性分离了沥青铀矿的成分。于是三种很活跃的物质，即镭、钋与锕的盐就由几位学者分离出来。其中最活跃的是镭，是居里夫妇与贝蒙特 (Bemont) 合作而发现的。沥青铀矿中镭的含量极微，许多吨的矿，经过漫长而繁重的工作，仅能分离出一克的极小分数的镭盐。

1899 年，蒙特利尔 (Montreal) 的卢瑟福教授，即以后的剑桥大学教授卢瑟福爵士，发现铀的辐射里有两部分，一部分不能贯穿比 1/50 毫米更厚的铝片，另一部分则能贯穿约半毫米的铝片，然后，强度就减少一半。前者，卢瑟福叫做 α 射线，能产生最显著的电效应；而贯穿性较大的一部分叫 β 射线，能通过不漏光的遮幕，而使照相底片变质。以后又发现第三种更富贯穿性的辐射，称为 γ 射线，在贯穿一厘米厚的铅片之后，还能照相，并使验电器放电。镭放射所有这三种射线比铀容易得多，与其一般活动性成比例，所以研究这些辐射，也以用镭最为便利。

贯穿性中等的 β 射线，容易为磁铁所偏转，而柏克勒耳还发现它们也为电场所偏转。柏克勒耳确凿地证明它们是射出的荷电质点。进一步的研究，证明 β 射线在一切方面都象阴极射线，虽然其速度约为光速的 60 至 95%，但比已经试验过的任何阴极射线的速度都大，所以 β 射线就是阴性的微粒或电子。

强度足够使 β 射线产生相当大的偏转的磁场和电场，并不足以影响很容易被吸收的 α 射线。虽然在 1900 年前后，人们已经认为 α 射线很可能是荷阳电的质点，其质量较组成阴性 β 射线的质点的质量大，但在若干时期以后，才由实验证明它也能被磁场和电场所偏转，但其方向与 β 射线偏转的方向相反而已。卢瑟福在 1906 年对于 α 射线进行实验，求得其 $e/m = 5.1 \times 10^3$ 。电解液中氢离子的 e/m 为 10^4 。因为已有证据 (见后) 表明， α 射线是氦的组成物，由此可知 质点是荷有二倍于单阶离子的电荷的氦原子 (原子量为 4)。它们的速度约为光速的 1/10。

贯穿性最强的 γ 射线，不能为磁力或电力所偏转。它们与其他两种射线不是同类的，而和 α 射线相似，由一种与光同性质的波所组成，其波长经康普顿 (A.H. Compton)、埃利斯 (C.D. Ellis) 与迈特纳 (Fraulein Meitner) 等测量，远比光波为小。它们似乎也象某些 α 射线一样，含有发射体所特有的各种单色成分。

1900年，威廉·克鲁克斯爵士发现，如果以碳酸氨使铀自其溶液中沉淀，而再溶其沉淀物于过量的试剂中，则所余留的为少量不溶的渣滓。这点渣滓克鲁克斯称为铀-，以照相法试验，异常活动，但再溶解的铀，则无照相效应。柏克勒耳也得到相似的结果：他发现活动的渣滓如果搁置一年，则丧失其活动性，而不活动的铀反恢复其固有的放射性。

1902年，卢瑟福与索迪发现钍也有相同的效应，即在为氨所沉淀时，钍的活动性，即消失其一部分。滤液蒸干，则产生放射性极强的渣滓。但经过一月，渣滓的活动性丧失，钍则恢复其原有的活动性。这种活性的渣滓，钍-，证明是另外一种化学物质，因为它只能为氨全部分开，别种试剂虽能使钍沉淀，但不能使它与钍-分离。因此当时断定这些化合物（未知的化合物）当是另外的个体，不断地由母体发出，而渐渐丧失其活性。

1899年，卢瑟福发现从钍发出的辐射变异无常，尤其易为吹过放射物质表面的空气缓流所影响。他认为这种效应是由于有一种物质放射出的缘故，这种物质的性质好象一种有暂时放射性的重气体。这就是当时所谓的“射气”。这种射气必须与上述以高速度依直线进行的辐射明显分开。射气慢慢地弥散到大气里去，好象挥发性液体的蒸气一般。它的作用象是直行辐射的独立源泉，但随时间的进展，其活动性就变得衰弱起来。镭和钋发出相似的射气，但铀和钍则否。镭射气和氦与氩相似，是一种惰性气体，现在叫做氡。

放射物质所发出的射气为量极小。1904年，拉姆赛与索迪从几分克溴化镭得到一个很小的射气泡。在一般情形下，其量之微，远不足以影响抽空器内的压力；除利用其放射性侦察它之外，也不能用其他方法去侦察它。普通所得到的，是它与大量空气的混合物，只能和空气同时从一器输入他器。

1899年，居里夫妇发现如将一棒暴露在镭射气里，则棒自身也获得放射性。同年，卢瑟福于钍也得着相同的结果，而且进行了详细的研究。如果将棒自盛有射气的器内取出，而塞入检验筒内，则此棒可使筒内的气体电离。如将暴露于钍射气而得到放射性的铂丝，用硝酸洗涤，铂丝的放射性不受损失。可是如果用硫酸或盐酸洗涤，其放射性就差不多全部丧失。将酸蒸干则得含有放射性的渣滓。这些结果，表明铂丝的放射性是由于积有某种新的放射物的缘故，这种放射物与各种化学试剂有其一定的反应。这种新的放射物当是它由之形成的那种射气分裂的产物。

卢瑟福与索迪在1902年研究了钍-放射性的衰变率，而获得重要的发现：即在每一段短时间内的变率与这段时间开始时的放射物的强度成比例。铀-也有类似的现象。其过程有如图12所示。这与化合物按每个分子分解为比较简单的物体时，在量上的减少遵循同一律。但当两个或多个分子互相反应引起化学变化时，两者的定律便不相同了（见245页）。

1903年，居里与拉波尔德（Laborde）注意到一个奇特的事实：镭的化合物不断地发热。他们从实验的结果算出每克纯镭每小时可发热约100卡。以后的结果证明一克镭与其产物平衡时，每小时发热135卡。这种热能的发出率，不论将镭盐放在高温或液体空气的低温下，都不改变，甚至在液体氢的温度下也不至减小。

卢瑟福认为热能的发射与放射性有关。丧失了射气的镭，如以电的方法测量，其放射性的恢复与其发热本领的恢复保持同一速率，而其分离出来的射气发热量的变化，也与其放射性的变化相应。放射物的电效应主要是由于

射线。而其热效应也主要决定于 α 质点的发射。在上述的每小时 135 卡中，只有 5 卡来自 α 射线，6 卡来自 β 辐射。与 α 射线的热效应显然得自射出质点的动能。

由于发现镭的化合物不断发热，人们进行了许多探索，力求解释这个好像永不枯竭的能量的泉源，人们的注意力也集中于放射问题本身。

需要解释的事实可以总结为以下几点：（1）什么时候有放射性即有化学变化出现，什么时候就有新体出现；（2）这种化学变化是单质点的分离，而不是化合；（3）放射性与放射元素（不论其是独立的或化合的）的质量成比例，因此分离的质点不是分子而是原子；（4）其所放出的能量是已知的最猛烈的化学反应的万千倍。

1903 年，卢瑟福与索迪根据他们对于射气与其遗留的放射物的实验结果，提出一个学说来解释所有已知的事实。这个学说就是：放射性是基本原子的爆炸分裂造成的。在数百万个原子中，这里和那里忽然有一个爆裂时，射出一个 α 质点，或一个 α 质点和一个 β 射线，所遗留下来的部分就成为另一不同的原子。如果射出的是一个 α 质点，这个新原素的原子量将有所减少，减少的数值是一个氢原子的原子量的四个单位。

现在把最初制订的镭族的系谱列表于下（根据最近的研究，这个系谱已经有所不同）。这个系谱从铀开始，这是一个重元素，原子量为 238，原子序数为 92，这个数字，以后还要说明，是原子外部的电子数。镭族系谱列如下表：

原子序数	原子量	半衰期	放射物
------	-----	-----	-----

	原子序数	原子量	半衰期	放射物
铀 I	92	238	4.5×10^9 年	
铀 X ₁	90	234	24.5 日	,
铀 X ₂	91	234	1.14 分	,
铀 II	92	234	10^6 年	
钍	90	230	7.6×10^4 年	
镭	88	226	1600 年	
镭射气	86	222	3.82 日	
镭 A	84	218	3.05 分	
镭 B	82	214	26.8 分	,
镭 C	83	214	19.7 分	, ,
镭 C'	84	214	10^{-6} 秒	
镭 D	82	210	25 年	,
镭 E	83	210	5 日	,
镭 F (钷)	84	210	136 日	
铅	82	206	无放射性	

铀原子放射一个 α 质点，即一个质量为 4 而阳电荷为 2 的氦原子后，所遗下的是一个铀 X₁ 原子，其原子量为 $238 - 4 = 234$ ，而原子序数为 $92 - 2 = 90$ 。铀 X₁ 所放射的仅仅是 β 与 γ 射线。 β 射线的质量很小，载有一个阴电荷，所以，由铀 X 变来的所谓铀 X₂，较铀 X₁ 少一阴电荷，换言之即多一阳电荷，因此其原子序数为 91，其原子量实际没有什么变化，仍为 234。铀 X₂ 也只放射 β 与 γ 射线，所以其子体铀 II 的原子序数为 92，而原子量仍为 234。

这样照表中所示类推。在放出 α 射线时，产物的原子量减少 4 单位，其原子序数少 2 单位。如果放出的是 β 射线，则重量几无改变，而其原子序数则增加 1 单位。

镭族的最后已知子体为铅，其原子量经理查兹 (Richards) 与赫尼格斯密特 (Honigschmit) 测定为 206，而普通铅的原子量为 207。钍族的最后产

物也证明为铅，其原子量经索迪测定为 208。阿斯顿还测定铀铅的原子量有正常的数值 207，在铀族里还有一种具有放射性的铅，以镭 D 的身分出现，其原子量为 210。这四种铅具有相同的化学性质，因而可以认为是同位素。

原子学说，虽然由道尔顿的化学工作确立起来，但是百余年来一直不能证明有单个原子存在；我们只能按成万成亿的数目对原子作统计式的处理。而今，利用放射性，我们已经能够探索单个质点的效应了。克鲁克斯将硫化锌的荧光幕暴露在一个溴化镭小点之下，用放大镜观察到幕上的闪烁。这是最初的办法，今天已经有其他的侦察方法了。

如果我们用比激发火花所必需的强度稍弱的电场对几毫米水银柱压力下的气体施加作用，这种气体就进入非常灵敏的状态。一个质点，因为速度极大会因为与气体分子碰撞，而产生成千上万的离子。这些离子，受到强电场的作用，也作急速的运动，通过碰撞而更产生其他离子。这样，一个质点的总效应就成倍地增加可以使灵敏静电计的指针在标尺上有 20 毫米或更大的偏转。卢瑟福用一个极薄的放射物质膜，使指针的转动减少到每分钟三、四次，而数计所发射的质点的数目，由此可以估算出镭的寿命。计算表明，镭的质量在 1600 年中减少一半。

另一方法是威尔逊发明的。当质点射过为水蒸气所饱和的空气时，质点所产生的离子就形成水蒸气凝结的核心。因此空气中呈现雾的路径，代表每个质点的行程，而这些雾的路径，是可用照相方法去记录的。

卢瑟福关于放射性的研究，最后指明了物质嬗变的可能性——中世纪点金术士的梦想。不过，一直要到后来，才发现了加速这些变化的人为方法，特别是控制这些变化的人为方法。这些变化的发生完全决定于原子内部的偶然情况，而变化发生的频率也符合熟悉的概率的定律。但在 1919 年，卢瑟福发现用 α 射线进行撞击时可以引起几种元素（如氮）的原子的变化。氮的原子量为 14，384 其原子为三个氦核（共重 12）与两个氢核所组成。在受到质点撞击时，氦核就被击破，氮原子组成成分中的氢核就以高速射出。在这里我们第一次看到用人力随意分裂原子（单向嬗变）的可能性，此后，这种方法又有很大的扩大。可是破坏易而建设难：这不等于说我们能够用轻而简单的原子造出重而复杂的原子。当时，有证据表明，复杂的放射性原子放出能量来，因此，人们起初以为物质的演化历程是单向的：即由复杂原子分裂为简单原子与辐射能。但是以后的研究证明，虽然重原子分裂时发出能量，而轻原子形成时也能发出能量（见后 391，422 页）。

X 射线与原子序数

伦琴所发现的 X 射线，既不象普通光那样折射，也找不到什么有规律的反射与偏振的痕迹；但是，另一方向，x 射线也不象阴极射线或 α 质点那样可以为磁场或电场所偏转。因此 X 射线的性质一度成为大家讨论的问题。到 1912 年，劳厄（Laue）方提出一项意见，认为如果 X 射线是波长很短的以太波，则晶体中各原子有规则的排列就可以使 X 射线发生衍射，正像刻有许多平行线痕的平面可以当作光栅使用来使普通光衍射一样。劳厄求出其繁复的数学理论，弗里德里希（Friedrich）与基平在实验中成功地证实了这

Sir William and W.L. Bragg, X - Rays and Crystal Structure, London, 1915, 5th ed. 1925. G.W. C. Kaye, X-Rays, London, 1914, 4th ed. 1923.

种理论。于是人们才知道 X 射线是比光波更短的电磁波，而这一发现，也就开辟了一个研究晶体结构的新天地。最先探勘这个新天地的主要是威廉·布拉格 (William Bragg) 和他的儿子劳伦斯 (Lawrence)·布拉格。他们利用岩盐 (简单的正六面形晶体)，用这种衍射现象证明，与岩盐天然晶面平行的原子面间的距离为 2.81×10^{-8} 厘米，而用阴极射线撞击钨靶时所发生的特有的 X 射线的波长为 0.570×10^{-8} 厘米，仅合钠光波长的万分之一。这样，人们所知道的辐射的波长就包括了很大范围，从无线电通信的长波，一直到 X 射线和 γ 射线的短波，中间大约有 60 个倍频程 (每一个倍频程是频率增加一倍的频率范围)。其中可见光大约仅占一个倍频程。

威廉·布拉格爵士、莫斯利、C.G. 达尔文和凯 (Kaye) 的工作证明，把晶体当作光栅所产生的 X 射线的衍射光谱，是由一定限度内一切波长的漫射辐射混合组成的，并且包括作为“谱线”叠于光谱之上的某些更强烈的一定频率的辐射。这些具有特征的线辐射是一种同利用可见光所得的线光谱相似的衍射现象。随着这一现象的发现，牛津大学一位青年学者莫斯利在 1913 和 1914 年又有一个非常重要的发现。他不久就死于欧战。这是物理学界的一个莫大的损失。

莫斯利将阴极射线所撞击的靶，从一种金属换成另一种金属，并且以亚铁氰化钾晶体作为光栅，对每一金属靶所生的 X 射线的光谱加以考察，发现光谱中具有特征的谱线的振荡频率，由于改换金属，而发生简单的改变。如果以 n 代表 X 射线光谱中最强谱线每秒钟振荡次数，则按照周期表从一个元素到下一个元素， n 的平方根增加的数目都是相等的。如果将 $n^{\frac{1}{2}}$ 乘一常数，使这种有规则的增加成为单位，我们就得到一系列的原子序数。在这个序列中，所有已经测量过的固体元素的原子序数，都排列得很有规律，从铝的 13 到金的 79。如果再把其他已知的元素填入，我们就发现，从氢的 1 到铀的 92，中间只有两三个空位代表尚未发现的元素。这几个元素后来也发现了 (见 426 页)。

60 个倍频程，即 60 翻或 260 个频率倍数的范围。——译注

Phil.Mag. 1913, 1914,Ser.6,vol. XX, pp.210, 1024, and vol. XX, p.703。

表内所列原子量采用 1969 年国际原子量，以碳 12 等于 12 为基准，表中黑体字表示后来发现的元素或后来查明的原子量。 译注

元素表

原子序数	元素	符号	原子量	原子序数	元素	符号	原子量
1	氢	H	1.0080	14	硅	Si	28.086
2	氦	He	4.00260	15	磷	P	30.9738
3	锂	Li	6.941	16	硫	S	32.06
4	铍	Be	9.01218	17	氯	Cl	35.453
5	硼	B	10.81	18	氩	A	39.948
6	碳	C	12.011	19	钾	K	39.102
7	氮	N	14.00067	20	钙	Ca	40.08
8	氧	O	15.994	21	钪	Sc	44.9559
9	氟	F	18.9984	22	钛	Ti	47.90
10	氖	Ne	20.179	23	钒	V	50.9414
11	钠	Na	22.9898	24	铬	Cr	51.996
12	镁	Mg	24.305	25	锰	Mn	54.9380
13	铝	Al	26.9815	26	铁	Fe	55.847

续表

原子序数	元素	符号	原子量	原子序数	元素	符号	原子量
27	钴	Co	58.9332	60	钕	Nd	144.24
28	镍	Ni	58.71	61	钷	Pm	145
29	铜	Cu	63.546	62	钐	Sm	150.4
30	锌	Zn	65.37	63	铕	Eu	151.96
31	镓	Gs	69.72	64	钆	Gd	157.25
32	锗	Ge	72.59	65	铽	Tb	158.9254
33	砷	As	74.9216	66	镝	Dy	162.50
34	硒	Se	78.96	67	钬	Ho	164.9303
35	溴	Br	79.904	68	铒	Er	167.26
36	氪	Kr	83.80	69	铥	Tm	168.9342
37	铷	Rb	85.4678	70	镱	Yb	173.04
38	锶	Sr	87.62	71	镱	Lu	174.97
39	钇	Y	88.9059	72	铪	Hf	178.49
40	锆	Zr	91.22	73	钽	Ta	180.9479
41	铌	Nb	92.9064	74	钨	W	183.85
42	钼	Mo	95.94	75	铼	Re	186.2
43	锝	Tc	98.9062	76	锇	Os	190.2
44	钌	Ru	101.07	77	铱	Ir	192.22
45	铑	Rh	102.9055	78	铂	Pt	195.09
46	钯	Pd	106.4	79	金	Au	196.9665
47	银	Ag	107.868	80	汞	Hg	200.59
48	镉	Cd	112.40	81	铊	Tl	204.37
49	铟	In	114.82	82	铅	Pb	207.2
50	锡	Sn	118.69	83	铋	Bi	208.9806
51	锑	Sb	121.75	84	钋	Po	209
52	碲	Te	127.60	85	砹	At	210
53	碘	I	126.9045	86	氡	Rn	222
54	氙	Xe	131.30	87	钫	Fr	223
55	铯	Cs	132.9055	88	镭	Ra	226.0254
56	钡	Ba	137.34	89	锕	Ac	227
57	镧	La	138.9055	90	钍	Th	232.0381
58	铈	Ce	140.12	91	镤	Pa	231.0359
59	镨	Pr	140.9077	92	铀	U	238.029

量子论

1923年康普顿发现，当X射线为物质所散射时，波的频率变小。他用辐射的光子单元理论，来解释这个效应。这种光子单元可以和物质或电荷的电子与质子相比。电子在原子轨道中运动自然不免发放辐射能量。按照牛顿动

力学，这个效应将使其轨道缩小，从而使其转动周期变短，使其发射的频率增高。在这个过程的所有阶段中，都会有原子存在，所以在一切光谱里都应该可以发现一切频率的辐射，而不是我们在许多元素的线状光谱中所看到的少数确定不变的频率的辐射。

就是在白炽固体的连续光谱内，能量也不是均匀分布的，而是在某些频率之间为最强。这个最强辐射的区域随温度增高，在光谱里由红端至紫端移动。这些事实很难用原子或电子辐射的旧理论去解释。事实上，数学的计算表明频率高的振子应该比频率低的振子发出更多的能量；因此，可见光比不可见的红外线应该发出较多的热，而紫外线又应该比可见光所发的更多。但是这一切都是与众所周知的事实相反。

为了解决这些困难，1901年普朗克提出了“量子论”，主张辐射不是连续的，而象物质一样，只能按个别的单元体或原子来处理。这些单元的吸收与发射，服从在物理学与物理化学的其他分支中早已广泛地使用的概率原理。辐射出来的能量，其单元大小并不是一样的，而与其振荡频率成正比。所以只有当拥有大量可用的能量的时候，振子才能拥有和发射出高频率的紫外线；因为振子拥有许多这样的单元的机会很小，所以其发射的机会和发射的总能量也都很小。反之，频率低的辐射是以小单元射出的，振子拥有许多小单元的机会较多，因而其发射的机会也可以较多；但由于其单元甚小，其总能量也甚小。只有在某段适中的频率范围内，单元的大小适中，机会也好，于是发出的单元数目可以相当大、而其总能量便得达到其最高值。

为了解释这些事实，必须假设普朗克的能量子与频率成正比，或者说与振荡周期成反比。因此我们可以写成

$$\epsilon = h\nu = \frac{h}{T},$$

式中 ν 表频率， T 表振荡周期，而 h 是一常数。因此，普朗克常数 h 等于能量与时间的乘积 ϵT ，这个量被称为作用量。这个守恒的作用单位，当然不随频率而改变，事实上是不随任何变化的东西而改变。这是一个真正的自然单位，和从电子中求得的物质和电的自然单位类似。

我们可以把一种专为解释某一系列事实而创立的理论加以调整，使其与那些事实相适合，但不论怎样适合，以及其形式怎样新颖，这个理论可以普遍适用的证据也许并不充分。可是，如果有另一套完全不同的现象，也可以用同一的理论去解释，尤其是在这些现象没有别的合理的解释的时候，这种证据的价值必大为增高，而我们也开始相信，我们可以依赖这个理论去解释更多的关系。

普朗克的理论本来是为了解释辐射的事实而创立的。因为与传统的动力学有抵触，所以一般学者虽非怀疑，也以审慎的态度对待，亦属当然。但当其为爱因斯坦、奈恩斯特与林德曼 (Linde - mann)，特别是德拜 (Debye) 用以解释比热现象之后，它广泛应用的可能性便大为增加了。

普通的分子运动论以为，固体中单原子分子的原子热，应为气体常数的3倍，或约为每度6卡，而且此数不受温度的影响。金属都含有单原子分子，

AnnalenderPhysik, vol. IV, 1901.p.553.

SolvayCongress, Brusselse,1912.pp. 254, 407.

AnnalenderPhysik, Vol. XXX, 1912, p, 789.

其原子热在普通温度下大致不变，等于 6。但在低温下，则此数值便减小了。

解释这个现象首先获得成功的是爱因斯坦。他指出，如果能量只能以一定的单元或量子而被吸收，则吸收的速率必随单元的大小而改变，因而必随振荡的频率与温度而改变。德拜从量子论推出一个与实验符合的公式，特别显著的例子是碳元素，其原子热即使在普通温度下，也随温度而改变，比较金属的数值小得多。

依照量子论，光在发射与吸收的刹那间，既不是弗雷内尔的稳定以太波，也不是麦克斯韦与赫兹的连续电磁波。它好象是一团一团的微量的能量所组成的流；这些细团的能量几乎可以看做是光的原子，虽与牛顿的微粒不同类，而却与之相当。这个现象与干涉现象的协调是留待将来解决的难题。如果将一线光分为两道，而使其经过长短不同的路程，则这二路程虽相差至数千个波长，但在这两道光的最后会合处，也可见干涉的条纹。又在大望远镜里看见的星像的衍射花样，表明每个原子所发的光都充满着整个物镜。以前，人们认为这些事实足以证明光是以稳定的“波列”前进的，均匀地分布于几千个波长的距离之内，而且在横向上扩展，足以充满望远镜全部空间。

可是，如果使这颗星的光线落在钾的薄膜上，则被星光所发出的电子，每个都有与该星光相当的量子的能量。这里，光的行动不象是波，而象是能量集中的枪弹。距离增大，则一定面积上所受到的枪弹必减少，但是枪弹冲击的动量还是相等。另外一个现象即 X 射线使气体发生电离，也是光的旧理论难于解释的。如果波阵面是均匀的，它对于其行程上所遇到的分子应发生相同的效应，但实际上每百万个分子当中或者只有一个被电离。有许多理由说明。

这大概不是由于不稳固的分子太少。J. J. 汤姆生等人说这现象是由于 X 射线与光并不按宽的波阵面，而只沿局部的以太丝（法拉第的力管）前进的缘故。

接着，量子论又表示光在另一方面也不是连续的。为了解释全部事实和调和互相矛盾的观点，汤姆生设想“光是由质点组成的，每一质点为一闭合的电力圈，并伴有一列的波”。德布罗意引用新近的概念建立一个理论，将波的性质和微粒的性质联系起来，而成立一种新型的“波动力学”。一个运动的质点的性能像一个波群，其速度与波长和质点的速度及其质量的关系为 $v = h/mv$ ，式内 h 为普兰克常数。波的速度为 c^2/v ，式内 C 为光的速度，而 v 为质点与波群的速度。于是我们不能不注意到这些现代的光的理论 with 牛顿想像的微粒和波的综合体很相似。

原子结构

现代的原子理论开始于 1897 年，当时发现各元素都有阴电微粒，并且查明这些微粒即是电子。这一发现，也说明原子之所以有电的性质是由于其所含电子多于或少于电子的正常数目，而其光学性质则可以解释为电子的振荡。

这里指波的“相速度”。 译注

N. Bohr, The Theory of Spectra and Atomic Constitution, Cambridge, 2nd ed. 1924. A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien 4th ed. 1924. E. N. da C. Andrade, The Structure of the Atoms, London 1923. 3rd ed. 1927. B. Russell, The A. B. C. of Atoms, London, 1923.

勒纳德早期的观察大明，阴极射线能通过真空管内铝窗而至管外。根据这种观察，他在 1903 年以吸收的实验证明高速的阴极射线能通过数千个原子。按照当时盛行的半唯物主义者们的看法，原子的大部分体积是空无所有的空间，而刚性物质大约仅为其全 390 部的 10^{-9} （即十万万分之一）。勒纳德设想“刚性物质”是散处于原子内部空间里的若干阳电和阴电的合成体。

这个关于必需的阳电荷的说法不能使人满意，于是 J.J. 汤姆生又进行了更有系统的尝试来描绘原子结构。

汤姆生以为原子含有一个均匀的阳电球，若干阴性电子在这个球体内运行。他按照迈耶尔 (Alfred Mayer) 关于浮置磁体平衡的研究证明，如果电子的数目不超过某一限度，则这些运行的电子所成的一个环必能稳定。如果电子的数目超过这一限度，则将列成两环，如此类推以至多环。这样，电子的增多就造成了结构上呈周期的相似性，而门得列耶夫周期表中物理性质和化学性质的重复再现，或许也可得着解释了。

但是 1911 年盖格 (Geiger) 和马斯登 (Marsden) 关于 射线撞击物质时形成散射的实验，使卢瑟福对于原子的性质采取另外一种看法。质点的雾迹通常多是直线的，有时也有突然改变其方向的。阴电子加于 质点上的力势必很小，不能造成这种散射。但如果假定原子为空松结构的复杂体，含有一个凝聚为小核的阳电荷，而阴电子在原子内的空处围绕着核转动，则上述的效应便可得着解释。由于正常原子是中性的，所以，核里的阳电荷，必与所有电子的电荷之和量相等而性相反。而且由于电子的质量远远小于原子的质量，所以原子的质量几乎全部凝聚于原子核。

这一理论形成时，人们把原子看做是一个太阳系，把质重的核比拟为处于中心的太阳，而质轻的电子则类似绕核运转的行星。长冈 (Nagaoka) 于 1904 年研究了类似系统的稳定性，但首先用实验证据去支持这个看法的是卢瑟福。勒纳德关于阴极射线的吸收的研究与后来其他的实验表明，如果将原子比拟为以电子为行星的小太阳系，则原子内的空间，照比例说也必定象太阳系里的空间那么大。在这个行星式的电子理论中，牛顿物理学给予我们的先人之见，或许引导我们走得太远了，以至超过事实所能保证的境界，但是，就阴极射线与放射质点的贯穿性而论，原子确是一个很空松的结构。

一个运动的电荷带着一个电磁力场。由于它有能量，因而也必有惯性。所以一个电荷具有一个类似质量的东西，也许就具有我们所谓物质的基本成分的本质。如果以电荷为中心，画一小球以代表电子，则与这球外的力场相联系的有电磁质量。J.J. 汤姆生据数学分析表明，除非电荷以极大速度运行，其电性质量为 $2e^2/3r$ ，式内 e 为电荷， r 为其半径。因此，如果假定所有的电磁能量都在电子之外，则根据已知的质量与电荷值，便可计算出其半径。这样算得电子的半径为 10^{-13} 厘米。如果假定半径 r 很小，换言之，如果将电荷浓聚，则其有效质量也增大（参看下面所说的新的研究）。与电子相当的阳性单元，即氢的原子核，叫做“质子”。它的质量，基本上等于原子的质量，即阴电子的质量的 1800 倍。因此，如果假定所有质量都是有电性的，而原子核是围绕着一个点状阳电荷的球，则原子核的半径就仅是电子半径的 $1/1800$ ，或约为 5×10^{-17} 厘米。但须在此申明，这些估计是根据一项关于电荷分布的武断假定。现在，这些估计的价值已经很可疑了。

这些概念在当时虽有帮助，而现在已经经过修改。但是我们仍须假定氢原子是由一个单位的阳电核和其外围的一个阴电子所组成的。氢的原子核为

四个质子及两个与之紧联的电子所组成。因为氢的原子量为 1.008，而氦的原子量，如阿斯顿所测量的，为 4.002，所以这个复核的形成，意味着一份质量的消失： $4 \times 1.008 - 4.002 = 0.03$ 及与之相当的能量的发射。重原子的放射性分裂，放出能量。因此我们认为一切原子都储有能量，当其分裂之时，例如铀的原子分裂时，都能释放能量。但是这里的推论又表明，氦还原为氢要吸收能量——要使氦核分裂就必须做功。看来，轻的原子核形成时放出能量，而重的原子核分裂时也放出能量。这就可以解释：为什么重的原子核有放射性，为什么自然界没有比铀更重的原子存在：它太不稳固了。由于射线是飞行的氦原子群，所以，氦原子大概是组成其他较重原子的一部分材料。氦原子本身虽是四个质子或氦核所组成，但其结合很牢固，即使在质点的冒险生涯中，也不能使它分离。所以其他原子大概是若干阳电单位（大概是氦核，有时还带有氢质子）与若干数目较少的阴电子结成的复核所组成的。因为核内的电子的数目较少，核上呈现纯净阳电荷的数目 n ，即等于莫斯利的原子序数。其余的电子存在于核心的外围。因为在中性原子内，这些外围电子所荷的阴电的总和必须与核内的纯净的阳电中和，所以， n 也代表原子外围电子的总数。

因为原子可被电离，而且依其化学价，可获得一、二、三甚至四个单位的电荷，所以可以在一个原子中加入或减去少数电子，而使其性质无根本的改变。我们可以假设这些电子位于原子的外围，别的电子在其内圈，更有些电子则成为原子核的必要的部分，而且一般是其稳固的部分。

以上说过，多数放射变化发射 α 质点。而 α 质点又是质量为 4 的氦原子，带有两单位的阳电荷。所以这种变化是原子核的崩溃变化。变化后的剩余物质质量较原有的少四单位，而且变化时放出两个阴性电子，以恢复其中性状态：结果便成为一个新原子与新元素了。

玻尔学说

哥本哈根的玻尔 (N.Bohr) 于 1913 年在曼彻斯特的卢瑟福实验室工作时，首先将普兰克的量子论应用于原子结构的问题。他的工作是以当时物理学家所公认的行星式电子论为根据的。

当时已经知道：如果我们所考虑的不是光谱中通常的谱线波长，而是其在一厘米中的波数，则氢的复杂光谱呈现若干规律。当时发现，所谓“振荡数”可以用两个项的差数表示。第一项以发现者得名，叫做里德堡常数，即每厘米 109,678 个波。

这些关系完全是从经验得来的，最初是靠揣测，最后才求得一项符合于实验结果的算术规则。但是玻尔却根据量子论提出了解释。他指出：如果“作用量”只能以单位的整倍数被吸收，则在电子可以运行的全部轨道中，只有某些个是可能的。在最小的轨道上，作用量为一个单位或 $h\nu$ ，在第二轨道上，

E.Rutherford, Proc. Roy. Soc. A, CXX, 1929, p.373.

其他的项可以 (2×2) ， (3×3) ， (4×4) 即 4, 9, 16 等数除里德堡常数 R 求得。如果从 R 减去这些项数，则所得的振荡数为：等。而这些数字与氢的紫外谱线的振荡数相等。如果再开始从 109,678 的 $1/4$ 或 27,420 减去其他更高的项，我们就求得另一系数目。如等。这些数已经证明与氢的可见光的谱线（即所谓巴尔默系）相符。此外还有一系是从导出的，为帕申 (Paschen) 在红外光谱里发现。

作用量为 $2k$ ，如此类推。

玻尔假设氢原子的一个电子有四个可能的稳定轨道，相当于以单位数递增的作用量，如图 13 所表示的那样。图中的圆圈表示这四个稳定轨道，而其半径表示电子从一个轨道跳至另一个轨道可能的六种跃迁。这里，玻尔抛弃了牛顿的动力学，而值得注意的是平方反比律仍可应用于假设围绕原子核运行的电子，但是这些轨道本身又表现十分新奇的关系。一个行星可以在无穷多个轨道当中的任何一个轨道上围绕太阳运动，其实际的轨道为其速度所决定。可是，玻尔假定一个电子只能在几个轨道其中的一个轨道上运动。它如果离开一个轨道必须立刻、好象不经过二轨道间的空间那样，跳到另一轨道上去。由这个假设得出的理论上的结果，与通过实验所确立的关于振荡数的经验规则相当符合。还可从这里计算出常数 R 的绝对值为每厘米 $109\ 800\ 394$ 波，与上面所说的最近测定的里德堡常数之值异常符合。在这一阶段，玻尔学说表现有其长远而成功的前途。

辐射的各种不同的类型可以归因于原子结构的各不同部分。 X 射线的光谱大都不受温度或原子的化合状态的影响。而可见光与红外及紫外光的光谱则与这两者有关。放射现象，上面说过，是原子核的爆裂造成的。现今所得的数据表明 X 射线起源于原子核外的内层电子，而可见光与红外线则来自最外层的电子；这些外层电子比较容易脱离，因而是和凝聚力与化学作用有关系的。

假设一个或多个电子同时存在于互相化合的二原子内，则可给化合作用以很好的解释。但如果围绕原子核而转动的电子理论来表示这种结合，则未免困难，因此在 1916 至 1921 年间，有人，特别是科塞尔 (Kossel)、刘易斯 (Lewis) 与兰格缪尔试图创造静止的原子模型。这种模型对于原子价与化学性质的解释是成功的，但要想阐明光谱则不得不创设牵强附会的假设了。无论如何，当时的物理学家总是偏向于玻尔的动力学的原子模型的。

无论采取哪一种原子模型，电离电位的事实，确是能级的基本观念的有力的证据。1902 年勒纳德首先证明，电子经过气体时，必具有一定最低限度的能量，才足以产生电离。这最低的能量可以用电子为了获得其速度所必须降落的电位的伏特数来量度。最近实验的结果，如弗兰克 (Franck) 与赫兹关于汞蒸气的实验 (1916—1925)，证明当电位达到某一定伏特的倍数时，电离便达到某些明确的极大值。同时气体的光谱也发生了变化。例如弗兰克与赫兹证明，具有 4.9 伏特所产生的速度的电子使低压的汞蒸气发出具有一条明线的光谱。可以设想，这条谱线相当于玻尔原子内电子从第一外层回到其正常状态的跃迁。自那时以后，正象玻尔学说所预期的，已经发现许多“临界电位”，同突然出现的若干条或若干群谱线相当。萨哈 (Saha)、罗素 (Russell)、福勒 (Fowler)、米尔恩 (Milne) 等研究了温度与压力对于光谱的影响。他们用热力学的方法应用了这些新概念。所得结果在天体物理学上有很大重要性，而且在恒星温度的测量方面揭开了新的一页。

图 13 所表示的圆形轨道，仅是氢原子的一个初浅的模型。玻尔与索末菲 (Sommerfeld) 都证明椭圆轨道也可产生同样的系线光谱。他们也研究了其他更为复杂的原子系统，但数学上的困难很大，因为互相吸引的三体的运动不能以有限的项数来表达。

关于玻尔原子的文献很多，进展也很不少。其结果与光谱的粗略结构大

体相合，很足以使人相信这个学说在正确的途径上前进。但是这个学说虽然能说明氢和电离氢的线状光谱，却不能解释中性氢的原子光谱的精细结构，以及其他重原子的复杂结构。谱线的数目与电子从一能级到另一能级的可能跃迁数，不再相符。于是一时极为成功的玻尔原子学说渐露破绽，到 1925 年就显然逐渐破产了。

量子力学

玻尔的原子模型，把电子比拟为运转的行星。这个模型远离观察到的事实，超出万无一失的范围。对于原子，我们只能从外面进行考察，观察进去的与出来的东西，如辐射或放射质点等。玻尔所描绘的是至少可以产生原子的某些性质的一种机制。但是别的机制或许也可以产生同样的作用。如果我们只见时钟的外面，我们可以想象有一套推动时钟指针的齿轮，使指针的转动与我们所看见的相同。但是别人也可想象有另一套齿轮，与我们所想象的一样有效。二者孰是孰非，无人可以断言。此外，仅仅研究一个体系中热量与能量的变化的热力学，也并不能利用原子观念所描绘的内部机制的图象。

1925 年，海森堡只根据可以观察到的事实，即原子所吸收或发射的辐射，创立了量子力学的新理论，我们不能指定一个电子某一时刻在空间中所占的位置，或追寻它在轨道上的行踪，因而我们无权假设玻尔的行星式轨道的确是存在的。可以观察到的基本数量是所发出的辐射的频率与振幅以及原子系统的能级。这些数量正是这个新理论的数学公式的依据。这一理论已经由海森堡、玻恩 (Born) 和约尔丹 (Jordan) 迅速加以推进，并从另一观点由狄拉克 (Dirac) 迅速加以推进，而且证明，从这一理论可以推出巴尔默关于氢光谱的公式，以及观察所得的电场与磁场对这一光谱的效应。

1926 年，薛定谔从另一个角度来解决这个问题。他发挥了德布罗意关于相波与光量子的研究成果，根据“质点由波动体系组成，或者说只不过是波动体系而已”的观点，导出另外一个理论。

这个理论，在数学上实与海森堡的理论等价。他以为，运载这种波的介质具有散射性，如透明物质之于光，或高空电离层之于无线电波 (413 页) 一样。所以周期愈短，速度愈大，而两种频率不同的波有同时共存的可能。

正如在水中一样，一个单独的波的速度与波群或浪的速变并不相同。薛定谔发现：计算两个频率组成的波群的运动的数学方程式，与具有相当动能与位能的质点的通常的运动方程式相同。由此可知，波群或浪在我们面前表现为质点，而频率则表现为能量。这就立刻导致最初出现在普兰克常数 h 中

Zeitschrift für Physik, 33, 12, 1925, p. 879 and 35.8-9, 1926, p. 557. 概要见: H.S. Allen, The Quantum, London, 1928; A.S. Eddington, The Nature of the Physical World, Cambridge, 1928, p. 206.

Annalen der Physik, vol. LXX, 1926, pp. 361, 734.

海森堡与薛定谔的数学，导致相似的方程式。根据哈密顿的原理，他们得到一个公式：式内 h 为作用量子， i 为 -1 的平方根。 q 和 p 叫做坐标与动量，这两个名词在这里应用的意义不同寻常。玻恩与约尔丹以为 p 是一矩阵，即无限个量排列为对称的阵列。狄拉克认为 p 没有数的意义，虽然在最后，数字从方程式中出现。薛定谔以为动量 p 是一算子，即用以对它后面的量施行数学运算的符号。不管给与它们的物理意义为何，上述的方程式，如爱丁顿所说的，似乎就是或几近于物理世界中每个事件的根本 (参阅上引书第 207 页)。

的能量与频率的不变关系。

两个振荡很快、以至不能看见的波，可以因为相互干涉，而产生表现为光的一些“拍”，正如两个音调相差不远的声音，可以产生音调比任何一个都低的拍一样。在含有一质子与一电子的氢原子中，波一定依照方程式的规定而存在。而薛定谔发现，只有在确定的频率，即与观察到的谱线相同的频率的情况下，这些方程式才有解。遇到较复杂的原子，玻尔学说本来已经失去效用，薛定谔却还能求得频率的正确数目，以解释光谱的现象。

如果薛定谔的波群中的一个很小，则无疑地可以指出表现这个波群的电子的地位。但随着群的扩大，电子可在波群之内任何地方，因此位置便有某些不确定。这些原理在 1927 年由海森堡加以推广，后来又由玻尔加以推广。他们发现：愈是想把质点的位置测定得精密些，则其速度或动量的测定将愈不精密；反之，愈是想把质点的速度或动量测定得精密些，则其位置的测定将愈不精密。总之，我们对于位置的必然不确定度与对于动量的不确定度相乘，无论如何近似地等于量子常数 h 。要同时确定两者的想法，似乎在自然界中找不到对应的东西。爱丁顿将这一结果叫做测不准原理，并且认为这一原理与相对论有同等的重要性。

新量子力学在习惯于革命的物理科学中又掀起了革命。海森堡、薛定谔和其他学者的数学公式是等价的。我们如果满足于这些数学方程式，对于这个理论便会有相当的信心。但是这些方程式所根据的观念，以及某些人给与它们的解释，却根本互不相同。我们很难说这些观念与解释可以维持很久，不过表现这些观念和解释的数学却是一个永久的收获。

古典力学已经成为量子力学的极限情况，古典力学之所以不能解释原子结构，是由于波长与原子的大小相近，正象当光束的宽度，或其行程中所遇的障碍物的大小与波长相近时，几何光学中所说的直线光束，也就失却其意义一样。即使在这时，要把量子力学与古典动力学与麦克斯韦的电磁方程式以及与万有引力的相对论联合起来，似乎也有可能。如果能够把知识作这样广泛的综合，这种理论将成为自然科学中有历史意义的伟大综合之一。

薛定谔的理论必须联系电子的实验来考虑。这些实验，如德布罗意的理论所表示的，证明一个运动的电子伴随有一系列的波。汤姆生的微粒，起初被看做是漫无结构的质点，继后被认为是电子，一个阴电的简单单位，不管这具有什么意义。但到了 1923 年和 1927 年，戴维森 (Davisson) 与耿斯曼 (Kunsman) 以及戴维森与革末 (Germer, 当时在美国工作) 先后使运动缓慢的电子自晶体的表面反射，而发现它们具有波动系统的衍射性质。同年稍后，J.J. 汤姆生爵士的儿子乔治·汤姆生以一电子束通过一个异常之薄的，比最薄的金箔还薄的金属片。我们知道，质点流会在薄片后面的底片上产生一块模糊的影象，但波长与薄片厚度相近的波，会产生明暗相间的圆环，与光线通过薄玻璃或肥皂膜所产生的衍射花样相似。事实上，乔治·汤姆生所得到的确是这种圆环。这说明，运动的电子伴有一系列的波，这些波的波长仅是可见光的波长的百万分之一，而与有相当贯穿力的 X 射线的波长相近。

A.S.Eddington, 上引书 220 页。

Physical Review, XX, 1923, p.243; and Nature, CXIX, 1927, P.558.

G.P.Thomson, Proc. Roy. Soc. A CXVI, 1928, P.600. 并看 J.J.Thomson, Beyond the Electron, Cambridge, 1928.

根据理论，如果电子伴有一列的波，则电子必须和这些波作协调的振动。因此，电子也必有它的结构，它也绝不再是物质的或电的最小单位了，即令在实验中也应该是这样。于是人们开始想象还有更小的部分。数学的研究表明，电子的能量与波的频率成正比，而电子的动量与波长的乘积为一常数。由于原子中仅有某些波长与频率，所以，电子的动量也只能有某些数值，并且不是连续地增加，而只能突跃地增加。这个非连续性的表现使我们又回到量子论。

要解释乔治·汤姆生的实验，就需要假定电子具有双重性质：既是质点（或电荷），又是波列。上面说过，薛定谔走得更远，而认为电子是一种波的系统。波的性质是不确定的。波必须符合某些方程式，但可能不具有机械式的运动。而这些方程式可能只符合概率的交替，这一项在正常波里，度量位移量，可以给出电子出现在某一给定点的概率（机遇）。

于是在原子被分为电子之后三分之一世纪，电子又被分为一未知的辐射源或一无形体的波动系统了。昔日的坚硬而有质量的质点的最后一点痕迹已经消失，物理学的基本概念似乎已经归结为数学方程式了。实验物理学家，特别是英国人，对于这种抽象概念很是感觉不安，企图设计一种原子模型，而从机械或电的角度去表达这些方程式的意义。但牛顿早已见到，力学的最后基础绝不是机械的。

化学

光线传播需要时间，是丹麦天文学家勒麦(Olaus Romer)在1676年发现的。勒麦发现木星的一个卫星两次被食之间所经历的时间，在地球背木星而行时较长，在地球向木星而行时较短。他由此估计光速为每秒192,000英里。

五十年后，英国皇室天文学家布莱德雷从恒星的光行差求得与此一致的结果。从地球轨道面上的远星看地球，好象每年左右摆动一次，在相继的两个半年中，它的摆动方向是相反的。如果这颗星射出的光线击中地球，那么这条光线的瞄准方向必须在地球的前面少许，正如射击飞鸟必须瞄准飞鸟的前面一样。所以，如果星光现在射到地球真正位置的右边，则六个月以后便会射到它的左边。这意味着：我们在不同的时季所看见的远星射来的光线，不是互相平行的，在一年内看见星好象在空间往返运动。从这个表面的运动，可以计算光速与地球在其轨道运行的速度之比。

斐索(Fizeau)在1849年首先对光经过地球上的短距离的速度作了测量。他将一束光通过齿轮上两齿间的凹处，再于三、四英里之外，用反光镜将光反射回来。如果齿轮不移动，则反射回来的光束通过轮上的同一凹处，可在对面看到。但如果将齿轮急速转动并调节其速度，则最后可找到一个速度，使射回的光束恰被下一个齿轮所遮住。齿轮旋转这个小角度所需的时间，显然即是光束往返于齿轮与反光镜之间所经历的时间。

弗科设计了一个更好的方法。使从S缝(图14)射出的光束略成会聚的形式，然后在平面镜R上反射，而聚焦于凹面镜M上。

这束光由M循原点射回。如果R是静止的，则S缝的影象将形成于S缝的本身上。

A.Einstein, Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, Braunschweig, 1922; The Meaning of Relativity, London, 1922. A.S. Eddington, The Mathematical Theory of Relativity, Cambridge, 1923 and 1924.

然后以已知的速度使 R 急速转动，当光线往返于 RM 的距离时，R 镜已经转过了一个小的角度，因此光的回程 RS' 与 RS 不复叠合，而转动了二倍于 R 镜所转的角度。于是测量 SS' 间的距离，便可计算光往返于 RM 间所需的时间。

光速最新的测量结果，比从前测量的稍小，即在真空内，为每秒 186,300 英里或 2.998×10^{10} 厘米，或在 1/1000 的误差内取为 3×10^{10} 厘米。

如果的确有光以太那样性质的东西，那么由于它对于通过它的光要产生影响，显然应该可以测定其运动。如果地球在以太中运动，而不扰动它，则地球与以太之间必有相对运动。那么光随以太顺行时，其速度必较其反以太逆行时为大；而总计起来，它往返 401 横过以太流时，也当较其一次顺流、一次逆流时为大。好象游泳一样，往返对岸一次，必较顺流、逆流同游相等距离的情形为速。

这就是迈克尔逊 (Michelson) 和莫利 (Morley) 在 1887 年所作的有名实验的要点。他们将一块石头浮于水银之内，然后将仪器装置在石头上，以防振动。光束 SA (图 15) 行至玻璃片 A 时，一部分为其所反射，一部分透射过去。这两部分光在 B 和 D 处又为 B 与 D 两镜所反射。如果 $AB = AD$ ，则两道光的行程也相等，而在 E 处的望远镜内必可察见有干涉效应。今若设想地球朝 SAD 方向运动，而不拖曳以太同行，那么以太将流过实验室，也如风之流过树林，于是将使光经过 ABA 与 ADA 两行程的时间发生差异，而所得的干涉条纹，将和以太相对静止时不在同一位置。今若将这仪器转过一个直角，则 AB 成为运动的方向，而 AD 和它垂直，这时，干涉条纹应向相反方向移动。移动的总量为以上所说的两倍。

但是迈克尔逊和莫利并没有观察到干涉条纹有可以度量的移动，于是断定地球与以太之间并无可以察觉的相对运动。重复做 402 这个实验的结果表明，在他们的假设下，这种相对运动，必然小于地球在其轨道上的速度的十分之一。地球好象拖曳着以太同行。

可是在以光行差计算光这时，我们假设以太不被地球在以太中的运动所扰动。而且洛治 1893 年在两个以 (或超过) 最大安全速度转动的重钢版之间，测量光的速度，也未发现光这有任何改变。由此可见，质量这样大的东西并不拖着其附近的以太同行。那末光行差的理论和从洛治实验中得出的推断，似乎又和迈克尔逊及莫利的实验结果完全不一致了。

当我们得到这样相反的结果时，如果我们还相信自然的统一性，使我们就可以断定：我们的实验和我们对于起作用的原因的看法，总有一个发生了错谬；一个富有兴趣而且必需的观念上的革命就在我们的眼前，只看我们能否领悟。

解决这个矛盾的第一个有用的看法是菲茨杰拉德 (G.F.Fitz-Gerald) 提出来的，又经过拉摩与洛仑兹加以发展。如果物质在根本上是带电的，或者物质的确是靠电力结合在一起的，那么，物质在带有电磁性的以太中运动时，在其运动的方向上或有收缩的可能。这种收缩除上述的现象之外，别无他法观察；一则因为效应太小，再则因为我们用以测量的尺度本身也受同样的收缩，因而在其运动的方向上，长度的单位也变短了。所以迈克尔逊与莫利的仪器，于转变方向后，也变更其大小，以至与地球经过以太时所产生的干涉

条纹的移动相抵消了。

这种必需的收缩是容易计算的。物体在以太流的运动方向上将按 $(1 - v^2 / c^2)^{\frac{1}{2}}$ 的比例收缩，式中 v 为物体和以太的相对速度， c 为不变的光速。

地球在其轨道上的速度为光速的万分之一。如果在一年的某时这是它经过以太的速度，则迈克尔逊与莫利的仪器于转动一直角时将收缩二万万分之一，这种微小的改变足以解释他们的结果。

这个问题停顿在这里若干年。无论其原因何在，所有测量光速的企图，不管是以太流顺行或逆行，都得到相同的结果，即测得的速度没有可以觉察的改变。

1905年，爱因斯坦教授对于这问题，从另外一个完全新颖的方向加以考虑。他指出：绝对空间与绝对时间的概念是想象中的虚构，一种形而上学的概念，而不是直接由物理学的观察和实验得来的。我们经验所能及的唯一空间，是用尺度上二刻度间的距离所规定的长度标准来测量的，唯一时间是用天文现象所规定的时钟来测量的。如果我们的标准也发生了菲茨杰拉德收缩这样的变化，这种变化是我们觉察不到的，因为我们和这些标准一道前进，也发生相同变化，但是，以不同方式运动的观察者却是可以觉察到这种变化的。所以时间与空间，不是绝对的，而只是与观察者相对的。

这样看来，用任何仪器、在任何情况下测量，所得的光速总是一样的事实，便不须解释了。必须承认，这个结果是新物理学第一次发现的定律。这样，可知由于时间与空间的性质，相对于任何观察者，光总是以所测得的相同的速度进行。

这个测定的速度总是一样的，但是我们对空间、时间与质量作个别测量时，不论是时间、空间或质量都没有表现出我们习惯于预期的那种恒常不变性。迈克尔逊与莫利的仪器，用我们不变的标准（光速）对它加以检验，在转动时并不表现长度上有变化。这是由于我们跟随着它运动。但是，如果在枪弹飞过时，我们能足够准确地测量其长度，我们应发现它较静止时为短，而且它的速度愈近光速，它的长度也就愈短。

这个实验很难实行，但用相对性原理很容易证明：射弹的质量对于静止的观测者表现增大，而且依照长度缩短的比例而增大。设 m_0 为低速时的质量，则高速 v 时的质量为 $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ ，式内 c 为光速。因此速度达到光速时，质量为无穷大。质量的改变可以用实验证明。测定以近于光速的速度经过我们身边的射弹的质量，是现代科学的奇迹之一。爆裂的放射原子所射出的 α 质点，可以使其经过电场与磁场，而测量其速度与质量，象测量阴极射线质点的速度和质量时一样。假设以速度不大的 α 质点的质量为 1，则下表第二行为 $m_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ ：根据相对论计算的、速度近于光速的 α 质点的质量，第三行为考夫曼根据实验测量所得的 α 质点的质量：

质点的速度每秒厘米数	质量与缓行质点质量之比	
	计算值	实验值
2.36×10^{10}	1.65	1.5
2.48×10^{10}	1.83	1.66
2.59×10^{10}	2.04	2.0
2.72×10^{10}	2.43	2.42
2.85×10^{10}	3.09	3.1

质点为阴性的电子，运动时等于电流。所以它们能产生具有能量与惯性的电磁力场。J.J.汤姆生与西尔（G. F.C. Searle）按照这个推理的路线，计算过质量随速度增加的数值，得到了相同的结果。所以质量的增加，象菲茨杰拉德的收缩一样，是与电磁理论相符合的。

而且根据相对性原理，质量与能量是等价的。一份质量 m ，若以能量表之，则为 mc^2 ，这里 C 是光速。这也是与麦克斯韦的电磁波理论相符合的。按照这个理论，电磁波具有的动量等于 E/c 这里 E 表示它们的能量。而动量为 mc ，于是我们便又得出 $E=mc^2$ 了。

由此可见，这些原理引出了新奇意外的结果。如果我们在飞机（或以太机）内，能以近于光速的速度飞行，则我们在运动方向上的长度，据地上观测者的测量，似已缩短，我们的质量似已增大，而我们的時計也较一般的变慢，但是我们自己并不觉察有这些变化。我们的尺子或已收缩，但是我们和我们四周的一切均已收缩，所以我们不觉其变化。我们的砝码或已增加质量，但我们也是一样地增加了。我们的时钟或许走得较慢，可是我们脑里的原子也运动得慢了，所以并不知时钟走慢了。

但是，因为运动是相对的，地上的观测者也正以我们对他的相等速度，对我们运动。所以我们对他的加以测量时，便会发现他的尺度、质量与时间，也对我们表现变化，正如我们的这些量对他表现变化一样。自我们看来他好象在运动的方向上，产生了畸形的收缩，具有与其身体不相称的质量，而在身心方面迟钝得可笑；405 同时他对我们也有同样的观感。双方都不觉得自己的缺陷，而对于对方的悲惨变化却看得很清楚。

我们不能说两方的观测者哪一个是错误的。的确，双方都是对的。长度、质量与时间并非绝对的量。它们真正的物理数值，就是由测量所表示的。它们对双方不一样这一事实说明，它们的意义只能相对于某一观测者而规定。绝对长度、绝对空间、绝对时间或甚至时间流动的观念都是形而上学的概念，远远超过观测或实验所表示或证明的。

虽然如此，如柏格森（Bergson）所指出，在哲学的意义上，对于一个随着某系统运动或在某系统内运动的人来说，所度过的那段时间，即用以测量这个系统中的事件的时间，具有其特殊的、独一无二的重要性。但是在物理的意义上，时间与空间，单个来考虑，则是随观测者的位置而定的相对的量。不过，明可夫斯基（Minkowski）于 1908 年指出，时间与空间的变化互相补偿，因此，这两者的结合，就是在这新世界里对于所有的观测者也都是是一样的。我们惯于想象的空间，有长、宽、高三维，而明可夫斯基指示，我们必须把时间看做是“时空结合体”里的第四维，一秒钟相当于 186,000 英里，即光在这时间内所行的距离。正如欧几里得几何的连续空间中，两点的距离，

无论如何测量都不变更一样，在这新的时一空连续区里，两个“事件”之间可以说有一个包括时间与空间的“间隔”，这间隔无论何人测量，都有它真正绝对的数值。我们觉得在这个变化不定的世界中，在这里找到了一种稳固的东西，因而想在这个相对性的王国内去寻求其他能保持其绝对性的量。在我们已知的量里，我们认为下面几个仍属绝对的量：数，热力学的熵，以及作用（作为量子的能量与时间的乘积）。

在空间与时间互不相干的旧世界里，人们习惯于把三度空间的整体看做是同时随着时间过去的。世界的过去和将来之间，好象隔着一个“现在的平面”，这个平面在同一刹那间伸展至空间的全部。但自 1676 年勒麦发现光以有限的速度进行以后，人们必定认识到，同时出现的星星实际上存在于不同的过去时间（视其不同的距离而定），至今才同时为人所看见；这样“同时”的意义便消失了。昔人信念中的绝对的“此时”变成仅仅是相对的“所见的此时”了。

科学中最近的发展已增强了相对性的观念。假设一位以光速旅行的人，游历星球，而在一年以后重返地球。在我们看来，在他飞行时，其质量好象大至无穷，而其脑筋的反应慢至无穷。我们觉得长了一岁，而他则以为时间毫未过去，他还停留在我们去年的“此时”。由此可知，认为过去与未来为一平面所划分，这个平面对于所有地区和所有人类都一样，这一类概念必须摈弃。必须从爱丁顿所谓的“此地-此时”（here - now）的一点，在空间绘出几条“所见的此时”（seen - now）线，与时轴（time - axis）成一角度，而这个角的正切等于光速。在这样绘出的三维面（类似于二维的一对锥形或滴漏形的曲面）内任何一处，我们可以找到一个绝对过去与绝对未来。在此以外，事物可以在任何观测者都觉得是不同的时间中同时存在。将过去和未来分开的劈形中立区可以叫做绝对的现在或绝对的他处，视我们从时间的角度还是从空间的角度去看它。

我们凭直觉意识到的时间自过去到未来的流动，在可逆的物理学中，是没有对应的。普通动力学系统（无论其为地上的或天文 407 的）的运动方程式，从正反两个方向去了解都一样：我们不能从牛顿的公式说明行星朝哪一方向围绕太阳运行。

但是，在热力学第二定律和孤立系统中熵循一个方向向极大值增加的例子里，我们可以找到一个只能向一方进行的物理过程。

因为互相冲撞而形成的分子的无规律散射，只能使这些分子接近于误差律所规定的分配速度，除非我们召唤麦克斯韦的“魔鬼”把各个分子控制起来，或守候长久的时期，以待分子因巧遇而联合成群，否则，只有赖时间的倒流才能使这个混杂的过程逆转。如果我们看见速度相等的分子逐渐类聚成群，我们可断言时间在倒流。热力学第二定律，熵增大的原则，说明一个重要无比的自然过程，相当于人类意识中时间一去不回头的前进。

相对论与万有引力

1894 年，都柏林的菲茨杰拉德说：“重力可能是由于物质的存在使以太

结构发生变化所致。”

这句用旧物理学的语言说出的话，表达了爱因斯坦 1915 年把广义相对论应用于万有引力所得的结果。他证明空间的性质，尤其是光的传播现象表明，除非是在无穷小的区域内，明可夫斯基的时-空连续区和黎曼的空间相似，而不是和欧几里得的空间相似。

在这种时-空里，有些天然路线，同三维空间里，我们所惯于想象的，物体不受外力作用时所走的直线一样。既然抛射体向地球坠落，行星围绕太阳运行，可见这些路线靠近物体时即发生弯曲。因此，在物质的附近，必定有某种类似“时-空曲率”的东西存在。另一物体进入这弯曲的区域时，即循一条一定的路线走向或环绕这团物质而运行。的确，当我们从质量的角度而不是从电的角度去着想时，现今所谓物质的意义，不过是有这种曲率存在的时-空区 408 域而已。如果我们阻止这第二物体的自由行动，如借椅子或地面的分子的冲撞使其停止的话，我们就是时对它施力，但这物体却觉得这是由于它自身的“重量”所造成的。

这种效应容易用电梯加以说明。当电梯开始上升时，它受到一个加速度。这加速度在乘客看来，好象是其体重的暂时增加；增加之量，的确象普通重量一样，可用弹簧秤去衡量的。加速度的效应与所谓万有引力场中的暂时增加的效应完全相同，而且现在还不可能用我们已知的任何实验方法把这两个原因区别开来。

不过，如果现在让这电梯自由坠落，乘客将不会感觉他们在运动。如果有一乘客释放其手中的苹果，它不会比电梯坠落得更快，而仍将留在乘客身旁。这个首次把相对论运用于万有引力的“等价原理”，是爱因斯坦在 1911 年提出来的，数学上的困难是几年以后才得到解决的。

由此可见，牛顿关于万有引力的假设可以是不需要的。物体向地球坠落或围绕地球而运行，也许只是跟着它在时-空弯曲区域内的自然路径运行而已。

计算表明，这个理论的推论与牛顿的理论大致相同，就一般观测的精确度而言，大体上是一样的。但是，对于一两个现象，却可以设计一种决定性的实验。其中最著名的一个是光线为太阳所偏折的观测。根据爱因斯坦的理论，算出的这种偏折度是根据牛顿的理论算出的二倍。观测这种微小偏折的唯一方法，是在日全食时拍照太阳圆面附近的星象。1919 年日全食时，爱丁顿、克罗姆林 (Crommelin) 分别在几内亚湾的普林西比岛和巴西两处进行了这一观测。结果表明接近太阳的星象，同远离太阳的星象相比，409 有所移动，而且移动之量适与爱因斯坦的理论相符合。

其次，水星轨道每世纪有 42 角秒的差异，是牛顿的理论所不能解释的，

Scientific Writings, p.313.

两点间的距离，依坐标 dx , dy 之差而变。如果这变化的形式为：这就是黎曼度规 (metric)。其一个特殊情形为下式所给出：在连续区为欧几里得空间时，这就是毕达哥拉斯定理。等数量不但规定了连续区的度规形式，且规定了万有引力场。从这些数量间的最简单的数学关系式，爱因斯坦发现了重力的新定律。

参看本书 179 与 203 页脚注，有关拉格朗日、拉普拉斯和哈密顿各节。爱因斯坦提出了一些普遍的方程式，在特殊情形下（在某点上既无物质又无能量存在时），这些方程式可简化为拉普拉斯方程式，而当能量全是物质的形式时，这些方程式就是泊松方程在广义相对论中，在静力场中运动的小质点，其运动为拉格朗日的微分方程式所规定：不过这里 L 不是像古典动力学中为动能与位能的简单差数而已。

但为爱因斯坦所阐明。他算得的数字为 43 角秒。

第三，按照相对性原理，原子在万有引力场内振荡应当较缓慢。平均说来，太阳光谱中的谱线，由于太阳上的重力较强，与地上相当光谱的谱线相比，应该向红色一端移位。这个预期的移位很难查出，但是实验数据的比较，表示其确实存在。在密度大的恒星的光谱内这种位移较大，有人已经在假定其为正确的前提下，应用这一学说来测量恒星的密度。

由此可见，要想作精密的计算，牛顿的理论是不及爱因斯坦的理论的。在量子论与相对论两个方向上，现代物理学似乎正在摆脱伽利略时代以来一向指导物理学而卓有成就的基本概念。新的思想须有新的工具去表达。在某些方面，事情已经很清楚，领导现代科学经过两个光荣世纪的牛顿动力学，已经证明不足以担负现今知识所赋予的任务了。就连原来是古典力学基础的物质的概念，至今也归于消失。所谓物质占有空间而历时不灭的基本观念，今已失其意义，因为空间和时间既非绝对的，亦非实在的了。现今所谓物质，只是时-空中发生的一串事件，以未知的而或有因果关系的方式相联系。由此可知，相对论已加强了最新原子理论所得的结果。牛顿的动力学仍能预测物理现象至高度的精确，仍能解决天文学家、物理学家与工程师的实际问题，但作为最终的物理概念，他的理论只留其荣誉于历史中了。

从广义相对论推导自然定体的最好方法或许就是 1915 年希尔伯特 (Hilbert) 所应用的最小原理。亚历山大里亚的希罗曾发现反射光所走的路线，常使其所经行的总距离为最小值。十七世纪费马把这一原理发展成为一个普遍性的原理——最短时间原理。百年以后，莫佩屠斯、欧勒与拉格朗日又把它发展为动力学的最小作用原理，而哈密顿于 1834 年表明，一切万有引力的、动力学的和电的定律都可以表达为最小值的问题。希尔伯特证明：按照相对论原理，万有引力的作用在于使时-空的总曲率成为最小值，或如惠特克 (Whittaker) 所说：“万有引力不过是代表宇宙要伸直自己的一种连续努力而已。”

广义相对论马上就废弃了由万有引力而生机械力的观念，重力成为时-空的一种度规性质。但是带电或磁化的物体仍然必须看做是受了力的作用。韦耳 (Weyl) 等人曾企图把电磁体纳入广义相对比理论中，但未完全成功。1929 年，爱因斯坦宣布，他研究出一种新的统一力场理论。这种理论认为空间是一种介乎欧几里得空间和黎曼空间之间的东西，这样一来，电磁力也就成了时-空的一个度规性质。

1928 年，爱丁顿宣布，他在另一个问题上把不同概念协调起来。电子的电荷 e 以 $hc/2ne^3$ 的组合形式出现在两个电子的波动方程式里，式内 h 为量子的作用量， c 为光速。爱丁顿根据量子论与相对论算得这个组合式的数值为 136，而根据米利根最近测得的 e 值，算得这个组合的值为 137.1。这里的误差已超过实验的可几误差，但其近似也颇饶兴趣。的确，所有这一切现代的概念很有可能在一个新的物理的综合下统一起来。

物理学近况

British Association Report, 1927, Address to Section A, p.23.

A. Einstein, 在 The Times, February 3rd and 5th, 1929 中两文。

本书第六章所叙述的热力学的基本原理引导汤姆生与焦耳对气体的自由膨胀进行实验，因而促成绝对温标与氢和氦的液化（234 页）。以后的年代里，这些方法被应用到工艺上去，于是为工业提供大量的液态空气与其他液态气体，并使物理学家、化学家、工程师得到极低的温度。在大气压力下，氢的沸点为 -252.5°C ，氦的沸点为 -268.7°C 。这里可以有趣味地指出，1931—1933 年间，卡皮查（P.L.Kapitza）为液化氢与氦设计了一种新型的绝热仪器。这是一种具有松弛活塞的往复机。气体在液态空气或氦里冷却，在机器内受到 25—30 个大气压，然后使其从活塞和圆筒之间的缝隙间逃逸出去。这样气体就得到进一步的冷却，终于为汤姆生-焦耳的方法所液化。利用现代仪器所造成的低温，离绝对零点还不到一度的几分之一。

泰勒（Geoffrey Taylor）爵士用数学方法与实验方法研究，而且接近于提出一种完善的理论。他的研究结果在很多方面可以应用于湍性流体在管道里的流动以及晶体的受范形变，在气象和航空上，用途尤广。

卡皮查于 1924、1927 年和以后的年代中，先在剑桥、后在莫斯科提出了一个测定金属的磁性和其他某些磁效应的新方法。这个方法的基本特点是在若干分之一秒的时间内，给绕在试件上的测试线圈通以强大电流，快速工作的目的是为了避过热；在通电时间内，实验是依靠自动装置来进行的。起初，电源是用一组缓慢充电、快速放电的蓄电池；后来用一台 2000 瓩的单相交流发电机，当发电机通过测试线圈短接时，电能量的供给是依靠储藏在发电机转子中的动能。当电力等于零时，自动开关接通了电路；当电力再一次等于零时，自动开关就将电路断开。这样一来，仅仅半周波交变电流起作用，作用时间大约为 $1/100$ 秒。发电机的绕组经过特殊的设计，可以产生顶部平坦的电流脉冲波，因此在这很短的时间内，磁场几乎保持不变。磁场可以达到几十万高斯的程度。实验装置的造价很高，需要大规模工艺设备制造，需要建造特殊的实验室来安放它们。线圈和发电机相距 20 米，在短路冲击到来前，整个实验就结束了，而这种冲击以每秒 2000—3000 米的速度，通过地面传向实验装置。

卡皮查与斯金纳（H.w.B.Skinner）在第一个厂房用 13 万高斯的磁场研究了塞曼效应。卡皮查在第二个厂房测量了铋和黄金的晶体的电阻率。他们发现磁场的变比弱的是按平方律，强的是照线性律；在室温到液态空气温度之间的温度范围内测量了 35 个金属元素。1931—1933 年间，利用卡皮查设计的液化氢和氦的新仪器，在相当大的温度范围内，测定了许多物质的磁化率。

本书 376 页介绍过热离子学的初期研究工作。理查森爵士首先详细地研究了电子在真空中从热体逃逸的现象，而且给以完整的说明。同时他在光致发射方面的研究也有助于解释物质与辐射间的相互作用。他也研究了和化学作用有关的电子发射，对于填补紫外光谱与 X 射线光谱之间的缺隙也有相当的贡献。最近理查森更应用新量子论去解决氢光谱和氢分子结构的问题。

人们为了研究现代物理学，发明了许多新仪器，这些新仪器也引出不少新的问题与其解答。在这些新仪器之中，我们必须提到电子显微镜。上面讲过，电子流在磁力作用下，离开其直线路径而偏折，正如光线为透镜所偏折一样。而且正象透镜可以借光线而形成放大的像一样，磁力也可以用来

在照片底版上形成一个图案。因为与电子有关的波的波长是光波波长的百万分之一，所以这些波能够给微小的物体造成一个明晰的形象。例如病毒，已被拍照下来，还有人尝试把分子那样大小的结构，拍照下来。

电磁波的理论应归功于麦克斯韦（1870），电磁波的第一次发现归功于赫兹（1887）。电磁波在无线电报与电话上的使用靠了两种发明：（1）马可尼（Marconi）将天线用于发播和收集信号，并使足够的能量发生作用；（2）上述热离子管研究成果的应用。

赫兹和早期的实验者所用的电磁波是感应圈所发出的电振荡；这些电波因阻尼大，很快便消失了。但无线电波的传递需要连续而无阻尼的列波。如果将热的灯丝和电池的阴极联接，再使灯泡里的一个金属板和阳极联接，灯丝所发出的电子便会形成连续的阴电流，从灯丝传到金属板。可是将电极互易，使无显著的电流通过。可见热离子管可以用作整流器，使半波通过，半波受阻。如果用铁丝网作成栅极，放在热灯丝与板极之间，而且使其带阳电，它便加强电子的发射，因而增加了热离子流。但是，相反地，如使其带阴电，则会使热电子减少。当电位发生逆转时，电流往返振荡，于是交流便重合在直流上。将这些往返的振荡通过变压器的原电路，再从副电路回去，给栅极以其固有的交流电位，这样便维持住仪器的作用。由此可见热离子管有两种用途，即发射稳定的无阻尼的列波，并于接收时起整流的作用。使这些调整后的电流产生每秒 100 至 10,000 次的断续，再使其经过电话机，便可发出一个相当于音频的声音，因而形成了无线电话。

从天线发射出去的能量，可以分为沿地面传播的地波和在地平线上空传播的天波。天波，保持其能量的距离比较其在空间自由传播时所可以预期的要大得多。电波之所以能在长距离上传递，是由于日光使地球高空大气电离，而成为了导体。这一部分大气叫做电离层，也叫做肯涅利-亥维赛层（Kennelly-Heaviside layer）。这个名称是按照首先发现它的两个人的名字命名的。电波进入这一导电区，受到反射与折射而回到地面，如果距离相当长，电波又由地面反回电离层，如是往返数次，好象在甬道里传达一般。靠了研究长距离无线电波的形态，获得许多关于电离层或多层电离层为知识。从事这一工作的先有阿普顿（Appleton）爵士与巴尼特（Barnet），后（1925）有美国的布赖特（Breit）与图夫（Tuve）。后两人使用的是短暂的脉冲波。1926年，阿普顿证明，高出地面 150 英里还有一个反射或折射层，比其他层的电性更强。这种反对使无线电波的行径发生弯曲，因而使环球传递成为可能。同一原理也应用于无线电定位，即现今所谓的雷达技术。

固体反射电波，因而在发射处产生回波。这一原理在战争时期有极大的价值，导至 1939—1945 年间雷达在各方面的惊人发展。

脉冲方法可用于大多数目的。一个电振荡器发出一个厘米波为猝发辐射，有时历时不过百万分之一秒，由磁控电子管供给以足够的能量。这种磁控电子管是伯明翰大学的一个工作组设计的一种装置。利用天线使能量集中于一个十分确定的波束里。这束波在空间搜索，正如探照灯之照亮远物一般，因而可以发现远处的船只、飞机、飞弹、地形，甚至即将来临的风暴中的雨点。回波被他拍接收机所捕获，而在阴极示波器上表现出来。

1940 年，英国的雷达发现了敌人飞机的来袭，在不列颠战役中起了很大

的作用，使少数人能够拯救很多人的生命，继后与美国合作，证明盟军的雷达的优越性，大有助于赢得最后的胜利。

海战与航海也因此发生了革命性的变化。由于雷达可以定出远处的船位，因而可以在敌舰还没有出现在视线内时便开始攻击。

雷达不受黑暗的妨碍，它可以导引船只穿过雾气，安全入港，且可以导引飞机到达轰炸目标而又返回基地。

核型原子

上面说过，放射物质所发射出的带有阳电荷的质点在云室里的踪迹，通常都是直线的，但是偶尔也可以观察到方向的骤然改变。1911年，卢瑟福根据比较间接的测量导出这些罕见的偏折，因而他想象原子的中心有一个微小的阳电核，在碰撞时把质点排斥出来。

起初原子被看做是一个行星系的结构，阴电子环绕核心，在牛顿式的轨道上运行。但是上面说过，量子论的创立与应用，在原子的概念上引起了一场革命。新理论的主要特点在上述的那个时期里已经建立。但是在以后的年代里又掀起另外一场观念上的革命，主要是由于发现了原子内新型粒子并且发现了产生、计数和使用它们的方法。

在叙述这些新的粒子以前，我们必须追溯一下阿斯顿等人在元素及其同位素的原子量的知识方面所取得的巨大进展。阿斯顿的质谱仪（第一部质谱仪现时陈列在南肯辛顿科学博物馆内），是根据 J. J. 汤姆生研究阳射线的仪器的原理制成的。玻璃球 B（图 17）为水银唧筒维持在低压下，其中盛有要研究的元素的挥发性化合物，或者是这种元素的卤盐所构成的阳极。阳极在 A，阴极在 C，其中穿有一隙缝 S1。从阳极来的经过阴极隙缝的阳射线，再经过第二隙缝 S2 形成一个狭窄的阳射线束。这一窄束又经过两绝缘板 E1 和 E2 之间，这两板同 200—500 伏的电池组的两极联结，这样，这一射线束就展开成为一个电波谱。再利用两个光栏将这波谱的一部分隔离，然后使它在电磁铁 M 的两极之间经过。两个接地的铜版 F 保护这些射线，不受偶然的电场的影响，于是射线形成隙缝的聚焦像，而落在照相底片上。电磁力所造成的偏折，使速度不同而有相同的 e/m （电荷-质量比）值的射线，聚集在底片的同一点上。

如果取一条谱线作为已知，把它与未知电磁场里的其他谱线比较，便可测定原子射弹的相对质量。或者将磁场维持不变，调整电场，使未知谱线占据已知谱线先前所占的位置，也可以根据电场的强度算出相对质量。这两个方法均可以将已知和未知粒子的质量加以比较。这个仪器所给出的测量值仅仅取决于质量，所以叫做“质谱仪”是很恰当的。第一台仪器所测得的质量，误差为 1/1000，第二台改进到 1/10,000。芝加哥的登普斯特（Dempster）发明了另 416 一种仪器，内有磁场使射线弯曲成半圆形。还有一种质谱仪是

N. Feather, Nuclear Physics, Cambridge, 1936; Lord Rutherford, The Newer Alchemy, Cambridge, 1937; G. Gamow, Atomic Nuclei, Oxford, 1937; E. N. da C. Andrade, The Atom, and its Energy, London, 1947; Sir George Thomson, The Atom, Oxford, 1947.

F. W. Aston, Mass Spectra and Isotopes, London, 1933.

哈佛的班布里奇 (Bainbridge) 所设计的, 可以用来进行很精密的测量。

1919 年, 阿斯顿的第一台质谱仪使用之后, 研究成果纷至沓来。两条确定的谱线证实了汤姆生研究氦的结果, 在某一时期里差不多每个星期都有新的同位素发现。1933 年, 阿斯顿在他的《质谱与同位素》(Mass Spectra and Isotopes) 一书中说: “在一切已知有相当数量存在的元素里, 现在只有 18 个还没有分析过”。到 1935 年, 人们已经知道有 250 种稳定的同位素了。最复杂的元素好象是锡, 它有 11 种同位素, 其质量数自 112 至 124。根据这些实验, 普劳特首先提出的原子量是整数的规律, 已经得到证实。210 这个数字以下, 差不多每一个数字都有一个稳定的基本原子。许多位置, 两次或三次被某些同位素占去, 它们叫做“同量异位素”, 换句话说, 即是重量相同而化学性质不同的原子。

如上所述, α 粒子的性质已为卢瑟福早期关于放射现象的研究所肯定了。 α 粒子是氦原子核, 根据阿斯顿的测量, 它包含一个 4.0029 (氧取为 16) 的核质量和一个阳电荷 $+2e$, 即两倍于电子上的阴电荷 $-e$ 。 α 粒子运动的速度在每秒 2×10^9 厘米或 10,000 英里左右。氦原子核或质子, 包六 1.0076 的质量与一阳电荷 $+e$ 。伯奇 (Birge) 指出, 事实表明有氦的重同位素存在, 同时古奥克 (Giauque) 与约翰逊 (Johnson), 继后有梅克 (Mecke), 根据观察带状光谱的结果, 取得质量为 17 与 19 的重氧存在的证据。

1932 年尤雷 (Urey) 用分馏法发现氢的同位素, 其质量为 2, 等于正常氢的两倍, 在一般氢元素里仅占 $1/4000$ 。这种重氢 ($2H$) 叫做“氘” (D)。如果使电荷从其中通过, 有些原子失掉一个电子, 而成为正离子, 被人叫做“氘核”。它们好象是质子和中子联系在一起的结构。瓦什伯恩 (Washburn) 把普通水电离, 得到一种新物质: 重水, 其中氢为其同位素氘所代替。重水为刘易斯所分出, 密度比寻常水大 11%, 而其冰点与沸点也不相同。现在已能制造重水, 中性氢 ($1H$) 的质量可以更准确地测定, 其值为 1.00812 。

还有另外一些时常穿过大气而来、贯穿力更强的射线, 可以在威尔逊云室内探测出来。它们的来源好象在宇宙空间里。这些年来有很多人去研究它们, 特别是米利根和他的同事们。这问题可以说开始于 1909 年, 起初是格克耳 (Gockel), 后来是海斯 (Hess) 与科赫斯特 (Kolhorster), 都发现验电器放在升空气球上, 比在地面放电更快。这说明位置愈高, 造成电离的射线愈多。1922 年, 包温 (Bowen) 与米利根将这些实验拿到 55,000 呎的高空去做, 1925 年米利根与卡梅伦 (Cameron) 将验电器逐渐下沉到 70 呎深的没有镭的水里而发现放电率连续减少。在以后的年份里, 有些观测者走得更远。这些射线的贯穿力比地上任何射线都大。地磁对于这些射线的效应, 说明其来源不在高层大气里。而且, 这些射线的强度昼夜都是一样, 因而它们不是从太阳而来的。当银河不在南半球的地平线上时, 仍然有这些射线, 因而它们的来源也不在我们的星系里, 所以它们当是从银河系以外的天体或自由空间而来。

这些宇宙射线的能量可以根据其穿透力加以粗略估计。安德生 (Carl

F.W.Aston, “Forty Years of Atomic Theory”, in Background to Modern Science, Cambridge, 1938.
Phys. Review, XL, 1932, P.1.

R.A.Millikan, Cosmic Rays, Cambridge, 1939. R.A.Millikan and H.v.Neher, Energy Distribution of Incoming Cosmic Ray Particles, American Philosophical Society, 1940.

Anderson) 与米利根首先做了比较精确的测量。他们使宇宙线通过很强的磁场, 而观测其偏折。能量在 60 亿 (6×10^9) 电子伏特左右相当确定的范围内变化。安德生于 1932 年利用这仪器发现具有阴电子质量的阳性粒子。这种阳电子, 早由狄拉克据理论预言其存在。这种粒子后来被命名为正电子。读者当记得, 以前已知的最小的阳性粒子是氢原子的核(质子), 其质量约 2000 倍于电子。正电子的发现又使我们对于物质的概念发生根本性的改变。

和其他带电粒子一样, 正电子穿过物质时产生电磁波。宇宙线的频率比 X 和 γ 射线为高, 其范围在每秒 10^{22} 至 10^{24} 周, 而可见光的频率只有 10^{14} 周。这些频率不是直接测定的, 而是将能量除以普兰克常数 h 而算出的。

1923 年, 康普顿根据量子论, 提出可以和电子与质子相比拟的辐射单位的概念, 他将这个单位命名为光子。如果一个光子以足够的能量打击一个原子核, 特别是重原子核, 一对正一负电子同时出现于云室里。这是 1933 年布莱克特 (Blackett) 与奥基亚利尼 (Occhialini) 首先提出, 不久即为安德生所证实的。这类成对的电子的动能约为 160 万电子伏特, 而入射光子的能量为 260 万电子伏特。这 100 万电子伏特的差数可以量度电子对的“固有能量”, 是具有辐射能量的光子的物质化, 这表现辐射转化为物质。反之, 假设正负电子互相湮灭, 就有两个电磁辐射的光子, 每个的能量为 50 万电子伏特, 从相反的两个方向射出。这个设想于 1933 年经提博 (Thibaud) 与约里奥 (Joliot) 由实验加以证实。

在海平面处已经发现具有三、四十亿 (10^9) 电子伏特的宇宙线。它们常以簇射(阵雨)的形式出现。在 14,000 呎高的尖峰山 (Pike's Peak), 这现象尤其常见。根据贝特-海特勒 (Bethe-Heitler) 的簇射形成理论, 一个入射高能电子先将其能量转化为“冲击光子”, 这光子产生电子对, 每个电子重演这一过程, 直到所有的能量一律降低, 成为低能的光子与电子。从地球外面来的正射线可能不会达到海平面, 至于在云室里所观测到的高能正负射线, 可能是在大气里形成的次级宇宙线。1934 年, 安德生与尼特迈耶尔 (Neddermeyer) 假设具有高度贯穿力的踪迹是质量在电子与质子之间的粒子的踪迹, 这种粒子经安德生命名为“介子”。这两位物理学家于 1938 年证实了他们的假设, 测量得这些粒子的质量为电子质量的 220 倍, 1939 年别的观测者又量得为 200 倍, 而质子的质量约为 2,000 倍。由此可见, 要说明物质的结构, 需要一个多么复杂的图案!

在大多数的情形中, 宇宙线里的粒子多是电子而很少质子。这表示宇宙线在进入太阳系以前不可能穿过很多物质, 这样它们的来源好象不可能在银河系里的恒星上, 而必须在银河系外的空间。

宇宙线的成因与来源仍然是一个只能猜度的谜。人们提出的假设有如下几种: (1) 电子经过某一天空静电场降落而形成说, (2) 经过双星磁场形成说, (3) 按照爱因斯坦方程式, 物质质量一部或全部转化为宇宙辐射说。蕴藏量最丰富的元素可能释放的能量由 110 至 280 亿 (1.1 至 2.8×10^{10}) 电子伏特, 一半射向一方, 另一半射向反对方向。所以一半所给出的能量在 5 至 14×10^9 电子伏特之间, 观测所得的数值大致也是这样。

上面讲过, 1919 年卢瑟福发现, 用 α 粒子轰击某些元素, 例如氮, 引起原子的变化, 因而发射出运动迅速的氢原子核(质子)。这发现不久即为布莱克特所证实。他在威尔逊云室里拍照了质子的踪迹。这发现是在受控原子变化实验方面取得巨大进展的起点。这些受控原子变化实验取得了惊人的

成果。当波特 (Bothe) 使质量为 9 的铍元素受到这样的轰击时, 他得到一种贯穿力比铀射出的最硬的 γ 射线还强的新辐射, 1932 年, 查德成克 (James Chadwick) 爵士证明这种辐射的主要部分不是 γ 型的射线, 而是一些运动急速不负电荷的粒子流, 其质量大约与氢原子相等。取得这些粒子的方便办法就是, 将几毫克的铀盐与粉末铍混合, 而封闭在一管内, 这种粒子即从管壁逸出, 由于这些粒子不负有电荷, 因而称为中子, 在其行程里, 它们可以自由地通过原子, 而不造成电离。

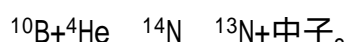
下表列举了 1944 年已知的粒子, 无疑以后还有更多的发现:

名称	质量 (单位: 电子)	电荷
电子 (粒子)	1	-e
正电子	1	+e
介子	200	$\pm e$
质子	1800	+e
中子	1800	0
氦核	3600	+e
α 粒子	7200	+2e

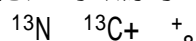
除了这些算作物质的粒子之外, 还有作为辐射单元的光子。宇宙真是复杂而神秘。

费瑟、哈金斯 (Harkins) 与费米 (Fermi) 证明中子, 特别是慢中子, 虽然不能引起电离化, 但却可以十分有效地促进原子核变化。它们不象 α 粒子那样受带正电荷的原子核的排斥, 因而容易进入较密的原子核, 而改变其性质。例如使用渗透有锂盐的底片进行实验时, 在显微镜里便可看见相反的两个踪迹。使用硼, 特别是用一种铀的轻的同位素, 也可发现类似的变化。

居里 - 约里奥夫妇用 α 射线直接轰击这些轻粒子, 得到一些新的放射物质。例如硼受了 α 射线轰击一会之后, 便发出正电子流。其放射性的衰变和正常的放射性相似, 是时间的几何级数, 在 11 分钟内衰减一半。这种嬗变可以下列化学方程式表示:



氦核 ^{14}N 因具有过多能量, 是不稳定的, 于是分裂为比较稳定的 ^{13}N 与中子。然后 ^{13}N 更缓缓地转变为稳定的碳原子与正电子:



这种放射性的氮可以作为具有氮的化学性质的放射气体收集起来。

人们已经利用 α 射线、速质子, 特别是慢中子使很多种物质变成放射物质, 其中慢中子就是对于最重的元素也是有效的。以上只叙述了用直接间接由放射物质得来的各种粒子轰击元素而造成元素的受控嬗变的情况。这样直接间接由放射物质得来的粒子为数不多, 因此多年来物理学家希望发明人工制造有效的强粒子流。后来这种希望是实现了。

在氢或其同位素氘里放电, 可以得到大量的质子与氦核, 但要使它们达到造成嬗变所必需的高速度, 必须在很强的磁场里把它们加速。要取得高达百万伏特的高电压, 便需要大型的工艺装置, 并需用现代的高速唧筒, 以维持高度的真空。

科克拉夫特 (Cockcroft) 与瓦耳顿 (Walton) 在剑桥进行的实 421 验是

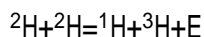
这方面的开路先锋。他们利用一套电容器与整流器将变压器的电压增高，现在所期望的是用大型装置取得具有 200 万伏特电压的直流电，它能产生长 20 呎的火花。还有一种静电装置是华盛顿的范·德·格拉夫(Van de Graaff)所设计制造的，这装置内有一传输器，不断地将电荷送入一个中空金属绝缘球去，以致达到 500 万伏特的高电位。

加利福尼亚的劳伦斯(E. Lawrence)教授发明一种加速器，名叫“回旋加速器”，离子在这装置里经过一个交流电场，和与之正交的磁场。这个装置使质子和氘核循半径递增的螺旋形的路径而运动，间断地进出于电场。为了达到交流电位的某一特定频率，离子总是在电力处在可以把离子进一步加速的运动方向上的时候进入电场。这样，劳伦斯得到了质子和氘核的强粒子流，其能量高达 1600 万伏特，而具有 100 微安的电流。这样获得的效果等于 16 公斤的纯镭所射出的 α 粒子。

这一类的装置无异是将极强有力的武器放在实验者的手里。科克罗夫特与瓦耳顿证明，可以用大约十万伏特的质子，使锂与硼产生人工的嬗变。从这种电压以至回旋加速器的几百万伏特，现代的实验室现在有了一系列能量范围很广的可以引起嬗变的射弹。

锂有质量为 6 和 7 的两种同位素。在质子的轰击下，有时一个质子进入 ${}^7\text{Li}$ 的核。这样产生的 ${}^8\text{Be}$ 不稳定，立即分裂为两个快速的 α 粒子，即氦核，循相反方向射出。如果用氘核代替质子去作射弹， ${}^6\text{Li}$ 捕获一个氘核之后，又产生一个 ${}^8\text{Be}$ 的核，但具有大量的剩余能量。这种 ${}^8\text{Be}$ 的核也象前一个反应一样，分为两个 α 粒子，但具有比质子进入 ${}^7\text{Li}$ 而产生的 α 粒子有更大的速度。 ${}^7\text{Li}$ 捕获一个氘核之后形成 ${}^9\text{Be}$ ，再立刻分裂为两个 α 粒子和一个中子。

这些不过是奥利芬特(Oliphant)和哈特克(Harteck)首先加以研究的嬗变的几个例子。仅借两万伏特就可以引起这种嬗变，来加速氘核射弹。以后还研究出许多复杂得多的变化。从实验获得许多新同位素，如质量为 3 的氢(${}^3\text{H}$)，质量为 3 的氦(${}^3\text{He}$)。根据其释放的能量，可以算出这两种同位素的质量：



$$2.0147+2.0147=1.0081+{}^3\text{H}+0.0042.$$

氢和氘的原子量就是阿斯顿用质谱仪算出的数值。至于上式中所释放的能量 E 值是根据观测质子在空气中的行程(14.70 厘米)而算出的这种行程说明质子的能量为 298 万伏特。释放出的能量的 3/4 应归于质子的动能，因而 E 的总值为 397 万伏特。根据爱因斯坦的理论，质量与能量是等价的；质量减少 dm 相当于释放 c^2dm 的能量(这里 C 表光速，以每秒厘米数计为 3×10^{10})，所以与 397 万伏特相当的质量为 0.0042，因而 ${}^3\text{H}$ 的质量为 3.0171。

劳伦斯和他的同事们利用在回旋加速器里形成的、能量为 1600 万伏特的高速氘核去轰击铀，把它转变为放射性同位素，同天然放射性产品镭 E 相同。这是一个很有趣的成果。同样质量为 23 的钠或钠盐被高速氘核所轰击，产生质量为 24 的放射性同位素。这种放射性的钠分裂时，发出一个 α 粒子，而形成质量为 24 的镁的稳定核，其半衰期为 15 小时。因此劳伦斯得到强的放射的源，可以作为镭的代用品，用于医疗工作。

查德威克与戈德哈伯(Goldhaber)使用 α 射线将氘核 ${}^2\text{D}$ 分裂为质子与中子。齐拉德(Szilard)将质量为 9 的铍(${}^9\text{Be}$)分裂为 ${}^8\text{Be}$ 与一个中子。这一方法能否发展，取决于能否取得高能强 α 射线。

在这一时期里得到 250 多种新的放射性物质。这些不稳定的同位素可能存在于太阳上，也可能存在于刚从太阳分出的地球上，但是随着地球变冷，它们便消失了，只留下衰变期很长的铀和钚了。

这些人工变化里，有些能量变化甚至比天然放射性分裂中的能量变化还要大。例如 21,000 伏特的氘核可以使一个锂原子变化，而发出 2250 万伏特的能量。因此可以赢得大量的能量，初看起来好象可以在这里得到原子能的无限源泉。可是在一亿 (10^8) 个氘核中大约只有一个可以发挥作用，所以出入相抵，我们所要供给的能量超过所获得的能量。而且就中子而论，中子自身只能用效率极低的方法获得。在 1937 年，的确，看起来好象用人工改变的方法从原子中获得有用能量，并没有多大希望。在这一点上，我们应当记得，在应用科学的历史上，以前希望没有这样大的前景，都曾经使得宗教界的先知们惊恐万状过。事实上，1939 年哈恩 (Hahn) 和迈特纳 (Meitner) 就发现当铀原子被中子撞击时，它的核分裂为两个主要成分，各占其质量的一半左右，而且出现二、三或四个中子。乍一看来，这好象就是我们要寻找的垒集过程，但事实上只有一种铀的轻的同位素 (其原子量为 235 而不是 238) 可以分解到有用的程度，可是只有微量的存在。首先发现质量为 235 的铀的是登普斯特，明尼苏达的尼尔 (Nier) 和纽约哥伦比亚的布斯 (Booth)，邓宁 (Dunning) 与格罗斯 (Grosse) 旋即研究了它的分解。同样的过程也发生于钚。那时许多实验室异常努力地从事这些同位素的分离。虽然困难很大，但是由于战争的刺激，很快就把这个工作推向高潮。起初轻的铀 235 须从成分很大的 U238 分出，或用小孔弥散法，或用阿斯顿的质谱仪法。分量少时，由于中子的逃逸，不能引起连锁反应，因而这物质是稳定而无害的。可是如果将无害的两块物质放在一起，而超过一定的份量，分解就逐渐垒集起来，并引起巨大的爆炸。

化学反应是由原子外围的电子的变化引起的，这种爆炸却是由于原子核的破裂所致，自然是一件可怕得多的事情。一磅铀所发出的核能等于很多吨煤燃烧时产生的热能量。

原子量为 238 的铀可用以捕获中等能量的中子，而发射出电子。这个过程形成一种以前未知的元素，被命名为钚 (Pu)。

为了和平的目的，可能需要用“缓和剂”来吸收一些在核反应中释放出来的中子，借以控制而且减缓核反应。有些轻的原子，如石墨形态的碳，及前面说过的重水里氢的同位素，都可用作缓和剂。铀 238 可以插入缓和剂的“堆”中，所释放出来的热能可以用来发电。

在 1939—45 的战争期间，美英两国的物理学家、化学家与工程师，群策群力，共同合作，在制造原子弹方面和德国人展开了生死攸关的竞赛，并且在这一竞赛中取得了胜利。庞大而复杂的原子工厂在美国一个空旷地区建立起来，1945 年投在日本的两颗原子弹结束了战争。留给各国政治家的工作便是控制核能的使用，以期使它为人类造福而不是造祸。我们面前摆着可怕的危险，也许核能的威力会使各国恐惧，从而迫使各国走上和平的道路。战争的消除当是科学的最大胜利。

同时原子研究的和平应用，已经为戴尔爵士等人所开始了。一个最显著的例子便是所谓“示踪元素”的使用。靠观测这类元素的性质，可以查明它

们存在与运动的踪迹，其中最好的也许是某些放射物质。现今已有数量多得多的同位素作为原子堆的副产物，供人使用，因此在近年内示踪元素的应用发展异常迅速。放射原子可以混合在有机物内，作为动物的饲料，这样食物在体年的运动，可以用盖格-弥勒计数器去追踪它。我们可以不夸大他说，放射性示踪元素为生物物理学与生物化学打开了一个完全新颖的领域，且给予医疗界一个新的诊断法。

还有，放射物质的大量生产已经使放射治疗变得更容易、更便宜了，例如用以毁灭癌性组织。

还可以把示踪剂混在肥料里，靠估计农作物内的放射性，来测量肥料在农业生产上的效果。总之，示踪元素用途之广，差不多可以说是无限的。

物理理论的新发展，通常总是使人们要找到描述现象的数学方程式，比从物理学上加以解释，要容易。例如海森堡与薛定谔的量子力学，通过解决简单的例子建立起普遍的数学公式，后来才提出一些物理学的解释，例如状态的叠加和测不准原理，也导致了425一种满意的非相对论的量子论。

要使量子论成为相对论性的，狄拉克也觉得解决数学方面的问题很容易，可是在解释上却有困难。他的解释最好用初始的与过渡的机遇来表示。这样，物理学如往常一样，仍然停留在概率演算的领域。

爱丁顿在我们所期待的物理学的新综合方面，取得一些进展。由于他把物理常数，如质子与电子的质量以及它们的电荷等等的理论数值与观测的数值加以比较，而得到很显著的符合，他成功地把万有引力、电力和量子论联系起来。关于现代物理学这方面的问题，可参看弗伦克尔（J.Frenkel）的一篇综合叙述。

化学

化学变化的动力学，在现代是一个不断研究的主题。阿累利乌斯首先提出：在一定量的物质里，只有一定数目的分子参与化学变化，而且这数目是随温度而增加的。这一理论现在看来是可疑的。现在人们以为这些分子，是由于“碰撞”，才变得运动迅速，从而起活化作用，就是在单分子的反应中也是如此。

氨与硝酸盐是农业肥料所需要的，硝酸盐也是制造开矿用的炸药和军用炸药所必需的。有一个时期，大家害怕（特别是克鲁克斯）智利的硝酸盐矿用完后，化学肥料会变得不足，世界小麦的供应也会变得不足。我们看见只有在战争时期才发生过这个现象。在正常和平时期是没有这个现象的。植物育种者已经培养出小麦的变种，可以适应北方的寒冷区域，因而扩大了种植

在盖格-弥勒计数器里，有一细丝沿一圆柱导体伸出。在丝与柱之间有1000伏特的电位差，使观测者得探查出一个电子的进入器内。

Royal Society, Bakerian Lecture, 1941.

Proc. Physical Society, LIV, 1942, p.491.

Nature, Sept.30 and Oct.7, 1944.

Alexander Findlay, A Hundred Years of Chemistry, London, 1937. A.J. Berry, Modern Chemistry, Cambridge, 1946.

C.N. Hinshelwood, The Kinetics of Chemical Change in Gaseous Systems.

F.A. Lindemann (Lord Cherwell), Faraday Soc. 1922.

面积，化学家也用合成方法制出了氨与硝酸盐。

卡文迪什曾将电火花在空气里通过，而得到酸。一百年后挪威的伯克兰 (Birkeland) 与艾德 (Eyde) 把这一方法加以大规模的发展。奈恩斯特 (Nernst) 与约斯特 (Jost)，继后，哈伯 (Haber) 与勒·罗西诺尔 (Le Rossignol) 研究了氨、氮和氢在各种温度与压力下的平衡，并且利用各种催化剂的帮助，于 1905 年前后研究出一种实验室方法，从空气制成了氨，而且到 1912 年，哈伯的方法已经在工业和军事的用途上取得了成就，这是由于在 1914—1918 年的战争期间受了德国需要硝酸盐的巨大刺激的缘故。这个方法就是使氮与氢在 200 或更高的大气压与 500 的温度下，在一种催化剂上面流动。再使氨与硫酸或硫酸钙起作用，而变成了硫酸氨，或将加热的氨和空气一道通过象铂绒那样的催化剂，使氨变成硝酸氨。

一百多年前开始研究的一些催化剂，现在对于化学的动力理论与许多化学工业，起了很重要的作用。催化剂很久以来就用于象哈伯法那样的反应中，近年来应用得更广。将氢气通过混有镍屑的热油液，油便氢化，而变成一种熔点较高更可口的脂肪。在高压下使氢气通过碳粉与煤焦油混合的热糊剂，并用一种适当的催化剂，可使其氢化，生成物经过蒸馏，便成为汽车用的轻油、中油和重油。催化剂用途的例子，多至难以一一列举。

莫斯利的元素表中的缺空，现在已经差不多填满了。1925 年，W. 和 I. 诺达克 (Nodack) 使用 X 射线分析，发现了 43 和 75 号元素，而命名为钨与铼。1926 年 B. S. 霍普金斯 (Hopkins) 宣布他发现了 61 号元素钷 (Pm)。这或许还没有得到完全的证实。周期表上的倒数第二个缺空——一个元素属砹类名砹 (At) ——于 1940 年由加利福尼亚大学的科森 (Corson)、麦肯齐 (Mackenzie) 与西格雷 (Segre) 发现。他们在回旋加速器里，用 α 质点击铀而发现这个元素。

卢瑟福—玻尔的原子理论，经过修改以后，使我们对于化学结构有了一个电子的概念。电子可以占据的轨道或能级，由主量子数 $n=1, 2, 3$ 等等规定，这也表示壳层里的电子的数目。这些能级上可以存在的最多的电子数是由下列级数 (里德堡级数) 给出： $2 \times 1^2, 2 \times 2^2, 2 \times 3^2$ 等，外层最多的电子数是 8。一满了 8 这个数，便特别稳定；这种情况发生在除氦以外的一切惰气中；在 $n=1$ 时，氦有两个核外电子，而氢只有一个。到了钠，开始形成量子数为 3 的另一个新的电子壳层，到了氩而满额。氩的电子结构是 2, 8, 8。

这一理论给原子价的学说提供了物理学的根据。化合可以看做是电子从一个原子迁移到另一个原子去。原子价代表一个原子必须获得或放弃的电子数。这个原子必须获得或放弃这么多的电子，才能形成一个电子结构同最邻近的情气一样的体系，或者说形成具有 8 个电子壳层的体系。化合也可以由于两原子共用一些电子而发生；这种原子价叫做共价。牛津的西奇威克 (N. V. Sidgwick) 对这一原子价理论阐释得特别详细。

如果两个原子的轨道共用两个电子，它们便是靠所谓共价键结合起来的。如果两个电子不是均等地共有，则一个原子具有多余的阳电，另一个具有多余的阴电。这个分子将具有极性，并且具有偶极矩，这等于一个电荷同

Rideal and Taylor, *Catalysis in Theory and Practice*, London, 1926. Carleton Ellis, *The Hydrogenation of Oils*, London (U.S.A. Pr.), 1931.

另一元素名钷 (Fr)，于 1939 年为珀里 (Perry) 女士所发现。——译注

两电荷之间的距离的乘积。这些极矩可以根据介电常数（电容率）或不均匀磁场里磁束的偏折度估算出来。雷德（Wrede）、德拜，还有西奇威克与包温，都对偶极矩进行过研究，以此作为探索化学结构的指针。单质分子如 H_2 、 O_2 没有偶极矩，因此是均等地共有电子，但是 HCl 有一极矩，为 1.03×10^{-18} 静电单位，原子间的距离是 1.28 埃；其他化合物也是这样的。

波动力学在化学上也如在物理学上有其重要性，特别表现在共振原理上。共振的发生是由于一个分子由一电子结构跑到另一电子结构中，并且表现出两者的某些性质。

原子发射出线状光谱，但从分子可以得到带状光谱，其分子的组态也可以测定出来。一束单色光经过透明物体时发生散射，由此而形成各种频率的辐射——散射介质的特征（斯梅卡耳-拉曼效应）。哈特利（W.N.Hartley）等人新近证明，结构相似的化合物在紫外区有相似的吸收光谱。他们还从分子结构的观点，研究了红外吸收光谱。

劳厄首先提出用 X 射线考察晶体结构，先后有弗里德里希与基平，布拉格父子（384 页）加以研究。这种研究表明，氯化钠的立方晶体由钠离子组成。每个钠离子为六个氯离子所包围，相同地每个氯离子也为六个钠离子所包围。金刚石里每个碳原子部处在四面体的中心，而与角上的四个碳原子互相束缚。这种紧密的结构说明金刚石的硬性。用 X 射线对二苯基晶体的分析表明，它具有六个碳原子组成的环形结构，和凯库勒由苯与其衍生物的化学现象推断的一样。新近罗伯森（J.M.Robertson）等人将傅立叶级数的方法应用于萘与蒽，以测定许多化合物组成原子的排列方向和化学键的性质。X 射线也被用于考察合金、无机与有机化合物，都有成就。

对于晶体结构的分析，不但可以利用 X 射线进行，也可利用电子衍射进行，因为以上讲过，运动的电子挟带有波列，而可表现干涉现象等等。由电子衍射和 X 射线所得的结果是相合的。德拜使用 X 射线研究晶体粉末，后来发现用相似的方法，对液体与气体也可以得到干涉花样，并且可以测定原子之间的距离。1930 年，维耳（Wierl）更使用了改进的方法。

凯库勒发现的苯的环形结构式以及范特-霍夫和勒·贝尔的碳原子结构成四面体的理论，成为立体化学的伟大结构的基础。如果承认碳原子的四个价电子作四面体的排列，则价电子键之间的角度将是 $109^\circ 28'$ 。如果形成环状，由于正五角形的角为 108° ，一列五个碳原子，首尾两端必然互相接近，形成环状，键间很少应变，因而很稳定。W.H.珀金（Perkin）（子）制出了具有 3、4、5 和 6 个碳原子的环状的化合物，近年来，化学家，特别是索普（Thorpe）与英戈尔德（Ingold）等人证明，从一个碳原子出来的两个价电子之间的天然角度，显著地受到所附的基团（如甲基团）的影响，因而应变可以减少，稳度可以增加。这种环结构出现在许多天然物里。如范特-霍夫所预测的，旋光性出现于不对称的分子，可是却没有不对称的碳原子。梅特兰（Maitland）和米尔斯（Mills）已经证明丙二烯型化合物的情况就是这样，它们的分子并不具有对称面。化学这一分科的大发展是靠了 X 射线分

萘是由煤焦油中提得的芳香碳氢化合物，白色晶体。它的衍生物是合成染料、树脂、药物的中间休。蒽也是相似的碳氢化合物，淡蓝色荧光晶体，是合成蒽醌系染料的重要原料。——译注

Ingold, J.Chem. Soc. 1921.

Nature, vol. CXXXV, 1935, vol. CXXXVII, 1936.

析的应用，因为这种分析将原子和分子的结构，表现得异常明白。

建立在煤焦油基础上的化学工业，范围极其广阔。它从理论科学产生，而反过来对理论科学有很大的影响。翁韦多本（Unverdorben）与霍夫曼（Hofmann）从煤焦油分离出一种名叫苯胺（安尼林油）的物质。霍夫曼还证明煤焦油里有苯。W.H.珀金（父）于1856年用重铬酸钾处理硫酸苯胺，而得到紫色或紫红色的安尼林；这是首创的安尼林染料，以后发明了很多种这类染料。1878年，在库珀（Couper）和凯库勒奠定的基础上，E.和O.费舍（Fischer）首先阐明了它们的化学结构。他们证明玫瑰芋胺（一品红）、洋红等的来源是碳氢化合物，三苯甲烷。这工作引出许多新染料和合成这种染料所必需的中间体。后来格里斯（Griess）制成具有偶氮基团（N:N）的偶氮化合物。这又导出一个新系的偶氮染料。

茜素染料，如土耳其红，于1868年合成，跟着而来的有蒽醌的其他衍生物。约在1897年，从苯基甘氨酸制出的工业蓝靛，开始将天然蓝靛逐出市场，使印度的种植者破产。

染料在工业上虽属重要，药物对于人们的福利更有贡献。有机药物的合成时代开始于解热药，如安替比林（1883），止痛剂非那西汀（1887）与水杨酸，即阿斯匹灵（1899）。这些药物的发现，创立了现代的化学治疗学派，主要的创始人当推欧立希（Paul Ehrlich, 1854—1915年）。他制成一种医治马病的药物与一种名叫盐酸二氨基联砷酚（即六六六）的砷化合物，能杀灭在人体内造成梅毒的螺旋体菌（1912）。尿素的一种复杂衍生物，于1924年为富尔诺（Fourneau）所制成，能消灭造成昏睡病的寄生虫。以后几年，一系列以氨苯磺胺和磺胺吡啶等磺胺类药物为基础的合成药，由梅（May）与贝克（Baker）合成，叫做M.B.693，对于控制伤害人畜引起很多疾病的链球菌和肺炎球菌都很有效，而磺胺肌成了痢疾的特效药。

起初这些药物并无理论的基础，到1940年菲尔兹（Fildes）、伍兹（Woods）与塞尔比（Selbie）才证明，磺胺类药物的作用在于阻止病原菌获得它们生长所必需的另一种同族物质，名叫对氨基苯甲酸。这个成就表明进一步探讨的方向应当是研究细菌的代谢，寻找细菌所需要的物质，并找出防止细菌利用它们的方法。

青霉素最初是由弗莱明（A.Fleming）爵士在1929年从笔毫霉制出并命名的，后经牛津的弗洛里（Florey）等人加以研究，并证明比磺胺类药物更有效。

在帝国化学工业的曼彻斯特实验室里，于1945年发现一种抗疟疾的特效药名“白乐君”（paludrine）。杀虫药也经人研究，一种能杀昆虫而于人畜无害，名叫六氯化苯（即六六六）的杀虫药制备成功了。

维生素的最新研究成果要在生物化学栏内作总的叙述，但关于维生素的结构与合成的叙述，很自然地要放在化学栏里来。维生素A是生长必需物，其成分为 $C_{20}H_{30}O$ ，卡勒（Karrer）提出了一个结构式，说明它的化学反应及其与它的前身胡萝卜素的关系。维生素 B_1 ，有抗神经炎的功能，为哥伦比亚大学的威廉斯（Williams）所合成。抗坏血病的维生素C，存在于绿色菜

Reports of Medical Research Council 1930—40, J.R. AgriC. Soc. 1940.

Britain To-day, vol, LXXIX, 1942, P. 15

Britain To-day, vol, LXXIX, 1942, P. 15

蔬与柑属水果里，其结构式比较简单，表示如图 18。这种维生素先经人提取，后于 1933 年为伯明翰的霍沃思 (Haworth) 合成，现在称为抗坏血酸。

以上讲过，有机化学的基础在于碳原子具有互相结合为复杂结构的能力。大致类似的能力也为硅所具有，近年来也变得很重要。

1872 年，冯·拜尔 (Von Baeyer) 发现酚 (石炭酸) 与甲醛化合成为一种树脂物。1908 年，贝克兰 (Baekeland) 发现这种树脂在碱性的催化剂内加热，变成一种有塑性的物质。这叫做“电木”，在以甲醛为基本材料的反应中还取得了其他塑料物。它们可以用作漆料、釉料，并可用来制造留声机唱片、飞机骨架等。

橡胶于 1892 年由蒂尔登 (Tilden) 用异甲基丁二烯合成。1910 年，马修斯 (Matthews) 发现金属钠可以促进异甲基丁二烯的聚合化，但现今异甲基丁二烯已经由碳氢化合物，丁二烯或氯丁二烯取代了。这些合成物常加在天然产品内。

合成有机化学家对照相术作出了很多的贡献。起初，他们制成了显影剂 (焦性没食子酸等)，继后制成一些染料，这些染料使胶卷对光谱可见区与不可见区的不同的光线都具有感光作用。由于制出对于红外光具有感光作用的照相乳胶，几哩以外的对象，也可摄得清晰的形象，这用普通底片是办不到的。照相术对于许多学科，自天文学以至微生物学部很有帮助。

费舍对于单糖的基础研究工作 (253 页)，为许多人所继续，他提出一个敞开的链形结构式，不过，人们现在公认的是霍沃思所提出的六成分型环形结构式。伊尔文 (Irvine) 与霍沃思和美国的赫德森 (Hudson) 使用甲醚研究象蔗糖那样的双糖。开始了氨基酸的现代研究的也是费舍。但迄今为止用合成法制出的结构最复杂的多肽类合成物，虽然分子量超过 1300，还是离蛋白质很远。蛋白质可以分为两类，其分子量分别为 35,000 与 400,000 的简单倍数。现在虽然通过动物纤维的 X 射线研究，得到了蛋白质分子结构的形象，但仍有相当距离，人们还不能合成蛋白质。

现代的物理与化学仪器，比五十年前的复杂得多了。个人很少能够建立起一个实验室。业余爱好者虽然在过去对于科学作出了不少的贡献，但他们的时代似乎过去了。现在大多数文明国家的政府都资助研究工作。英国将补助费送结各大学和皇家学会去进行基础研究工作，至于工艺的研究则交给科学与工业研究部、医学研究理事会或农业研究理事会去掌管。

Irvine, Chem, Rev.1927; Haworth, B.A.Repor, 1935.

Vickery and Osborne, Physiol.Rev. 1928;Astbury, Trans,Faraday Soc.

第十一章 恒星宇宙

太阳系——恒星——双星——变星——银河系——星的本性——星的演
掩——相对论与宇宙——天体物理学近况——地质学

太阳系

上面说过，刻卜勒关于太阳和行星的观测，已经提供了太阳系的模型，但是在其中一个行星的距离还没有用地上的单位测定以前，这个模型的比例尺度是不知道的。里希尔在 1672—3 年间进行了这种测定工作（见 150 页），而且在若干方面还具有现代精确性：（1）1728 年，布莱德雷发现了远星的“米行差”（当地球从一方横过这星光的行径，半年后又从反对方横过时，观测者两次所看见的星光方向的差异）。当时这一发现被用来证明光以有限速度进行，但因光速现已有他法测定，光行差反过来可用以测量地球的速度与其轨道的大小了。（2）当金星经过地球与太阳之间时，由地球上两个站所测定的时刻，也可用来以三角学的解法，计算太阳的距离。（3）当小行星（爱神星）于 1900 年经过地球附近时，曾以三角测量法测定其距离。

以上三个方法所求得的太阳系的大小，是一致的：从地球到太阳的距离是 9280 万（后改为 9300 万）英里，相当于光以每秒 186,000 英里的速度行 8.3 分钟的距离。太阳的直径为 865,000 英里，其质量为地球的 332,000 倍，其平均密度为每立方厘米 1.4 克，而地球的平均密度为 5.5 克。

我们关于太阳系的知识，在 1930 年由于汤姆保（Tombaugh）在海王星轨道以外发现了一颗新行星而扩大了。美国亚利桑那州旗杆天文台对天空某些可能发现行星的区域，作了填密的搜索，方法是将几天时间内所拍的两张照片加以比较，照片上如果有一个光点改位，就说明那是一颗行星。这颗新行星围绕太阳运行一周需 248 年，其平均距离是 36 亿 7500 万英里。这颗行星命名为冥王星。冥王星轨道的直径为 73 亿 5000 万英里，可以看做是现今（1946 年）所知的太阳系的范围。

人们时常讨论别的星球是否有生物居住，对于太阳系而言，这问题便成了别的行星上的情况如何。这些情况中最重要一个是行星外围的大气的性质。大气的存在依靠“脱离速度”，——即气体分子运动时足以使其脱离行星引力的羁绊的速度。这速度的数值为 $V^2 = 2GM/A$ ，式内 G 表引力常数，M 表行星的质量，A 表其半径。以每秒英里计，对于地球， $V=7.1$ ，对于太阳为 392，另一极端，对于月球为 1.5。运动最快的分子是氢分子，在 0 为每秒 1.15 英里。根据秦斯的计算：如果脱离速度为分子的平均速度的 4 倍，在 5 万年内大气便完全逃逸，如果为 5 倍，则逃逸率便小到不足计较。因此月球上没有大气，大的行星，如木星、土星、天王星与海王星，比较地球有更多的大气，火星与金星上的大气可以和地球上的相比拟。金星上多二氧化碳；但显然没有氧气与植物；那里的条件尚不能使生物存在，而火星上呢，生物存在的机会似已过去，或将近过去。

F.J.M.Straton, *Astronomical Physics*, London, 1925. Sir J.H.Jeaus, *Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928. A.S.Eddington, *Stars and Aoms*, Oxford, 1927. T.C.Chamberlin, *The Two Solar Families*, Chicagc, 1928. H.Spencer Jones, *Life on other Wrlds*, London, 1940.

恒星

冥王星轨道以外，是一片洪渺无边的空间。当地球在六个月内由轨道的一边行至它一边时，凭借缜密地观测可以察知最近的恒星在较远的恒星所形成的背景上改位。再过六个月恒星的位置复回到原处；如果把这些星本身的微小运动略而不计的话。由于我们已经知道地球轨道的直径，只要把恒星本身的微小运动和光行差估计在内，根据一颗星在六个月内的视差，用三角测量法，便可推求恒星的距离。

1832年，韩德逊在好望角对恒星视差进行了观测，接着在1838年，便有贝塞耳（Bessel）和斯特鲁维（Struve）进行了精密的测定。用这样的方法发现，最近的星，一个微弱的小光点，叫做半人马座比邻星，距离我们达24万亿（ 2.4×10^{13} ）英里（光须走4.1年），约为冥王星轨道的直径的三千倍。明亮的天狼星的距离为 5×10^{13} 英里，或8.6光年。约有两千颗恒星的距离，已用这个方法测定到相当高的精确度，但这个方法现今只可应用于十个光年以内的恒星。

晴明的夜里，人眼所见的恒星可达数千。如果使用口径愈来愈大的望远镜，则可见的星愈多，数目的增加并不与望远镜的口径成正比例，因此我们可以说：恒星的数目不是无穷多的。美国威尔逊山天文台的100吋反射望远镜，在1928年是世界上最大的望远镜，能够观测到的星数估计约为一万万颗，而在我们的星系（银河系）里，恒星的数目，据不同的估计为15万万颗至300万万颗不等。200吋反射望远镜现在正在制造中。

希帕克过去依照星的亮度，将星分为六个“星等”，而现今已将这尺度扩充到包括20等以外的微弱星，其亮度只有一等星的万万分之一。这种量度的方法，自然是依据地球上所看见的恒星的视亮度为标准。对于一颗已知其距离的星，我们可以计算它移至某一标准距离时应有的视星等，这种星等叫做绝对星等。

如果挟绝对星等分类，则在所有星等的数值中都有星的存在，但如赫兹普龙（Hertzsprung）所指出，而后来为罗素（H.N. Russell）所证实的：高星等与低星等的星的数目，比较中星等的星多。前两者叫做“巨星”和“矮星”。以后还要详细谈到。

同一光谱型而距离已知的恒星证明，绝对星等和某些谱线的相对强度之间具有有规则的联系。因此仔细研究这些有决定性的谱线，可以求得未知距离的星的绝对星等，然后再根据其视星等以估计其距离，即使这距离远到不能以视差的方法来测量。这是估计恒星距离所用的几个间接方法之一。

双星

许多里用内眼看似乎是单颗，用望远镜看，乃是成对的。有些成对的双星，可能互相离得很远，所以看来很接近的原因，是由于它们几乎在同一视线上。然而双星的数目很大，用恰巧在同一视线上的说法，不足以解释全部双星。在大多数情况下，双星中的两星之间，一定有某种关系。成廉·赫舍

这座大望远镜已于1948年完工，能拍照到微弱到23等的恒星与星云，估计数目达千万颗之多。——

耳于 1782 年开始观测双星，到 1793 年，他已经找出足够多的双星的行径，可以证明双星围绕着位置在椭圆形一个焦点上的公共重心，而运行在椭圆轨道上。因而他证明，双星的运动也遵循牛顿在太阳系里所寻得的引力定律。

由距离和轨道都已测定的一些双星，可以算得它们的质量，一般是太阳的一半至三倍。这与由其他方法所得的结果颇为吻合。各类星质量上的差别并不很大，而其大小与密度却有极大的差别。

有些双星的两个成员相距太近，以至不能用望远镜分开，但可用分光的方法去分辨它们。如果我们的视线恰在双星的轨道平面上，当双星的联线垂直于视线之时，则一星向我们而来，他星背我们而去。于是按照多普勒原理，一星的光谱的谱线将向蓝端移动，而他星的谱线则向红端移动，因而在双星光谱中，其谱线的数目必至加倍。但当两星的位置一前一后时，它们便在横过我们的视线方向运动，因而其光谱里便无谱线加倍的现象。靠观测这种光谱上的变化，我们可以估计其绕转的周期与速度，并可计算两星的质量之比。如果目视与分光两种测量均属可能，则两星的质量都可以求得。

1889 年，皮克林 (E.C. Pickerin) 首先以分光的方法发现一对双星。他宣布大熊座星光谱中有些谱线加倍，表示这颗星是周期为 104 日的双星。自此以后成百的“分光双星”被人发现，主要是在美国和加拿大的天文工作者用了大望远镜与摄谱仪，而且在晴朗空气中工作所发现的。

变星

许多恒星的光常改变其强度。如果变化是不规则的，这或者是由于炽热气体的屡次爆发，但光变的周期，在许多例子中，是颇有规律，因此，可以推断，光变的原因或者是由于当一颗亮星与其暗的伴星互相环绕运动时，亮星的光的一部或全部，于一定时间为暗星所遮蔽，而形成亮星的星食。这个解释有时可从光谱得着证实，因为当亮星在向着或离开地球运行时，其谱线发生周期性的移动。根据亮度随时间变化的曲线，再加上谱线的测量，常可以对某些双星系有很完全的了解。例如大陵变星与天琴座星就是这样。

双星的数目很大，还有更为复杂的体系——聚星，也可以用相同的方法，加以识别和研究。例如我们熟悉的“北极星”，由分光测量，知其含有每 4 日互相绕转一周的两星，还有一个以 12 年为周期的第三星，以及一个以大约两万年为周期的第四星。

更有其他变星如仙王座星（造父变星），不能用星食说去作解释。它们每隔几小时或数日迸发出比它们的最小亮度强若干倍的光辉。这种造父变星中的短周期的一类，表明其光变周期与其光度或绝对星等有一定的关系，这关系是 1912 年哈佛大学勒维特 (Leavitt) 女士所发现的。这个发现的价值立刻为赫兹普龙及那时在威尔逊山天文台工作的夏普勒 (Shapley) 所认识。这现象很有规则，可用以测量距离未知而据与此同类型的星的光变周期，去估计其绝对星等；再观测这颗星的视星等，便可计算其距离。这是测定距离太远、不能表现视差之星的又一方法。

银河系

天空恒星最多的区域是在一个宽度不定的带上，这带叫做银河，围绕天

穹成一巨环。有些地方星数太多，以致成为“恒星云”，须有优良的望远镜，始能鉴别其中的个别恒星。掺杂其间的还有不规则而且不能加以分析的“星云”。在恒星聚成一带的中间，剖分银河的大平面，叫做银道面。这可看做是恒星系的一个对称平面。恒星似向这平面丛聚，特别是较热的星与较暗的、因而一般是较远的星。

这表示我们的恒星系附于银道面，而成扁平的形态，好象形成一个大透镜状的恒星集合体。我们在这集合体之内，而不居于其中心。我们所看到的银河里的星所以比较多，主要是由于我们望银河时是朝着透镜的边沿去看，而在这方向恒星散布空间的厚度比别处大得多。

除恒星云与不规则的星云之外，还有恒星的球状集团，约 100 个，这些“球状星团”以银河中段外边不远的地方为最多。其中包含造父变星。夏普勒根据它们的光变周期和借助其他间接方法，算出这些星团距离我们约 2 万至 20 万光年。

由此得知，我们的恒星系有一最长的直径，至少长达 30 万光年。我们的太阳，离开整个星系的中心约 6 万光年，而在中央平面偏北处。多年观测恒星的视运动的结果表明，太阳是以每秒 13 英里的速度，朝着武仙座的方向运动，如果以这运动的方向作为参照线，则有两个主要的星流经过空间。

天空中最惊人的东西，是那些巨大的旋涡星云。它们很可能是正在形成中的星系或者说银河系，关于这一观点的论证，以后还要谈到。这些星云的范围非常庞大，虽为稀薄气体所组成，但一个星云就含有足以形成十万万个太阳的物质。它们的数目很多：加利福尼亚威尔逊山天文台的哈布耳（Hubble）博士估计，在该台的 100 英寸望远镜中，可以见到的约有两百万个。它们中有些距离很远，估计在 50 万至 14000 万光年，很可能在我们的星系之外。宇宙空间里似含有很多恒星聚集的银河系，即夏普勒所称的“岛宇宙”，我们的星系不过是其中之一而已。

1904 年，荷兰格罗宁根的卡普登（Kapteyn of Groningen），在研究恒星统计时，发现我们的星系里有两个在多少不同的方向上运动的主要星流。现今，这两个星流应当和莱登的奥尔特（Oort of Leyden）的另一发现联系起来讨论：这是银河系整个的自转，它围绕距离我们一万秒差距在人马座的方向上的一个中心旋转，自转的速度，按照引力定律，向外减少。在我们的区域轨道速度约为每秒 250 公里，转一周约需二亿五千万（ 2.5×10^8 ）年。整个银河系的质量约为 1500 万万（ 1.5×10^{11} ）个太阳，如果每颗恒星的平均质量等于太阳的质量，银河系所含的恒星大约也是这个数字，约为外推法计算的数字的十倍。

星的本性

赛奇（Secchi）神父约于 1867 年在罗马提出一个按恒星的光谱分类的方法，哈佛天文台又加以很大的改进与扩充。星的颜色在肉眼看去已有差别。由于照相对于光谱紫色的一端比较灵敏，以照相法求得的星等，与肉眼估计的并不相同，其间的差异成为星色的一种量度方法。这些差异也表现在各种恒星的光谱里。在这些恒星的光谱里可以寻找出一系列的谱线，不知不觉地

秒差距是相当于视差为 1 角秒的距离，等于 3.26 光年或 2×10^{13} 英里。

逐渐过渡，而表现出各类恒星的特性，哈佛大学以 O, B, A, F, G, K, M, N, R 去区别它们，这序列里前面的是比较蓝色的星。

O 型星的光谱，在暗的连续背景上，出现若干明线。在有些光谱里，氢与氦的谱线很强。B 型星的光谱呈现暗线，氢线十分显著。A 型光谱中有氢谱线、还有钙和其他金属谱线，在 F 型光谱中，后面这些谱线加强。G 型星包括太阳，呈黄色，其光谱在明亮背景上呈现暗线。碳氢化合物的谱线第一次出现于 K 型星中。M 型星呈现宽的吸收谱带，特别是氧化钛的谱带。N 型星呈红色，其光谱有一氧化碳和氰 (CN) 的宽谱带。R 型星虽不如 N 型那样红，但也有 N 型里的那些吸收谱带。

这种关于光谱的观察，被用来估计各型恒星的有效温度。如果将一个黑体（它可以看做完全的辐射体）渐渐增高温度，则其辐射的特性与强度也逐渐改变。就每一温度而言，辐射能量与波长有一特殊的曲线关系，在某一特定波长上达到最大值。随着温度增高，这一最大值的位置向光谱的蓝端移动，因而可以说明温度。人们还用几种方法对能量的分布加以研究，例如采用照相法及研究辐射特性的变更等方法。不但如此，温度和电离对于光谱的影响，还可以在我们所能控制的范围内，在实验室里加以研究。萨哈 (Saha) 在 1920 年、福勒 (R.H.Fowler) 和米尔恩 (E.A.Milne) 在 1923 年都曾经利用恒星光谱中若干吸收谱线的形态，来估计起吸收作用的原子的温度。

各种估计恒星温度的方法所得的结果，颇能互相吻合。刚可看见的星大约是 1650 度，已知最热的星达 23000 度。这些当然是辐射表皮层的温度。星的内部必然较外层为热，其温度可达几千万度。

上面讨论绝对星等时，我们说过，大多数的恒星分为“巨星”和“矮星”两大类，前者光度比较后者大得多，可是也有一些中等光度的星。但可以注意之点是：这一分类只有对于 K 型星以下较冷的星（温度不超过 4000 度）才显著。对于较热的星，分类便不显著，及至 B 型星就完全混淆莫辨了。这些恒星都是巨星，其光度都是太阳的 40 至 1600 倍。

这些事实被人认为指明了一个确定的结论：即所有的恒星都经过一个大体相同的演化过程。每颗恒星最初是一较冷的物体，嗣后温度渐渐增高，而达到最高温度（视其大小而定），然后再渐趋冷却，温度渐次下降，经历一个相反的过程。

当恒星温度升高时，它发出大量的光，这意味着它的体积很大，因而归类为“巨星”。但当其冷却时，它的大气在温度方面经历一个与以前相反的过程，在冷却时所经过的光谱型，虽然在细节上略有差异，但大体上与温度升高时期所经过的相同。然而这颗星现在的绝对星等，换言之即其光度，却比较以前小得多了。既然这时温度与以前上升时期相同，这一事实就表示这颗星的体积较前为小，遂成为“矮星”了。

这是罗素所阐述的恒星演化过程，与勒恩和利特尔 (Ritter) 所阐明的互相吸引的气体团的动力学相符合。如果这团气的质量够大，则重力必定使它收缩。它将放出热量而变热。但当其收缩时，其收缩的速率必逐渐减少。到了某一临界密度时，这一庞大的炽热气团所生的热量，将小于其所辐射的热量，于是这团物质开始冷却。我们在讨论太阳的年龄时说过，这过程不能解释其所放出的全部热量，那时已经认为或有他种能量的来源（如原子的蜕变）取决于温度，并经过一种相似的过程。

这个恒星演化的理论，已经根据最近的研究加以修正，而将原子结构的

新知识应用于天体物理学。人类靠了他处在原子与恒星中间的有利位置，可以利用由一方所得的知识，作为研究另一方的参考。

已知太阳或任何一颗星的大小与平均密度，并假定其整体都是气体，就可以计算其表面下压力随深度而增加的变率，爱丁顿便做了这个计算。对于气体的恒星，爱丁顿发现光度主要随质量而变化，在某些限度内，光度粗略地与质量成正比例。在恒星里任一层，其上面的压力，为下面气体的弹力和辐射的压力所支撑。据分子运动论，气体的弹性，是由于气体分子的碰撞造成的，而气体分子的速度随温度而变化。要支持太阳或其类似的恒星内部的巨大压力，则其温度当达四千万度至五千万度的数量级。如有一星比这个大得多，据爱丁顿推算，其内部的辐射压必至过大，致使它变成不稳定，而趋于爆裂。这样，星的大小有一自然的上限。

恒星内部的一个区域，甚至一大区域，实际是一个恒温的包壳，其总辐射按绝对温度的四乘方而改变。当温度增高时，在光谱上能量最大的辐射，按已知定律，逐渐变为波长较短的波。当温度高达数百万度时，则其最大能量便远远超过可见光谱的波段，而至 X 射线或波长更短的辐射区域，但这些辐射，在其行至恒星外层的途中，不断地受到原子的碰撞与作用，因而变成波长较长的辐射，最后仍以光和热的形式发出。但有一引人注意的事实：即富有极大穿透力的射线（即“宇宙线”），已经为麦克伦南（McLennan）、米利根、科赫斯特等人所发现，这些射线，虽然份量很小，好象经过我们的大气，而来自空间。秦斯说：“在某一意义上，这种辐射是整个宇宙里最基本的物理现象，空间的大部区域含这种辐射远较可见光和热为多。我们的身体日夜被它穿过，……它破坏我们体内的原子每秒达数百万个。这可能是生命的要素，也可能在杀害我们”。有人说这种富穿透力的辐射是质子和电子互相湮灭时，或者氢聚合为重原子时所发出的，地点可能是在星云或空间里极度稀薄的物质里，因为由那里所射出的能量无须费力就可以穿过覆 441 在恒星外部的物质。

我们知道 X 射线和穿透性更大的射线是极有效的电离剂。所以星内的原子当是高度电离的，即其外部电子都被剥夺了的；这个概念于 1917 年为秦斯所倡导，以后更为许多人研究。一个普通原子所占有的体积，即别的原子不能贯穿的体积，就是这些外部电子的轨道所占有的体积。如其外部电子遭到剥夺，则这原子的有效体积必大为减小，实际成为原子核与其最近电子环（其轨道较外部电子的轨道小得多）的体积。结果，恒星内部的原子既然小得多，则其相互干扰也必远较我们实验室的为小；因而恒星物质虽在高密度下，其性质也象“理想气体”，而遵守波义耳定律。

假设恒星是气体的，则我们可以数学计算一颗星的质量与其所发的光和热之量的关系，换言之，即可知其光度为何。1924 年，爱丁顿算得星的质量愈大则其辐射也愈大。他求得一个理论的关系，而且在把一个数字因子调整以后，使这个关系确与事实符合。就是对于某些恒星，这个公式也是适用的。因其密度很大，在 1924 年以前人们还认为它们是液体或固体的，而且以为这

如爱丁顿所指出的：建造人身约需原子 10²⁷ 个，而建造一个恒星所需的原子数。平均约为前者的 10²⁸ 倍。

Sir J. H. Jeans, *Eos or the Wider Aspects of Cosmogony*, London. 1928, p.46: also *The Universe Around Us*, New York and Cambridge, 1929, P.134, also 1944.

一理论不适用于它们。但爱丁顿认为，较水重的太阳，以及较铁重的其他恒星，实际上都是气体；因其电子已被剥夺，所以这些恒星的原子体积较小，在大部时间内，彼此不相接近。

而且一个新发现使密度的可能范围更加扩大了。1844年，贝塞耳发现天空最亮的天狼星运行在椭圆轨道上，于是他假设有一伴星围绕天狼星运行，其质量约为太阳的 $4/5$ 。十八年后，这颗星为克拉克(Alvan Clark)所发现；用现代望远镜不难看见这颗星，其所发的光约为太阳的 $1/360$ 。当时曾认为这颗星是红热的、一个行将没落的星。亚当斯在威尔逊山查得这颗星并非红热而是白热的。其所发的总光量很小，是由于其体积很小；它不比地球大很多。从这个大的质量与小的体积，得知其密度约为每立方英寸一吨，这是一个骇人听闻的结果，在当时认为是不可信的。

但是不久新的证据出现了。根据爱因斯坦的理论，物体发出443辐射的频率，应随其质量和体积而不同；因此谱线应按半径除质量的比例向红端移动。亚当斯测量了天狼伴星的光谱，也得着相同的高密度，约为铂的密度的两千倍。现在更发现另外几颗星，密度与此相似或更大。秦斯认为这些星中的物质不再是气体，而与液体相近了。其原子很可能只余下原子核，甚至其最内层的电子也被剥夺。比较正常的星，如天狼星与太阳，可能为核外剩有一层电子的原子所组成。所以根据原子结构的理论，我们就可以解释这一事实：恒星分为明显的几类，而且每一类仅包括某些体积限度内的恒星。在那样高的温度下，地上的原子将会完全破裂。要维持这些不同的体积，恒星内部未知的深度的原子必较我们熟悉的地球上的原子为重，而类似地球上的原子的较轻的原子，必浮在表面，而成为辐射的表层。

有三个方法可以估计恒星的年龄：(1)双星的轨道最初应为圆形，以后受到过路星的引力的影响，而逐渐变形，这种影响的可能频率可以计算，因而由轨道的实际形状，可以计算恒星的可能年龄。(2)明亮的星所组成的星团在空间运动时，逐渐失掉其小的成员，造成这些观察到的分散情况所必需的时间，是可以计算的。(3)恒星的运动能量，也如气体分子一样，必定有达到平均分配的趋势；西尔斯(Searse)测得太阳附近的恒星差不多已经达到这个阶段。由分子运动论，可以计算产生这种动能平均分配状况所需的时间。这三种方法都一致表明，我们的星系中恒星的平均年龄可能是5万亿至10万亿(5至 10×10^{12})年。

要维持这样长久的生命，必需大量辐射能量的供给，数量之巨，远非引力的收缩，或放射性物质所能解释的。爱因斯坦的理论很自然地引导人们形成一个观念：这种能量的来源可能是由于阳性质子与阴性电子的相互湮灭，这是1904年秦斯用来解释放射物的能量的说法。这理论已经详细地完成。可以肯定，恒星在不断损失质量。辐射造成定量的压力，因而具有一个可以计算的动量，即质量与速度的乘积。太阳表面每平方英寸辐射出50马力，这说明整个太阳每天损失质量3600万万吨，而质子与电子的相互湮灭可说明这种损失发生的机制。太阳在其体积更大、年龄更轻时，其质量的损失必当更速，于是我们可以给与太阳年龄以一个上限，大约是8万亿(8×10^{12})年。这与其他方法所估计的恒星年龄相符合，但根据以后的研究来看又是可怀疑的。

星的演化

恒星的年龄既经估定，我们自然会问恒星是怎样产生的？即使在最大的望远镜中，恒星也无可见的体积——最近的恒星也是太远了。但是天空明亮的一片一片区域，所谓星云，早已为人发现。仙女座中的大星云，能被肉眼看见，在望远镜发明以前即已发现。而猎户座内的另一星云，也于 1656 年为惠更斯所发现。

星云有三大类。

- (1) 形状不规则的星云，如猎户座内的。
- (2) 行星状星云，形状有规则的较小的结构。
- (3) 旋涡星云，象似明亮的大旋涡。

数目最多的星云是旋涡状的。我们已经说过，现代望远镜中可见的星云，约有二百万个。它们的光谱是连续的，而重合有吸收谱线，与 F 至 K 型的星（包括太阳在内）的光谱相似。有些星云是弥漫的炽热气体团，有些含有定形的恒星。星云呈现有急速转动的模样。自轨道平面的边上平视所见的星云，可以在光谱学上进行研究，另外一些与我们视线正交的，可在逐年的照片上看出其有可测量的转动，每转一周约需几百万年。这好象说明其运动的迂缓，但是我们观测到它们有很高的线速度，所以其转动周期的悠长，不是由于其运动的迂缓，而表现其体积的庞大。

如果假设不同的星云的转动速度大略相同，则由以上所述，自轨道平面边上平视所见的星云，可以由光谱学测得其线速度，而横过我们视线的星云，也可以测得其每年的角速度，这样比较这两种速度，便可得其距离的一个估计值了。旋涡星云的旋臂中可以看出有造父变星，其光变的周期可假设与其绝对亮度有通常的关系，因而测量它们的视亮度，又可得距离的另外一种估计值了。由此所得的数字，约在几十万至几万万光年。因而大多数旋涡星云都很远，而在我们的星系以外。

恒星演化的星云学说，最初为康德所提出，继于 18 世纪末为拉普拉斯引用，去解释太阳系的起源。拉普拉斯根据气体星云的概念，认为星云充满海王星轨道里边的空间，而且具有旋转运动。它因其自身的引力而收缩。但因其角动量不变，故其旋转速度渐增。在其收缩的各阶段中，它遗留下环形的物质，经凝结而形成行星与其卫星，绕中心的物质转动，这中心的物质即形成太阳。

这个学说有若干困难。1900 年，莫尔顿 (F.R.Moulton) 指出，由环形不会破裂变成球形。张伯林 (T.C.Chamberlin) 并证明在那样大的气体团中，其引力并不足以克服其分子速度的扩散效应与辐射压而使其缩小。秦斯以别的论据证明行星是不能由凝结而形成的。

但是旋涡星云比拉普拉斯所想象的大过百万倍，在这规模下，其整个的发展过程也大不相同。这时引力远比气体压力和辐射压更为有效，星云不但不扩散，而且收缩，并且旋转得比拉普拉斯所想象的还快。这个解释，应用于小规模太阳系遭到失败，应用在庞大的星系上，却颇有成功。

秦斯已经以数学证明：一个具有引力的气体团，或因其他物质团的潮汐作用而开始转动，则将渐渐形成一双凸透镜的形状。若其旋转加快，则其边缘将不稳定，而裂成两个旋臂。旋臂上发生局部的凝结，每个凝块具有适当

体积，可以在我们所见的恒星的大小的狭小限度内形成恒星。这个由理论得出的预言已为哈布耳所证实。哈布耳根据观察的结果，将星云分为秦斯所预言的类型。于是我们在旋涡星云里，发现在我们星系以外在遥远空间里正在形成中的其他星系。

旋涡星云臂上的一小滴，是不是变成我们这样的太阳系呢？根据秦斯的数学推证，这不是一定可能的。如果这小滴的转动足够迅速，而至酿成分裂，则分裂的结果可能是互相绕转的双星。所以双星很可能是恒星演化的一个正常规程，其另一过程，则是孤独的单颗星。

但莫尔顿、张伯林与秦斯对太阳系的起源提出一些猜测性的说明。如果在某一早期阶段，两个气体星运行到彼此邻近时，则将发生潮汐波。及至两星接近到某一临界距离时，这潮汐波即将射出长臂状的物质，然后再裂成具有适当大小与特性的物体，而形成地球与其他行星。但这一事件发生的可能性很小，据秦斯计算，伴随象我们的行星系的恒星，大约在十万个恒星中才有一个。

恒星演化的新学说，可以概括叙述如下：恒星是旋涡星云的旋臂中所飞出的大小相近似的气体团。它们发放辐射，其质量因而减少。又因其体积较大的发出辐射的速度较快，所以它们的质量逐渐趋于相等。

无论其温度与压力为何，最年轻的星最重，而辐射也最多。如果它们全由象地上的原子所组成，则温度与压力增高时，辐射也当随之而增加，情况就与上面所说的不相同了，这一证据又表示辐射能量大部来自我们所未知的几种类型的极端活跃的物质。这些物质当星衰老时即归于消逝，很可能是由于原子的嬗变，使物质湮灭并转化为电磁辐射。这样释放的能量是很大的，照相对论一节中所说：质量 M 可以转化， mc^2 的能量，这里 C 为光速，每秒 3×10^{10} 厘米，所以，一克质量的物质转化为辐射后，其能量等于 9×10^{20} 尔格。由于物质湮灭或即使是适宜的嬗变，所释放出来的能量是很大的（见 451 页）。

天体物理学上的这一个新理论，使人想到牛顿《光学》书中的质疑第 30 所说的：“庞大物体和光不是可以互相变化的吗？物变为光与光变为物，是同似乎乐于变化的自然程序十分符合的。”

恒星可能正在化为辐射，宇宙间物质的命运不是直接化为空间的辐射，就是变成具惰性而不活动的东西，如构成我们世界的主要物质。地上的物质含有 92 个元素，自原子序数为 1 的氢，至原子序数为 92 的铀。如果还有别的元素存在，它们不是同位素，便是有更高的原子序数，其结构必较铀更为复杂。现在至少已经发现一个名叫钷。它们必然富有强烈的放射性，所以不会稳定，因而大多数可能早已失其存在了。从前以为光谱的证据说明物质的演化由简单而趋于复杂，自老年星中的氢，而趋于青年星中的钙。可是今天对于这事实的解释大不相同。人们认为这仅表明，各种恒星中的情况，有利于氢或钙在其大气之中与其上辐射的放出。有些天文学家以为在恒星的演化中便伴有复杂原子的分裂，其中大部直接化为辐射，小部变为不活泼的灰分；这些灰分虽是宇宙变化的副产品，但却是组成我们身体和我们世界的物质。钷与镭或者是介于留在地上的这些活泼原始原子的最后残迹，与构成我们的

周期表中原子序数大于 92（即铀）的元素叫做“超铀元素”，是由人工方法产生的放射性元素。钷（Pu）即是其中的一种。——译注

不活泼元素两者中间的物质。

只有与我们所处的情况很相近的星球好象才有生命的可能。行星系可能是稀有的，我们的行星似乎不可能维持“别的世界上的生命”。

凯尔文的能量散逸原理指明了事物的最后的状态，在这种状态中，物质与能量都作均匀分布，而不再有运动的可能。现代理论虽然把其过程加以修改，但也得到相似的结论。宇宙所趋向的最后情况，乃是从活泼的恒星原子化作空间的辐射，与变成将熄的太阳中或凝冻的地球中的惰性物质而已。即令宇宙中物质全部毁灭，所产生的辐射也仅能使空间的温度增高几度罢了。秦斯算得：只有当温度增高到 7.5×10^{12} 度时，空间方能为辐射与再度沉淀的物质所饱和。活动物质的原子遗存的概率和辐射浓聚于一处，使物质再度沉淀的概率，都非常渺小。不管我们等候这机会的来临需要等候怎样久的时日，永恒总是更久的。霍尔丹 (J.B.S. Haldane) 曾经提出一种看法 [据爱丁顿告诉我，汉堡的施特尔内 (Sterne) 教授在谈话中也曾提出过这种看法]，认为这种巧合的浓聚情形很可能在现有的宇宙消灭后，重新创造出一个新的宇宙——我们现在的宇宙或者就是在辐射弥漫的漫长年代以后，产生的。但是秦斯与爱丁顿都曾对我说，他们不相信这种说法。别种情况发生的机会更大，会防止那种很少可能的偶然情况发生。

在这些问题上，我们似乎不可能找到确实的证据。历史昭示我们需要谨慎从事。天体物理学的现代观点仅开始于数年以前，我们已经知道的比有待学习的实在还少得很。

相对论与宇宙

相对论提供的新的自然观，在其发展进程中，必然深刻地影响我们对于物质宇宙的观念。它在解释万有引力时，用引力场中呈现弯曲的自然路径的理论去代替吸引力的观念。这就不但在精密的实验中，导致稍有不同的结果，而且如我们以前所说的，也完全改变了我们对于宇宙广袤的观念。

如果采用欧几里得的空间与牛顿的时间，则我们自然以为存在是无穷的。空间无限地伸至最远的恒星以外，时间则通达过去与未来，均匀而永恒地流逝着。

但是，如果我们的新时空连续区，由于物质的存在而表现弯曲，我们就进入另一思想境界了。时间或者仍然是无止境地从永久到永久地流逝着，而空间的弯曲则指示出一个有限空间的宇宙。设想我们以光速继续前进，则终将达到一个有限的境界，或重返回到我们的出发点。哈布耳估计整个空间约为威尔逊山大望远镜所可见到的那一部分的十万万倍，而这个望远镜能够看见我们星系以外的星云两百万个之多。这表明光线经行宇宙一周，约需千万年 (10^{11}) 年。爱因斯坦曾描绘过一个三维的空间，其弯曲的方式正如我们在二维空间所谓的圆柱面那样。时间则相当于圆柱的轴线。德·西特 (De Sitter) 则想象一个球面时空。如果我们向外旅行，去追寻更大的球，则我们终将达到一个最大的球。这里的时间，从地球上看去，好象停止不动。正如爱丁顿所说：“好象疯人的茶会，时间永远是六点钟，不管我们等候多久，总是看不到什么动静。”但是如果我们能够达到这个保守的天堂，则我们必定感觉在该处经历的时间，也依然流逝，不过其流逝的方向不同而已。

德·西特指出，这种从地球上所见的时间的变慢，有一轻微的证据。有

些旋涡星云是我们所知道的最远的物体。它们光谱中的谱线，与地球上光谱的同一谱线比较，位置颇有移动，如哈布耳所指出的，绝大多数都移向红端。这现象经常被解释为由于旋涡星云具有很大的退行速度（比较其他任何天体的都大），这现象有时又被解释为宇宙的膨胀。十分可能，我们现在所观察的这一现象，就是从地球上可以看见的原子振动的变慢，即大自然的时钟的速度的改变，或时间的尺度的变化。

天体物理学近况

现在已有许多证据表明，星际空间有稀薄物质的存在。猎户座 星是一对双星中的一个成员，与上述的别的双星一样，当其环绕其伴星旋转时，其谱线表现有移动的现象。1904 年，哈特曼（Hartmann）注意到 H 和 K 两条钙线，并不参加这种周期性的移动，而且在别的双星的光谱里钠的 D 谱线也是驻定的。但是普拉斯基特（Plaskett）与皮尔斯（Pearce）发现这些谱线并非真正固定，而表现有相当于我们的星系自转的运动。这些差不多固定的谱线，只在 1000 光年外的恒星光谱里才看得见，而且恒星距离愈远，这些谱线愈强；它们显然是散布在空间的钙和钠所造成的，在有些地方，凝聚成宇宙云或气体星云。这种星际物质的密度极小；就平均而言，这是 10^{-24} ，即每立方厘米内只有一个原子；即在一个典型星云（例如猎户座大星云）的中心，也是 10^{-20} ，只有实验室所能造的高度“真空”的密度的百万分之一。由于碰撞的稀罕，宇宙云里的质点不会丧失很多的热量，其所能维持的温度达 15,000，而空间里陨星的温度可以降到 -270，仅在绝对零度上 3° 而已。

气体星云不自发光，而是靠其范围内的极热星的光而发光。极热星所发的光激发星云的质点，使其射出不同周期的光线，换句话说，即造成荧光效应。还有所谓暗星云。这种暗星云阻碍其后面的远星的光透过。暗星云可能与亮星云具有相同的性质，只是在其范围内没有热星激发其发光而已。这些星云里的质点、大小和 449 光的波长相似；它们具有很大的吸光能力。

亮星云光谱中有明线，主要是电离氢和氦的谱线，以及实验室里还没有见过的谱线，例如其中两条绿色的谱线，假想其起源于一未知的、名叫的元素。但是，1927 年包温（I. S. Bowen）发现这些奇怪的谱线是由双电离氧原子所造成的，所谓双电离氧原子也就是其卫星电子从一个轨道跃到另一轨道。在地球上比较扰攘的环境里这些轨道问的路径是不通行的，可是在安静的星云里，在长时间内这路径是敞开的。其他谱线生于单电离的氮，其卫星电子也遵循“禁戒跃迁”。可见空间里有氧和氮（我们熟悉的空气）以及钠和钙。

1869 年，勒恩假定太阳上的质点和理想气体中的质点一样活动，而且假定其内部的热量是物质的。他在这种假定下计算了太阳的理论温度。可是爱丁顿指出辐射的重要性，它从内部出来，被外层的原子和电子所捕获，由 X 射线降级到可见光，因而能量只是缓缓地逸散。所以近些年来人们觉察到在高温下，辐射的和物质的两种热量之比比较想像的大，事实上这两者大约是相等的。在 5000 的温度，辐射压在每平方英尺上约为 $\frac{1}{20}$ 英两，可是在太

H.Spencer Jones , General Astronomy,London 1934.Sir Arthur Ed-dington,The Expanding Universe,Cambridge, 1933 ; New Pathways in Science,Cambridge, 1935. Sir James The Universe Around Us,Cambridge,1933 , 1944.

阳中心两千万度的高温下，辐射压在每平方英寸上，高达三百万吨。

我们考虑到太阳里自由运动的质点的压力，就可以估算出使太阳维持其所观测到的体积所必需的内部温度，起初人们认为太阳里的自由运动的质点是一般的原子和分子，但是现在我们要用新的原子理论去讨论这个问题。

纽沃尔(Ne wall)曾向爱丁顿表示，太阳或恒星里的高温必使原子电离，或者说剥掉它外围的电子。例如就氧原子而论，它的原子量是16，其外围电子有8个，再加上一个核，质点的数目为9，因而其平均量为 $16/9$ 或1.78。从锂的1.75到金的2.46，这些量都接近于2，可是就氢而言，原子分裂为两个质点：即质子与电子，质点430的平均量为 $1/2$ ，而不是2。因此，就温度的问题而言，我们可将质点概括地分为氢和非氢两类，含氢愈多的星，其理论的光度愈小。根据观测到的光度，好象 $1/3$ 氢和 $2/3$ 非氢的比例适合多数恒星的观测到的性质。1929年，阿特金森(Robert Atkinson)与霍特曼斯(Fritz Houtermans)指出，在太阳里很高的温度下，原子核如果损失了外围电子的保障，可能也遭到摧毁。

恒星物质电离的概念受到量子理论的支持。这一概念最初是埃格特(Eggert, 1919年)提出的，后经萨哈应用(1921年)到恒星外层，因而建立恒星光谱的现代理论。

天文学家考虑了新的有关原子的知识，复回到勒恩的理论，仍假设恒星的质点的作用如理想气体，即使在上述的致密的恒星里也是这样。在这些致密的恒星里，原子被剥掉了外围的电子，因而它们的核和脱离了的电子的作用，象独立伪质点一样。

银河系以外，在遥远的距离处，还有别的星系，以旋涡星云的姿态出现在我们眼里。在威尔逊山100吋反射望远镜里，用抽样法估计，能够看见的旋涡星云之数，当以千万计；其中最远的可能在五万万光年以外。现在制造中的200吋反射望远镜能够探寻到两倍远处，因而可以显出八倍多的星云，如果它们是均匀的分布，而空间里又无吸光的物质的话。这里可以提说一下：以上所说的宇宙线来自这些外围区域，即星际空间或旋涡星云。

以上说过，旋涡星云的谱线和地面对应的谱线比较，是向红端移动的。这表示星云有一种退行，这退行的速度是和距离成正比而增大的，现在认为这是宇宙在不断地膨胀的表现。德·西特的空间理论〔它通过弗里德曼(A. Friedmann)与勒梅特(C. Lemaitre)的数学研究，和爱因斯坦的理论联系起来〕也认为有这种膨胀的宇宙，所以我们可说观测与理论是符合的。

米耳恩指出，如果起初星系具有现今的速度，而密集在小范围内，其中具有最大速度的，现在会离开得最远；我们应可得到所观测到的距离与退行速度之间的关系。1932年，爱丁顿估计这速度是每百万秒差距每秒528公里，在15万万(1.5×10^9)年后，宇宙的大小便增加一倍。这样说来，宇宙的初始半径就是328个百万(3.28×10^8)秒差距或10万万6800万(1.68×10^9)光年；宇宙的总质量为 2.14×10^{55} 克，或 1.08×10^{22} 个太阳的质量，宇宙的质子数或电子数为 1.29×10^{79} 528那个基本数字可能需要减小。这个不可逆或单向的过程的设想所引起的问题与热力学第二定律下熵的不断增长所引

Eddington, In ternal Constitution of the Stars, 1927.

原书作“增大”是“减小”的误排。根据天文学上的新发现，528这个数字，到1952年改为349，1955年改为179，1958年改为82，现尚未能确定。——译注

起的问题是相似的；两者都指出有一确定的开始，能量的供给量逐渐降低，以至于终于耗尽。有人说我们现今的热力学可能是膨胀宇宙的一种特性；事实上托尔曼（Tolman）就提出一种相对论性的热力学，认为在不断收缩的宇宙里第二律是反向的。能量愈来愈多，从辐射再形成物质是可能的。在这些思路中，我们也可设想有一种脉动的宇宙，我们碰巧正好生在它的膨胀阶段，这样便不需要一个开始或者终结了。

最终的问题是：太阳和恒星所辐射出的能量的来源是什么？既然内部的温度须维持几千万度，所以这能量不能从外面而来，似乎必须是某种原子内部的能量。爱因斯坦的质量与能量的关系（即1克物质具有 9×10^{54} 尔格的能量）说明太阳所储蓄的总能量为 1.8×10^{54} 尔格。以现在的输出率计，这足够供给15万亿（ 1.5×10^{13} ）年，但以质量变少，因而输出率逐渐变小，这时间可能还要长些。由计算得知太阳的年龄5万亿（ 5×10^{12} ）年。这是在质子与电子互相湮灭的假设下得出的结果，但上面说过，由于阿斯顿的工作，由于正电子的发现，这个假设难能成立了。

1920年，阿斯顿对于氢原子量的精密测定说明，氢嬗变为别的元素时，可以得到大量的能量，这样便提供了能量的另外一种来源。在近几年来，这个来源看来更加可能。这个过程进行的方式就是在碳和氮的催化作用下，氢转化为氦。

这样所获得的能量自然比由湮灭理论而得的少些，因湮灭用去太阳的全部质量，而由氢嬗变为非氢只用去了质量的10%。于是太阳的辐射可以维持100万万（ 10^{10} ）年，这样长的时间已足够满足地质学者，虽然比较湮灭说所说的万亿年要短些。恒星的年龄似乎也可能只是星系退行所需的时间的几倍，我们得出的数量级约为几十万万，譬如说 2×10^9 年。如果考虑到引力收缩和放射物质所释放的能量，这数字还可能大一些。这个理论表明太阳和恒星具有稳定性。这是这一理论被人相信的原因之一。

我们可将这些数字和地球的年龄比较，这年龄是根据各种岩石里放射元素铀和钍与其蜕变后的产物两者的相对含量测定的。由这一研究求得地壳的形成当不晚于16万万（ 1.6×10^9 ）年以前。

根据相对论，空间，或者时空，有某种自然曲率，这曲率在物质附近或在电磁场里便会增加。这自然曲率是与宇宙斥力等价的相对性。在单位距离，这宇宙斥力是一个宇宙常数，常写为 Λ 。这个常数的值，可由星系的退行速度并同时考虑万有引力而估计之。取爱丁顿的数字，星系的退行速度与距离成正比，这速度是每百万秒差距每秒500公里。在15000万（ 1.5×10^8 ）光年处，这速度是每秒15,000英里。在19万万（ 1.9×10^9 ）光年处，它是每秒190,000英里，但是这个数字大过光速，显然是有错误存在。也许爱因斯坦的或德·西特的闭合的时空（其中没有任何距离超过某一数量），可以拯救我们的理论免于毁灭。

地质学

近年来，地质学的最重要的进展，是通过研究地球物理学而取得的。以物理学的方法研究的结果说明，地球不恰是一个类球体，而是一个不规则的

G.Gamow, The Birth and Death of the Sun, London, 1941.

H.Jeffreys, The Earth, Cambridge, 1929; Earthquakes and Mountains.

形状，名叫“大地水准面”(geoid)。由物理学的方法也获得一些海陆表面下的知识。

在地面各处精确测量重力的结果，有一些异常的情况。杰弗里斯(Jeffreys)认为，这些异常的情况想必说明山岳不只为其下面的岩石所支持，而且部分地为地壳的力量所支持。地壳有时受到很大应力。明内兹(Meinesz)等人在东印度附近乘潜水艇观测，发现地壳上有一窄带，在不稳定的平衡状态下，向下发生显著的弯曲。布拉德(Bullard)指出，非洲大裂谷一带底部有重力反常现象；说明地壳的较轻物质，因受山谷两侧的向内推力，而被挤下去。

地震观测，包含近震与远震两种地震的观测。近震波主要在地球表面或地壳内传播，而远震波才经过地球的深层，有些甚至通过地心附近。杰弗里斯认为，地震的研究，说明地壳是相当薄的一层(大约只有25英里)，地壳里不同的物质分布在不同的地层之中。除了熟悉的凝结波与畸变波之外，现在又发现别的低速波。对这些波的观测说明，不同地区上有反射与折射现象，表明地壳内物质分布的不连续情况。经过地球内部的远震表明，地核的半径大于地球的半径之半。需要固体介质传播的畸变波并不重新出现于地核之外；因此地核可能是液体的，据杰弗里斯说，可能是铁或铁镍的熔液。

地面下几英尺的强烈火药爆炸，可以激起类似天然地震的波动。用地震仪在若干选定地点对各种波到达时刻加以记录，可以测量其传达的速度。有些波向下通过未凝固的结构在比较凝固的层上反射回来，形成“回声”，由其反射所需的时间，可以求得这些层的深度。类似的方法可用以探寻油层，并用于海底地质学，以绘 London, 1935.O.T.Jones, "Geophysics", Proc. Inst. Civil Engineers, 1936.E.C.Bullard, "Geophysical study of submarine geology", Nature, 1940, p.764。E.G.R.Taylor, Historical Associon Pamphlet, No.126。海底的地貌图。美国地质调查学会发明一种方法，从一个固定浮标上测量船只的距离：一个小炸弹由船上掷出，并记录其时刻，声音在海面传播，使浮标上的一个扬声器与一具无线电发射机开始工作，扬声器和发报机所发出的信号也在船只上加以记录；由这两种记录之间的时间差便可推算距离。大部分美国沿海地貌是这样绘成的；在大陆架与其外面的斜坡之间常有鲜明的界限。靠了观测波在岩层分界面处的反射，也获得一些有用的知识，在软的岩层中间波行较慢，在硬的岩层中间波行较速。不列颠群岛陆地是火成岩和早期水成岩的结构，但其附近的海底是较软和新形成的水成岩的结构，这些岩石在距岸150哩外，以百呎(600呎)的测索测量，深度差可达8000呎之多。

第十二章 科学的哲学及其展望

二十世纪的哲学——逻辑与数学——归纳法——自然律——认识论——
数学与自然界——物质的消灭——自由意志与决定论——机体概念——物理
学、意识与熵——天体演化学——科学、哲学与宗

二十世纪的哲学

教哲学思想的各个线索，已于第八章中讲到十九世纪，现在须追踪到二十世纪了。

法国百科全书派所传授的哲学，本根源于牛顿的科学，其后又与达尔文学说汇合而成德国的唯物主义。但在此以前，康德、黑格尔及其信徒已建立起一个唯心主义的派别。此派在经院派哲学家中虽颇占优势，但引起科学家的反感，因而大部分科学家唾弃哲学达一百多年之久。

1879年，罗马教皇列奥八世(Leo)发出通谕，重新宣布圣托马斯·阿奎那的学说为罗马教会的官方哲学，这使托马斯学说在天主教会思想学派中又得复活。当时有人企图用现代知识或者说用正统神学家所能接受的那种现代知识，来诠释中世纪经院哲学。这种尝试的成果，或者可以说是使经院哲学与其几门科学实现了妥协，而不是接受了整个科学精神。所以这些成果不在我们讨论之列，我们须对其他方面的发展加以探讨叙述。

二十世纪的初年，多数科学家都不自觉地抱持一种朴素的唯物主义，或者，如果他们对于这类问题的确予以考虑，则必倾向于马赫和皮尔生的现象论，或海克尔或克利福德的进化一无论。

进化论在达尔文的谦逊的心目中，仅仅是科学上的一种学说，此学说或者可以用自然选俘的假设加以部分的解释，但后来竟变 456 成一种哲学，甚至在有些人看来差不多成为一种信条了。进化论的生物学给予一般思想界的真正教训是：任何事物都有其连续不断的变化，如果这种变化在与环境不合的方向上走得很远，可能就有某种淘汰去加以制止。我们已经看见思想的各部门如何次第接受这个教训，以及如何加以推广与加深。但这种科学学说正当的影响，并不足以使它成为一个哲学体系，去说明实在的基础与意义。生物学和占生物学说明，在数百万年间，从一个简单的始祖进化到了许多不同而复杂的种属。但进化论的哲学家，自斯宾塞以来，都认这个过程是事物的普遍定律。所以进化论虽然最初是与唯物主义决定论联系起来的，在一时期中，竟成为乐观主义的哲学了。即令死亡仍是个人生命的结局，人们可能觉得他自身总是有机体系中，或宇宙结构中，不断进化的连锁的一环。

近年以来，进化论的哲学家表现出一些新的趋势，特别是要用生物学作为一条出路来逃避物理学的机械观点。柏格森更走极端，他不但要把物理学，并且要把逻辑连同它的固定原则，一扫而空。在他看来，生命乃不断转化的宇宙长河，其中的分段只是虚幻的。实在可于生活中得到，而不能用理性加以推敲。他承认终极因的说法，但是这些原因，和预定宿命论者所主张的原

A Manual of Modern Scholastic Philosophy, chiefly by Cardinal Mercier, Eng. trans. 2nd ed. 2 vols. London, 1917.

Evolution Criticism, Paris, 1907, Eng: trans London, 1911.

因不同，是随着创造的进化而重新形成的。

因此，柏格森赞扬同理性相对立的本能与直觉，以为理性只是在生存竞争中，靠了自然淘汰产生出来的一个实用的优点而已。这种说法，用之于本能，似更为有力。实际上，在最有生存价值的、原始而实用的需要中，本能最为强烈。知识的进步所依靠的理性，以及直觉与理性的有效结合，似乎主要是在后期，而且主要是在与自然选择无明显关系的目的上，才有用。例如为了研究科学，即便是为了创立柏格森所引用的自然选择学说，为了研究哲学，即使是为了建立他所制订的那种创造进化论的哲学，理性与直觉确实是必需的。

威廉·詹姆斯 (William James) 的实用主义，是进化论哲学的又一形式。这种实用主义以为一种信念的真理性的唯一试金石，就是它是否有用。实用主义把科学上的与宗教上的不可知论一齐规避。归纳法的可靠性，是一个困难问题。实用主义解决这个困难问题的办法是说：我们要生存下去，所以我们必须假设归纳法是可靠的。除非我们用过去的观察来作将来的指南，我们必遭灾害。根据自然选择的整个学说，宗教既然流行甚广，很可能有些宗教信仰是有生存价值的，因此，按照实用主义的定义，这些宗教信仰是“真理”。或许我们不妨说，如果一个实用主义者为了求得生存价值改变自己的信仰，以术在亨利八世 (Henry VIII)，爱德华六世 (Edward VI)，玛丽 (Mary) 及伊丽莎白四朝的统治下生存下来，那末，他的“真理”观念已经经过有效的扩充。可能正如詹姆斯所说，在科学与日常生活中，有许多信念，只有在这个意义上，即在实践中行得通的意义上，才算得真理。但是还有一些别的信念，显然要用另一种试金石来检验，直接观察和实验的试金石；这样，狭义的实用主义者所未曾认识的一个标准，也可以用来检验了。

进化论虽然从科学与哲学发展成为历史学、社会学及政治学的普通原则，但各时代中的多数学院哲学家，还保留根源于柏拉图，经德国的唯心主义，如康德学派或黑格尔学派传授的某种古典传统。黑格尔以为关于实在世界的知识，可以用逻辑推导出来，而在英国，这个学说更为布莱德雷加以现代化。他的《外观与实在》(Appearance and Reality) 一书，出版于 1893 年。布莱德雷以为科学用空间和时间表述出来的现象世界，是自相矛盾而虚幻的。实在的世界，必在逻辑上自相一致，最后归结为超时与超限的绝对。这种观念，实渊源于巴门尼德、芝诺及柏拉图时代。

约当 1900 年，对于黑格尔派这一思想方式的反动，即在哲学家中也日趋显著。一方面，逻辑学家如胡塞尔 (Husserl) 发现了黑格尔的谬误，而否认布莱德雷关于关系与多数，时间与空间是自相矛盾的信念。在这一点上，他们与得到相同结论的数学家携起手来。另一方面，有些人起来反抗理性的束缚，起来反抗相信世界符合逻辑的古典形式主义，并因而接受了柏格森颂扬直觉或本能的学说，或者跟着詹姆斯陷入实用主义，即激进经验论。这种激进经验论以为关于实在的观念只能建立在经验的基础上。这最后一派的思想以及数学家的思想，很明显地与科学观点极其近似，物理科学与 458 哲学再行携手的新发展，即由此而来。

马赫在分析经验时所持的见解，重新出现在詹姆斯的激进经验论中。这

种见解，加上逻辑学、认识论及数学原理方面的新观点，促成一个新的思想学派，有时称为新实在论。这派哲学，主要产生于哈佛大学。它舍弃了建立一个包罗万象的系统的观念（这种观念是以宇宙是一个整体的学说为基础的），正如科学在十七世纪脱离经院哲学派时舍弃这个观念一样。它在研究普遍的问题时，把零零碎碎的知识拼凑在一起，正如科学研究具体问题一样，而当观察或实验证据尚不充足时，则提出一些假设。在它的认识论中，它不相信实在必然以某种方式随我们的思想为转移：在这一点上它是与唯心主义不同的。但这一派哲学超出了马赫的纯粹现象论的范围，它以为科学不但研究感觉及心理的概念，而且以某种方式研究持久性的实在。在逻辑方面，新实在论以为，一事物的内在性质，并不足以使我们推出它与其他事物的关系。所以在逻辑及认识论方面，这个新的哲学又回到了分析的方法。但是，它与数学原理的联系所产生的影响最大。罗素说：

自埃利亚的芝诺以来，唯心派的哲学家，竭力败坏数学的信誉，制造出种种有意设计出来的矛盾，企图证明数学未能术得实在的形而上学的真理，而哲学家则能供给较优的成品。这种作风，康德固多，而黑格尔尤甚。十九世纪的数学家已摧毁了康德哲学的这一部分。洛巴捷夫斯基发明非欧几里得几何学，埋葬了康德的先验美学的数学论据。魏尔斯特拉斯（Weierstrass）证明了连续性不包括无穷小；坎托（Georg Cantor）发明一连续性的理论与一无穷大的理论，使古来哲学家所津津乐道的疑难全归消灭。即康德否认算术来自逻辑之说，也经弗雷格（Frege）证明其错误。所有这些结果，都得自通常的数学方法，其确实可靠不亚于乘法歌诀。哲学家应付的方法，就是不看这些有关的著作。唯有新的哲学才能吸收这种新的成果，从而对于安于无知的敌人，一举取得辩论上的胜利。

哲学思想上这个革命的详情，只有懂得十分专门而精深的数学的人才能领会，然其总的结果却很明白。哲学现已不能单独建立在自身的基础上；它再一次同其他的知识联系起来。在中古时代和许多现代哲学体系中，其他学科是从哲学家预定的宇宙结构中推导出来的并适合于这个宇宙结构的。新实在论则告诉哲学家须如牛顿时期一样，在建立自己的庙堂以前，要了解数学与科学。这个庙堂并且须是一砖一瓦地建立起来，不可希望是从埋怨中完整取来的。

新实在论利用数理逻辑作为自己创造的工具，因而能以往昔哲学所不可能的方式，找到科学中新知识的哲学意义。因此，这个新方法虽然主要源于数学的发展，然其重要的数据则得自物理学——相对论、量子论与波动力学。现在我们尝试不用术语，对于建立在科学基础上的各派哲学中这个最新的一派，加以叙述。

逻辑与数学

逻辑是推理的普通科学，因此应包括所有的推理的方式，不过由于历史的巧合，它却开治于演绎法。希腊学者关于演绎几何学的伟大发现，使得亚

Bertrand Russell, *Sceptical Essays*, London, 1928, pp.54—79.

Sceptical Essay, p.71. 详论见 Russell, *Our Knowledge of the External World*, Chapters v and VI. London, 1914; 2nd. ed. 1926.

里斯多德在创立逻辑时，过于偏重演绎推理。反之，弗兰西斯·培根坚持认为归纳法具有独特无二的重要性。这是一种自然的反动，因为他看到新的实验方法具有远大前途。但是他仍将推理方法分为三类，——即自特殊到特殊，自特殊到普遍，及自普遍到特殊。穆勒指出，真正的科学方法，应包括归纳与演绎，这样就把亚里斯多德的研究成果与培根的研究成果结合起来了。

形而上学，可以看做是研究一般存在——意识所了解、或可了解的事物——的学问。心理学是研究一般意识的学问，就中包括意识的活动，推理即是其中的一种。所以照分类法，逻辑应是心理 See T. Case, art. "Logic, in Encyclopaedia Britannica, 11th ed.; and Berutand RusSell, our Knowledge of the External World. 学的一个分支，但由于它的重要性，又由于这个分支可以与心理学其他分支分开来研究，它就成为一个独立的学科。

不久以前，形式逻辑大部分还不过是亚里斯多德及中古学者所传授的专门术语及三段论法的叙述而已。所幸非形式的推理方法，在讲究实际的科学家中间发展起来。这种方法，把归纳与演绎结合起来，开始于伽利略，甚至在演绎方面，也发展成三段论法从来没有想到的方法，但是逻辑学者仍然墨守成法。

坎贝尔 (N. R. Campbell) 在 1920 年指出：在科学家看来，甚至逻辑的三段论法，似也脱不了归纳方法。我们举一个熟悉的例子：——凡人都有死，苏格拉底是一个人，所以苏格拉底也有死。根据观察与实验，我们发现某些肉体和心理特点，一律都是互相联系的；这个定律我们以“人”的概念来表达。我们更发现这“人”的概念，是与“死”这一特性有连带关系的，因此我们得到另一个定律，说这一连带关系是普遍的——凡人必有死。由此可以推论：这定律适用于个人，而苏格拉底证明也有死。但是如果这样去论证，那么其中实含有归纳的意义。当然纯粹的逻辑家会说，大前提是假设给定的，而逻辑所涉及的，只是从大前提演绎而已。但是坎贝尔认为，如果推理果真全无归纳的因素，那么这种推理必不能得到科学家的信服。

传统的逻辑，以为每一命题，必定是一宾词附于一主词。这个假设，使哲学家如黑洛尔及布莱德雷等，得出他们的一部分特有的结论，如：只能有一个真正的主词——绝对——存在，因为如果有两个，这个有二主词的命题，就不会指定一宾同附于二主词中的任何一个。因此各别的感觉对象，是虚幻的，并溶化在单一的绝对中。由于假定这个主词一宾词形式，在逻辑上具有普遍性，有些人就不承认关系时实在性，而想把关系归结为外表上互相关联的名词的特性。因此科学（主要是研究事物关系的学问）的对象，也象感觉的对象一样变成虚幻的了。

对称的关系，如二物的相等或不相等，也许可以看做是特性的一种表现。但是对于非对称的关系，如一物大于他物，或一物在他物之前，这种说法便不能成立。因此我们必须承认关系的实在性，这样一来，这种假定世界为虚幻的，纯逻辑根据便化为乌有了。

或许在习惯于更具体的科学推理的人看来，这种字面上的争论，没有多大说服力，但是，这种论证却促使人们去寻找数学上的 461 证据。这是我们在下面所要叙述的。

现代数理逻辑，是在 1854 年从布尔开始的，他创设了一种数学符号，用以从前提推出结论。此后，皮诺 (Peano) 与弗雷格以数学分析证明传统的逻辑认为属于同一形式的许多命题，例如“此人必有死”与“凡人必有死”，是根本不同的。以往的混乱把事物的关系与事物的特性，具体的存在与抽象的概念，以及感觉世界与柏拉图的理念世界，弄得混淆不清。

数理逻辑使学者很容易处理抽象的概念，并且可以提示一些本来会被忽视的新的假说。它诱导出一种物理学概念的理论，以及数论的新学说。这个新学说是 1884 年弗雷格发现的，二十年后又为罗素所独立发现。罗素说：

大多数哲学家都以为物理的与心理的现象，把世界的一切包括无遗了。有些人说，数学的对象显然不是主观的，所以必定是物理的及经验的。另一些人说，数学显然不是物理的，所以必定是主观的及心理的，就他们所否认的而言，双方都对。但就他们所断言的而论，彼此都错。弗雷格的优点，就在接受双方所否认之点，并承认逻辑的肚界既非心理的亦非物理的，从而找到一个第三种论断。

弗雷格把事物之仅为客观的，如地球的轴，与其既为客观又为实在而占有空间的，如地球自身，加以区别。在这个意义上说，数以及全部数学与逻辑，既非占有空间的和物理的，也非主观的，而是感觉不到的，并且是客观的。由此可以得出结论：我们必须把数看做是类——2 是代表所有成双的一类，3 是代表所有成参的一类等等。正如罗素的定义所说：“某一类的项，就是与该类相似的所有各类的类。”这已证明与算术的公式相符，而可以适用于 0，适用于 1，以至于无穷大的数——这些数都是其他学说所感觉困难的。至于类之是否虚设而不存在，那是没有关系的。如果用任何其他有类的定义性质的东西去代替类，则上述的定义也同样可用。由此可知，虽然数已变成非真实的，但它们依然是有相等效用的逻辑形式。

有些哲学家对可感觉的世界的实在性表示怀疑，其根据之一就是，无穷大与连续性据说是自相矛盾的，因而是不可可能的。固然没有可靠的经验证据，去证明物理世界中的无穷大及连续性，但是在数学推理上，它们却是必需的，而哲学家所谓的矛盾，现在已知其为虚幻的了。

连续性的问题，本质上就等于无穷大的问题，因为一个连续级数，必含有无穷多的项。毕达哥拉斯遇到了一个疑难：他发现直角三角形的弦的平方，等于其二边的平方之和，如果三角形的两边相等，则弦的平方，即等于边的平方的二倍。但毕达哥拉斯学派不久又证明一个整数的平方，不能为另一个整数平方的二倍，如是则边的长度与弦的长度，是不能以整数相约的。毕达哥拉斯学派本来相信数是世界的本质，据说得此发现以后，大感沮丧而把它隐藏起来。几何学是在欧几里得采用的基础上重新建立起来的，不涉及算术，所以避免了这一疑难。

笛卡尔几何学，恢复了算术的方法，由于利用“无理数”作不可互约的长度的比数，很快就发展起来。这种无理数，证明与算术的规则相符，远在近年来找到圆满的定义与解决不可约的问题以前，就被人们深信不疑地加以采用了。

我们还可以概括地谈谈现代数学家怎样构成无穷大的理论，使芝诺以来的哲学家所争论不已的疑难问题，归于消失。这个问题本质上是数学问题，

在数学的方法尚不够精深以前，这个问题是无法研究，甚至于提不出来的。

无穷级数与无穷大，在现代数学的初期，即已出现。它们的性质，有些希奇，但数学家并不以无穷大的观念为虚幻，而继续应用它们，后来终于为他们的办法找到逻辑根据。

关于无穷大的困难，一部分是由于字义的误解。这种误解，是由于把数学上的无穷大，与非数学家的哲学家所想象的无限（一种有些模糊的观念，与数学问题毫不相干），混为一谈。照字源说：“无穷大”的意义，是没有止境。但是有些无穷级数（例如现在以前的过去时刻组成的级数，又如无穷个点组成的线段）有止境，有些则没有，又有些数的集合，虽为无穷，而非级数。

其他困难，是由于想把有限数的某些特性，如可以数清的特性等，应用于无穷数。无穷级数虽其项数不可胜数，但可由其自身数类的性质而识别。并且一个无穷数，不因有所加减，甚至乘除，而变大或变小。现在把所有数字 1, 2, 3, 书一横行，而将所有偶数 2, 4, 6, 在其下面另书一横行。两行数字的数目相等，但下行乃从所有数的无穷集合中，取去无穷个奇数而得的。这样，全体显然不大于其部分。此种矛盾，使哲学家否认无穷数的存在。但是所谓“大于”，其意义颇为含糊。这里的“大于”，乃“含有较多项”的意义。在此意义上，全体固能等于其部分，而无自相矛盾之病。

无穷大的现代理论，是坎托在 1882—3 年提出来的。他证明有无穷个不同的无穷数，而较大及较小的观念，通常也可应用于无穷数。在此种观念不能应用的某些情况下，必有新问题发生。例如一长线所含数学上点的数目，与一短线所含的相等：这里所谓较大较小，并非纯粹算术的，而含有几何上的新概念。

哲学家所遭遇的困难，大部起于假设有限数的特性，能应用于无穷数。如果有限的时间与空间，为有限个数的时刻与点所组成，则芝诺的论据或可正确。为了避免芝诺的矛盾，我们可以有几条出路：（1）否认时间及空间的实在性；或（2）否认空间及时间为点与顷刻所组成；或（3）坚持认为如果空间与时间为点与时刻所组成，则点与时刻之数为无穷。芝诺与其许多信徒选择了第一条出路，而其他如柏格森等则选择了第二条出路。

但是根据其他的理由，无穷数，无穷级数，以及不含连续项的无穷集数的存在，是必须予以承认的。例如我们可以按 $1/2, 1/4, 1/8$ 等的次序，写列一个小于 1 的分数级数，但在每两个分数之间，尚有其他分数，如 $7/16, 3/8$ 等等。在此级数中，没有两个分数是相连的，而它们的总数目是无穷的。然而在它们所有数值的总和之外还有 1。因此我们必须承认在一个无穷级数的总和之外，确还有数的存在。芝诺关于线上的点数的论述，许多可应用于这分数的集数。我们不能否认分数的存在，因此我们为了有效地避免芝诺的矛盾，就必须找到一个站得住脚的无穷数的理论。

数学中的无穷数，是在可以计数的数之外的。无穷数不能靠从一个数走到下一个数的连续步骤达到。它们存在于数类中，只能以数学的术语来下定义，用数学的方法来加以检验。但凡有资格判断的人士，都一致承认数理逻辑及无穷数的数学理论，确实是在正确的路上前进。妄图证明感觉对象与科学定律为虚幻的陈旧的逻辑数据，今已证明其不确了；这一问题仍然存在，因此须另用其他方法去研究。不管许多唯心主义哲学家怎样宣讲，想用先验的心理方法推出外界的性质，实不可能。科学的观察与归纳方法，是必需的。

归纳法

从个别的现象以求概括定律的步骤，叫做归纳法。逻辑中归纳法的部分在实验科学中特别重要。从以前各章所述，我们知道有许多哲学家研究它，其中以亚里斯多德及弗兰西斯·培根最为有名。

培根赞扬实验，以为用差不多是机械式的方法可以确定地建立一般性的定律。怀疑论者休谟，则以为如果用归纳法求新知识，即使归纳法完成其应有的任务，有时也可能得到错误的结果，因此，用归纳法所得的定律，只能说多少是或然的，而不能认为是确定的。但不管休谟的意见如何，大多数科学家与若干哲学家，仍以归纳法为探求绝对真理的道路，甚至穆勒也持此信念。他把归纳法放到因果律的基础上，而认为因果律已为许多确具原因的实例所证明。惠威尔指出，单单经验可以证明一般性 (generality)，但不能证明普遍性 (universality)，但如果再加上运用必然的真理，如算术原则、几何公理及几何演绎，则普遍性也可求得。当然，这些见解都是在非欧几里得空间发现以前的事。当时虽有惠威尔的警告，穆勒的见解似乎仍然代表了当时一般的信念。正如亨利·彭加勒 (Henri Poincaré) 所说：

自一肤浅的观察者看来，科学的真理是毫无疑问的；科学的逻辑是决无错误的；学者有时错误的原因是他未认清原则。

科学的功用，在追溯各种现象间的关系，或更恰当地说，在追溯表述各种现象的概念间的关系。但当我们，比方说，已发现气体压力的增大，使其体积缩小时，我们也同样可以说，气体体积的缩小，使其压力增大。在我们的意识看来，凡是我们先想到的变量，就是原因。由此可知原因的观念与结果的观念是暧昧不明的。只有当此中含有时间的因素时——即当互相关联的事件之一，在另一事件之后时——我们的意识，才本能地把前件 (post hoc) 看做是事因 (propter hoc)。但这时也不可能把一个事件的真正原因和一长串发生在前的情况——都是该事件发生的必要条件——分开。更进一步，相对论已经证明，在“此地—此时”的一个事件，只能成为绝对的将来中的事件的原因，与绝对的过去中的事件的结果。在第 16 图 (见 406 页) 中的中立区域内的事件，与一个“此地—此时”的事件，不能有因果的关系，因为如果这样的话，其影响的传递必将超过光速才可以。并且如果用因果原理来证明归纳法的有效性，说明它是追寻绝对真理的向导，那末，从逻辑上来说，这一原理自身便不能用归纳方法来加以证明。因此，穆勒的论据的基础就动摇了。

的确，归纳方法叙述起来是很容易的，而要证明归纳在逻辑上的有效性，则颇为困难。归纳方法确非培根式的。惠威尔指出，归纳的成功，在于出发时须有正确的观念。洞察力，想象力，或者天才，都是需要的：首先要选择

惠威尔对算术的称颂可能是对的；整数间的关系似仍含有绝对的真理。或者如克隆尼克 (Kronecker) 所说：“只有整数是上帝创造的，其他都是人为的。”

H. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, Paris, p. 1.

W.C.D. Dampier-Whetham, *The Recent Development of Physical Science*, 1st ed. London, 1904, p. 29.

A.S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, 1928, p.

最好的基本概念，并把各种现象加以妥善分类，使其适于归纳的运用；其次要制订一个临时的“定律”，作为工作假说，再以进一步的观察及实验加以检验。

现试以实例说明于下：亚里斯多德的物质及其特性、天然位置等等的观念，不能用作动力学的概念；如果说它能导出些什么，它所导出的，只是些假的结论，如重的东西坠落得较快之类。从此以后，毫无进步可言。直至伽利略及牛顿才摈弃了整个亚里斯多德的体系，从混乱之中选择距离或长度、时间及质量作为新的基本概念，这样才能对物质及运动加以思考。

伽利略利用距离和时间以及由此导出的速度，于一度失败之后，猜得落体的速度与其降落时间的正确关系，推出其数学推论，并且用实验加以证实。牛顿再添上质量的概念——本隐涵于伽利略的研究成果内——成立了运动定律，又由此推导出动力科学。

这种动力学广泛地得到观察与实验的证明。

正确概念的重要是很明显的，有了正确的概念，再给予正确定义的重要性也是很明显的。所以彭加勒以为我们对于时间的测量，会不自觉地选择从正午到正午，而非从日出到日出，因为只有如此，才使牛顿的动力学成为可能。反对此说的人士，如怀德海及里奇(Ritchie)，所以走到反对的地步，是因为他们把意识当作仲裁者，把我们对于各段时间相等的直接感觉，当作测量的基础。

正确的概念既已择定，人们大概就可以象伽利略那样看出概念间的某些关系。这些关系，或它们的逻辑推论，就可以用实验加以检验，而其中有些将得到证明。于是简单的定律就建立起来，而新的学科也就开始形成了。每一得到证明的新关系，又引起新的实验，实验知识的增加，又需要并引出假设性的新关系。提出可能正确的假说，需要洞察力与想象力；推求假说的推论，需要逻辑本领同时还需要数学本领；检验假说的正确性，需要忍耐、毅力与实验技巧。的确，如坎贝尔所说，归纳是一种艺术，而科学是艺术中的最高的。

从第九章所叙述的生理学及心理学最近的研究成果看来，有一些人如持“行为主义”的观点的人认为，归纳所依靠的基本方法，与心理学的“条件反射”有密切关系。婴儿触火受伤后，将来必知避火。如他触火时，火在炉内，他也将避火炉，即使炉内无火时也是如此。他前面的归纳是对的，后面的是错的，虽然从逻辑上来说，二者都是从一个特殊的例子得到的不合理的概括。相似的结果也可以在动物身上见到；但是无论其为动物或为人类，这些，在最初不过是本能的；关于这个方法的理论及其语言的表述，在很后才有，也许这就是弗洛伊德学派所说的“合理化”——即创设某种不管充分不充分的理由，以证明我们所习惯去作的是合理的。有人以为这些简单的例子可以说明甚至可以解释科学所需要的更为复杂的归纳。这些见解，在某种意义上，是心理学中“行为主义”的扩大，大概将随着那些多少有些机械地看待心理过程的观点，同其存

我们现在试研究一下归纳法的正确性。近年来，有许多人尤其是凯恩斯

H. Poincare,及 N.R.Campbell,上所引书, A.D.Ritchie, Scientific Method.London,1923.p.62。

la Valevr dela Scierce, Chap, JI.

A.N.Whitehead,Concept of Nature, pp.121etseq.; A.D.Ritchie,Scientific Method, London, 1923 , p.140.

(J.M. Keynes)，把概率的数学理论应用于这个问题。凯恩斯的主要问题是：归纳是不是象穆勒所说，只要根据若干数目的实例就行？

凯恩斯所得的结论是：一个归纳的概率，确随实例的数目而增加，不过并不是因为穆勒所举的简单理由，而是因为实例愈多，则自首至末不存在第三种变更因子的可能性愈大，因此各个实例之间，除所考虑的特性外，不存其他共同点的可能性就愈来愈大。要这样增高归纳的正确性，还必须使每一新的实例具有独立性，换言之，即必须不是从其他实例推得的必然结果。一个归纳，可因实例数目的增加而达到确凿无疑，但要使此语有效，我们必须首先证明或假定我们所要证明的概括本身的内在概率，并非无穷的渺小。

在检验上述的假设时，凯恩斯认为，对象的各种特性，象某些孟德尔单元一样结合为群，因此，可能的独立的变数的数目，远较特性的总数目为少。这个原理，在应用统计以建立定律时，也很需要。实际上所有科学的知识(除由纯粹数学所得的知识外)都很需要这个原理。因此，依照凯恩斯的意见，我们必须假定，一对象只具有有限数目的独立特性的概率是有限的，依照尼科德(Nicod)的意见，一个对象具有较某一指定有限数目更少的独立特性的概率是有限的。

布罗德也用概率的方法来处理归纳。他想要证明：除非我们 468 持有某种实在论者的信念——例如假定科学的“定律”所涉及的是构成感觉与概念的基础的持久性的客体——“否则，就不可能证明我们有理由相信‘久经考验的’归纳所得到的结果”。彻底的经验论者，或现象论者，或许回答说：这种信念，虽可用以指示将来什么可能是正确的，但往往证明其是错误的。

自然律

如果我们归纳成功，我们就可以得到一个工作假说；假说若经观测或实验证实，就成为公认的理论或学说；而最后上升到自然律之列。

自然律在哲学上的重要性，曾经为人所夸大，主要责任在于十八世纪法国百科全书学派。这种现象一直继续到十九世纪末叶。此后主要是在马赫的影响下，科学思想之摆，又摆向另一方向，自然律又变成只是经验与感觉常规的速记式记录。

现代的观点，介乎这两极端之间。例如坎贝尔于 1920 年，批判地分析假说、定律与学说的意义时，举出理由，说明为什么要相信：尽管把理论与事实比较时，人们对理论有些轻视，但是仅仅建立在“事实”基础上的经验定律，并不能引起多大的信赖；然而当此定律能用一种公认的理论加以解释时，人们就相信了。这样的定律，可能不只是感觉的常规。

坎贝尔以为定律有两种：(1) 各种特性的一致的联想，例如“人”或“银”的概念中所隐括的特性；(2) 往往用数学形式表达的各个概念间的关系。穆勒与其信徒只讲第二种定律。“他们以冗长的论文，解释我们如何发现火

J. M. Keynes, *Treatise on Probability*, London, 1921.

Bertrand, Earl Russell, *An Outline of Philosophy*, London, 1927, p.284

C.D. Broad, *Scientific Thought*, London, 1923, P.403.

N.R. Campbell, *Physics, The Elements*, p. 153.

同书第 43 页。

花在气体中激发爆炸的定律，但并不以为这样一个问题值得任何注意：我们如何发现火花、爆炸与气体所以存在的定律（在他们的讨论中是假定知道这些的）；然而这种后面所说的定律，在科学上却重要得多”。凡没有毕生致力于科学工作的人，对于不同定律的相对重要性是没有多少感觉的。

自休谟的研究以至凯恩斯的研究，人们对于归纳方法的批判性的考察已证明，归纳科学虽然常常意识不到自己的局限性，也只能求得多少可能正确的结论。有时，概括的概率很大，但是无穷大的概率（即确定性），是决不能达到的。不多年前，牛顿重力定律的精确以及化学元素的持久不变，被认为毫无疑问的，而事实上，这两个原理正确的概率极大，致使我们大家在剧烈争辩中，都愿以最后的一文钱，为其真实性作赌。然而爱因斯坦与卢瑟福已经证明我们是错了，而我们的金钱要输给表面上愚蠢到、但也是真的愚蠢到同我们打赌的鲁莽赌汉了。

由此可知，经验证明了现代的理论是对的，并且说明由归纳所得的概括或定律，即使被普遍公认为真理，也只可视作或然而已。由于哲学上的决定论的证据在很大程度上建立在自然律普遍适用的信念基础上，所以这问题颇有其重要性。的确，在这方面所用的“定律”二字，颇易引起误解，而已产生不幸的效果了。它使人们觉得无形中有一种道德上的义务，要叫现象“服从定律”，并且使人们以为当我们发现了一个定律，我们就发现了一个终极的原因。

鉴于物质不灭及能量守恒一类定律（或概括）在二十世纪初所处的坚强地位，以及此后在观念上所生的变化，从著者另一本书（1904年初版）上引来的下面一段文字，也许是很有趣的。

一方面按物理学的观点，我们完全承认这种概括的重要性；但另一方面，我们还须十分小心如何给予它们以某种形而上学的意义。在某种限制条件下，物质与能量以外的其他物理量，也可以守恒。例如在纯粹力学中，我们有动量——质量与速度之积的别称——的守恒。又如在物理或化学变化可以同等自由地向任何一个方向进行的可逆系统中，热力学指出另一量——即克劳脲斯所谓的熵——的守恒。动量与熵，只有在限定的条件下是守恒的；在物理系统中，可见的质量的动量往往毁灭，而在非可逆的过程中，熵量恒趋于增大。

质量与能量在我们所知的条件下似为不灭，而且我们也有理由把它们守恒的原理，扩大到那些条件适用的所有情况下。但是不能由此得出结论说，在某种未知的条件下，物质与能量不能可生可灭。一个飘行海面的波，似为持久不灭。它保持其形式不变，它所含的水量不变。因此我们或许可以说“波的守恒”，而这种说法也许和我们说物质的最终质点不灭同样近于真理。然而波的不灭，只是一种外表现象。波的形式的确真是不变，但是波内的物质则常在改变——其改变的方式是接连的各部物质，一个接着一个地采取同一的形式。不少迹象说明，只有在象这种意义上质量才是不灭的。

再者，象著者于多年前教授热学与热力学时所常说的，还有另一理由，说明如果给予这些守恒原理以过分的哲学重要性，是危险的。当意识在一团

同书第 101 页。

“无穷大的概率”，应是“等于 1 的概率”之误。——译注

Recent Development of Physical Science, 1st ed. London, 1904. p.39; 5th ed. 1924.

未经整理的混乱现象中摸索，试图寻求一种秩序的基础时，就自然而然地想到质量与能量一类概念，因为它们是常量，而在一串过程中保持不变。于是意识把它们从混乱中提出，作为方便的物理学概念，而在这些概念基础上建立知识的体系，因此它们遂得进入我们物理学理论的大厦。然后，有实验家，如拉瓦锡或焦耳出来，以其伟大的天才与勤劳，重新发现它们的守恒性，建立物质不灭与能量守恒的定律。

这些观念，在那时被视为很奇异，今天已得到一般的公认了。其中有些观念的现代形式，已如上述，而另外一些观念的新证据，将在以下数页中谈到。

坎贝尔说：科学的开始，首先是选择可以取得普遍同意的论断，和可以发现规律的领域，来加以研究；虽然在其推理的每一阶段上，要渗入个人的或相对的因素，而致有发生误差的可能；但由此总可求得科学上最高的成就，正如在艺术中一样。

爱丁顿分析过相对论对我们心目中的自然界模型及其定律的意义所必然产生的结果。我们用关系及相关的事物，表述自然界的结构，而以若干坐标表其可能的组态。为了从包含这种坐标的方程式中求得与我们意识相适合的物理世界的模型，我们觉得最好的数学运算方法，就是哈密顿所创立的方法。爱丁顿说：“这差不多是从混沌一团的背景中，创造一个活跃世界的象征。”基本的关系似乎毫不需要这一特殊方法，但在遵循此法以后，我们就能构造与守恒定律相符的东西。这些东西是永远追求永久性事物的意识选择出来的——本质、能和波的概念就由此产生了。

这样做，我们并不涉及原子、电子或量子；但就场物理学而言，结构已相当完备了。那些场的定律，能量、质量、动量和电荷的守恒，万有引力定律，以及电磁方程式，都照着它们赖以建立的方式去描写现象。它们是自明之理，或恒等式。因此爱丁顿以更深刻更普遍的分析，证实了著者多年以前对于质量及能量守恒的特殊例子所持的论点。

爱丁顿将自然律分为三类：

(1) 恒等的定律——如质量或能量守恒一类的定律。这类定律由于其创立的方式，乃是数学上的恒等式。

(2) 统计的定律——描写群体的性行的定律，不论是原子的群体或人类的群体。我们对于机械的必然性的感觉，大部是因为到不久以前为止，我们只能以统计方法研究巨大数目的原子所致。自然界的一致乃平均数的一致。意识要求设计一个自然界的模型，以求满足此种定律。

(3) 超越经验的定律——那些并非包括在我们模型设计方案之中的明显恒等式的定律。它们涉及原子、电子及量子的个别性状。它们所引出的东西，并不一定是有永久性的，而是象作用量一类的东西，迫使我们不能不加注意；但因其不能为我们的意识所领悟，所以颇觉格格不入。

爱丁顿说：我们心目中的象作用量一类概念的粗糙性与不可领悟性，也许就是我们终于接触到实在的征候。如果是这样，在科学上，我们几乎又回到了德尔图良 (Tertullian) 学派的神学格言——信其不可能者。

认识论

传统逻辑与数理逻辑。引导我们去研究归纳及用归纳法所得自然律的正确性。我们现在必须根据所得的知识，回过头来研究一般的认识论。在第八章中，我们已经看过马赫与毕尔生如何重新引起科学家对于认识问题的注意，并且企图把当时盛行的粗浅的实在论，转变为感觉比或现象论——这一种信念，以为认识乃感觉及感觉的组合所组成，科学仅为现象的一种概念上的模型，仅足使我们追踪感觉的常规而已。

这种论调，当然只不过是洛克、休谟及穆勒的观念的复活，但在当时的许多人看来却是一种新发现。漠视哲学的科学家，对他们的研究成果的意义，大部抱常识性实在论的朴素观点，但也有些听取物理学家及数学家，如马赫及毕尔生的意见，因之在十九世纪的末叶与二十世纪的初期，现象论乃成为相当的风尚。

但是，当时并非所有的人都象马赫那样的走极端。如作者于 1904 年曾指出，虽然科学以其自身的方法，不能摆脱现象论，但是形而上学却能利用科学的成果，作为一派实在论的有效论据。

科学自身，只能凭我们五官所得的印象，进行观察与测量：

例如电流计，初看起来似乎使我们有了—种新的感官——电感官；但细想一想，就可以知道，当光点在尺上运动时，电流计不过把未知的，译作我们视觉所能了解的语言而已。

以现代的术语说来，物理科学所研究的，仅仅是指针读数或相当于指针读数的事物；而它用实验方法或数学推导方法所探索的联系，只是一个指针读数与另一个指针读数的联系而已。

科学被分为若干部门，是一种牵强的办法；各不同学科，仿佛是我们对于自然界的概念上的模型的截面——或更确切地说，是我们用以求得一个立体模型观念的平面图。一个现象，可从各个不同的观点来观察。一根手杖在小学生眼里，是一长而有弹性的棒杆；自植物学者看上，是一束纤维质及细胞膜；化学家认为是复杂分子的集体；而物理学家则认为是核和电子的集合体。神经冲动，可以从物理的、生理的或心理的观点来研究，而不能说某一观点更为真实。人们所以认为一切现象的力学解释，既有可能，而又具有根本性，是因为力学在物理科学中发达最早；而其概念、方法与结论，又为一般人所易于了解。然而力学并不比其他科学更为基本，实际上在 1904 年，物质即已被析为电了。

由此可知，归纳科学的工作，在于形成大自然的概念上的模型，而科学靠它自己的方法，是不能接触到形而上学的实在问题的。但是为各种现象建立一个一致的模型的可能性，就是一种强有力的形而上学的证据，说明同样一致的实在是各种现象的基础，虽此实在在本质上同我们心目中的模型非常不同，因为我们能力的限度及我们意识的性质，使我们的模型必为约定的，而非实在的。虽然多年以来，便有人努力想用语言的逻辑证明感觉的对象与科学的模型为虚幻的，而事实证明这一种看法是错误的，但素朴的实在论，以为科学甚至常识所见的事物就是事物的本来面目，这种看法显然也是站不

住脚的。但是，正象坎贝尔所认为的，科学对于实在的观念，与形而上学对于实在的观念不同；就科学而论，其归身的概念已足够真实了。

以往的实在论与现象论的争论，牵涉到把知觉与其对象加以混淆，如穆尔（G.E. Moore）在其《驳唯心论》（*Refutation of Idealism*）一书中所表明的。穆尔坚持一个不待证明的事实：当我们在有知觉时，我们是对某种东西有知觉；而使我们所有知觉的东西，决不能与我们对它的知觉相同。他还证明：这一自明之理可驳倒当时唯心论者的大部分论据。布罗德说：“我们所知觉到的东西，确乎存在，而且具有我们凭知觉知其具有的性质……。我们所能说的最坏的话，就是说这并不也是实在的，换言之，就是当它不是某人知觉的对象时，它就不存在，但是并非它根本不存在。”我们所知觉到的或者是一根手杖，而物理学家从分析的观点严格地去看，便分析为电子或波群，但是这些物理的观念，决非我们对于手杖的知觉。在一个小学生知觉起来，确有一根长而富于弹性的棒存在。由此可知，穆尔及布罗德从另一途径，把我们领出黑格尔的唯心主义及马赫的现象论，但不是回到常识和十九世纪科学上的朴素实在论，而是回到一种更丰富的实在论，既承认感官所知觉到的对象在被知觉到时的存在，同时又与建立在现代数学及物理学基础上的哲学相符合。

罗素与怀德海于 1910—1914 年，发表其伟大的著作《数学原理》（*Principia Mathematica*），并且在以后的几本书中，进一步发展了由之而来的对于自然的观点。这观点或许可以用最简短的形式略述如下：我们对于物质世界的知识，只是一个抽象。我们可以构造那个世界的模型，而探索其各部分之间的关系。我们不能用这些方法揭露“实在”的内在性质，但可以推断有某种东西存在，不以我们对它的思想为转移，而且其各部分间的关系，以某种未知的方式，与我们模型中的各部分相当。

这种新实在论，溯源于洛克。他最初诉诸心理学，后来开始探讨范围有限的哲学问题。现代的实在论者，已经不再先假设完备的哲学体系，再由此推出其特殊的应用。他们利用数学、物理学、生物学、心理学、伦理学——及其他任何他们遇到的学问——研究个别的问题，而象归纳的科学那样，慢慢地把他们的成果拼凑在一起。由此可知，在哲学上也象在科学上一样，正确性的唯一试金石，是自身的一致性。

数学与自然界

要把各方面对科学上应用的认识论的最新贡献给予完备详尽说明，我们就不但要考虑归纳法，而且须考虑数学的演绎法。数学如何能从测量的粗浅事实与机械技术（其中并无点、面、质点及暂时组态一类理想的东西存在），求得其点、面、质点及暂时组态等理想的抽象呢？数学又如何能把从分析抽象所得的知识，应用来阐明粗疏的世界，而竟在数学物理学中得到这样的成就呢？

对于自然科学中的这个与其他哲学问题，怀德海的贡献很多，特别是他

Philosophical Studies, London, 1922, p. 1

Perception, Physics and Reality, Cambridge, 1914, p. 3.

的《外延的抽象原理》一书。在这里，我们对这部著作的概要略加叙述。对于数学原理不感兴趣的读者，可略去这节不读，亦无损于本书的连贯性。

科学不管所用的任何项的内部性质，而仅研究其互相的关系。因此，任何一组项如具有一组相互的关系与他组数项所具有的相同，则此二组项为等值。无理量，如 $\sqrt{2}$ 及 $\sqrt{3}$ ，在数学中可以当作数看待，因为它们服从整数所服从的同一加与乘的定律。所以在此意义上，它们是数。

又 $\sqrt{2}$ 与 $\sqrt{3}$ 普通定义为：平方小于2或小于3的有理数所组成的级数的极限。但我们不能证明此二级数确有极限，因而此定义实等于虚设。另一方面，如果我们的定义说 $\sqrt{2}$ 与 $\sqrt{3}$ 不是级数的极限，而是级数的本身，则我们求得的量，包含有意料以外的内部结构，但确实存在，而且可以证明其彼此之间，及与其他数学量之间具有的相互关系，与一般定义的 $\sqrt{2}$ 与 $\sqrt{3}$ 所具有的相同。因此，这新的定义，可用以代替旧定义。

怀德海证明最初为无理数所发现的原理，也可应用于几何学及物理学。例如关于点的老问题：一点可定义为一组一个套一个愈来愈小的同心球所成级数的极限。这定义，于几个目的上，颇为有用。但是体积无论小至什么程度，究竟还是体积，而此定义遂不免与其他目的上需用的定义（一点只有位置而无大小）相冲突了。

如果我们定义一点不是一个体积级数的极限，而是这级数的本身，这样定义的点，即通常所谓该系统的中心。于是我们所得的量，彼此间相互的关系，与前两个老法所定义的点都相同。因此，定义所引起的矛盾，遂得避免，而这些新的点所具有的复杂的内部结构，当不成问题，因科学不涉及内部结构，只考虑其各部分的相互关系。

用这样的方式，怀德海证明了能够感知数学上不能利用的东西（如实在的体积、棒棍或微粒），与数学上能够使用而不能感知的东西（如无体积之点，及无宽度之线，这些是几何学及物理学所必须使用的东西）两者之间的联系。

这种思考的方法，同确立已久的热力学的方法相似。热力学把一个系统的内部结构与变化视为不相干，而实际上确是不相干。所考虑的，仅是该系统吸入及放出的热量和别种能量。分子理论对该系统的内部性质给予一种说明，但热力学对这种说明既不表赞同，也不表示反对。如果能提出另外一个理论规定同样的外部关系，那对热力学也是一样。关于此点，在溶液理论中有一个很好的例子。

范特·霍夫以热力学证明：溶液的渗透压力，与普通的气体压力，必然具有相等的数值，而且遵照同样的物理定律；因此有许多物理化学家以为范特·霍夫的理论要求压力的原因应为相同，也就是分子的冲击。其实，热力学上的关系，自然与不管什么“原因”都相符合——化学亲和力也好，分子冲击也好。

再举一个例子。在一个最近开辟的物理研究的领域中，海森堡所用的数学与薛定谔所用的数学，确是殊途同归，虽然前者采用玻尔的电子及能级，但不用他的电子轨道，来探求原子的结构；而后者则采用波动力学的基本观

念，以解决同一问题。这里，这两种关于原子内部性质的观点，是用相似的数学方程式表达出来的，虽然其所用的物理概念不同，但在科学的最终目的上，则完全一样。

这种结果给人的哲学上的教训是：我们一方面必须以保留与审慎的态度，去承认人们不断用来代表关系量——即具有物理关系的量——的想象的模型，另一方面对于科学所给予我们的有关这种关系的有增无已的知识，可以随意加以利用并给予愈来愈大的信赖。这种知识是一个概率的问题，不过这种知识正确的概率是很高的，而且大部分在很快地增高。它是足够好，足资运用了；这种关系的真实性并不依赖关系量自身的实在性。

物质的消灭

牛顿的坚硬而有质量的质点，在麦克斯韦看来，象十九世纪的原子一样，已经打上制成品的戳记，但到十九世纪末叶，已经有了不能说明事实的征候了。凯尔文的旋涡原子与拉摩（Larmor）的以太应变中心，都是想以更基本的方式来表述以前所谓的终极的科学概念。

麦克斯韦证明光是电磁辐射。这成为弹性固体以太学说寿终正寝的先声；而 J.J. 汤姆生的质点与洛仑兹及拉摩的电子合而为一，也同样地把物质归结为电。无疑的，世界已变得更难于了解了。当时的人们，本来以为他们知道有质量的原子是什么，空间以太中的横波是什么；现在，他们不得不承认对于电的内在性质或电磁振动的意义，他们所知甚少。

在下一个阶段内，电子与质子在新物理学说中，应用日见成功。我们已习惯于在头脑中思考它们，它们已变成熟悉的观念了，以至玻尔与索末菲几乎使我们相信，他们奇妙的原子模型，足以代表物理实在，当然不是形而上学的实在。但在他们尚未做到这一点以前，他们的理论就垮台了；同时海森堡的工作证明，行星式电子观念的基础实在包含了多少未经证实的假设，并且证明我们把牛顿天文学的先人之见搬入了原子物理学。关于原子，我们所真正知道的不过是进出于原子的东西。对我们来说，电子不过是辐射的来源与辐射的吸收者，我们只能在它们不连续的放射能量的瞬刻，去侦察它们、研究它们。对于我们，它们是辐射，一切不过如此而已。从另一观点，德布罗意与薛定谔也还用数学上与海森堡的方法等价的方法，把原子或其组成部分分析为波动系统，而波动也许只是概率的交替而已。

但是我们不要忘记了历史的教训。热力学免除了原子的概念，而在新物理学开始采用极端形式的原子观念以前不久，奥斯特瓦尔德最后建议废除这种概念而采用唯能论。我们可能有一天会在原子构造的问题上找到新的证据。但是已有种种迹象说明，我们正在接近自然界的物理模型的极限。至少在今日，新量子力学独掌霸权，我们不得不用数学的方程式来解释现象。

按照从前物质的观念，物质被析为分子及原子，原子又被析为质子与电子。今天又将这些分解为辐射之源或波群：分解为由一中心向外进行的一组事件了。至于存在于中心的是什么，载波而行的介质是什么，（如果波动方程式的确意味着有介质中之波存在的话）我们却毫无所知。并且关于这些组成电子的波系的可能的知识的精确性，似乎也有一个基本的极限。我们如果从方程式算得一个电子的精确位置，其速度就变成不确定的了；如果算得其精确的速度，则不能精密地确定其位置。这个测不准性，是同电子的大小与

用以观察它的光的波长二者之间的关系有联系的。如果光的波长大，则不能看得电子的精密界限；如将波长减小到可以得到精密的界限，则辐射又将把电子踢出其原来的位置。这里，似乎有一个不可能达到精确知识的最后极限，一个不能克服的根本的测不准性。人类的知识好象已逼近最后极限了。

通过相对论也达到相似的结果。过去的哲学家以为物质在实质上是占有空间的东西，而空间是通过时间经久不变的。但是今日则以为空间及时间对于观察者是相对的，没有一个宇宙的空间，也没有一个宇宙的时间。三维空间中不灭的物质团或电子没有了，而有了四维时空中一串的“事件”；这些事件有的似乎以某种方式相关连，而表现为一种经久存在的情况，如海中的一波，或一乐音。超越距离的力，特别是万有引力及“解释”它们的必要性，也都消逝了。只有微分的关系，联系着时空中邻近的事件。物理实在归结为一组哈密顿方程式。旧的唯物论死亡了；而甚至一度取代物质微粒的电子，也已变成了失落肉体的灵魂——仅不过是波动形式而已，甚至不是我们所熟知的空间中之波，也不是麦克斯韦的以太中之波，而是用我们意识所不能领悟的措词来描绘的四维时空中之波，或概率图式中之波。

并且，即今作为失落肉体的灵魂，它们的生涯仍很短促。可以解释太阳及其他恒星所放出巨量辐射能量的唯一已知的原因，就是质子与电子的相互毁灭或氢嬗变为其他原子。我们地上的物质，也许是由不能复燃的死灰组成的，但在恒星和星际空间里，这些变化是可以发生的，而宇宙中一部分物质也许正在化为辐射。因此，过去似乎如此熟悉，如此富于抵抗力，如此永存不朽的物质，今天已变得不可思议的复杂了。它以微小电子或其他种粒子的形式，散布于空间或原子核周围；或以波群的形式浸透于原子的全部，而且更化作辐射而不断消失；即专以太阳而论，也以每分钟二万万五千万吨的速率在消失。

自由意志与决定论

人是不是一架机器的问题，已在第九章中从现代生物学的观点讨论过了。有些生物学家还坚持生命的活动不是力学、物理学及化学所能完全说明的，而表现出一种为生物所特有的功能的配合或一体化。机械论者回答说：生理学与心理学的一个又一个的领域被生物物理学和生物化学归并去了，而且这一进程似无止境。第三种意见，承认物理的与化学的机械论是科学知识进步所必需的假设。但此种意见，或者是把新活力论的目的论溶化在更广泛的普遍的目的论中，或者是对这个问题采取主观主义的见解，认为 479 物理学、生物学与心理学是随观察整个人的各种不同角度所遇到的问题而异的。

从历史的观点看，我们已说过活力论与机械论更迭的互相消长，甚至从希腊的哲学的时代以来，就是如此。但虽未得定论，我们对此问题的真实性质，已经得到比以前任何时候都多的证据；即令我们还不能把它解决，至少也能把问题提得更加清晰。

如里奇所说，生命很奇怪地为其物理环境所制约，但在若干方面，又不依其环境为转移，而与任何无生命的东西不同。有理性的人首先应该做的是，满足于所知者甚少，而不知者甚多：

任何一个多血气质的人，一见生命依赖于物理环境，……就以为他离解决一切问题都已很近，这是很自然的。他以为他正在对生命的堡垒进行最后的攻击；但当战争的狂热过去、他可以清查自己的成就时，他就发现他所攻克的，仅仅是一个无足轻重而几未设防的外围工事，堡垒本身，仍如以前一样相距甚远。

但是，如里奇继续说的：“重要之点，乃是‘机械的’方法，究竟还给予我们一些知识，事实上，我们已有的知识几乎全部是机械的方法赐予的。”要在生理学或甚至心理学的研究上取得成就，必须假设以后的问题都可以用力学的、物理的或化学的方法，加以解决，虽然这个假设不一定使我们对于整个哲学问题或甚至生物学问题都怀抱偏见。新活力论者仍然声称，生命过程是受到调节的，可以用物理学或化学力所不能及的方式保证有机体正常状态的维持或孳生。其他人如 J.S. 霍尔丹教授等，也依然可以说，虽然机械论不能给人完全的解释，活力论者所强调的调节也是一种机械的环境的结果。由此可见，机械论与活力论都归于失败。但是“实在”的内在本性，要求有一种整体化或协调，特别是在生物中所表现的。克洛德·伯纳德及其信徒所应用而卓有成效的适应环境的观念，在生理学中也许已证明具有根本重要性，正象物质及能量守恒的原理在物理学中具有根本重要性一样。

当我们的眼光从生物学转移到物理科学的时候，我们对决定论这个老问题就有了一个完全新的看法。近代以来在牛顿的研究成果基础上经过改造而在十八及十九世纪风行一时的哲学上的决定论，今天已不再像从前那样得到物理学的证明了。人所称道的老的科学定律，今天已证明或者是我们插入自己的自然界模型中的公理，或者是概率的陈述。即令在本学科中涉及大规模现象或统计现象的那一领域中，科学家对于自己的预言能否得到证实，充其量也只能打一个稳操胜算的赌博，而对于原子与量子的行动，他根本就无法预言。

即令承认熟悉的定律，是或然的趋势的表现，这种定律所涉及的，也不是单个分子、原子或电子，而仅是统计的平均数。我们如果加热于一气体使其温度增高一度，我们可知大量分子所增加的平均能量有多少；但是某一分子的能量，则视机遇的碰撞为转移，今日还无法计算。我们能预言在一毫克的镭中每分钟有多少原子要蜕变，而且我们的预言，也可证实到相当小的误差限度；但是我们不能预告某一原子在何时将爆裂。我们知道多少电子会在某一温度下发射一个能量子，但不知道某一电子在何时会坠入一新轨道而致发出辐射。将来或有一日，有一新的力学理论产生，使单个别的分子、原子与电子有变得可以测量的可能，但至今尚无此种学说的征兆。

实际上，今日的趋势指着另一方面。测不准原理，似乎给自然界带来一种新的不可计算性。迄今所说的测不准，可能是由于知识的缺乏，到知识增长后，或可成为决定论。如果在这基础上去建立自由意志的哲学，是危险的。但如爱丁顿所指示的，薛定谔和波尔的研究成果说明，物的性质中确有一种测不准情况。若将电子的位置计算准确，则其速度就不可计算。反之，若将其速度测准，则其位置就成测不准。有些人认为，这种互相交替的测不准，似已表明：科学上的决定论的论据，归根结蒂，已归无效。但是也有人主

J.S.Haldane, *The Sciences and Philosophy*, London, 1929.

C. Lovatt Evans, *Brit. Assoc. Rep.* 1928, p.163.

张，这种“测不准”只说明用我们的测量体系去对待物理学领域以外的问题，是不胜任的。

这第一种测不准与研究有生命的机体的人所遇到的难题，有某种相似之处，这里不能不提一下，我们在一小的误差限度内，可以预言英国一年将有多少婴儿死亡，或者预言某一年龄的人，可再活多少年。但是我们不能预言某一婴儿是否会死亡，或者某一保险凭单何时会来兑款。这里也如上述，或有一日，新的知识与技术，有可能给予我们预知的新本领，但至今还没有征兆。

我们决不可忘记：为了求得有效的意志自由，自然界必须是有秩序的。最不幸的遭遇，莫过于受制于一反复无常而不可测度的暴君。要做我们自己的生命的主人翁，我们必须有驶过有海图的大海的能力和把持船舵的本领。以现今的知识而论，在统计学上人类或许是命运的奴隶。但就个人言，他所必须服从的机器，虽然是决定了的，却是有秩序的，也许仍然有自由意志的余地。将来的调查，也许证明这一结论言之过早，而与较广泛的知识不符，正如在量子力学中，将来的工作，也许能测定个别原子的生活史一样。科学演进的下一阶段，或许是又向机械哲学方向摆动。但是至少在现时，物理学的情况，不管真实性如何，是指向另一方面。

这个问题，与往昔关于心灵与物质的争论，有密切的关系。十七世纪以前，一般都以为人的灵魂是物质的，与气体是同一性质的东西。但笛卡尔把心灵与物质加以区别。这个观念相传至今，把心灵和物质看做是平行的。要免除笛卡尔的二元论，似乎有两条道路。唯物论者认为物质是惟一的实在，而心灵是虚幻的；唯心论者则随着贝克莱相信心灵是实在的，物质是虚幻的。现象论者如休谟及马赫等的著作中出现一个新的观点：说心灵与物质的概念，是我们现实我们心目中的自然界图样的两种不同方式，或者更恰当地说是科学用以建立自然界立体模型的不同的平面图。现代的一些哲学家，自威廉·詹姆斯以至伯特兰·罗素，把这种观念发展为所谓“中立一元论”。依此学说，心与物都是由一种更原始而既非心的又非物的东西组成的。

我们对于我们的物质世界模型所代表的实在（如果有的话）的内在性质，毫无所知；而对于心灵世界的内在性质，则尚有所知，就直接的认识说来，心灵世界是更为实在。物理学不能证明物质世界的内在性质，与心灵世界有所不同：心灵的与物质的事件，很可能形成一个有因果关系的整体。

它们之间互有关系，是无疑的。神经学与实验心理学证明神经作用同时伴有物理的和心灵的现象。生物化学证明，无管腺的内分泌，可以改变人的心理个性。如果以肾上腺素注射于人体，可以产生恐惧的肉体征候，虽然罗素爵士已有实验证明：恐惧的心灵情感，并不一定随这些征候而发生。然而这些心灵与物质世界的显然联系，并不能阐明二者的最终性质。

在把心灵与物质相比较的时候，我们认识到无论如何，物理学只能给我们提供一种关系的知识，以及把两者联系起来的概念上的关系量；而这种知识只能靠心灵求得并且只存在于心灵中。在这种意义上，心灵确较物质更为实在，或较机械论更为实在，因为在今天，只有在依赖于大群单元的统计学平均作用的宏观现象方面，决定论的机械论才有效，而在考虑个别原子、电子及量子的超微观的底蕴时，决定论的机械论便无效了。

恒星所发的光，达到我们的眼中时，这就是物理学可以追踪的一串事件的结束。但在这整个一串事件中，只有视觉的感觉，是我们可以具体描述的，其他事件就只能用纯粹抽象的与数学的方式加以描述。一个盲人或可了解所有的物理学，但绝不能了解看的感觉。关于事物能否给人以快感的知识，那不是物理学。因此，事情很明白，还有物理科学所未能包括的知识，即我们自己心灵感觉的知识。

这些感觉中最生动而恒久的一种，就是意愿与自由意志的感觉。到现在为止，反对这种感觉的正确性的最有力的论点就是机械的决定论。有人以为决定论是物理科学的必然结果，但爱丁顿以为，如果还有人想为哲学上的决定论辩护，在今日只能凭借形而上学的证据。它的拥护者，不能再用科学来证明了。科学上的决定论已告崩溃，已在保护它的能力的堡垒内部——原子的内部结构——崩溃了。

要科学家去研究意识控制物质的可能的作用方式，今天尚非其时，但哲学家或不妨猜度这类的问题。爱丁顿指出，有人以为，意志可以控制几个原子或一个原子的不定的量子跃迁，这样，靠了一种神经的冲动，就把物质的世界从一个轨道转到另一轨道。爱丁顿认为这是不可能的，而宁愿认为意识可能是通过改变不定的原子群的概率的条件来发挥作用。他说：

我并不想缩小承认有生命的物质与死的物质的这种差别的严重性；但我以为其中的困难，即使尚未解除，却已稍微减轻。不改变原子的结构，而仅干涉其不定行为的概率，这种对于自然律的干涉，似乎不象人们提出的意识其他干涉方式那样激烈。

爱丁顿的看法，我们自应重视。但是意识与大脑的联系机制，当然很明显是一个极端困难的问题。如果轻易相信某种猜想可以解决这个问题，不管这种猜想如何巧妙，那都未免近于鲁莽。目前，最好保留这个问题的现状。经验包括许多方面：物理科学为其中之一，心理学又其一，而且心理学必须承认美学的、道德的与宗教的情感是它的资料的一部分。

科学从现象世界形成抽象，并制订出本身含有逻辑含义的概念。因此，在概念和一切可能而正确的推论之间，有一条不可打破的连锁。所以，科学上的决定论，是由于科学是一种抽象过程而产生的。例如力学从感觉引起的观念，构成抽象的概念——空间、时间、物质——再根据这种概念建立一个合乎逻辑的决定论的体系；从这种体系中，只能引出与所纳入的抽象概念性质相同的抽象概念。从力学的立足点看来，自然界不可避免地是机械的；而从任何抽象的与逻辑的科学的立足点看来，它是决定论的。但还有一些其他立足点，精确科学无法达到。

此外，这一问题与因果问题也是有联系的。如果认为因果关系是先验的，是思想的一种必然性，它的正确性就不取决于科学，而科学对它的结果也不负责任。另一方面，如果认为因果关系须以经验证明，因果律就仅在某些实例上得到证明。在其他实例上，虽然没有否定它的确凿证据，但也不能证明其普遍性，我们也没有理由断定它必须控制人类的意志。人类意志非常不同于因果律也许已证明为有效的那些现象。

Eddington, 同前。

比较 R.G.Collingwood, *Speculum Mentis*, Oxford, 1924, p.166, and Whitehead, 同前。

见 Bertrand Russell, *Our Knowledge of the External World*, p.236。

罗素以为人们对于决定论的反感，大部分是由于分析不够造成的。由于分析不够，就把科学所说的非人为的因果关系，与人类意志的观念混淆起来。我们都不喜欢觉得我们是在外来的压力下，违反自己的意志而被迫行动。但当我们的意志，即令从决定论去看，与造成我们的行动的原因一致时，这种感觉就不致发生。如罗素所说：“总之，自由在任何可贵的意义上，仅要求我们的意志是（事实上也是如此）我们的愿望的结果，而不是外力强迫我们取我们所不愿取的结果。……所以自由意志，只有在那重要的形式上才是真实的。”

机体概念

现在再讨论涉及这同一问题的哲学思想的另一发展。自然科学的普通方法，是用分析方法把问题简化。心理学家在分析之后，用生理学原因来表述其结果；生理学家应用物理学及化学来说明他们的结果。物理学家则剖分物质为原子及电子，而在此中，他们又碰见机械模型全部失败的局面，与似乎具有基本意义的测不准原理。或许他们还可能建立一个成功的原子模型，但到最后，模型的建立，将证明为不可能，而最后的物理概念必将用数学方程式来表达。

但是物理学并非唯一的科学，而科学自身，也非唯一的经验方式。的确，生物学包括分析性的生理学，而生理学每每尽一切力量，把问题简化为物理与化学问题；但是生物学同时也研究把活的机体看做整体的自然历史。心理学并不是只进行感觉及情感的实验分析，而且研究心灵的内部意识与整个人格的内部意识。力求接近实在的综合方法，也如分析方法同样有效。这些理由，使得怀德海坚持认为，还需要一个临时的实在论阶段，来把科学体系重新改造，建立在机体（organism）这一最终概念的基础上。

十六世纪发现，世界可以很成功地描绘成一系列瞬时物质组态，这种组态可以决定自己的变化，从而形成一个逻辑上严密的体系，一个完全的机械论的体系。唯心主义者从贝克莱以至柏格森，都起来反对这一体系；但因为未明其真正争论点所在，所以在辩论中遭到失败。这一体系确有其错误，但不是一般所想象的错误。这实际上是本书所多次指出的，那就是把科学所本来需要的抽象，误认为具体的实在，也就是怀德海所说的“具体性误置的谬误”。抽象为分析所必需，但从自然界及经验构成抽象时，就需要把抽象以外的部分略而不论。因此，抽象所提供的科学的图象是不完备的，至于整个存在的图象就更不完备了。决定论的机械论的原理，只适用于十分抽象的实体，即逻辑分析的产物。世界上具体而持久的实体，是完整的机体，所以整体的构造，影响了其各部分的特性。一个原子当形成为人体的一部分时，其行为可能有所不同；它的情况是作为机体的人的性质所决定的。心灵的状态参加整个机体的构造，因此可以改变其附属各部分——直至电子为止——的计划。一个电子盲目地行动，但在人体内，它的盲目的行动就受到身体的整个计划，包括心灵状态的制约。为了加强这个论点，我们可以指出：一个电子在一个原子内是为整个的原子结构所制约的，而与一个在原子以外，游动

见同书 239 页。

A.N.Whitehead, Science and the Modern World, Cambridge, 1927.P.80.

于“空洞”空间的电子非常不同。由此可知，怀德海是用机体论来代替科学上的决定论。他从与爱丁顿相反的方向来处理这个问题。我们知道，爱丁顿是从原子、电子与量子——物理分析的最后产物——的基础上来攻击决定论的。怀德海则说分析由于它的本质在哲学问题上容易把人引入歧途，因此，他把他的理论建立在完整机体的综合概念基础上。归根结蒂，他诉诸素朴的经验；这些经验告诉我们：“我们是在一个声音、色彩与其他感觉对象的世界里面，而这些声音、色彩和其他感觉对象是在空间和时间中同持久的物体，如石、树，及人体联系在一起。我们自身同我们所感知的其他东西似乎在同一意义上都是这个世界的成分。”这样，怀德海就靠了他自己有很大贡献的新实在论的阐释，采取了与穆尔及布罗德大体一样的观点，从而似乎给我们重新带来了一个关于美和善的世界的科学理论。这个理论，贝尔特（Burt）以为，是伽利略从我们那里取去的。怀德海以为自然现象的最终单位是事件。他也象柏格森一样认为，实在的本质就是变。也就是说，它是一个不断的和活动的过程，或一个创造的进化。

物理学、意识与熵

在讨论精密科学的意义时，爱丁顿着重指出一点：它所研究的只是物理仪器的读数。例如在计算物体从小山滑下所需的时间时，我们把物体……的质量，小山的坡度，与重力的加速度一类的指针读数，纳入我们的计算，而找出另一指针读数，即我们时钟上指针的位置。应用这个方法，物理学构成一个逻辑上严密的知识体系的闭合圈子，其中仅包含一些互相联系的物理概念。用旧的术语来说，物质与其组态决定了力，而力又决定了未来的组态。用现代的术语来说，这个系列的次序如下：势，间隔，标度，物质，应力，势……等，如此反复，永无止境。逃出这种圈子的唯一方法，就是认识到这个无疑的事实：说逻辑图式是否与实际世界符合，只能靠心灵的作用来加以测验。或许只有物理学可以追踪它的闭合的圈子中的扰动，直到这种扰动变成大脑中物质的运动为止，再客观地从外界观察这个运动。但当大脑中的扰动被翻译成意识时，我们就接触到实在。“意识是不是实在的，是不成其为问题的。意识就是自觉，‘实在的’这个形容词并不能增添什么新东西”。

这里，我们又回到了第八章与第九章所讨论的自我的本性问题，自我是象老派哲学所说，存在于经验之前，而与经验无关的实体呢？还是象现代心理学家所说，是靠感觉、知觉与其他心理活动的作用而形成的复合的第二性的结构呢？这个问题，不能得到一致同意的解答，或者也无需解答。无论是怎样形成的，自我是有意识的。用爱丁顿的说法，自我是自知的，因而是实在的。

通常的可逆物理学的方程式，对于运动向哪一方向行，毫未说明。就形式的动力学所能告诉我们的来说，行星也可能按相反的方向绕日而行。这里，又是只有我们的意识才能使我们在一可逆的世界中，区别过去与未来。但在物质的世界中，有一个不牵涉意识的准则。物质的世界不是可逆的，而热力学第二定律告诉我们，在一非可逆的体系中，能量随时间的进行而不断减低其可用之量，熵不断增加。正是我们大脑中进行的非可逆的过程，在我们的意识中引起了时间推移的感觉，是不是有这种可能呢？

熵的这种增加，可用一洗牌机洗纸牌的比喻来说明。在未洗以前，将牌

依花色及数序排好。洗过以后，花色及数序都匀混了。除非经过有意的挑选，或由于机会少到不可想象程度的巧遇使各张牌恢复未洗以前的次序外，我们绝不能把牌的次序复原。纸牌的张数愈多，则洗匀所需要的时间也愈长。故洗匀的程度，可用以测量时间，而且因此为一非可逆的过程，故也可用作方向的指针：愈洗愈匀，则表示时间在前进；若各牌自行重返原顺序的排列，那么我们必在反向上去追溯时间。

所以如爱丁顿所说：熵在物质世界中，为时间的指针。如温度之差在减小，能量在变成逸散而更少，熵在增加，则时间的过程为正，我们在向着未来前进。反之，如果我们从方程式中发现熵在减小，可用的能量在增多，则我们应知我们在从未至始地追踪一个过程。

气体分子运动论使我们能够把熵增加的过程，译作分子运动的过程。若有二器，各盛相等数目的分子，其中一器热而他器冷，则前者所盛分子的平均能量与速度，必较后者所盛分子的为大。今若将此二器连通，则分子的碰撞，将使分子的平均能量趋于相等，直至分子速度的分布，遵照麦克斯韦与波尔茨曼的定律。这是一个最后的状态，要使这种最后状态恢复最初状态，只有靠有意识的行动如麦克斯韦的魔鬼的那种想象中的行动，或由于一种极不可能的机遇，以至全部运动较速分子都跑到一个容器中。在无穷的时间里，这极小的机遇，也许有偶尔发生的可能；除非有其他比较可能的情况发生，把整个系统颠覆；实际上这后一情况是更可能发生的。

天体演化学

自地球中心说被推翻，恒星被承认是远方的太阳以后，宇宙规模估计数的增大，对于人类并无多大的重要性。并且天体起源的问题，为科学的问题，而非哲学的问题。但是天体物理学知识的猛进，确实使我们感到深刻的印象，而叙述其一部分成果，也许有其相当的价值。

我们的银河系含有恒星约数十万万个，而其中最远的恒星彼此的光或需三十万年方能到达对方。在我们的恒星系统以外，广大空间的汪洋中，有数以百万计的旋涡星云，可能是形成中的新星系。其中有些很远，其所发的光，须行走一亿四千万年才能达到我们的眼中。

但是，牛顿认空间是无边界的，今天看来空间却似乎是有止境的，由于散处的物质的存在而呈现弯曲。光如向外继续进行数十万万年，可能重新回到原来的出发点。

人类的出现可能是在几百万年以前。地球的年龄可能约为数十亿年。内部温度达几千万度的太阳与恒星向外辐射能量可能已有几十亿以至万亿年以上。

地上的九十二个元素，可为恒星内部的热力所毁坏。在恒星上，可能存在有我们所未知的放射性原子。由于这种原子的分裂，或由于质子与电子的相互冲突，物质便可化作辐射，成为恒星生存的能量之来源。地上的原子，即用以组成地球和我们的身体的原子，或许只是这个宇宙过程的副产物，剩余的死灰。

星云假说足以解释巨大星系的形成，而不能说明我们较小的太阳系的产生。要想弄清太阳系的起源，我们必须注意观察某些不常有的现象，例如两个尚为液体或气体的天体适逢行近时所发生的潮汐波。由此可见，在目前的

宇宙中，我们所知的生命必需的条件，即使不是独一无二的，也是很少的。看来，所谓生命，或可视为宇宙演化的副产物中微不足道的偶然现象，也可看做是创造性，演化的高度努力的最高表现，由于时间和空间的巧合，只有地球才能成为它的安适的家乡。科学能提出时空合适位置的各种不同估计但孰是孰非，则无论如何，非今日所能决定。

宇宙的未来又将如何？凯尔文爵士提出的能的逸散原理，以及克劳胥斯提出的熵向极大值增加的学说，都指示一个最后死亡的平衡状态。在此状态中，热量在均匀的扩散，而物质为永久的静止。新近的观点，已修改其细节，而未变更其结果。活动的物质化作辐射，辐射最后在空间中漫游，这个空间是太大了，以致不能为辐射所饱和，而再行沉淀物质。秦斯算得：每一活动原子可得生存的机会为 $10\ 420\ 000\ 000\ 000$ 分之一。宇宙似乎正在不断化为均匀分布的辐射。

然而如果宇宙依然在不断化为辐射，则必有一个结束的时候，而决不能如此永远进行，换言之，它必将达到一最后的平衡状态。秦斯说：

一切迹象都以不可抵抗的力量说明，一个或一系列确定的宇宙演化事件将在并非邈远无穷的某一个时间或某些时间发生。宇宙不可能是由其现有的成分中偶然产生的，也不可能如现在一样的继续下去。因为在这两种情况的任何一个情况下，除不能化为辐射的原子而外，不会留下任何原子。宇宙间将无日光，也无星光，只有辐射的一道冷辉，均匀地扩散在空间。这确是今日科学所可见到的全部宇宙演化，终久必将达到的最后结局。

有些人以为宇宙的最后静寂而死，想起来叫人不可忍受。但宇宙也许不大可能为了使他们高兴而继续维持其存在，不过，在自然的方法中，似乎又有一条摆脱其最后毁灭的出路。这就是霍尔丹及施特尔内所指出的一条出路：如果有无穷的时间，则所有不大可能发生的事情也可以发生。分子巧遇的浓集，可能逆转匀混的作用，而打破热力学第二定律的可怕结果。辐射能巧遇的浓集，或可饱和一部的空间，而新的物质，即是我们旋涡星云之一，可能结晶出来。我们与无数的恒星，也许就是此偶然事件的一例吧？

秦斯所算出的不致发生此偶然事件的概率，虽然极大，但无穷大更大。等候这偶然事件的时间虽然很久，但永恒更久。在无穷久的时间中，这些不可思议的机会之一，或将发生，也有其可能。一个新的“原子的意外的集合”，或可解释过去演化的行动方法，而且当现有宇宙表面上永远化为“辐射的冷辉”之后，重新带来一个新的更始。

我们不能说这是很可能的，因为我们的根据已达到或已超过知识的极限。实际上，像分子群的情况一样，其间更有可能发生某种其他机会，阻止此不大可能的偶然事件实现。一切上述的说法，仅是随意的猜度而已。

科学、哲学与宗教

本书前些部分叙述了哲学的观点，从十九世纪物理学的朴素实在论，一直到马赫与毕尔生的感觉论（后者主张科学仅能提供一个概念上的现象模型），而且最近更发展为罗素与怀德海的数学上的半实在论。

随着历史的发展，近些年来，从根本上来说是由休谟与康德传下来的哲

学得到了新生，而应用于现代科学，特别是应用可以用数学方式表述的那一部分科学，如物理学，但是许多研究其他科学与其历史的人并不相信这种哲学走在正确的道路上，有些人却主张把常识加以系统化就行了。

相对论与量子论深刻地改变了物理科学的基本原则，在 1930 年，认识论（或知识论）可以是（而且常是）建立在物质宇宙的所谓本性基础上，可是到了 1939 年，爱丁顿提出，反过来把我们对于宇宙的概念建立在物理知识理论的基础上，要更好一些。为了发展关于物质与辐射的现代理论，最好先有一个确定的认识论的见解；

寻找知识时，了解我们要寻找的知识的性质，是有帮助的。可是有人批评这办法是回到希腊人和中世纪人的“先验”的方法去。知识的来源在于我的感觉以及我们的感觉所引起的意识的变化。简单的觉察只是感官的认识，但可能是获得个别知识的途径。可是意识是一个整体，如果我们愿意的话，意识可以分析为其组成的部分，但这整体总表现为一幅图象或一个结构。

很多证据表明，相似的结构也出现在别人的意识里，这也说明有一个本原的结构存在于个人意识之外的领域内。这样，这个综合就被转移到外界去，在那里，字谜画的碎片等着物理学理论去加以组合。但是，直到最近，物理学的理论才不但在事实上，而且在形式上成为一种关于数学上的群结构的理论。

根据新的观点，有一种哲学包含在促进科学进步的方法之内。这个方法认为观测是最高的法庭，但是也考虑到客观上存在而不能观测到的量，例如迈克尔逊—莫利实验里的以太速度，或者相当于现代相对论里的隔远事件的同时性，以及海森堡量子波动力学里电子的位置或速度的不定性。

即使我们把经验的观测当作物理知识的唯一基础，我们也还是因而主观地选择了那种我们认为是物理的知识；这样发现的宇宙不能完全是客观的。认识论科学所研究的是知识的意义，而不是假定的实体（外界），它的符号就代表了知识的要素。这样我们所达到的是一种有选择性的主观主义，在这里，自然的定律和常数完全是主观的。

但是我们真正观测到些什么？旧物理学假定我们直接观测到的是实在的事物。相对论说我们观测到的是“关系”，而这些关系必然是物理概念之间的关系，物理概念却是主观的。根据量子理论我们只观测到概率；未来的概率是可以测定的，但是未来的观测知识本质上是非决定论的，虽然某一特殊事件发生的机遇可能很高，以致可以认为其具有必然性。但是如果借助于机遇的定律，科学便不能对于将来发生的事件作出预言。

科学的各种规律性，可以用观测或实验的办法纳入科学。白光是一种无规律的扰动，可是用棱镜或光栅去研究它，便可求得它的规律性。原子只能以粗暴的干涉法去研究，而这样势必扰乱它的正常的结构。卢瑟福认为他发现了的原子核可能就是他自己造成的。物质消逝了，我们得到的是形式：在量子论中，是波动；而在相对论中，则是曲率。我们所熟悉的自然图象的形式或范型，是我们最容易当作新观念加以接受的，而且这些观念由于被纳入

Sir Arthur Eddington, *Philosophy of Physical Science*, Cambridge, 1939.

H. Miller, "philosophy of Science", *Isis*, Vol, XXX, 1939, p.52.

W. s. Merrill, *The New Scholasticism*, vol, XVII, 1943, p.79.

Eddington, 同前, p.209.

这个形 492 式，便成了“自然规律”——由物理知识的主观方面产生出来的主观规律。所以认识论的方法，引导我们去研究的自然是公认的思想框子内的自然。我们能够先验地预言任何知识必备的某些特性，只因为它在这框子之内，虽然物理学家可以由果溯因地重新发现这些特性。

我们所用的数学也是这样——在我们把数学引入物理学的体系内以前，数学是在物理学体系之外的。我们把数学引入进行运算能否成功，全取决于我们的经验相互联系的程度。就数学的观点说来，所需的程序是包含在所谓群和群结构的理论之内的。

原子结构的各种超微观定律（现在溶合在量子波动力学中），在质点数目变得很大时，归聚于古典物理学关于物体的各种定律（现在表现在相对论中），因而须用统计的方法去研究它。超微观定律在理论上概括了全部物理学，从原子的角度给我们的知识提供了一个框架。

米勒（Miller）认为，如果有任何形式的主观哲学发达起来，它会削弱，最后毁灭观测的科学。两千年来从唯理论到经验论，科学经历了三个阶段。希腊科学家想通过理智的或理性的洞察力去寻求定义。他们相信那些描写普遍形式或结构的定义，而且他们并不把这种结构看做是一定现象的变化不已的实际情况，因而希腊科学是先验的。十七、十八乃至十九世纪初期，科学抛弃希腊的先验论，保留普遍性而修改了唯理论，不容许理论与个别事实之间有什么矛盾。达尔文和赖尔说明了有机物种的变异性从而打破了自然律的普遍性和不变性的观念，引入了进化的历史分析法，于是有人认为这才是真正的经验科学。经验论者正是把这种经验科学同新近复活的认识论的各派哲学对立起来。可是物理学的理论仍然很少受到进化观念的影响，因而认识论的方法仍然有活动的机会。

在作者执笔写本书初版最后一节的时候，当时看起来科学所 493 遇到的最大危险是美国的反对进化论的“原教旨主义”运动。但是以后出现另外一种更大的危险。在德国纳粹政权兴起到灭亡这段时期内，科学研究的自由，象别的自由一样，在德国和德国所控制的别的国家内遭受到狂暴的国家主义的摧残，象爱因斯坦和哈伯这样的人，都因为种族歧视，而遭到放逐。这些国家利用应用科学和一切其他活动，先是进行秘密的军事准备，后来就是进行公开的掠夺性战争，把这当作科学的主要目的，差不多是唯一的目标；因而为求知而求知的纯粹科学便被抛弃了。不幸，科学主要是为了发展经济的观念，传播到许多别的国家，科学研究的自由又遭到危险。科学主要是追求纯粹知识的自由研究活动。如果实际的利益随之而来，那是副产品，纵然它们是由于政府资助而获得的发现。如果自由的、纯粹的科学遭到忽略，应用科学迟早也会枯萎而死的。

布里奇曼（P.W.Bridgman）研究了相对论与量子论对物理学理论的影响。新的实验揭露新的事实，并且，需要新的物理概念；这一切都取决于发现和和研究这些新的事实的活动，换句话说，它们是相对于观测者而言的。如果我们了解这个道理，我们便不会害怕将来的思想革命，如象爱因斯坦和普朗克在过去所引起的那种思想革命的影响，我们也不须改变我们对于大自然的态度。我们必须了解逻辑、数学和物理学的理论都不过是我们发明的一些工具，用来把我们已经知道的知识用一种简明合用的方式表述出来，因而不能

够达到完全的成功。

当我们尝试叙述科学的现状与将来展望时，一部同哲学和宗教联系起来的科学史，于我们实大有帮助。实际上，如果没有初步的历史研究，而要叙述科学的现状和展望未来，这种企图是否有价值，颇属疑问。研究具体科学问题的人，或许不需要历史，但如果要想了解科学自身更深的意义，及其与人类思想及活动的其他学科的关系，人们对科学发展的历史，就必须有所了解。

科学的成就是尽人皆知的。它在工程、工业、医药方面的实际应用，对于现代国家生活的影响也日益增大。如果世人真的愚顽凶恶而允许另一次大战发生，则科学在毁灭性武器方面的滥用，将使文化受到灾难的威胁。纯粹科学，正在从原子的小宇宙，以至旋涡星云和星系的可见的大宇宙，改进及扩充我们对于自然界的模型。这模型中旧有部分的关系，日益明了，新的部分陆续增加，增加速度之快，几乎使大胆的建筑家都没有时间把它们安插在旧的结构之内。当前进的步子稍微慢下来的时候，未来的一代，就能像上一代一样，把这座大厦统一规划，加以完成。至于现在的一代，则因急忙过甚，无暇及此了。

中世纪的人，力求达到知识的完全的合理的协调，把这当做是哲学及宗教的目标，而且大部份人都以为在托马斯·阿奎那的经院哲学的综合中做到这一步。伽利略与牛顿的物理学，推翻了这个自成系统知识体系；科学采取了建立在力学基础上的常识性实在论的态度，而且被用来证明机械决定论的哲学。同时在日常生活中，人们仍保持一种牢不可破的信念，以为他们是自主的机体，只受自己的自由意志的支配。许多人想把这两个相反的观点调和起来，然而，都归于失败。不得已，他们只好取其—而舍其—，或暂时兼取二者，以待将来的发展。

然后，如我们这几页所说的，哲学家们已经开始明白，科学只能阐明实在的某几方面，只能绘出平面的图形，作为自然模型的轮廓。科学正是由于它自己的定义、公理和基本的假设，必然是机械的与决定论的。

前一些时候，科学虽然已经脱离经院哲学的综合，但至少其自身是一致的。的确，正如凑合七巧板的各件一样，自身一致，曾经看做是正确性的唯一试金石。但是到了现在，事情虽然或许是暂时的，但很明显：科学给一般思想界带来了自身的不一致性，使科学不但在其上层结构，而且在其自身所根据的基本物理概念上，发生动摇。

近年来物理研究，进入了一种特殊的状态，或者说进入了十七世纪以来前所未有的状态。一方面它的古典的背景，即牛顿的动力学与麦克斯韦的电磁学，依然在应用，依然在产生具有伟大价值的成果。但另一方面，在今日最惊人的发现——原子结构的理论——方面，古典的定律又已失其效用，而我们不得不接受相对论与量子论的概念。正如威廉·布拉格爵士所说：“我们在星期一、三、五应用古典的理论，而在星期二、四、六应用量子论。所谓自身一致性，至少在目前已被抛入大海，我们只看我们遇到什么问题来决定采用这两套观念中的哪一套，以求得结果。”这种矛盾，在一个伟大的知识革命时期，正如在亚里斯多德与伽利略的观念互争权威时期一样，多少总不能免。不过现在的例子，似乎是这种趋势的极端表现形式。布拉格忘记指出我们在星期日甚至可以采取第三套的观念。

科学必须承认宗教经验在心理方面的有效性。很明显，在有些人看来，

对于上帝的神秘而直接的了解，正象他们对于人格的自觉，或对于外界的知觉一样真实。正是这个通神的感觉，及其所引起的敬畏与崇拜，构成了宗教——对于一般人来说，仅仅是受到灵感的瞬间所看见的幻境，但对于圣徒来说则是一种与生命气息同样正常，无所不在，而永远存在的经验。我们无须、而实际也不能明定上帝的定义为何。凡认识上帝的人，也用不着要定义。

软弱的人性需要偶像以表现其幻觉，创设教义，接受教义，神学或甚至神话。这些体系，可真可假！但是宗教本身并不随任何一套教义而存废。教义受到历史、哲学或科学的批判，常常被批判得体无完肤，然而真正的宗教是一种更深奥的东西——建立在直接经验这一块不可动摇的磐石之上。有些人也许是色盲，但可以看见东升旭日的光辉者，也大有人在。有些人也许没有宗教感觉，但在上帝的超越荣光之中，生育长养与之俱在者，也大有人在。

对于大多数来说，某种教义是宗教生活不可缺少的。如果不顾这一事实，而另立无教义的新宗教，是无济于事的。但是在有教义的神学范围内，时常都有与科学、历史或人类学发生冲突的情况。麻烦在于：“宗教往往误认为它所说的就是它的意义所在，而唯理论者则偏偏要指出它所说的是不真实的”。然而就是在这方面，不同的思想形式，也渐趋于接近。基督教的神学，已经不得不放弃使徒时期视为精义的基督即将第二次出世的信念。后来又不得不承认哥白尼的体系，而把地为静止的中心，天堂之门就在天空，地狱之路即在地下等一整套说法，统统加以摈弃。它不得不承认达尔文的进化论，不得不同意人类的祖先是猿猴而不是天使。它如果真正了解现代人类学所包含的意义，可能也不得不放弃其他一些信念，在一些怯懦的人们看来，这些信念现在是必不可少的，正像当初我们的祖先认为地居中央，与上帝创造世界一类教义是必不可少的一样。

不幸，在每一种变革刚刚开始的时候，宗教总是起来反对。如怀德海所说：

宗教如果不用与科学一样的精神接受变革，它就不能恢复其固有的权威。宗教的原理或可永存；但此种原理的表现，需要不断的发展。……宗教思想可以发展为愈来愈精确的表现，摈除外来的偶像；而宗教与科学的互相作用，就是促进这种发展的一个重要因素。

科学趋近于神学比较迟缓——实际上，有很长一段时间，它似乎逼迫哲学接受了机械的决定论。而且十九世纪的决定论，接受了当时盛行的人类必有“进步”的观念，表现了一种相当肤浅的乐观主义。但是二十世纪的决定论，却是坦率的悲观主义了。罗素说：

人是许多原因的产物，这些原因对于要达到的终局，并无预知；他的起源与生长，他的希望与恐惧，他的爱情与信仰，不过是原子偶然配合的结果；热情、英勇、思想与感情的坚强，都不能维持个人生命免于死亡；一切时代的一切劳绩，一切精诚，一切灵感，一切人类天才的光辉，在太阳系的火熄灭时，都注定要绝灭；人类成就的整个大厦，将不可避免地埋在残破的宇宙废墟中——所有这些情况，即使不是绝对无可争论的，其确定的程度，已使任何持异议的哲学，都没有站住脚根的希望。

R.G.Collingwood, *Speculum Mentis*, p.148.

A.N.Whitclif Lad, *Science and the Modern World*, C.J.U. Bridg, 1927, pp.

Mysticism and Logic, p.47.

在另一方面，这个悲观的决定论，使那些仍然承认宗教的有效性的人，更加着重宗教。当然，我们很容易引证许多正统神学家的见解，但因我们在此仅研究科学思想的影响，让我们引证一下另一位伟大哲学数学家的观点吧。怀德海说：

宗教幻境的事实，及其不断扩展的历史，是我们保持乐观主义的一个理由。舍此以外，人生只是一道偶尔享乐的闪光，照亮了一团痛苦与悲哀——一个瞬息经验的插曲而已。

还有些哲学家，例如爱丁顿以为认识论的日益为人理解，以及基本物理学中最近的发展，似已削弱了科学给予哲学上的决定论的支持。

无论如何，我们至今已更能认清科学的能力与限度了。科学（或许除却原子理论及量子力学）本身，可能是决定论的。然其所以如此，是因为科学按其本性来说就是研究自然界的规律性的，只有在它找到这种规律的地方，它才可以起作用。前面我们已屡次找到理由说明科学的概念只不过是模型而已，并不是实在。现在再引爱丁顿的话：

物理学中许多实体的象征性质，已经得到公认。而现今物理学体系的表述方式，使人一看差不多就自然明白这个体系是一个更广大的事物的片断。……科学世界的问题，是一个更广大的问题的一部分，一切经验的问题的一部分。我们都知道人类精神的有些领域，不是物理世界所能管制的。在对于我们四周万物的神秘感觉中，在艺术的表现中，在对上帝的皈依中，灵魂在向上生长，并且在其中找到其天性固有的渴望的满足。……不论在科学的知识追求上，还是在精神的神秘追求中，光明在前面招唤，而我们天性中汹涌的目的，在后响应。我们难道不能听其如此吗？还是真的有必要把“实在”那个安慰的名词引进来呢？

我们对于自然界所拟的科学模型异常成功，致使我们有了愈来愈大的信心，相信实在是与这模型类似的东西。但是模型依旧是模型，模型只能适合我们的意识切成剖面，加以研究。从机械观点看人，人自然是架机器。但如果从精神观点看人，则人仍然是一个理性的的心灵，与一个活着的灵魂。科学已经认清其真正的意义，不再想用定律的羁绊，来束缚人的精神，而听他用他的灵魂所需要的任何方式自由接近神灵。

探讨现代知识对于各神学体系以及把这些体系当做信条的各派教会所产生的影响，远不如我们已经讨论过的关于实在与宗教的精深问题来得基本重要。讨论这类实际的与现实的争论，或许不在本书应有的范围之内。但当我们考虑过去的时代时，也不可能避免这种问题，而就目前与将来言，我们虽未尝能免个人的偏见，或许也可略抒所见而不致引起误会。

科学的知识与科学思想的方式，虽有助于基本的宗教，但与若干宗教信仰徒的心理颇不相合。这些知识及思想方式的大大扩大，无疑地增强了脱离有组织的基督教会的潮流——现代所特有的潮流。富于批评精神与不关心教会的人日益增多，而留在教会中的，各以不同的理由，照着字面，专心壹志，承认熟悉的教义。同时社会各界占大多数的聪明较差，教育程度较低的人民群众不论在教会中还是在民政方面都得到愈来愈多的权力。这是由于自治和人民代议制盛行的缘故。分离的过程是积累的，于是观点不同的人愈离愈

Whitehead, 同前, p. 238.

在荷兰教会政府中，有一个更民主化的形式，牺牲“现代主义”而趋向“原教旨主义”。关于这个影响，

远，甚至在盎格鲁萨克逊国家中，现在也是一样。过去，在盎格鲁萨克逊各国，界限本来不如罗马天主教盛行的国家那样厉害。凡是想调协神学思想与现代知识的，都受到双方的攻击。一个杰出的英国天主教徒呼吁说：“现代知识与批评同当年授给圣徒的信仰有什么关系？”而原教旨主义者与粗率的、非信徒则问道：“那些仅仅在象征的意义上了解自己的部分信条的人，何能自命为基督教徒？”由此可知想要作调停人的“现代主义者”必定感觉这是一件吃力而不讨好的工作了。

但是还有一个方法，可以把必要的思想自由，与承认人类的宗教需要结合起来。我们未尝不可把科学与宗教两者的根本要义（在每人觉得自然的方式下）同时予以承认，而静待时间去解决其矛盾。有意识地或下意识地抱这种态度的人，实较一般所设想的为多。我们可以用逻辑的与历史的理由来为这种态度辩护。从现代人类学与心理学看来，祭礼与教仪先于教义，也比教义更重要，而其本身也具有更大的精神价值。依此理论，如果一个教堂有一庄严而高尚的祈祷仪式，就无须斤斤计较这一仪式所代表的准确教义。教义会慢慢地、稍迟一步地使自己适应于各个时代不断变迁的观点。对于学术的各个部门和哪怕最富于自由主义色彩的神学双方的分歧采取静候态度，这从历史观点来看，是有充分理由的。静候态度是英国人思想方法中的重要特点。同时关于祈祷仪式本身，我们最好遵守权威的劝告：“既不要过严地拒绝改革，也不要轻易地接受改革，应于两极端间采取中庸之道。”从这一观点来看，我国人民在所有国家中确很幸运：每个人自由地信奉其所喜爱的。英格兰教会规定了历史性的教职与庄严的教仪，规定了它在国家结构中的确定地位。这是使宗教同整个生活保持有机联系所必需的。根据它的章程，它不能强求画一，而必须在自己范围内给天主教、基督教、现代主义派及具有宗教思想的不可知论派，留下自己活动的余地。有些人或许以为这种包罗万象的办法是一个弱点，但有的也认为这是宗教自由的最高保障。

科学与宗教的前途并非没有危险的征兆。美国有“原教旨主义”的运动，如禁止在学校中教授进化论，英国有人为的中古主义的复兴。欧洲许多国家有宗教迫害，压制思想和言论自由，即令在别的国家，有些阶层的人时常表示对于科学本身的憎恶。的确，平衡冷静的科学头脑，依然为许多人所厌恶。这些人在没有确实证据以资判断时，并不能暂时不作判断。如果世人都受感情支配而不受理智支配的话，这种危险将更增大。

即令把愚昧与成见排除外，还有一种正直而可以理解的观点上的分歧。在有些学者或神学家看来，科学家有时似乎是用十分肤浅的方法，忙忙碌碌研究琐屑的事实与无足轻重的问题。反之，在哲学家及科学家看来，如果他们不顾基本的真相，而仅注意于文字的解释，看来将如休谟所说的：“通俗的神学对于荒诞无稽之谈，胃口是很大的。”这里，历史方法，又使我们能够透过琐屑细事的表面，看到隐藏在电流计指针摆动中，或蝴蝶翅膀的花纹中的自然界的秘密，而且在天主教的深闭修身中，或在原教旨主义者的不可思议的信念中，去寻求灵魂对于真正宗教的探索。“了解一切便是饶恕一切”。

不顾世人的无知、愚蠢与任性，自伽利略时代以来科学方法确已攻占了一个又一个阵地。从力学到物理学，从物理学到生物学，从生物学到心理学，

科学都能渐渐地适应其不熟习的领域。研究好象永无止境，有人说的对：知识之球愈大，则其与未知界接触之面也愈大。

物理学家因为同最后的概念打交道，所以总是比较能领悟这种外界的黑暗。每当一个现象能用物理学的术语，如物质、力、能，或其他当时流行的概念表达的时候，生物学家就往往以为他们找到了最后的解释；而物理学家却知道解释的困难至此方才开始。生物学家在可能范围内，把他们的问题归结到物理学，固然是正当的；但生物学家也有其本身的基本单元。怀德海曾指出机体概念在物理学上与生物学上的哲学的重要性。这个概念过去在自然历史中，近时在进化论的研究中都曾应用过。机体就是生物学的单元；但是由于机体受到物理及化学定律的制约，所以我们还必须用分析方法加以研究，并在可能时用物理学的术语来表述它的活动。

同时，现今的物理科学现在对它的最终概念背后的奥秘比以往任何时候都有了更充分的了解，对它支配自己的王国的力量比以往任何时候都更有把握了。有时它以青年冒险的热烈精神冲进新的领域，还没有来得及在新占领的领域内建立秩序。因此，一个知识的大综合，看来就要出现了。这个知识的大综合要把不同的观念调协起来，使混乱变为一致。这样，物理科学就不断地扩大了我们的对于自然界现象的知识，和我们的对于我们用来解释现象的概念（不管是最后的还是近似的）之间的关系的了解。在它的新国度上，它替人类的心灵建立了更多的大厦。并且它钻得如此之深，在这一代的人们看来，似已暴露出它的基础而达到下面未知的底层，这底层的性质当然与上层构造不同。牛顿曾说：“自然哲学的任务，是从现象中求论证，……从结果中求原因，直到我们求得其最初的原因为止。这个最初的原因肯定不是机械的。”在电子、波群以及作用量子内，我们看到了一些肯定不是机械的概念。我们不情愿抛弃二百五十年来我们用来解释自然界结构而卓有成效的、我们所熟悉的概念上的机械论。在其本身范围内，科学将继续利用这个机械论来扩大人类控制自然的能力，来更广阔地了解 and 洞察自然现象之间惊人而复杂的相互关系。也许眼前的困难将被克服，物理学家将制订出一种新的原子模型，可以暂时满足我们的心灵。但明白易懂的机械论迟早终将失败，而我们仍将面对着那个可怕的奥秘，就是所谓实在。

