

力学和它的发展

中国科学院力学研究所 谈镐生

一、科学的先驱

为什么十七世纪以前没有真正的“科学”？

公元前三世纪,希腊文化曾经有过高度的发展.阿基米德(287—212, B. C.)的静力学,欧几里得(300, B. C.)的几何学,都是杰出的科学先驱例子.但是最有影响的亚里士多德(384—322, B. C.)的动力学,却是一些荒谬的唯心臆测.可是由于亚里士多德在学术界的权威性,他的思想整整统治了西方经院学派达两千年之久,其中经过随着希腊文化的衰落而来的宋教统治和黑暗时代,一直到十五世纪文艺复兴,欧洲人思想上才逐渐得到解放.首先在文学和艺术上大放光彩.但当时的科学却仍然处于幼虫冬眠状态.“科学时代”的开始,是在十七世纪.这主要是由于三个方面的结合,即古老的天文学,力学和数学的质变性飞跃.具体地说,是在凯普勒(1571—1630),伽利略(1564—1642)和牛顿(1642—1727),尤其是在牛顿手中,为科学打下了坚实的基础.从此千帆竞发,山花烂漫,写出了三百多年的辉煌科学发展史.

这一段为时两千年的科学先驱时期的特点是:在天文学上虽然累积了大量观察结果,但一则由于托勒密(121—157)“地心说”的影响,天文现象被复杂化,披上了一件神秘的外衣;二则由于亚里士多德唯心论断的影响,动力学始终在荒谬的臆测中打圈子.观察累积的大量资料得不到发挥作用,这主要是由于缺乏一个正确的出发点[哥白尼(1473—1543)的“日心说”],缺乏独立思考的创新精神,缺乏采用实验手段来校验并否定臆测的“臆理论”(伽利略的实验方法).而最关键的,则还是缺乏在总结实验工作的基础上,“向理论提高迈进”的这一飞跃性大步伐;此外还受到由于不存在“分析数学”这样一个有力工具的限制,因而对现象的动态研究就显得全然无能为力了(牛顿的微积分,微分方程和三大运动定律).

二、科学的黎明

(科学方法,力学和数学)

在哥白尼“日心说”的基础上,通过分析太柯勃拉(1546—1601)的大量观测数据,凯普勒终于归纳得到了他有名的行星运动三大定律:

1. 连接太阳和一行星的半径在等时间内扫过等面积.
2. 一个行星的轨道是以太阳为焦点的椭圆.

3. 不同行星的“周期平方”正比于相应椭圆轨道“长轴的立方”。

但由于这些定律是以积分(而非微分)形式出现的,所以除了对当时观察到的天体运动之外,不具有更普遍的意义。这代表了自然科学工作方法的第一部曲——“观察”。

伽利略通过实验手段,在比萨斜塔上当众进行了有名的落体实验,以简单而活生生的事实,一举推翻了统治西方学术界两千年的亚里士多德“重物下落快,轻体下落慢”的唯心臆断。他还通过多次斜面落体实验,总结得到了正确的落体运动规律。此外,伽利略还利用自制的望远镜,观察到金星的盈亏现象,肯定了“日心说”的正确性。他开创了自然科学工作方法的第二部曲——“实验”。

牛顿首先在伽利略和他自己的大量实验基础上,抽象外推,把实践的结果上升为理论。他大胆外推,提出了有名的牛顿三大运动定律:

1. 物体保持静止,或以等速沿一直线运动,除非它被外力所迫而改变其状态。
2. 运动量的改变正比于作用的外力,并沿着外力作用的方向。
3. 对每一作用,存在一大小相等,方向相反的反作用——两物之间的作用,永远相等,反向。

这个飞跃性的步骤,形成了自然科学工作方法的第三部曲——“理论”。

“科学方法”的三部曲“观察,实验,理论”这个环套是由凯普勒,伽利略和牛顿完成的。从牛顿开始,在人类认识自然的方法上,就出现了一个崭新的时代,即所谓“科学时代”。

三、牛顿和它的三大运动定律

(力学的基础)

关于牛顿三大运动定律,按照目前的理解回头看,我们完全可以无情地说,只有第二第三两定律才是具有实质性,起到纲领性作用的真正的“定律”。用数学形式表示,第二定律是一个左端为“力”,右端为“动量对时间的一阶导数”的微分方程。当无外力作用时,这个方程的一次积分给出了物体运动所必需遵守的“动量守恒”定律,这显然就是牛顿的第一定律。如对这个方程和路线间的“标量积”进行线积分,则左端给出外力所作的“功”,右端给出物体“动能”的增加。假如存在“位势”(作用外力为它的梯度的负值),则上述左端积分与路线无关,等于位势的下降。使两个结果相等,就立即得出结论:在势场中物体运动的总能量(动能加势能),遵守一个“能量守恒”定律。

第三定律说明了对于一个多质点系统,由于质点间的相互作用相等反向,不影响质点的运动,因而多质点系统的运动,完全可以按整体的“质心运动”,以及按质点对质心的“相对运动”,分别处理,这就大大提高了第二定律的适应性。就太阳系来说,不论是托勒密的“地心说”,还是哥白尼的“日心说”,都不代表绝对真理。但由于太阳和行星间质量的悬殊,质心基本落在太阳上面,因而相对地说,日心说就代表了一个远较明智的坐标抉择,它剥去了地心说的神秘外衣,给出了一个合理简单的太阳系运动图象。

以上的讨论可以说是一种“事后诸葛亮”的分析。其实这是欠公允的。现在让我们从认识论的角度来对牛顿的三大运动定律进行逐条分析。

第一定律的第一点——无外力作用时,物体静者恒静——,这是人们所熟知的;但是

第二点——动者沿一直线作等速运动——，则是一个极其大胆的外推。因为实际上，从来，也永远不会有人能用实验来证明这个论断的正确性。通过第三点——只在外力作用下，物体才改变其运动状态——，牛顿对上一外推的无法证实性给出了解释，从而为定律提供了闭合的环节。

第二定律，上面已经用回顾的方式作了讨论。由定义的角度看，有人认为通过第二定律，牛顿实际上既给“力”下了一个定性的定义，即“力”就是改变物质运动状态的原因；又通过方程给“力”下了一个定量的定义。也有人认为“力”这个东西是人们熟知的，当你手提肩挑时能感到，用秤也能读出“物体的重力”。在平衡静止情况下，外力给予物体的加速度，和“重力加速度”大小相等，方向相反。因此不妨认为通过第二定律，牛顿给物体的“质量”下了定义，即“质量”为“重力”和“重力加速度”间的比值。

第三定律表示了物体之间相互作用的关系，预示了后来由达朗贝(1717---1783)通过引进“惯性力”而建立起来的达朗贝原则，即“动态的静止平衡定理”。

“力学理论”是定量的规律，它既要总结过去，又要预言未来。为了达到理论阶段的飞跃，牛顿不能不依靠一个能以表达物理量瞬时变化的运算规律，这就是微分运算。牛顿为了完成他的运动定律，在数学上发明了微积分(莱布尼兹独立地通过几何学研究发明了微积分)。因此牛顿不但是“理论力学”的奠基人，也是“分析数学”的奠基人。一个人同时开创性地竖起物理科学的两大支柱，这是人类智慧的奇迹。

四、牛顿力学体系

牛顿的最大贡献，首先在于完成了科学方法的最后环节，即由实践到理论的上升飞跃，从而开始了三百多年来的科学时代。其次是为物理学的两根支柱，理论力学和分析数学，奠定了坚实的基础。牛顿的力学观形成了所谓“牛顿力学体系”。

究竟什么是牛顿力学体系？

牛顿力学体系的核心，当然是他有名的三大运动定律。它们决定了古典力学的范畴，决定了三百多年的力学发展方向。无疑今后还将继续指导力学学科的发展。

牛顿力学体系实质上是建筑在四个独立“概念”的基础之上的一坐大厦。这四个基础概念是：①绝对化的“质量”，②绝对化的“空间”，③绝对化的“时间”和④“力”(或“场”)。这里“绝对化”是指不受物体运动状态影响的意思。

牛顿的运动方程，是在这四个物理量的基础上建立起来的，一个以微分方程形式表示的函数关系式。出现在方程左端的项为“力”，右端的项为“质量”与“坐标对时间的二阶导数”的乘积。由于这定律是以一个二阶常微分方程的形式出现的，它的解，即运动的轨迹，显然由两个初始条件就完全可以决定。这就是说：物体的运动，遵循一个严格的因果关系，即“因果律”。因此，可以说，牛顿力学体系具有两个主要特点，即：

(1) 遵循严格的“因果律”。

(2) 存在“时间”和“空间”的绝对化，以及它们之间的独立性。

它的这两个特点，在某种意义上，后来可又变成了它的缺点，导致了牛顿力学体系的局限性，即出现了受常规尺度和速度限制的适用范围。二十世纪初，两个新力学体系(相对论力学，量子 and 波动力学)的兴起，就是在极端情况下，对这两个特点，即“因果律”和

“时空的绝对化及可分割性”的挑战。关于这一点，下面在第八节将详细阐述。

牛顿对力学学科的主要奠基性贡献，除了他的三大运动定律之外，还有一个有名的“万有引力”定律。即两物体之间，存在着相互的向心引力，它和质量的乘积成正比，和距离的平方成反比，系数为一个普适的万有引力常数。

牛顿假设了所有物体，不管是天体还是地面物体，都受同一运动规律的制约。应用微积分，易于证明一个具有等线速度的圆周运动，是一个有向心加速度的运动。这个加速度等于半径和“角速度平方”的乘积。把这个结果代入牛顿第二定律，如果同时假设一质量远大于另一质量，可以近似认为大质量固定不动，小质量绕大质量作圆周运动，这时这个定律就立即给出了“周期平方”正比于“半径立方”的结果。把这个简化结果应用到行星绕日运动，正就是凯普勒得到的第三定律。假如用极坐标和一般向心力场的椭圆轨道演算，同样易于证明凯普勒的第一和第二定律，这里就不赘述。总之，牛顿通过他的三大运动定律和万有引力定律的结合，轻而易举地从理论上解释了凯普勒由观测结果总结得到的行星运动规律。当然，引进普适的万有引力常数，这又是牛顿的另一大胆创新。

对于具有分布质量的物体，不难证明它对外部所产生的“引力场”，是和该物体质量分布无关的，可以假设全部质量集中在一点，即所谓“质心”。因此，对于一个质量来说，它受到由另一质量所产生的，和质量成正比，和距离平方成反比的“引力场”的作用，“场”无非是一个物理量的空间表述。不相接触的物体间的相互作用，通过物质和引力场的相互作用来表述。在引力场中两点间的线积分，导致了“引力势”的概念。把这概念和第二定律相结合，立即得到物体在势场中必须遵守的“能量(势能加动能)守恒定律”。

牛顿最大成就之一，就在于他发明了表达因果性物理定律的必要工具，即数学方法。这个数学表示，前面已经提到过，必须具有微分方程的形式。关于这一点，爱因斯坦(1879—1955)曾作过如下的论述：

“为了给予他的体系以数学的形式，牛顿首先发现微分的概念，并用微分方程的形式来表达他的运动定律——这或许是有史以来一个人所能迈出的一个最大的理智步伐”。

为了解决具体力学问题，即具有初始条件的问题，对微分方程还必须进行求解，而这也是由牛顿对积分学的发展而获得解决的。

五、牛顿以后的古典力学和数学

(十七至十九世纪)

十七世纪开始了科学时代。由于人们掌握了科学方法，自然科学(认识自然)在各方面都呈现出了一派突飞猛进的大好形势，而其中由牛顿一手奠定了基础的物理科学两大支柱，力学和数学，尤其起了带头和主力军的作用。

从十八世纪到十九世纪末，是牛顿力学体系绝对统治物理科学的辉煌发展时期。这期间力学和数学，相互带动，相互促进，成为科学发展史上得天独厚的一对孪生子。在此同时，属于物理学范畴的其他分支学科，如热学，声学，光学，电磁学，也都欣欣向荣，茁壮成长。到十九世纪就逐渐形成了古典物理学的黄金时代，形成了具有五大分支学科的物理学。除了力学之外，声、光、热、电都各自建立起了数学上形式完美的“唯象理论”。

当然,声学和光学,由于它们直接代表了某种介质的振动和传播,一开始就显出了它们的力学性本质。但热和电则一时仍然被看成是一种神秘性的流体。正在这个时期,由于分子运动论和统计力学的异军突起,到十九世纪末,热学终于又被纳入了微观古典统计力学的范畴。“热”无非是物质分子微观运动现象的集体宏观表现。热力学所包含的宏观经验常数,象扩散,粘性,热传导系数等,都可由统计力学给以理论的推导和解释。洛伦兹的电子论出现后,电流被剥去了神秘的外衣,也成了仅仅是带电粒子在电场作用下的物质流。电磁学和电动力学则当然本身就是一种“作用场”的理论。“作用场”无非是“力”的一种空间表达形式。例如引力可用引力场来表示,电磁力可以用电磁标量-矢量势场来表示。所以,早在古典物理学的黄金时代,“力学”就既成为物理学的第一个主要分支,同时又和数学一起,成为物理学的两个基础了。

六、十八世纪的力学

十八世纪力学的主要发展,在于把牛顿的力学体系,向深度和广度两方面推进:

1. 拉格朗日(1735—1813)通过引进广义坐标,在牛顿力学的基础上,建立了“分析力学”,解决了多质点系统运动的问题。引进了拉格朗日函数并推导了有名的拉格朗日方程组。

2. 力学和具体物性的结合:在固体方面,欧拉(1707—1783)发展了刚体运动,固体弹性和稳定性方面的研究。在流体方面,欧拉,拉格朗日,达朗贝和伯努利等发展了理想流体动力学。

这时期在数学方面,相应地出现了泛函理论,欧拉-拉格朗日的变分原理;拉普拉斯(1749—1827),泊桑(1781—1840),达朗贝等的古典场方程分析,即所谓物理数学。

(一) 分析力学

十七世纪费马对光学曾引进了最小光程原理,十八世纪马柏杜在把费马原理推广到力学领域的尝试中提出了最小作用原理。但由于当时缺乏严谨的数学分析,在科学界曾引起了大量争论。这个争论,最后终于在欧拉,拉格朗日和十九世纪哈密尔顿(1805—1865)手中得到了肯定解答。

拉格朗日通过引进用多自由度的广义坐标和广义速度来表达多质点系统的动能和势能,并引进了拉格朗日函数(动能和势能的差),直接由牛顿第二定律,推导得了适用于多质点系统的拉格朗日广义坐标运动方程。

广义坐标把线性运动和角运动等价对待,通过动能和势能在广义坐标中的表达式,可以直接把复杂系统的运动方程组写出。这样就把牛顿力学的功能大大提高一步,形成了拉格朗日的“分析力学”。

(二) 牛顿力学和具体物性的结合

对于具有结构的固体,在不平衡的外力作用下,它的刚体运动规律由牛顿第二定律给出,这方面欧拉作出了细致的研究和贡献。在平衡外力作用下,由于物质的“可变形性”,物体内部产生了应力分布和形变,因此发展了一门所谓“固体力学”的分支学科,它的内容包括了弹性力学和物体受载情况下的稳定性研究。

对于不具有结构的流体介质(液态,气态),在不平衡外力作用下,产生介质的流动,形

成了“流体动力学”的一门分支学科。它通过对介质微元,在牛顿力学基础上,进行连续性和动量关系的探讨,建立起了相应的偏微分运动方程组。这方面主要的贡献,是欧拉得到的固定坐标系中的分布流场方程组,和拉格朗日求得的随流质点动力学方程组。其他如伯努利运动方程,达朗贝疑难,都是比较杰出的成果。

这一时期在数学上则出现了泛函分析。为了解决泛函的极值问题,拉格朗日发展了变分原理,得到了欧拉的极值微分方程组。

假如采取拉格朗日函数为泛函内的被积函数,则立即得到了有名的拉格朗日运动方程组,但这一证明,却是后来由哈密尔顿提供的,即有名的“哈密尔顿原理”。将于下节阐明。

在古典场论问题中,还出现了具有普遍意义的典型“物理数学”方程,如拉普拉斯方程,泊桑方程,达朗贝方程等。对于这些方程,随着在不同坐标系中的求解,导致了各种特殊函数,例如贝塞尔函数,球谐函数,勒让特多项式等。有关这方面的详细讨论,超出本文范围,不加赘述。

七、十九世纪的力学

(和应用数学)

十九世纪是古典力学发展的高潮,牛顿力学体系的黄金时代。在这期间,在向广度和深度的推进上,都出现了飞跃性的发展,其中占主要地位的有四个方面:

1. 分析力学——哈密尔顿的原理,函数和方程。
2. 统计力学——麦克斯韦和玻尔兹曼的分子运动论。吉布斯的统计力学。
3. 流体力学——纳维-斯托克斯方程。凯尔文和赫姆霍兹的环流守恒定理。
4. 电动力学——麦克斯韦的电磁方程和电磁波理论。

从力学体系本身来评价,以上四个方面的发展,各有其特点和重要性,无可轩轻。哈密尔顿的原理,函数和方程,起到了从牛顿力学通向广义相对论,量子 and 波动力学的桥梁作用。统计力学的建立,把牛顿力学推进到微观世界。由于分子运动论的发展,热学终于被纳入力学的范畴,同时由于它引进了几率和分布的概念,又预示了微观世界中蕴藏着因果律的危机。流体力学的发展,一方面由于考虑了介质的粘性,建立起纳维-斯托克斯方程,奠定了研究真实流体运动的基础。由雷诺发见的湍流现象,则形成了百年来物理和力学上最大的难题,迄今尚未看到解决问题的眉目。另一方面,理想流体力学,在数学形式上达到了如此高度的完整性,以至被认为它已完成了发展的使命。由于流场势函数满足拉普拉斯方程,二维流场理论和复变函数论等价,三维流场理论和势论等价,而后者则正是十八、十九两世纪来取得了最完美发展的分析数学。最后,麦克斯韦电磁方程的建立和推理,导致了电磁波以光速传播的结论,预言了无线电波传播的可能性,后来终于由赫兹的实验得到了证实。马可尼的实验,开始了无线电通讯时代,使人类生活改变面貌。麦克斯韦从理论上证实了可见光无非是一定波长范围内的电磁波,从而确立了光的波动性和电磁性。从物理学发展的角度看,有些作者把麦克斯韦列为出现在牛顿和爱因斯坦之间的最杰出的科学家,是有一定道理的。

作为牛顿力学体系本身的一个发展阶段,可以说哈密尔顿原理的引进,是牛顿三大运

动定律以后出现的一个最大飞跃。它赋予了拉格朗日的分析力学以新的意义，真正完成了马柏杜把费马光程极值原理向力学推广的尝试，起到了从经典力学到广义相对论的桥梁作用。另一方面，由拉格朗日函数相切变换得到的哈密尔顿函数，和他的正则方程，以及描述粒子运动的哈密尔顿-雅可比特征函数方程，正好就是他结合几何光学和波动光学的光程方程。这又对后来薛定谔波动方程的建立起到了桥梁作用。因此可以说，哈密尔顿既是古典力学的开拓者，又是两个新兴力学的先行者。

十九世纪也是数学发展史上的黄金时代。除了上节提到过的泛函分析和各种特殊函数外，勒让特(1751—1833)变换和李(1842—1899)群，对热力学唯象理论的势函数，以及哈密尔顿函数的建立，起了主导作用。黎曼(1826—1866)发展了复变函数论，创立了抽象“黎曼几何”；吉布斯发展了矢量分析；勒维-切维太发展了张量分析，这些都为后来爱因斯坦建立广义相对论奠定了数学基础。

从十七世纪到十九世纪中叶，数学一直是沿着“应用数学”的方向发展的。应用数学的特点，是富有创造性，而较欠严格性。最有名的例子，就是傅里叶(1768—1830)引进的级数展开方法，哈维赛(1850—1925)引进的算符运算方法，当时都遭到数学界的嘲笑，后来才得到证明。本世纪的例子，则为有名的狄拉克 δ 函数。这些在力学和物理学的发展上，都起了极为重要的作用。

十九世纪中叶以后，数学界开始出现了另一分支的发展，即所谓纯数学。它认为数学就是单纯的逻辑推理，否认“直觉”在数学上的作用。对于这一点，彭加莱(1854—1912)曾进行了严肃的批判。这里不赘述。

总的来看，力学的发展和应用数学的发展，是相互带动，相互促进，不能分开的。过去如此，将来还将如此。

八、二十世纪——新力学的兴起

(相对论力学，量子 and 波动力学)

(一) 古典力学

二十世纪初期，在和两个新兴力学诞生的同时，古典流体力学方面也出现了一个飞跃，这就是普朗特的“边界层理论”。按照赫姆霍兹的结论，飞机是不可能飞起的，但莱特兄弟的飞机终于离开地面了。闭眼不承认现实呢？还是丢弃完美发展了的理想流体力学呢？普朗特指出，空气的粘性作用，被局限在翼面附近一个薄薄的边界层之内。由于边界层中出现分离流造成了“绕翼旋流”，同时在起飞点留下了一个“起始涡旋”，机翼带走的是一个相等反向的“随翼涡旋”，两者之间则由“曳行涡旋”连接形成了闭合涡环。这个“随翼旋流”就产生了升力。这个直观的理论，一举解决了流体力学的危机。它解释了飞行的现实，又挽救了完美发展的理想流体力学。这一工作在流体力学史上是划时代的。自从普朗特的原始论文出现后，七十多年来关于边界层研究的论文，已多达数千篇。边界层理论的出现，可以说是二十世纪古典力学方面的首要大事。

(二) 新兴力学

两门新兴力学，就是描述微观世界物质运动规律的量子力学，和描述宏观世界或高速

运动物质运动规律的相对论力学。在形式上它们和古典力学截然不同。但当两者趋于常规状态时，都自动向古典牛顿力学转化。这就是由玻尔提出的有名的“对应准则”。和古典力学相比，两者都需要用远较复杂的数学工具表达。量子力学用抽象的函数空间(希尔伯特空间)，相对论力学用抽象的几何空间(黎曼空间)表述。离开了数学的语言，要给它们以轮廓清晰的描绘，是一件困难的工作。以下简单地对它们的内容作一通俗介绍的尝试。

1. 量子力学 量子力学时代，是从 1903 年普朗克为了解释黑体辐射能谱在短波长区不遵守古典辐射规律，通过引进粒子性的量子概念，从理论上获得了正确的能谱而开始的。当时他本人认为只是一个模型。年青的爱因斯坦却立即接受了这个革命性的观点，认为是物理的实质，并通过对光电效应只依赖于光频，和光强无关的理论分析，证实了“光子”的存在(后来康普顿实验又一次证实了这点)。对于原子光谱，按照古典辐射理论，电子绕原子核作轨道运动，由于辐射损失能量，电子的轨道半径不断缩小，频率增大，因此应该给出一个连续谱，孤立谱线的出现，是不可理解的。为了解释原子结构的稳定性，玻尔引进了电子轨道的“量子化”条件。即每一轨道相应于一定能级，只当电子从一轨道跃迁进另一较低能级的轨道时，才发出辐射，辐射的能量则为能级间由量子化条件决定的非连续性差值。但量子化条件本身又带来了新的困难，即它缺乏理论依据。这个困难经过了曲折的发展阶段，最后终于在 1925 年薛定谔波动方程建立以后，才得到了合理解释。薛定谔方程的建立，既有赖于哈密尔顿的先行工作，而主要还通过德布洛意“物质波”理论，即在微观世界中，物质和光一样，既具有粒子性的一面，又具有波动性的一面(由戴维森-顾麦实验证实)。把薛定谔方程应用到电子轨道运动，波函数解的单值性要求，导致了方程的特征值，即非连续性的能级。对于特征波函数的物理意义，由玻恩给出，即波幅的平方值相应于“物质空间存在”的几率。这种几率性的解释，和海森伯对共轭可观测量间的有名的“测不准原则”一起，从根本上动摇了微观世界中的“因果律”。

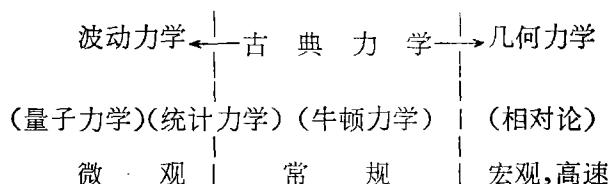
2. 相对论 狭义相对论：对于作相对等速运动坐标系中的速度效应，1905 年爱因斯坦在光速的绝对化基础上(迈克尔逊实验)，通过洛伦兹变换得到了表述，从而否定了古典力学中的时间和空间的绝对化概念，建立了不可分割的四度时-空结构。为了保持牛顿第二定律，还需要放弃质量的绝对化概念。狭义相对论力学的结论，导致了运动坐标系中：(i)长度(沿运动方向)的收缩，(ii)时间的变慢，(iii)质量的增加，和(iv)质能间的转换。最后这个惊人结论，破坏了古典力学的质量守恒和能量守恒定律，导致了新的“质能守恒”定律。并予言了获得原子能的现实性。

广义相对论：对于加速运动坐标系，1916 年爱因斯坦引进了引力场和加速度的等效原理，论证了质量的存在造成时-空的弯曲。引力场无非是一个四度时-空结构中的曲率场。一个质点在引力场中的自由落体运动方程，由弯曲时-空结构中的短程线方程取代，从而突出了力学的几何性。

半个多世纪来的物理学新发展，可以说完全是建筑在这两个新兴力学的基础之上的。

由于量子力学和相对论的出现，牛顿力学体系的一统世界似乎发生了动摇，牛顿力学似乎不再能作为自然界的真理了。但是进一步的分析易于看到，每一科学原理的真理的界限都是相对的。新兴力学——波动力学(量子力学)和几何力学(相对论)——的兴起，与其说是对牛顿力学体系的否定，倒不如说是对牛顿力学体系的扩展，使“力学”的范畴得

到了向大小两端的延伸。可以作如下的示意图:



因此,作为新的力学概念,牛顿对于“力”的定义,即改变物体运动状态的原因,可以完全保留下来。力学的基本定律,在常规情况下,完全保留为牛顿的力学体系。在微观世界,“力”表现为粒子之间的“相互作用场”。基本运动方程由薛定谔的波动方程给出,即突出了力学的波动性。在宏观世界,“力”表现为时-空四度结构的曲率。基本运动方程由四度空间的短程线方程给出,即突出了力学的几何性。由微观到常规到宏观世界,力学的统一性表现为“对应准则”的存在。量子力学,古典力学,相对论力学各具有其适应的范畴。在各自的领域内,都表达了相对的真理。作为力学学科,应当在古典力学体系基础上,接受新的发展。把新的力学,即相对论力学,量子力学和波动力学包括进去,作为一个力学工作者,在工作上可以集中研究某一体系领域中的现象。但在观念和认识上,则应该对传统的和新兴的力学范畴都争取有一定的认识。应该看到力学的整个领域。看到实际上力学和数学一起,形成物理科学的基础,物理学的两根主要支柱。一切物理现象,都在力学概念的基础上,通过数学的渠道,取得深入的认识。凯尔文认为他对一个物理现象,假如不能取得一个力学的模型,他就没有真正懂得它。这种看法,虽然一度被嘲笑为机械唯物论的观点,但在新的力学概念基础上,看来仍然是站得住的提法。

作为结语,下面让我引用德布洛意的一段话:

“力学的原理取得了如此高度的完美性,以致五十年前,大家相信实际上它已经完成了它的发展。可是正在这时,相继出现了两个非常出乎意外的古典力学的发展——一方面是相对论,另一方面是波动力学。它们导源于或则解释非常微妙的电磁现象,或则解释原子尺度范围内的可观测过程的需要。相对论力学只打乱了人们对于时间和空间的传统观念,它在某种意义上,却完成并给古典力学加上了皇冠;量子力学和波动力学则给我们带来了更为激进的新概念,并迫使我们放弃基层现象的连续性和绝对决定性概念。今天相对论和量子力学,形成了我们对整个力学现象领域认识的前进途中的两个最高峰”。

(见 R. Dugas, 力学史, 1955)

1. 力学的内涵: “物质,空间,时间。”
2. 世界的存在,是物质的运动。(物质的时-空存在!)
力学就是研究“物质运动规律”的科学。
3. 物理科学——认识自然;工程技术——改造自然。
4. 力学既是物理科学的基础,力学又是工程技术的基础。