科学与假设

〔法〕昂利·彭加勒 著

商务印书馆

科 学 与 假 设

〔法〕昂利·彭加勒 著

李醒民 译

商 务 印 书 馆

2006年·北京

图书在版编目(CIP)数据

科学与假设/(法)彭加勒著;李醒民译 .—北京:
商务印书馆,2006
ISBN 7-100-04796-X

Ⅰ.科… Ⅱ.①彭…②李… Ⅲ.科学哲学-研究
Ⅳ.N02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 136686 号

科 学 与 假 设

〔法〕昂利·彭加勒 著

李醒民 译

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街36号 邮政编码 100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北京瑞古冠中印刷厂印刷

ISBN 7-100-04796-X/B·674

2006 年 8 月第 1 版 开本 850×1168 1/32

2006 年 8 月北京第 1 次印刷 印张 7¼

印数 5 000 册

定价: 14.00 元

中 译 者 序

李 醒 民

《科学与假设》(1902)是法国伟大的数学家、数学物理学家、理论天文学家、科学哲学家彭加勒的四部科学哲学经典名著之一。在该书中,作者广泛而深入地探讨了科学和哲学的理论前沿问题,提出了一系列精辟的、富有启发性的观点,其独创的约定论思想在书中得以集中体现。在介绍和评论这一著作的主要内容和基本思想之前,我们先认识一下彭加勒其人,了解一下他的卓著的科学发现和哲学创造。

彭加勒(Jules Henri Poincaré,1854~1912)于1854年4月29日生于法国南锡。他的父亲莱昂(Léon Poincaré)是一位第一流的生理学家兼医生、南锡医科大学教授,母亲是一位善良、聪明的女性。他的叔父安托万(Antoine Poincaré)曾任国家道路桥梁部的检察官。他的堂弟雷蒙(Raymond Poincaré)曾于1911年、1922年、1928年几度组阁,出任总理兼外交部长。1913年1月至1920年初,担任法兰西第三共和国第九任总统。

彭加勒的童年是不幸的,也未表现出什么超人的天才。在幼儿时,他的运动神经共济官能就缺乏协调,写字画画都不好看。5岁时,白喉病把他折磨了9个月,从此就留下了喉头麻痹症。疾病使他长时期身体虚弱,缺乏自信。他无法和小伙伴作剧烈的游戏,

只好另找乐趣，这就是读书。在这个广阔的天地里，他的天资通过家庭教育和自我锻炼逐渐显露出来。读书增强了他的空间记忆(视觉记忆)和时间记忆能力。他视力不好，上课看不清老师在黑板上写的东西，只好全凭耳朵听，这反倒增强了他的听觉记忆能力。这种“内在的眼睛”大大有益于他后来的工作，他能够在头脑中完成复杂的数学运算，他能够迅速写出一篇论文而无需大改。

15 岁前后，奇妙的数学紧紧地扣住了彭加勒的心弦，他曾在没有记一页课堂笔记的情况下赢得了一次数学大奖，1875 年底，彭加勒进入综合工科学校深造。1875 年，他到国立高等矿业学校学习，打算做一名工程师，但一有闲空就钻研数学，并在微分方程一般解的问题上初露锋芒。1878 年，他向法国科学院提交了关于这个课题的“异乎寻常”的论文，并于翌年 8 月 1 日得到数学博士学位。由于工程师的职业与他的志趣不相投，他又想做一个职业数学家。在得到博士学位后不久(1879 年 12 月 1 日)，他应聘到卡昂大学任数学分析教师。两年后，他被提升为巴黎大学教授，讲授数学、力学和实验物理学等课程。除了在欧洲参加学术会议和 1904 年应邀到美国圣路易斯科学和技艺博览会讲演外，彭加勒一生的其余时间都是在巴黎度过的。

彭加勒的写作时期开始于 1878 年，直至他 1912 年逝世——这正是他创造力的极盛时期。在不长的 34 年科学生涯中，他发表了将近 500 篇科学论文和 30 本科学专著，这些论著囊括了数学、物理学、天文学的许多分支，这还没有把他的科学哲学经典名著和科普作品计算在内。由于他的杰出贡献，他赢得了法国政府所能给予的一切荣誉，也受到英国、俄国、瑞典、匈牙利等国政府的奖赏。早在 33 岁那年，他就被选为法国科学院院士，1906 年当选为

院长;1908 年,他被选为法兰西学院院士。这是法国科学家所能得到的最高荣誉。

数　　学

彭加勒被认为是 19 世纪最后四分之一和 20 世纪初期的数学界的领袖人物,是对数学和它的应用具有全面了解、能够雄观全局的最后一位大师。他的研究和贡献涉及数学的各个分支,例如函数论、代数拓扑学、阿贝尔函数和代数几何学、数论、代数学、微分方程、数学基础、非欧几何、渐近级数、概率论等,当代数学不少研究课题都朔源于他的工作。

1. 函数论。如果说 18 世纪是微分学的世纪,那么 19 世纪则是函数论的世纪。彭加勒是因为发明自守函数而使函数论的世纪大放异彩的,他本人也因此在数学界崭露头角。

所谓自守函数,就是在某些变换群的变换下保持不变的函数。自守函数是圆函数、双曲函数、椭圆函数以及初等分析中其他函数的推广,它不仅对其他各种应用是重要的,而且在微分方程理论中也扮演着主要的角色。

自守函数的名称今天已用于包括那些在变换群 $z' = (az + b)/(cz + d)$或这个群的某些子群作用下的不变函数,其中 a, b, c, d 可以是实数或复数,而且 $ad \cdot bc = 1$。此外,在复平面的任何有限部分上,这个群完全是不连续的。更一般的自守函数则是为研究二阶线性微分方程 $d^2\eta/dz^2 + p_1 \cdot d\eta/dz + p_2\eta = 0$ 而引进的,其中 p_1 和 p_2 起初是 z 的有理函数。

1880 年以前,克莱因(F. Klein)在自守函数方面作了一些基本

的工作,后来他在 1881 年至 1882 年与彭加勒合作。彭加勒在受到富克斯(L. L. Fuchs)有关工作的吸引而注意到这件事后,对这个课题已作了先行的工作。他以椭圆函数理论为指导,发明了一类新的自守函数,即他所谓的富克斯函数,这是比椭圆函数更为普遍的一类自守函数。后来,彭加勒把分式变换群扩充到复系数的情况,并考虑了这种群的几种类型,他把这种群叫克莱因群。对这些克莱因群,彭加勒得到了新的自守函数,即在克莱因群变换下不变的函数,彭加勒把它叫做克莱因函数。这些函数有类似于富克斯型函数的性质,但基本域比圆要复杂。此后,彭加勒指出如何借助于克莱因函数表示仅有正则奇点的代数系数的 n 阶线性方程的积分。这样,整个这类线性微分方程都可以用彭加勒的这些新的超越函数来解了。

自守函数理论只是彭加勒对于解析函数论的许多贡献之一,他的每项贡献都是拓广的理论的出发点。他在 1883 年的一篇短文中,首先研究整函数的格与其泰勒展开的系数或者函数的绝对值的增长率之间的关系,它与皮卡(E. Picard)定理结合在一起,通过阿达玛(J. Hadamard)和波莱尔(E. Borel)的结果,导致了整函数和亚纯函数的庞大理论,这个理论在 80 年之后仍然尚未研究完。

自守函数提供了具有某种奇点的解析函数的头一批例子,它们的奇点构成非稠密的完备集或奇点的曲线。彭加勒给出另外一个一般方法构成这种类似的函数,即通过有理函数的级数,这导致后来被波莱尔和当儒瓦(A. Denjoy)所提出的单演函数理论。代数曲线的参考化定理也是自守函数论的一个结果,它促使彭加勒在 1883 年导出一般的“单值化定理”,这等价于存在由任意连通、非紧致黎曼面到复平面或开圆盘的共形映射。

尤其是,彭加勒是多复变解析函数的创始人,这个理论在他之前实际并不存在。他得到的第一个结果是这样的定理:两个复变量的亚纯函数 F 是两个整函数的商。在 1898 年,他针对"多重调和函数"对于任意多复变函数进行了深入的研究,并在阿贝尔函数论中加以应用。他还在 1907 年指出了全新的问题,导出两个复变函数的"共形映射"概念的推广,这就是现在众所周知的、给人以深刻印象的解析流形的萌芽。彭加勒也对多复变函数的重积分的"残数"概念给出满意的推广,这是在其他数学家早期对这个问题做了多次尝试而揭示出严重困难之后进行的。多年后,他的思想在勒雷(J. Leray)的工作中产生了完满的结果。

2. 代数拓扑学(组合拓扑学)。彭加勒最先系统而普遍地探讨了几何学图形的组合理论,人们公认他是代数拓扑学的奠基人。可以毫不夸张地说,彭加勒在这个课题上的贡献比在其他任何数学分支上的贡献都更为使他永垂不朽。

彭加勒先在 1892 年和 1893 年的科学院《通报》(*Comptes Rendus*)中发表了一些短文,然后于 1895 年发表了一篇基本性的论文,接着是一直到 1904 年在几种期刊上发表的五篇长的补充,这都是论述近代代数拓扑学的方法的。彭加勒认为,他在代数拓扑学方面的工作与其说是拓扑不变性的一种研究,不如说是研究 n 维几何的一种系统方法。我们现在称之为单形的同调论的一整套方法完全是彭加勒的发明创造:其中有流形的三角剖分、单纯复合形、重心重分、对偶复合形、复合形的关联系数矩阵等概念以及从该矩阵计算贝蒂(E. Betti)数的方法。藉助这些方法,彭加勒发现欧拉多面体定理的推广(现在称之为欧拉 - 彭加勒公式)以及关于流形的同调的著名的对偶定理;稍后他引进了挠率的概念。在这

些论文中,他还定义了基本群(第一个同伦群),并证明它与一维贝蒂数的关系,给出两个流形具有相同的同调但具有不同的基本群的例子,他还把贝蒂数和微分形式的积分联系在一起,叙述了德拉姆(G.de Rham)直到1931年才证明了的定理。有人这样正确地说过:直到1933年发现高阶同伦群之前,代数拓扑学的发展完全基于彭加勒的思想和方法。

此外,彭加勒还指出如何把这些新工具用于那些促使发现它们的问题。在两篇论文中,他给出了复代数曲面的贝蒂数,以及形如 $Z^2=F(x,y)$(F 是多项式)的方程定义的曲面的基本群,从而为后来莱夫谢茨(S.Lefschetz)和霍奇(W.V.D.Hodvge)的推广铺平了道路。

3. 阿贝尔函数和代数几何学。当彭加勒一接触到黎曼(G.F.B.Riemann)和魏尔斯特拉斯(K.Weierstrass)关于阿贝尔函数和代数几何学的工作之后,他立即对这个领域发生了浓厚的兴趣。他在这个课题上论文的篇幅在他的全集里和自守函数的论文篇幅差不多,时间是从1881年到1911年,这些文章的主要思想之一是关于阿贝尔函数的"约化"。彭加勒把J.雅可比、魏尔斯特拉斯和皮卡研究过的特殊情形加以推广,证明了一般的"完全可约性定理"。并注意到对应于可约的簇的阿贝尔函数,这是推广某些已有结果和研究某些函数特殊性质的出发点。

彭加勒在代数几何学方面的最突出贡献是他在1910年至1911年间关于代数曲面 $F(x,y,z)=0$ 中所包含的代数曲线的几篇论文。他所运用的卓有成效的方法使他证明了皮卡和塞韦里(F.Severi)的深刻结果,并首次正确地证明了由卡斯特尔诺沃(G.Castelnuovo)、恩里格斯(F.Enriques)所陈述的著名定理。在其他问

题上,他的方法也极有价值,看来它的有效性还远远没有穷尽。

4. 数论。在这个领域,彭加勒首次给出整系数型的亏格的一般定义。他的最后一篇数论论文(1901)最有影响,是我们现在所谓的"有理数域上的代数几何学"的头一篇论文。这篇论文的主题是丢番图(Diophantus)问题,即求一条曲线 $f(x,y)=0$ 上具有有理数坐标的点,其中 f 的系数是有理数。彭加勒定义了曲线的"秩数",并猜想秩数是有限的。这个基本事实由莫德尔(L. J. Mardell)在 1922 年予以证明,并由韦伊(A. Weil)推广到任意亏格的曲线(1929)。他们用的是"无限下降法",这基于椭圆(或阿贝尔)函数的半分性质;彭加勒在他的文章中发展了一种与椭圆函数的三分性质有关的类似的计算,这些思想似乎是莫德尔证明的出发点。莫德尔 - 韦依定理在丢番图方程论中已成为基本的定理,但是与彭加勒引入"秩数"概念的许多问题仍然尚未得到解答,更深入地钻研他的论文也许会导出新的结果。

5. 代数学。彭加勒从未出于代数学本身的需要而去研究代数学,只是当在算术或分析问题中需要代数结果时才去研究它。例如,他关于型的算术理论的工作使他研究次数$\geqslant 3$ 的型,其上作用着连续自同构群。与此有关,他注意到超复系和由超复系的可逆元素乘法定义的连续群之间的关系;他在 1884 年就这个问题所发表的短文后来引起施图迪(E. Study)和嘉当(E. Cartan)关于超复系的文章。彭加勒在 1903 年关于线性微分方程的代数积分的文章又回到交换代数的研究上来。他的方法使他引进一个方程的群代数,并把它分解为 C 上的单代数(即方阵代数)。他首次把左理想和右理想的概念引入代数,并证明方阵代数中的任何左理想是极小左理想的直和。

彭加勒是当时能够理解并欣赏李(S. Lie)及其后继者关于“连续群”工作的少数数学家之一，尤其是，他是早在20世纪初就能认识到嘉当论文的深度和广度的唯一数学家。1899年，彭加勒对于用新方法证明李的第三基本定理以及现在所谓的坎贝尔(Campbeel) - 豪斯多夫(Hausdorff)公式感兴趣；他实际上第一次定义了现在所说的(复数域上的)李代数的“包络代数”，并由李代数已给的基对包络代数的“自然的”基加以描述，这个定理在近代李代数理论中成为基本的定理。

6. 微分方程。微分方程及其在动力学上的应用显然处于彭加勒数学思想的中心地位，他从各种可能的角度研究这个问题，他把分析中的全套工具应用到微分方程理论中。几乎每年都要就此发表论文。事实上，整个自守函数理论一开始就是由求积具有代数系数的线性微分方程的思想引起的。他同时研究了一个线性微分方程在一个“非正则”奇点的邻域中的局部问题，首次证明了怎样得到积分渐进展开。他还研究了如何决定(复数域中)所有一阶微分方程关于 y 和 y' 是代数的且有固点的奇点，这后来被皮卡推广到二阶方程，并在20世纪初期导致潘勒韦(P. Painlev)及其学派的成果。

彭加勒在这个领域中的最杰出贡献是微分方程定性理论，它是在其创造者手中立即臻于完善的。他发现在分析微分方程可能解的类型时，奇点起着关键性的作用。他把奇点分为四类——焦点、鞍点、结点和中心，并阐述了解在这些点附近的性态。在1885年后，他关于微分方程的论文大都涉及天体力学，特别是三体问题。

对于物理学问题的持久兴趣肯定把彭加勒引向数学物理学的

偏微分方程所导出的数学问题，在这方面他从未忽略他所用的方法和他所得到的结果可能存在的物理意义。他在1890年的一篇文章中讨论了狄利克雷(Diichlet)问题，发明了“扫散方法”，这种极其富于独创性的方法在20世纪20年代和30年代出现的位势理论上起着重要作用。

此外，彭加勒还在非欧几何、渐近级数、概率论(例如，他最先使用了“遍历性”的概念，这成为统计力学的基础)等数学分支中也有所建树。

物　理　学

彭加勒讲授物理学达20年以上，发表文章和出版书籍70多种，涉及毛细管理论、弹性力学、流体力学、热的传播、势论、光学、电学、磁学、电子动力学等等。他能深刻地洞察每个课题，并揭示其本质。他特别偏好光理论和电磁理论，他的关于电磁理论的教科书成为麦克斯韦理论在欧洲大陆得以广泛传播的范本。

尤为引人注目的是，彭加勒对19世纪末20世纪初的物理学革命直接起到了推动作用。这主要表现在以下四个方面。

1. 对经典力学和经典物理学基础的批判以及对物理学危机的分析和论述

在世纪之交，彭加勒属于批判学派(与之对立的是机械学派，即力学学派)。在马赫(E. Mach)、卡利努(A. Calinon)、赫兹(H. R. Hertz)的影响下，他对经典力学的基本概念和基本原理(例如绝对时间和绝对空间、力、惯性定律、加速度定律等)进行了批判，也对当时占统治地位的力学自然观提出质疑。他指出，力学自然观实

际上是想把自然界弯曲成某种形式，但是自然界并不是这么柔顺的。彭加勒在分析了力学解释的非普遍性和非唯一性后指出，我们追求的目标“不是机械论，真正的、唯一的目标是统一性”。与马赫不同的是，彭加勒还审查和批判了经典物理学的基础，并揭示出经典力学和经典物理学之间无法弥合的裂痕。

在实验事实和理论分析的冲击下，整个物理学的理论基础动摇了，导致了所谓的物理学危机。老一辈的物理学家囿于力学自然观，看不清物理学发展的形势，只是在旧理论的框架内进行修补，找不到摆脱危机的出路。在当时著名的科学家当中，对物理学发展形势看得比较清楚的是彭加勒，他在20世纪初第一个明确地指出物理学的危机，并对它进行了全面的分析和论述。他认为，物理学危机是好事而不是坏事，危机能加速物理学的变革，是物理学进入新阶段的前兆。他指出，要摆脱危机，就要在新实验事实的基础上重新改造物理学。同时，他一再肯定经典理论的固有价值，认为它们在有效适用范围内还是大有用处的，并且旗帜鲜明地批评了“科学破产”之类的错误观点。他还预见了新力学的大致图景，对物理学的前途表示乐观。这一切，对于澄清物理学家的糊涂认识，使他们看清物理学发展的形势，显然是大有裨益的，也有助于抵制当时流行的实用主义和非理性主义。

2. 在物质结构研究方面的贡献

1895年12月28日，伦琴(W.K.Röntgen)发现了X射线。彭加勒对此感到十分振奋，他在1896年1月20日的周会上展示了伦琴寄给他的X射线照片。当贝可勒尔(A.H.Becquerel)问他射线从管子的哪一部分发出时，彭加勒回答说，射线似乎是从管子中与阴极相对的区域发出的，在这个区域内玻璃管变得发荧光了。彭

加勒还在1月30日发表了一篇关于X射线的论文,他在论文中提出:“是否所有荧光足够强的物体,不管它们的荧光的起因如何,都既发射可见光又发射X射线呢?”尽管彭加勒的预想并不完全正确,但是它毕竟是导致贝可勒尔发现放射性的直接动因。

对于世纪之交分子实在性的争论,彭加勒基本持中立态度,因为当时还没有确凿的实验事实证明分子是真实的。不过,他早就意识到用实验来验证分子运动论的可能性。他在1900年提醒大家注意古伊(L.G.Gouy)关于布朗运动的有独创性的观念。他指出:“那些无规则运动的粒子比致密的网孔还要小;因此,它们可能适用于解开那团乱麻,从而使世界逆行。我们几乎能够看到麦克斯韦妖作怪呢。”1904年,他在提到运动和热在布朗运动中相互转化而毫无损失时说:“如果情况如此,为了观察世界逆行,我们不再需要麦克斯韦妖的无限敏锐的眼睛,我们的显微镜就足够了。”后来,爱因斯坦(A.Einstein)和斯莫卢霍夫斯基(M.von Smoluehowski)分别于1905年和1906年给出了布朗运动的理论,导出了计算分子大小的公式。1908年,佩兰(J.B.Perrin)和他的合作者通过用显微镜观察藤黄树脂微粒的布朗运动,证实了分子的实在性。彭加勒面对这一事实,坦率地承认:“长期存在的原子假设已具有充分的可靠性”,“化学家的原子现在已经是一种实在了”。

3. 相对论的先驱

早在1900年之前,彭加勒就掌握了建立狭义相对论的一切必要材料,并在1904~1905年间找到了它的数学表示。作为相对论的先驱,他比马赫和洛伦兹(H.A.Lorentz)更前进了一步。

在1895年,彭加勒就对当时以太漂移实验的解释表示不满,他批评洛伦兹过多地引入特设假设。他相信,用任何实验手

段——力学的、光学的、电学的——都不可能检测到地球的绝对运动。他已经意识到,采取这种立场相当于在理论上提出一个普遍的物理定律:“不可能测出有重物质的绝对运动,或者更明确地说,不可能测出有重物质相对于以太的运动。人们所能提供的一切就是有重物质相对于有重物质的运动。”1900 年,他把这个定律称为“相对运动原理”——“任何系统的运动必须服从同样的定律,不管它是相对于固定轴而言还是相对于做匀速直线运动的可动轴而言。”在 1902 年的《科学与假设》中,首次出现了“相对性原理”的提法。不过,相对性原理的正式提出和标准表述是彭加勒 1904 年 9 月在美国圣路易斯讲演中做出的。他把它作为物理学六大基本原理之一提了出来:“相对性原理,根据这个原理,物理现象的定律应该是相同的,不管观察者处于静止还是处于匀速直线运动。于是,我们没有、也不可能有任何手段来辨别我们是否做这样一种运动。”也就是在这次讲演中,他惊人地预见了新力学的大致图景:惯性随速度而增加,光速会变为不可逾越的极限。原来的比较简单的力学依然保持为一级近似,因为它对不太大的速度还是正确的,以致在新力学中还能够发现旧力学。

在 1898 年的“时间的测量”(La mésure de temps)一文中,彭加勒不仅批判了绝对时间、绝对空间和绝对同时性的概念,而且还提出了建设性的建议:承认光速不变是一个公设,并用爱因斯坦后来使用的术语讨论了远距离的同时性的确定问题。他说:“(光具有不变的速度,尤其是它的速度在一切方向上都是相同的,)这是一个公设,没有这个公设,就无法测量光速。”彭加勒利用两个观察者(爱因斯坦的讨论只用一个观察者)、光讯号和时钟,讨论了时钟同步和同时性的定义问题,得出了与爱因斯坦 1905 年的结论相同的

结果。

1904年后期到1905年中期，彭加勒给洛伦兹写了三封信，这三封信的基本思想在“论电子动力学”（Sur la dynamique de iélectron）一文中得到发展。这篇论文的缩写本于1905年6月5日发表，全文则发表于1906年。他在文中第一个提出了精确的洛伦兹变换，指出该变换的群的性质。“洛伦兹变换”、“洛伦兹群”、“洛伦兹不变量”等术语，都是他首先使用的。他还得到了正确的电荷和电流密度的变换（洛伦兹得出的变换式是错的），证明了速度变换，考虑了体积元的变换，得到了电荷密度和电流的变换。这样一来，麦克斯韦-洛伦兹方程首次在洛伦兹变换下严格地变成不变量。彭加勒还导出了电磁标量势和矢量势、单位体积的力、单位电荷的力的变换，这些公式甚至在1960年代前后的文献中也难以找到。尤其是，彭加勒为了利用在具有确定的正度规 $x^2+y^2+z^2+\tau^2$ 的四维空间中的不变量理论，还引入了四维矢量，使用了虚时间坐标（$\tau=ict$）。他还揭示出洛伦兹变换恰恰是四维空间绕原点的转动。彭加勒的这一工作，对闵可夫斯基（H. Minkowski）后来的四维时空表示法有直接影响。彭加勒也是第一个在他的电子动力学中研究牛顿引力定律的人，他甚至使用了“引力波”这个词。

4. 量子论的积极倡导者和热心研究者

1911年的索尔维物理学会议，使量子论越出了德语国家的国界。彭加勒应邀参加了这次最高级会议，首次了解到量子论。他在很短时间内就成为量子论的积极倡导者和热心研究者，他在逝世前的半年多时间内，完全沉浸在这个奇妙的量子世界里。

1911年12月4日，即索尔维会议一个月之后，彭加勒向科学院提交了一篇论述量子论的长篇论文的缩写本，全文于翌年1月

发表。他在论文中指出，量子论的出现“无疑是自牛顿(I. Newton)以来自然哲学所经历的最伟大、最深远的革命”。他坚持认为，旧理论不只是在能量能够连续变化的假定上是错误的，而且物理定律本性的概念也要经受根本的变革。他在论文的最后指出，人们必须寻求差分方程，对于不连续的几率函数的情况，它将起哈密顿微分方程的作用。后来，他还就量子论发表了几篇文章和讲演。他甚至猜想，任何孤立系统乃至宇宙也像粒子一样，“会突然地从一个状态跃迁到另一个状态；但是在间歇期间，它依然是不动的。宇宙保持同一状态的各个瞬时不再能够相互区分开来。因此，这将导致时间的不连续变化，即时间原子。”彭加勒的工作大大推动了非德语国家的物理学家接受和研究量子论。

5. 混沌学的开创人

彭加勒在把他锻造的锐利数学武器用于进攻天体力学问题时，发现了混沌现象。在太阳系的稳定性即三体问题的研究中，他实际上已经意识到，在一向视为由决定论统治的牛顿力学中，随机性(偶然性)也比比皆是。随机性是牛顿方程的本质特性之一，因为运动对初始条件十分敏感，确定行为是极其稀少的。这与混沌就是决定论系统的内在随机性的现代认识何其相近！事实上，彭加勒开创和发明的种种新数学分支和方法，以及他的众多的天体力学著作，都成为现代混沌学的思想和方法的启迪源泉。彭加勒不愧是发现混沌现象并进行认真处理的第一人。

积极的哲学思维和敏锐的直觉能力，也使彭加勒从自然哲学的高度洞见混沌现象。彭加勒反对或不赞成机械决定论，而承认自然界的偶然性，认为偶然性这个词具有“精密的和客观的意义”。它在《科学与方法》中专用一章讨论偶然性问题，并把偶然性分为