

QIAN

QIANKEXUE CONGSHU

科学悖论集

KEXUE
BEILUNJI

- ☐ 申先甲 林可济/主编
☐ 湖南科学技术出版社

XUE

CONG

SHU



潜科学丛书

科学悖论集

□ 申先甲、林可济 编

□ 湖南科学技术出版社

潜科学丛书

科学悖论集

主 编：申先甲 林可济

责任编辑：曾平安 罗盛祖 张玉纲

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路 66 号

印 刷：湖南省新华印刷二厂

厂 址：邵阳市双坡岭

邮 编：422001

(印装质量问题请直接与本厂联系)

经 销：湖南省新华书店

出版日期：1999 年 4 月第 1 版第 3 次

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：7.75

插 页：4

字 数：200000

印 数：6301~11300

书 号：ISBN 7-5357-2248-2/N·40

定 价：13.50 元

(版权所有·翻印必究)

《潜科学丛书》编辑委员会

总 编 委 申先甲

编 委 朱新民 柳树滋 赵红洲
关士续 解恩泽 洪定国

本 书 主 编 申先甲 林可济

本书撰稿人 (以文章编排为序)

林可济 郑毓信 郭金彬
李春泰 吴炯如 冯礼贵
仝素勤 梁立明 王顺义
王身立 于林成 聂宜如
尹学志 耿天明 申先甲
魏凤文 王志钦

1
2
3
·
0
1
2
1
2
1
0
0

总 序

1979年11月，在中国大地上诞生了“潜科学”这一新概念。作为一门学科，“潜科学”学一方面要研究创新性的科学技术思想胚胎从潜到显的内部孕育过程的基本规律，以寻求最大限度地发挥人们科学创造潜力的途径；另一方面要研究新观点、新学说，从提出、传播、鉴别和检验到进入科学殿堂的外部成长过程的基本规律，以确定使新理论顺利成长的适宜条件。作为一项事业，“潜科学”将利用刊物、年鉴、学术讨论和科学基金等多种手段，积极发掘富有开拓精神和创造才能的科技人才，热情扶持已经萌发的新思想、新学说的成长，帮助它们冲破种种障碍，为科学百花园不断增添新的奇葩，推动学术上的自由探讨和繁荣。

现代科学技术的各个部门都在加速向前发展，随着每一个领域里的惊人进步，在人们面前展现出愈来愈广阔的未知世界。传统观念和理论受到有力的冲击和挑战，层出不穷的新课题激励着

人们去探索；现代技术的突破性进展，使新技术革命的浪潮席卷全球，正在引起生产组织、产业结构和社会生活的重大变革。在这种形势下，积极推动潜科学理论的研究和潜科学事业的发展，特别是推动那些具有潜科学价值和未来意义的开发性探索，更是具有特殊意义。

为了促进这一新兴学科的成长，推动这一新生事业的发展，由“中国潜科学研究会”与《潜科学》杂志社共同组织，并系统地编写了这套“潜科学丛书”。旨在通过对科学技术发展中大量个例的剖析，从不同的侧面和角度，揭示科学技术更替变革的历史足迹，概括出某些共同的带规律性的东西，以总结经验，吸取教训，为新思想、新观点、新假说、新理论的孕育和成长摇旗呐喊，鸣锣开道。

“潜科学丛书”是一套带有学术性、探索性、哲理性和趣味性的文集。我们要求每篇文章史料要翔实，科学内容要准确，观点要鲜明，力求作到文献性、科学性和思想性的统一，为进一步的深入研究提供启示。

这套丛书，自1986年以来，先后出版了《科学史上的重大争论集》、《科学蒙难集》、《科学发现个例分析》、《技术发明个例分析》、《数学猜想》、《科学前沿疑难与展望》六本。受到了国内外读者的好评，1996年获全国优秀科普读物三等奖。许多读者希望这套丛书能重新出版。为了不辜负读者的厚爱，我们将已出版的六本书作了重新修订，书名改为《科学争论集》、《科学蒙难集》、《科学发现集》、《技术发明集》、《数学猜想集》、《科学前沿集》，另外精编增补了《科学悖论集》和《科学问题集》两本，一套总共八本，奉献给读者。

当前，正是大力倡导“科教兴国”之时，这套丛书重编再版其意义更为深远，我们可以从这套丛书中，找到更多的科学技术发展的潜在规律，以促进我国科学技术的更快发展。

这套丛书的编写，是一个有益的尝试。我们希望吸引、动员

更多具有创新精神和见解的潜科学事业的支持者投入这套丛书的编写工作，不断扩大范围，丰富内容和提高质量，在推进科学技术事业的发展中，起到它的一点作用。

《潜科学丛书》编辑委员会

目 录

孕育着新突破的科学迷雾——科学悖论	(1)
数学的第一次危机——芝诺悖论	(16)
一曲悲壮的科学史诗—— $\sqrt{2}$ 悖论	(25)
数学思想中的惊人产物——伽利略悖论	(40)
科学与哲学撞击的火花——最大基数悖论	(49)
所有克里特岛人都说谎？——说谎者悖论	(63)
点燃数学哲学研究的一把火——罗素悖论	(72)
新学说的“催生婆”——落体悖论	(85)
20 世纪科学天空中一朵乌云——“麦克斯韦妖”与“可逆佯谬”	(101)
科学并不是先知先觉的天才——“紫外发散”佯谬	(117)
至死未忘的争论——“波粒二难”悖论	(136)
上帝在掷骰子吗？——EPR 佯谬	(147)
物理学“宝镜”被两位美籍华人打破—— τ - θ 疑难	(166)
哥哥比弟弟年轻？——相对论佯谬	(182)
面对日月星辰，引来思绪万千——宇宙学佯谬	(202)
理性世界的矛盾——康德哲学悖论	(216)

孕育着新突破的科学迷雾

——科学悖论

科学中出现的悖论，是一个与科学发展有着紧密关系的重要问题。本文拟对它产生的原因、本质、解决方法以及它对科学发展的重大意义，从总体上作一简略的分析。

一、什么是悖论？

“悖论”一词，英语为 paradox，俄语为 парадокс，它的字面意思是指荒谬的理论，有的叫它“逆论”，有的叫它“反论”。既然悖论就是荒谬的理论，那么为什么不用通俗易懂的说法，而用“悖论”这个晦涩的名词来称呼呢？按照美国数学家克莱因的说法，那是为了不把自相矛盾的真相摆在桌面，才采用了这样一个婉转的措辞。当然，事情并没有这样简单。

悖论的由来已久，它的起源可以追溯到古希腊和我国的先秦时代。但是，严格意义下的悖论是在 19 世纪末、20 世纪初数学家在数学基础研究过程中发现的。当集合论成为数学的基础之后，随着人们对无穷集合认识的深入，就不断地发现许多悖论。1897 年意大利数学家布拉里-弗蒂在超穷序数理论中发现了第一个悖论；接着，集合论的创始人康托于 1899 年在基数理论中发现了另一个悖论；1902 年罗素在集合论概括原则的基础上又引

出数学史上著名的罗素悖论。后来，到1918年，罗素在此基础上又提出一种通俗形式的悖论，即“理发师悖论”。这意味着罗素悖论可以在最基本的逻辑形式中得出。我们知道，数学一向被人们看作是一门具有高度的抽象性和严密的逻辑性的科学，既然数学中都发现了悖论，其他学科就更不必说了。事实正是如此。悖论在物理学中又叫作“佯谬”（如“波尔兹曼佯谬”、“双生子佯谬”、“光速佯谬”、“光度疑难”、“引力疑难”等等），在哲学中则把它叫作“二律背反”（Antinomie）。当然，在众多的悖论中，给科学家震动最大的要算罗素悖论了。由于它的出现，使得德国的大逻辑学家、现代数理逻辑的奠基人G. 弗雷格和德国另一个数学家戴迪根处于进退维谷、束手无策的境地。因为弗雷格的巨著《算术的基本规律》、戴迪根的著作《什么是数，其意义如何？》的立论基础都是集合论。当他们发现自己著作的“大厦的基础已经崩溃”时，怎么能不因为问题的严重而忧心忡忡呢？可见，对于悖论，既不能简单地用“荒谬的理论”一骂了之，也不能把它仅仅看作为了掩盖矛盾而采取的“婉转的措词”，把问题搪塞过去。

那么，究竟什么是悖论呢？

对此，流行的说法是：悖论就是指这样一个命题：由它的真，可以推出其为假；而由它的假，又可以推出其为真。这种说法，比起仅仅从字面上理解悖论，显然前进了一大步，但它仍然是不精确、不全面的。

我们认为，在研究悖论的准确的定义时，以下几点必须加以明确：

1. 任何悖论总是相对于一定的理论系统而言的。例如，罗素悖论和撒谎者悖论，就是分别相对于素朴集合论和真理性理论而言的。因为只有承认素朴集合论中的相应的前提，我们才能构造出罗素悖论；又只有真理的“符合性原则”，才有所谓的撒谎者悖论。一般地说，任何悖论都建立在一定的前提之上并包含有

一定的推理过程。上述流行说法，把悖论仅仅归结为一个命题，当然是不全面的。

2. 悖论的最终表现总是体现为一定逻辑矛盾的揭示。这里所说的“逻辑矛盾”，可以有两种情况：一种是表现为这样一个命题的得出，由它的真可以推出其为假，由它的假又可推出其为真。这种情况可简称之为“真值等价形式”。凡是必须借助于语义学上的概念（真、假）而构成的悖论，都属于这一种。古代的撒谎者悖论，现代集合论中的理查德悖论、格里林悖论等，都是语义学类型的悖论。

另一种逻辑矛盾的形式是表现为同时证明了两个互相矛盾的命题，或者证明了一个复合命题，它表现为两个矛盾命题的等价式。康托悖论、罗素悖论就属于这一种。凡是可以仅仅借助于数学和逻辑符号得到构造的悖论，都可称之为“逻辑-数学悖论”。

如果要把上述两种情况概括为一种的话，那只能把前者合并于后者，而不能把后者合并于前者。把悖论中的逻辑矛盾仅仅归结为“真值等价形式”之所以是不妥当的，是因为有很多悖论（如逻辑-数学悖论）的表述，是不需要、也不应当借助于语义学的概念的，而真、假则恰恰就是语义学的概念。反之，两个互相矛盾的命题的等价式的证明，这种逻辑形式倒是可以把真值等价形式包括在内的。因为真假两命题的互推，也可以看作是真假两个命题的等价式的证明。

3. 对于悖论，不能仅仅从字面上把它理解为“悖理”，简单地斥之为“荒谬”。因为一个理论之所以被认为是包含有悖论，不是由于它已经明显地暴露了错误，而是在于看起来它是没有问题的，然而却在其中得出了矛盾。

明确了以上三点，我们就不难看出，无论是从字面上理解，或者像上述流行说法那样来认识悖论，都是不妥当的。我们认为，A. A. 弗兰克尔关于悖论的陈述是精确的：如果某一理论的公理和推理规则看上去是合理的，但在这个理论中却推出了两

个互相矛盾的命题，或者证明了这样一个复合命题，它表现为两个矛盾命题的等价式，那么，我们就说这个理论包含了一个悖论。在这个对悖论的陈述中，强调了悖论总是相对于一个理论系统而言，用两个互相矛盾命题的等价式的证明作为悖论中逻辑矛盾的基本形式，并指出它的公理和推理规则“看上去是合理的”。因此，我们认为这个陈述是可取的。

二、悖论是怎样产生的？它的本质是什么？

从悖论的构成来看，我们似乎可以把悖论分为两类：如果一个悖论的有关前提中包含有直接的错误，就称之为第一类的悖论；否则，就称之为第二类的悖论。例如，由于“任何事物和现象都可以归结为整数或整数的比”这个认识是错误的，因此，毕达哥拉斯悖论就是第一类悖论。只要对这种错误加以澄清，悖论的问题也就彻底解决了。由于这个悖论的前提包含有错误，本来可以把它排除在悖论的范围之外，但在当时，前提的错误并非一目了然。考虑到人的认识的历史性，这类理论仍放在悖论之内，把它列为第一类悖论，以示与第二类悖论的区别。如果严格一点，也可以不把第一类悖论称为悖论。集合论的悖论属于第二类悖论，因为目前之所以有各种不同可能性解决方案同时存在，就是因为素朴集合论的有关前提中，没有哪一个是明显错误的。因此，从严格的意义上说，只有这一类悖论才符合悖论的上述定义。下面我们在分析悖论的本质时，也是着重指的这一类悖论。

关于悖论产生的原因及其本质是什么，对此人们有各种不同的回答。其中，最主要的有两种互相对立的观点。一种认为客观世界并不包含有矛盾，悖论完全是由主观认识上的错误而造成的。既然如此，对于悖论，不仅必要而且完全可能加以排除，现代西方学者对于集合论悖论的研究，主要就是在这种观念的指导下进行的。例如，数学基础的三个主要流派（逻辑主义、直觉主

义和形式主义)，都希望能通过对于“错误”的排除，一劳永逸地消除悖论对于数学的严重威胁。另一种看法恰好相反，认为悖论的出现根本不是什么谬误，而是一种合理现象。他们把悖论看作是一种“特殊的客观真理”。既然如此，当然无需去研究排除悖论的问题，而应当去研究如何将数学从“无矛盾原则”的束缚下“解脱”出来。西方近年来出现的“不协调逻辑”，从一定意义上来说，可以说是这种努力的一种反映。

从唯物辩证法的观点来看，上述两种观点都有一定的片面性。对于第一类的悖论而言，固然可以把悖论的成因归结为人们主观认识上的错误；但对于第二类的悖论而言，就不能这样说了。因为它们的成因，不能完全归结于主观认识方面，客观事物的辩证性质，也是造成这一类悖论的主要原因之一。上述第一种观点不能概括这些情况，所以说它是片面的。就后一种观点来说，它的错误在于把客观事物的自身矛盾同人们观念上的逻辑矛盾混为一谈。他们把人们观念上应当避免的逻辑矛盾，一律称之为“特殊的客观真理”，这就从根本上否认了悖论产生的主观方面的原因，自然也不必为排除悖论而作什么努力了。这是另一种形式的片面性。由于这两种观点在悖论的成因问题上看法不正确，因此，他们也就无法正确地理解悖论的本质了。

那么，我们应当怎样认识悖论产生的原因以及悖论的本质呢？在探讨这个问题时，回顾一下黑格尔和列宁对康德的“二律背反”和对芝诺关于运动的悖论的有关评论，对我们也许是有益的。因为科学中出现的种种悖论，实质上也是人们已经发现的逻辑矛盾，也是一种“二律背反”。

我们知道，康德是在理性地认识世界的本质时，提出了四个“二律背反”的。最早对此提出批评的是黑格尔。黑格尔认为康德把矛盾看成只是理性所具有的，这就否认了矛盾的客观性；而认为理性只有四种“二律背反”，这就离开了矛盾的普遍性。他明确指出：“当思维要去认识无限时，思维自身的本性里便有陷

于矛盾（二律背反）的趋势。”^① 既然如此，思维将要碰到的矛盾就不只是四种。“只要对理性的二律背反的性质，或者更正确地说，辩证的性质，深入观察一下，就会看出每一个概念一般都是对立环节的统一，所以这些环节都可以有主张二律背反的形式。”^② 列宁十分赞赏黑格尔这种关于一切概念都是矛盾的观点，指出：“事实上每个概念、每个范畴也都是二律背反的。”^③ 黑格尔是个唯心主义者，而列宁则是唯物主义者，但他们都是辩证论者，因此，他们都没有把自己的视野局限在四种“二律背反”上，都从矛盾普遍性的角度提出了问题。对于芝诺悖论，黑格尔和列宁也都作了深刻的批判。黑格尔认为：“芝诺从没有想到要否认作为‘感觉的确实性’的运动，问题仅仅是在于运动的真实性。”^④ 的确，芝诺并没有否认人们感觉到的种种运动，但他在运动中发现了矛盾，而他认为矛盾是不真实的，所以，运动是不可能的。也就是说，他是由于不理解抽象概念可以把握运动的内在矛盾，从而导致否认运动的真实性的。列宁摘录了黑格尔的话之后，明确指出：“这点可以而且应该倒转过来：问题不在于有没有运动，而在于如何在概念的逻辑中表达它。”^⑤ 客观事物及其运动中的矛盾是真实的，人们在反映客观事物及其运动时，在概念的表达中，也应当坚持运用矛盾的观念。针对着芝诺否认间断性与连续性的对立统一的错误，列宁指出：“运动是时间和空间的本质。表达这个本质的基本概念有两个：（无限的）不间断性（Kontinuität）和‘点截性’（= 不间断性的否定，即间断性）。运动是（时间和空间的）不间断性与（时间和空间的）间断性的统一。运动是矛盾，是矛盾的统一。”^⑥ 芝诺贬低感性，而康德

① 黑格尔：《小逻辑》，中译本，商务印书馆（1980），133。

② 黑格尔：《逻辑学》，上卷，中译本，商务印书馆（1966），200。

③ 《列宁全集》，38卷，人民出版社（1959），119。

④⑤ 《列宁全集》，38卷，人民出版社（1959），281。

⑥ 《列宁全集》，38卷，人民出版社（1959），283。

贬低理性，两人虽有不同，但他们的共同点在于：都不能把矛盾的概念统一起来，而把矛盾看作谬误，结果都陷入了有限无限、连续间断等等矛盾的“二律背反”之中不可自拔。黑格尔总结了哲学史上的这些事实，看出了芝诺、康德等人失足的认识论根源在于没有很好地掌握思维的辩证法。他说：“从来造成困难的总是思维，因为思维把一个对象的实际上联结在一起的各个环节彼此分隔开来考察。”列宁同意这个观点并加以发挥，指出：“如果不把不间断的东西割断，不使活生生的东西简单化、粗糙化，不加以割碎，不使之僵化，那末我们就不能想象、表达、测量、描述运动。思维对运动的描述，总是粗糙化、僵化。”^① 这就说明，必须防止在运用概念时简单化、粗糙化、僵化，要使概念达到对立面的统一。但是，要做到这些并非易事。人们在主观思维的过程中，由于受到形而上学思维方法的影响，从而使得客观对象的辩证性质在认识过程中遭到了歪曲：对立统一的环节被绝对地割裂开来，生动的、辩证的统一被表现为静止的、僵化的概念的对立。而当这种绝对化、僵化了的环节，在一定形式下又不能不重新联系起来时，它们的直接冲突就是不可避免的了。还应该指出，现代科学，特别是数学和精确科学的发展中，形式化的特点有越来越加强的趋势。这种形式化的特点，越来越严格地要求对象的明确性和一义性。这种情况，又进一步加剧了上述的客观对象的辩证性质同主观思维的形而上学性之间的矛盾，使得一些被割裂、被僵化的对立概念，不是达到统一，而是更加对立起来。这就是悖论产生的原因和本质所在。也就是说，悖论在实质上是客观事物的辩证性同主观思维的形而上学性以及方法的形式化特性之间矛盾的一种集中反映。

我们的这个看法，不仅在分析芝诺悖论、康德的“二律背反”时是适用的，对于分析现代科学中的悖论，同样也是有效

^① 《列宁全集》，38卷，人民出版社（1959），285。

的。试以集合论中的布拉里-弗蒂悖论、康托悖论和罗素悖论为例。这几个悖论都是对于集合研究的直接产物，而集合作为一种真实的对象，在本质上也是辩证的：它既是一种完成了的对象，同时又具有无限扩张的可能性；既是一种实在的东西，同时又是一种潜在的东西；是完成与过程、有限与无限的对立统一。但是，集合的这种辩证性质在认识的过程中却又往往遭到了歪曲：人们常常片面地强调集合的完成性或过程性。这样，在一定条件下，被绝对化了的对立环节就会发生直接冲突，这就是上述几个悖论的由来。

对于上述几个悖论来说，首先，都包含了对于某种过程无限延续可能性的肯定。在布拉里-弗蒂悖论中，是指通过某种良序集的构成来保证的序数无限增大的可能性；在康托悖论中，是指以幂集的构成来保证的基数无限增大的可能性；最后，在罗素悖论中，则是指集合本身无限扩张的可能性。这里所肯定的都是集合的潜在性，即过程性。与此同时，在上述几个悖论中又都包含了与过程相应的完成了的集合的确认。在布拉里-弗蒂悖论中，是对由一切序数组成的良序集即具有最大序数的集合的确认；在康托悖论中，是对于具有最大基数的集合的确认；最后，在罗素悖论中，则是对于大全集即不能再予扩张的集合的确认。应当指出，上述的两方面的考虑在一定意义上都是合理的、必要的，因为它们分别是对于集合的辩证性质的某一方面的肯定。但是，它们又毕竟是对立环节的生动且辩证的统一的一种僵化和割裂。因此，当这种被绝对化、僵化了的环节又重新被联系起来时，对立环节的直接冲突就不可避免地产生，这就是悖论的出现。

三、悖论能不能排除？怎样排除？

悖论既然产生了，那么，能不能加以排除和解决呢？我们认

为，既可以又不可以。具体说来，有两条：其一，悖论是在一定条件下产生的，它的出现虽然是相对的，都是无法完全避免的。因此，也就不可能在绝对的意义上得到排除或彻底地加以解决；其二，悖论既然是在一定条件下产生的，当然也可以在另外的一定条件下，从相对的意义上用不同的方法加以解决，不存在有绝对意义上的悖论。

为什么说悖论的产生是不可避免的，无法从绝对的意义上加以排除呢？我们在分析悖论产生的原因和本质时，实际上已经对此作了回答。既然悖论的产生是客观实际与主观认识的矛盾的集中反映，因此，从认识论的角度看，悖论的出现也就不可能完全避免。悖论出现的不可避免性是由认识的本性所决定的：人们对生动实在的认识，总是一种简单化、粗糙化、僵化的过程，即往往包含了对于客观事物辩证性质的歪曲，从而在一定条件下就可能而且必然导致悖论的产生。这就提醒我们：在讨论如何排除悖论的问题上，不能存在有一劳永逸地解决悖论的任何企图。

虽然悖论问题不可能在绝对的意义上加以彻底地解决，但是，就每一个具体的悖论而言，又总是可以在一定形式下得到解决，没有什么绝对意义上的悖论。同悖论产生的不可避免性一样，悖论存在的这种相对性也是由认识的本性所决定的：因为每一具体的悖论，总是相对于一定的认识而言的，总是相对于一定的理论系统而言的，随着人们认识的不断发展，悖论是可以得到相对解决的。

由于悖论的性质不同，因而解决的方法也就有所不同。

对于上述的第一类悖论来说，解决的方法就在于排除前提中的谬误成分。只要这点做到了，悖论也就解决了。前面已经讲到，毕达哥拉斯悖论的产生，是以“任何事物和现象都可以归结为整数或整数比”为前提的。随着人类对数域认识的扩大，当人们认识到无理数的存在时，毕达哥拉斯悖论也就不复存在了。

对于上述的第二类悖论来说，情况就复杂得多了，而且，哲