

辐射量子论与物理学危机

谭天荣

青岛大学 物理系 青岛 266071

ttr359@126.com

内容摘要: 本文把普朗克的辐射量子论追溯到两个前提: 第一, 物质辐射是一个个原子辐射的迭加; 第二, 单个原子的一次辐射是一个“瞬间事件”, 从而把它重新纳入经典物理学的框架。随后揭示连续性与不连续性的对立的相互渗透性; 又以家族中的“辈分”和必然性的“等级”为例, 指出自然界的“层次结构”, 并从这种结构出发, 考察了两个脍炙人口的科学疑难: 数学中的“悖论”与物理学中的“热寂说”。最终从上述考察得出结论: 物理学将因“量子”的问世而大难临头。[Academia Arena, 2010;2(2):33-43]. (ISSN 1553-992X).

关键词: 经典物理学; 辐射量子论; 连续性与不连续性; 形而上学; 实证哲学; 辩证法; 偶然性与必然性; 层次; 悖论; 热寂说

1. 引言

1900年, 普朗克在研究黑体辐射的规律时, 找到了一个与实验数据完全符合的公式——普朗克公式。随后, 他又从这一公式得出结论: 辐射场的能量不是连续地增加, 而是跳跃地、一份一份地增加。换句话说, 辐射场的能量有一个最小单位, 称为“量子”, 其能量与辐射的频率成正比, 比例系数是一个普适常量, 称为“普朗克常量”。普朗克的这种理论现在称为“辐射量子论”。

普朗克的这种理论使得当时的物理学家们极为震惊, 例如, 爱因斯坦当时就说: “我要使物理学的理论基础同这种认识相适应的一切尝试都失败了。这就像一个人脚下的土地都被抽掉了, 使他看不到哪里有可以立足的巩固基地。”

物理学家们认为, “量子”是完全超出经典物理学的崭新的概念, 是一个根本违反经典物理学的革命性的概念, 它表明能量不再是连续的, 从而看到了物理世界不连续的另一面目。

在一本新书(上帝掷骰子吗——量子物理史话, 我在互联网上读到这本书)上, 作者写道: “(‘量子’)这个假定, 推翻了自牛顿以来 200 多年, 曾经被认为是坚固不可摧毁的经典世界。这个假定以及它所衍生出的意义, 彻底改变了自古以来人们对世界的最根本的认识。”

“量子”诚然是一个划时代的发现, 但它确实推翻了经典物理学吗?

2. 辐射的量子性与物质的原子性

首先我们问: 按照经典物理学的基本原理, 物质的辐射应该是一个怎样的过程?

从赫芝开始人们就知道谐振子的辐射过程: 如果一个谐振子持续地振动, 它将连绵不断地发射电磁波, 即连绵不断地辐射。在这一过程中, 辐射场的能量随时间的改变是一个连续平滑函数。因此在遇到黑体辐射问题时, 他们自然想到, 辐射场的能量随时间的改变也大致如此。

不幸的是, 他们在这里有一点小小的疏忽: 辐射将带走能量, 在谐振子振动过程中, 有一个外部能源持续地向它供应能量。在黑体辐射过程中, 辐射源是物质, 而物质是由原子组成的, 因此, 黑体辐射问题可归结为原子的辐射问题。人们设想, 在物质的辐射过程中, 每个原子中的电子作某种周期运动并因此发射电磁波, 从而每个原子的辐射都是一个像谐振子辐射那样的连绵不断的过程, 但这样的过程要求有外部能源, 因此, 他们实际上设想的是如下图景: 每一个原子都伴随着一个外部能源, 它向该原子源源不断地

供给能量；或者有外部能源以其他方式向诸原子供给能量。但人们忘记了，原子过程与宏观过程有一点不同：在宏观过程中，我们可以人为地安排过程的外部条件，其中包括提供外部能源，而在原子过程中，一切过程只能是“自然的”，从而是“自给自足”的，特别是，根本不可能有外部能源。

既然没有外部能源，原子就只能靠自身的能量减少来维持辐射。一个原子的能量是有限的，从而单个原子的辐射也只能是一个有始有终的有限过程。因此，即使按照经典物理学，这一过程也肯定会大大不同于谐振子的辐射过程。

根据辐射量子论，在任意给定的一段时间里，某一黑体发射的某种频率的能量总是某一能量单位 ϵ 的整数倍。由于单个原子的辐射只能是一个有限过程，如果在这段给定的时间里，黑体中有 5 个相同的原子先后完成发射，每个原子发射了一份能量 ϵ ，另外还有一个原子正在发射，但只发射了能量 ϵ 的一半，则在这一段时间里，黑体发射的能量为 5.5ϵ ，并不是 ϵ 的整倍数。因此，仅仅从单个原子的辐射是一个有限过程，由大量原子组成的物质的辐射仍然会是一个连续过程，只不过描写能量随时间增加的曲线或许不太光滑。

如果相对于给定的这段时间，单个原子辐射过程极为短暂，则在这段时间存在某一原子尚未完成辐射过程的概率很小。在极端情形下，如果单个原子辐射过程是一个“瞬间事件”，即它是一个在一瞬间完成的过程，则在这段时间里不可能有原子尚未完成辐射过程。这样，在任意一段时间里，只能有整数个原子完成辐射。而这就得出了普朗克的结论：黑体辐射过程中能量的增加就是跳跃的，一份一份的。

于是我们把普朗克的辐射量子论追溯到如下两个前提：

第一，物质辐射是一个个原子辐射的迭加；

第二，单个原子完成一次辐射是一个“瞬间事件”。

这两个前提是否推翻了经典物理学呢？

稍后我们再考察第二个前提，如果假定第二个前提已经成立，则从第一个前提我们得出结论：辐射场的能量不连续地增加因为辐射源是由一个一个的离散的原子组成的。这一结论可以简短地表述成：“发光的不连续性源于光源的离散性”，更确切地说，发光的“量子性”源于光源的“原子性”。

我们可以用一个日常生活的比喻来阐明这一平易近人的道理。春节时，孩子们放鞭炮。如果有一位“大人国”的观察者，他看不见孩子们更看不见鞭炮，但他根据一系列的测量、计算与推理得出结论：在放鞭炮的过程中声音的能量一份一份地跳跃地增加。那么，这位观察者合理的推测应该是：声音的能量不连续地增加因为声源是由一个一个的鞭炮组成的。换句话说，发声的不连续性源于声源的离散性，在比喻的意义下也可以说：发声的“量子性”源于声源的“原子性”。

这种机制实在没有任何超越经典物理学的地方，更谈不上“彻底改变了自古以来人们对世界的最根本的认识”，为什么物理学家们对普朗克的理论会如此惊讶呢？冰冻三尺，非一日之寒，我们可以追溯到两方面的原因：一方面，经典物理学已经积累了太多的失误，另一方面，物理学中的传统的思想方法过分狭隘。

说经典物理学到处都是失误似乎令人难以置信，但下面的类比或许能让人改变看法。在近代的思想史上，数学和物理学一样，也经历过从“经典”阶段向“现代”阶段的过渡，如果说对于物理学，这一过渡以普朗克的辐射量子论的建立为标志，那么对于数学，同样的过渡的标志或许可以算是罗巴切夫斯基的非欧几何学。这一早一晚的两个过渡都经历了光辉而又苦难的历程，但两者的发展进程却有一个明显的区别。有一位叫克莱因的数学家在他写的《确定性的丧失》一书中写道：新数学的建立使数学家们发现，过去的数学中的逻辑形容枯槁、惨不忍睹。人们伤心地看到，数学中包括错误的证明，推理的漏洞，还有稍加注意就

能避免的疏忽, 这样的大大小小的错误比比皆是。此外, 还有对概念的不充分理解, 不清楚逻辑所需要的原理, 在某些已经给出的证明中, 直觉、实证和借助于几何图形的证明取代了逻辑的证明。等等, 等等。诸如此类, 不一而足。

如果说数学的基石是逻辑推理, 那么物理学的基石就是事实, 虽然事实也需借助于逻辑推理才能正确地理解, 但逻辑推理在物理学中毕竟是第二位的。按理说, 和数学相比, 物理学更容易出现逻辑错误, 但物理学家们对“过去的物理学”却并未经过数学家们对“过去的数学”那样的大扫除。这就不难理解“过去的物理学”会有“比比皆是”的各种失误。

关于经典物理学的失误, 我们将另文详述, 本文将重点考察有关的思想方法的问题。

3. 形而上学的恐惧

首先, 我们回到辐射量子论的两个前提, 考察其中的第二个前提: “单个量子的辐射是一个‘瞬间事件’”。这个前提有两种可能的理解: 第一, 就像牛顿把“质点”看作是一个没有大小、没有形状只有“位置”和“质量”的抽象物体一样, “瞬间事件”似乎一个被我们看作是只用“位置”、“时刻”和“效果”来描写的抽象过程。按照这种理解, 正如牛顿力学的“质点”只不过是一种观念的产物, 其现实原型仍然是一个有限大小的物体一样, “瞬间事件”也是一种观念的产物, 其现实原型仍然是一个有限的连续过程, 虽然极为短暂, 但毕竟有始有终, 只是由于没有足够精密的仪器, 我们才不能通过测量知道这个过程的细节。第二, 单个量子的辐射是一个绝对的“瞬间事件”, 它在时间轴上是一个几何点, 无论我们的仪器有多么精密, 都不能测出它的起点和终点有所不同。

归根到底, 普朗克公式是从实验得出的, 而实验结果则是用当时的仪器测出的, 有一定的误差范围。因此, 仅仅根据以往的经验, 我们只能从普朗克公式得到上面的第一个命题: “单个量子的辐射仍然是一个有限的连续过程。”根据这一命题, 物质与辐射场交换能量实质上仍然是连续的。因此, 如果说辐射量子论“根本违反”经典物理学是因为它破坏了“自然界的连续性”, 那么它实际上并没有推翻了经典物理学; 它只不过表明: 自然界的连续性具有更精细的结构。

然而, 当时人们普遍接受的却是上面的第二个命题: “单个量子的辐射是一个绝对的瞬间事件。”因为只有面对这一命题, 人们才会感到辐射量子论“推翻了自牛顿以来 200 多年曾经被认为是坚固不可摧毁的经典世界, 彻底改变了自古以来人们对世界的最根本的认识。”

还有一件事说明这里的第二个命题如何深入人心: 1913 年, 波尔的原子理论问世, 不论这个理论如何演进, 它有一个万变不离其宗的中心点: 一个“量子”的发射是单个原子经历一次“跃迁”的结果, 在这一过程中, 原子从一种状态过渡到另一种状态, 同时发射一份光波。波尔理论的这个不变的中心点正是“发光的量子性源于光源的原子性”。在波尔理论问世之后, 大部分的物理学家接受了“量子跃迁”的概念, 但薛定谔却是例外, 他坚持“自然无跳跃”的哲理, 拒绝接受“量子跃迁”。他甚至说: “要是必须承认这该死的‘量子跃迁’, 我真后悔卷入到量子理论中来。”后来薛定谔果真因此而离开了量子物理学的队伍。在这里, 坚持“量子跃迁”的一方和反对“量子跃迁”的一方心里想的都是: “‘量子跃迁’是一个绝对的瞬间事件”, 可见这一命题如何深入人心。尽管如此, 这一命题却不是来自经验, 而是来自观念, 按照当时流行的用语, 它来自所谓“形而上学”。在这种意义下, 当年物理学家们对辐射量子论表现的恐惧。乃是一种“形而上学的恐惧”。

然而, 形而上学这一用语容易引起误解, 因为它有相互关联却不容混淆的两种含义。

“形而上学”的原意是对于人类思想特性的研究, 称为“第一哲学”, 和哲学的其他部分不同的是, 它是“非实证的”。后来哲学的其他部分逐步被实证科学所取代, 形而上学就一般地被理解为哲学。在这种意义

下，“形而上学”就以它的“非实证性”与实证科学的“实证性”相对立。

牛顿早就警告说：“物理学，当心形而上学啊！”在这里，牛顿所说的形而上学就是指哲学，因此他的警告可以理解为：物理学不需要哲学，只有拒哲学与千里之外，物理学才能保持正确的发展方向。

对于物理学祖师爷的这一警告，哲学之王黑格尔有过颇为不敬的评语。大意是说：按照牛顿的意见，只有禽兽才是纯粹的物理学家，因为只有禽兽才不思考。而人却会思考，是天生的形而上学家！

形而上学这一用语的另一种含义是指一种思想方法。恩格斯在《反杜林论》一书的《概论》一节中写道：

“在形而上学者看来，事物及其在思想上的反映，即概念，是孤立的，应当逐个地和分别地加以考察的、固定的、僵硬的、一成不变的研究对象。他们在绝对不相容的对立中思维；他们的说法是：‘是就是，不是就不是；除此之外都是鬼话。’在他们看来，一个事物要么存在，要么不存在；同样，一个事物不能同时是自己又是别的东西。正和负是绝对相互排斥的；原因和结果也同样是处于固定的相互对立中。”

同样，按照形而上学的思想方法，连续就是连续，不连续就是不连续，两者是绝对不可相互逾越的。既然在黑体辐射过程中，辐射场的能量跳跃地、一份一份地增加，物质的辐射过程就是绝对不连续的，从而单个量子的辐射就是一个绝对的瞬间事件。

连续性与不连续性是不是绝对不可相互逾越呢？让我们先看一看一个日常生活的例子：我们当我们用一个三维的连续函数来描写“雾”在空间的浓度时，实际上是把雾在空间的分布看作是连续的，但事实上雾却是由点状的“雾珠”组成的，从而是离散的、不连续的。再进一步，当我们观察单个雾珠时，又发现雾珠本身仍然是一个连续体。于是我们得出结论：“连续的雾是由离散的雾珠组成；而雾珠本身又是连续的。”

同样，从我们对辐射量子论的考察可以得出结论：过去人们把辐射过程看作是连续的，只因为这种过程完全是由跳跃组成的；另一方面，组成辐射过程的跳跃本身又是连续的。辐射量子论所揭示的这种连续性与不连续性之间的关系虽然微妙，但它只不过把上面关于雾的结构从“物体的连续性”延伸到“过程的连续性”而已。从这两个例子我们看到，连续性与不连续性的对立并非绝对不可逾越，相反，它们原来是相互渗透的。

这种“相互渗透”乃是自然界与概念中的一切对立的普遍特征，研究这种特征的规律称为“辩证法”，对应的哲学则称为“辩证哲学”。

形而上学者不掌握“辩证法”，他们的思想方法与辩证法的思想方法相对立。因此“形而上学”又以其“非辩证性”与“辩证哲学”相对立。

对于牛顿的上述警告，恩格斯也在某处说过：这个警告是完全正确的，不过是在另一种意义下。按照恩格斯的用语，他说的是应该把牛顿警告中的形而上学理解为“非辩证的”，而不是“非实证的”。

总之，与牛顿的意见相反，黑格尔和恩格斯都认为：问题不在于物理学需要不需要哲学，而在于需要怎样的哲学。实际上物理学正在受一种极为糟糕的哲学支配，如果不及时掌握辩证哲学，物理学早晚会误入歧途。物理学后来的发展证明，黑格尔和恩格斯不幸而言中了。

4. 偶然性是两个事件之间的关系

根据辐射量子论，连续性与不连续性的相互渗透可表成如下两个命题：

第一，自然界的连续过程完全是由跳跃组成的；

第二，组成连续过程的跳跃本身也是连续的。

从这两个命题我们看到：自然界的过程既是连续的，也是不连续的。

连续性与不连续性的相互渗透只是“对立的相互渗透”这一普遍规律的特例，为了进一步了解这一规律，让我们考察“偶然性与必然性”这一对范畴，这是更常见的而且哲人们更感兴趣的一对范畴。

设想有一位射手练习打靶，他发射的每一发子弹都落在靶上某处。当靶上的子弹多了，就会形成某种分布。人们说：

A 大量子弹形成这种分布是必然的；但单颗子弹恰好落在靶上某处则是偶然的。

这种说法对不对呢？

在回答这一问题之前，先考虑一个更熟悉的例子：《说唐》中有一个少年英雄，叫罗成，他父亲叫罗艺。他们的父子关系可表成：

B 罗成是儿子，罗艺是父亲。

在这一表述中有两个命题：一个是“罗成是儿子”，另一个是“罗艺是父亲”。这两个命题诚然没错，但只有在它们的相互关系中才成立，如果把其中的一个孤立起来，它就没有意义了。就说罗成吧，他不仅是罗艺的儿子，而且还是罗通的父亲。因此，要问罗成到底是儿子还是父亲，先得指定是对谁而言，如果不指定，我们就只好说：“罗成既是儿子，又是父亲。”同样也可以说：“罗艺既是父亲，又是儿子。”

回到射手练习打靶的问题。如果单独考察某一颗子弹，那么，考虑到这颗子弹射出时的角度，当时的风向和其他条件，它恰好落在靶上该处就是必然的。另一方面，射手发射大量子弹，肯定会形成一定分布，但如果这位射手再发射同样多的子弹，还会形成一个分布，与前一个分布大同小异。这“小异”的存在就表明它与前一个分布不同，于是他第一次发射大量子弹恰好形成那样的分布也是偶然的。于是我们得出结论：单颗子弹恰好落在某处既是偶然的也是必然的；大量子弹形成某种分布既是必然的也是偶然的。由此可见，命题 A 中的两个命题也只在它们的相互关系中才有意义。

一颗子弹在空中飞行遵循牛顿定律，在这种意义下它落在靶上某处具有“动力学的必然性”，只是因为大量子弹在靶上的落点形成一定分布，这颗子弹恰好落在该处才显得是偶然的；大量子弹的落点在靶上形成某种分布服从统计规律，显示出“统计的必然性”，只是因为与另一大同小异的分布相比，这些子弹恰好形成这种分布才显得是偶然的。可见一件事情可以单独呈现出必然性，但只有和另一件事对比才能呈现出偶然性。由此我们得出结论：偶然性不是一件事情的属性，而是两件事情之间的关系。

设想在一个孤岛上住着渔民两父子，儿子从没有离开过小岛，他根据自己的经验得出结论：世界上有两种人，一种人是父亲，他们每天出海打鱼；另一种人是儿子，他们在家作饭补网。如果你对这个岛上的男孩说，一个人既是儿子又是父亲，他肯定无法理解。

孤岛上的这位男孩的困惑，是因为他以为父亲或儿子是一个人的属性。同样，人们不理解一件事情既是必然的又是偶然的，也是因为他们把偶然性当作一件事情的属性了。这个男孩的片面性很容易克服。当他走出小岛，见过更多的世面，就会知道事情的真相。可是对于偶然性的片面理解，就不那么容易克服了。如果我们翻开任何一本哲学教程（例如艾思奇的《大众哲学》），总会得到这样的教导：“世界上有些事情是必然的，有些事情是偶然的”，这就像那个孤岛上的男孩说“有些人是父亲，有些人是儿子”一样。这些哲学教程的作者，比那个男孩也高明不了多少。

命题 B 明确表述了一个事实：在罗成和罗艺所属的家庭中，罗成与罗艺之间有父子关系，从而处于不同的地位。随后我们进一步认识到：罗成既是儿子也是父亲，而罗艺既是父亲也是儿子。这样，我们诚然摆脱了命题 B 的片面性，但由命题 B 所表现的罗成与罗艺的父子关系也被抹煞了。那么，当我们认识到命题 B 的片面性以后，用什么方式表现罗成与罗艺在家庭中处于不同的地位这一事实呢？

一个家庭有“辈分”之分。尽管罗成既是儿子也是父亲，罗艺既是父亲也是儿子，但命题 A 表明：罗成

是罗艺的儿子，因此在罗成与罗艺的相互关系中，罗成比罗艺低一辈。正是这个“辈分”，规定了一个家庭乃至一个家族的伦常关系。

同样，尽管自然界的每一件事情都既是偶然的，也是必然的，从必然还是偶然的角度来看，各种事件并不因此而处于同一地位。在射手打靶的例子中，尽管单颗子弹恰好落在靶上某处是必然的；大量子弹形成某种分布也是必然的。但前者是动力学的必然性，后者是统计的必然性，它比动力学的必然性高一个“等级”。我们说“单颗子弹恰好落在靶上某处是偶然的”，仅仅说明一个问题：相对于较高级的必然性，较低一级的必然性就成了偶然性。

家庭成员的“辈分”之分，必然性的“等级”之分，都是人类社会或自然界的“层次结构”的特例。历史上的许多科学疑难，都与这种“层次结构”有关。下面我们将考察两个脍炙人口的科学疑难：数学中的“悖论”与物理学中的“热寂说”。

5. 悖论

英国哲人波普尔反对辩证法，其理由是，逻辑学已经证明：

C 如果一个形式体系有一对矛盾，从它就可以导出任何结论。

从而对于一个推理过程，只要在我们的前提中有一对矛盾，整个逻辑推理就失去了意义。而辩证法的却以矛盾普遍存在为前提，因此辩证法是荒谬的。

反对辩证法的人很多，但大多数反对者并不提出任何论据，他们只说“辩证法是胡说八道”，“辩证法荒谬绝伦”，等等，对于这种反对意见，我们即使想反驳，也无从入手。波普尔这个反对辩证法的意见倒是有理有据，实在难能可贵。下面是我们对这个意见的回答。

首先，波普尔的命题 C 是对一个给定的形式体系而言的，这个形式体系就划定了一定的范围。因此，从波普尔的论据只能得出结论：排斥矛盾的推理方式可以在一定范围内适用。

关于这一点，恩格斯早已说得很清楚（见《反杜林论》一书的《概论》一节）：

D 形而上学的思维方式，虽然在相当广泛的、各依对象的性质而大小不同的领域这是正当的，甚至是必要的，可是它每一次都迟早要达到一个界限，一超过这个界限，它就要变成片面的、狭隘的、抽象的，并且陷入不可解决的矛盾。

如果把命题 D 中的“形而上学的思维方式”理解为“排斥矛盾的推理方式”，则按照这一命题，从命题 C 得出结论不是“辩证法是荒谬的”，而是“如果超出该形式体系的界限，形而上学的思维方式就难免陷入不可解决的矛盾之中。”

人们会立刻得出结论：只要构造一个无所不包的形式体系，它能导出一切“正确的结论”，就彻底地排除矛盾了。然而，先不说构造这样的形式体系在实践上有多么困难，逻辑学已经在原则上否定了这种可能性。哥德尔定理断言：任何形式体系都不可能导出所有的“正确的结论”。

那么，能不能退而求其次：对于一个给定的领域，给出一个足够大的形式体系，使得该领域中的一切“正确的结论”都能从这一形式体系导出呢？这样做会遇到另一方面的困难：根据集合论，只要形式体系复杂到一定程度，矛盾就会在其内部涌出，这就是所谓“罗素悖论”。

既然辩证法以矛盾普遍存在为前提，按照辩证哲学，集合论要不要排除“罗素悖论”呢？回答是必须排除。因为，“罗素悖论”不是辩证法意义下的矛盾，而是面对辩证法意义下的矛盾时，“形而上学的思维方式”难免遇到的“不可解决的矛盾”，这种矛盾就是人们常说的“逻辑上的自相矛盾”。

那么，什么是“辩证法意义下的矛盾”，什么是“逻辑上的自相矛盾”呢？从辐射量子论我们得出的结论：

“自然界的过程既是连续的，也是不连续的”，这是辩证法意义下的矛盾。但是，只要给出一定条件，就能确定某一过程到底是连续的还是不连续的。例如，如果用 S 表示条件“考虑到一个物体的辐射是它的诸原子的辐射的迭加，并把单个原子的辐射看作是一个瞬间事件”，则从辐射量子论我们能确切地断言：在 S 条件下，物质辐射是一个不连续过程。如果谁说“在 S 条件下，物质辐射是连续过程也是不连续过程”，那就是逻辑上的自相矛盾了。

更简单的例子是：“罗成是儿子也是父亲”，这是辩证法意义下的矛盾；但如果有人说：

E 罗成是罗艺的儿子，又是罗艺的父亲。

那就是逻辑上的自相矛盾了。

一个家庭有“辈分”之分，“罗成是罗艺的儿子”这一前提决定罗成比罗艺低一辈，而只有比罗艺高一辈的人才能成为罗艺的父亲，因此，在“罗成是罗艺的儿子”的前提下，罗成不可能是罗艺的父亲。因此，命题 E 说的这种荒谬的事情不可能在现实中出现。

现在考察“罗素悖论”。

“集合”与“元素”是“集合论”中的对立范畴。在“5 是一个自然数”这一命题中，自然数是一个“集合”，而在命题“自然数是一个数集”中，自然数却是一个“元素”。所以“自然数既是一个集合，又是一个元素”这句话并不自相矛盾，但正如命题 D 自相矛盾一样，在集合论中，如果出现命题：

F 5 既是自然数的一个元素，又是自然数的一个集合。

那也是自相矛盾的。如果集合论不能预先排除像这样的命题，就不能保证其形式体系的“无矛盾性”。

这一浅显的道理，开始并未引起研究集合论的数学家们的注意，他们没有认识到必须为集合论给出某种规定，以保证它不出现命题 F 那样的命题，结果是英国数学家罗素果然发现了集合论是自相矛盾的，即出现了“罗素悖论”。

“悖论”在古希腊的时代就已经出现，人们一直以为它们与数学无关。然而“罗素悖论”却动摇了数学的基础。这一悖论可表述如下：我们可以把集合分成两类，一类是属于自身的，即自己是自己的元素，另一类是不属于自身的。设 L 是由所有不属于自身的集合组成的集合，那么，L 是否属于它自己呢？若 L 属于它自己，则 L 属于 L，依 L 的定义，属于 L 的元素都应该不属于自己，于是 L 应该不属于自己；反之，若 L 不属于它自己，则 L 不属于 L，依 L 的定义，不属于 L 的元素都应该属于自己，于是 L 应该属于自己。这样，不论假定 L 属于自己还是不属于自己，都将导致矛盾。

“罗素悖论”的出现所引起数学家们的惊震，或许并不亚于辐射量子论所引起的物理学家们的惊震。例如，那时德国数学家弗雷格正在写他的主要著作《算术基本法则》，他尝试用集合概念来定义数，并自认为这一任务已大致完成。然而就在这时候，他收到了罗素的一封信，其中的主要内容就是“罗素悖论”，这一信息对弗雷格的整个事业是一个毁灭性的打击。用弗雷格自己的话来说，“在工作已经结束时，自己建造的大厦的一块主要基石却动摇了，对于一个科学家来说，没有比这更让人沮丧了。”

幸运的是，这一问题被罗素自己解决了：正如在一个家族之中成员有“辈分”之分一样，在一个集合论的形式体系之中，集合有“类型”之分。在罗氏家族中，虽然罗成与罗艺都既是儿子也是父亲，但命题 B 给出的“父子关系”规定了罗成比罗艺低一辈。同样，在一个形式体系中，“5 是自然数的一个元素”这一命题规定了 5 属于比自然数低一级的类型。有了这一规定，并排除那些不符合这一规定的“不合法的命题”，就不仅排除了像命题 E 这样显而易见的自相矛盾，而且也一般地排除了“罗素悖论”，推理如下：

如果 T 是 L 的元素，则 T 的类型比 L 的类型低一级，但 L 不可能比 L 自身低一级，因此“L 是自身的元素”是一个不合法的命题，于是“罗素悖论”的表述中的“以自身为元素”的集合就是不合法的集合，从而

在排除了不合法命题的形式体系中，“罗素悖论”就不再出现。

当“罗素悖论”出现时，数学家们感到“祸从天降”，他们从来也没有把它追溯到像命题 E 这样显而易见的自相矛盾，从而没有弄清楚“罗素悖论”从何而来。现在，他们又满足于给出一些限制，避开“罗素悖论”的出现，也不考虑这种限制能不能保证将来不再出现悖论。这种“头痛医头，脚痛医脚”的克服危机的方式，说明数学家们还远没有自觉地掌握辩证法。

6. 热寂说

热寂说是 19 世纪中期英国物理学家开尔文和德国物理学家克劳修斯根据热力学第二定律所作的宇宙学推论，其大意是：整个宇宙是朝着单一的方向变化的。宇宙中一切机械的、电磁的、化学的、生命的等等各种运动形式的能量，最终将全部转化为热能。而热又总是自发地从高温部分流向低温部分，直至到达温度处处相等的热平衡状态为止。按照克劳修斯的说法，“宇宙的熵趋向于极大。宇宙越是接近于熵极大的极限状态，进一步变化的能力就越小；如果最后完全达到了这个状态，那就任何进一步的变化都不会发生了，这时宇宙就会进入一个死寂的永恒状态。”

某些反对热寂说的人曾经提出如下论点：热寂说是把热力学第二定律应用于整个宇宙得出的结论，而从有限世界得出的热力学第二定律不适用于无限的“整个宇宙”。这种论点似乎并没有驳倒热寂说，首先，如果说“热力学第二定律适用于整个宇宙”失之武断，那么相反的结论“热力学第二定律不适用于整个宇宙”也还有待证明。其次，就算承认热力学第二定律确实不适用于无限的“整个宇宙”，热寂说也不会因此受到实际的限制。人们还是可以从它得出宇宙各个有限部分会走向热寂的结论。例如，我们的银河系是有限宇宙，它会走向热寂；包括银河系和大量河外星系在内的“星系的星系”也是有限宇宙，也会走向热寂；还有“星系的星系的星系”也会走向热寂，等等。如果一个人因为热寂说而苦恼，那么这种“宇宙各个有限部分都会走向热寂”的结论也不会使他开心。

热寂说曾经一度掀起轩然大波，但自从相对论与量子力学问世以来，似乎沉寂了一段时间，直到新的宇宙学说兴起才再次把它推向前台。新的宇宙学说也得出与开尔文和克劳修斯类似的结论，有人称这种结论为“‘倒了头’的宇宙热寂说”。它改变了热寂说的形式，却同样导致“整个宇宙正在不可避免地走向自己的末日”的结论，而热寂说的实质正是这一结论。

这一结论可以追溯到亚历斯多德的时代，按照亚历斯多德的物理学，万物之所以运动，是因为它们都有走向自己的“自然位置”的趋向。人们难免会问，有朝一日万物都达到了自己的自然位置，这个世界不就静止下来了吗？热寂说只不过在新条件下，用新的用语提出了这一古老的问题。

恩格斯曾经在《自然辩证法》一书的《导言》中批判热寂说，这个批判以其广阔的视野，过人的文采，以及其雄辩的论据甚至让是反对他的学者们也为之折服。然而，恰好在这里，我们看到了这位一代宗师的局限性。

恩格斯这样描述了地球的末日：

“……地球，一个像月球一样的死寂的冷冻了的球体，将在深深的黑暗历沿着愈来愈狭小的轨道围绕着同样死寂的太阳旋转，最后就落到它上面。其他行星也将遭到同样的命运，有的比地球早些，有的比地球迟些；代替安排得和谐的、光明的、温暖的太阳系的，只是一个冷的、死了的球体在宇宙空间里循着自己的孤寂的道路行走着。我们的太阳系所遭遇的命运，我们的宇宙岛的其他一切星系或早或迟地都要遭遇到，其他一切无数的宇宙岛的星系都要遭遇到……”

这里，恩格斯所描写的是当时人们的认识，现在人们已经有了不同的认识：太阳系确实有自己的末

日，但不是这样的末日。对于我们所考察的问题，这一点并不重要，重要的是：恩格斯的思路可以归结为如下三个命题：

第一，银河系中的每一颗恒星都是有限物，从而都会死亡。

第二，银河系也是一个有限物，它也会死亡。

第三，当银河系的每一颗恒星都死亡时，就是银河系的末日。

恩格斯的这种观点正是热寂说的要害，下面我们将批判这种观点。先考察另一个领域中的例子。

我们知道，处于“激发态”的单个原子总是倾向转移到“基态”。如果一个原子处于寂静的天空，它或许可以在某一激发态滞留几百天，但终究会达到基态，以后只要没有外界干扰，它就会永远滞留在基态。用亚历斯多德的话来说，基态乃是原子的自然位置，原子总是倾向于走向自己的这一自然位置，这是一种不可逆的进程。另一方面，如果大量相同的单原子分子形成气体，则这些原子的状态经过相互碰撞会形成某种分布，这种分布乃是气体的自然位置，这又是一种不可逆的进程。这里有一个明显的事实：当这种气体达到它的平衡状态时，它的诸原子的状态分布并不是每一个都处于基态。

现在我们转向天体。像太阳这样的恒星的演化有一定方向，按照宇宙学（其中的一种观点），它们最终要演化成成为白矮星或中子星这样的星体残核。这种星体残核乃是恒星的演化的自然位置。另一方面，像银河系这样的“宇宙岛”，其中的诸恒星的状态也会倾向于形成某种分布，这种分布乃是该宇宙岛的自然位置。同样明显的事实是：当一个宇宙岛达到平衡状态时，它的诸恒星的状态分布并不是每一个都成了星体残核。

无论是开尔文和克劳修斯的热寂说还是现代的“倒了头”的宇宙热寂说都可以表述为：“整个宇宙将达到其自然位置”，它们的差别仅在于对自然位置的理解不同。但我们已经看到，宇宙分为一些层次，它的各个层次各有其自然位置，特别是我们的太阳系和太阳所属的银河系这两个相邻的层次并没有共同的自然位置，因此不可能有“整个宇宙的自然位置”。

宇宙的各个层次走向其自然位置的趋向都是一种不可逆性。热力学第二定律所表述的不可逆性只是其中的一种，这种不可逆性适用于从气体的诸原子走向对应于气体平衡状态的状态分布，到恒星走向星体残核这一广阔领域（这个领域似乎可以用玻尔兹曼常量来表征）的一切过程。但它不能描写单个原子走向基态的不可逆趋向，也不能描写银河系诸恒星走向对应于整个宇宙岛的平衡状态的状态分布的不可逆趋向。因此，热力学第二定律所表述的不可逆性不适用于“整个宇宙”。

综上所述，我们得出结论：“宇宙的每一个层次都在走向自然位置，但各个层次走向自然位置的不可逆趋向相互冲突、相互制约，因此任何一个层次都不可能一直滞留在自然位置。”

因为对于不同层次，自然位置（即“死寂的永恒状态”）的含义不同，因此从一个层次来说，某物走向自然位置的运动，从另一层次来说，就是该物离开自然位置的运动。因此，如果不指明是相对哪一个层次而言，该物的运动就既是走向自然位置的运动，也是离开自然位置的运动。在这种意义下，

G 万物都在走向自然位置，又都在离开自然位置。

然而，恩格斯在《导言》中却认为星系（例如银河系）的末日将是诸恒星（例如太阳）的先后死亡。他写道：“曾经有一个时期，我们的宇宙岛的物质……发展出两千万个星的种种太阳系，而这些太阳系的逐渐灭亡同样是肯定的。”从而为如下问题所苦恼：“辐射到太空中的热怎样才能重新集结和活动起来？”这一苦恼的根源就是如下错误的命题：“当银河系的每一颗恒星都死亡时，就是银河系的末日。”

从这个例子我们看到，恩格斯也有失误的时候。

然而，恩格斯毕竟是一代宗师，在面对热寂说时，他随着那个时代的顶尖学者一起误入歧途，但在离

开这一专题时，却在无意间提供了解决问题的途径。恩格斯在另一个地方曾经写道：“个别运动趋向于平衡，而整体运动又破坏了个别的平衡。”，如果再补充一句：“整体运动破坏个别的平衡，是为了达到整体的平衡。”就是对我们的命题 G 的阐述。例如，气体中的每一个原子趋向于达到基态，但气体为了达到整体的平衡，即它的诸原子达到与气体的平衡状态相对应的状态分布，不得不破坏每一个原子都走向基态的趋向。同样，我们银河系的每一颗恒星趋向于走向星体残核，但银河系为了达到整体的平衡，即它的诸恒星达到与银河系的平衡状态相对应的状态分布，不得不破坏它的诸恒星先后都走向星体残核的趋向。

由此可见，在恩格斯的著作中还有许多宝藏等待我们去开发。

7. 结束语

从上面考察的诸问题从各种角度为恩格斯的命题 D 提供了例证：当某一问题超过什么界限时，人们会遇到什么矛盾，形而上学的思维方式怎样使他们陷入困惑，而辩证法又怎样解除困惑。

孤岛上的男孩对“一个人既是儿子又是父亲”一事感到困惑，但只要走出孤岛，他用不着学习哲学，就会很快就会摆脱这种困惑。

“必然性与偶然性”是辩证法中的主要范畴之一，但学者们似乎并未从自己的专门领域接触到“一件事情既是必然的又是偶然的”这一事实，从而未曾在这里感到困惑。更糟糕的是，哲学家们似乎也从来没有为此感到困惑，他们颇为惬意地写书教导读者们：“世界上某些事情的必然的，另一些事情则是偶然的。”

数学家们倒是一开始就知道“一个对象既是集合也是元素”的事实，他们的困惑来自这一事实引起的“不可解决的矛盾”。他们的起点较高，也自己解决了问题。可惜的是，他们似乎从来没有走出自己专门领域的狭小范围。

物理学家至今不知道对于不同层次，自然位置（或“死寂的永恒状态”）具有不同的含义，因此不明白热寂说的困扰来自命题 G。这一隐秘的矛盾困扰了物理学一百多年，许多人前仆后继地寻找出路，可至今还不知路在何方。幸运的是，由于热寂说涉及的是大尺度的时空范围，它所引起的困惑，并没有引起迫在眉睫的危机。

真正使物理学陷入不可解决的矛盾之中的还是普朗克的辐射量子论。“量子”的问世使物理学家们劈头遇到了“一个过程既是连续的也是不连续的”的事实，从而把自然界的辩证性质以极端的形式展现出来，不容躲闪，不容回避。不幸的是，面临如此危机时物理学的情况却糟糕到了极点：一方面，经典物理学已经积累了大量的错误，有如奥吉亚斯的牛圈积累了大量的牛粪。另一方面，由于物理学家们一直坚持着一种极为狭隘的思想方法，并且为此而固步自封、自鸣得意。

在物理学之外，情况又怎么样呢？

数学家们诚然已经对过去的数学作了初步的大扫除，从而不再像物理学那样到处都是极为初等的错误，但从他们对“罗素悖论”的惊慌可以看到，他们也远没有掌握辩证法。

再看看哲学方面的情况。黑格尔的《逻辑学》虽然集辩证法之大成，但这一著作对物理学家们无异于“无字天书”。恩格斯诚然把黑格尔的辩证法大大地通俗化了，但也远没有被广大的物理学家们所接受，从恩格斯对热寂说的批判我们看到，即使他能活到 1900 年以后，凭他对物理学和辩证法的认识，也未必能立刻解除危机。更不幸的是，早在 1895 年，这位人类思维的 sky 中的巨星就已经陨落。

由此可见。无论从物理学自身还是从它的外部条件来看，“量子”的问世都预示物理学将大难临头。

Planck's Radiation Quantum Theory and Physical Crises

Tan Tianrong

Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China
ttr359@126.com

Abstract: In this article, Planck's radiation quantum theory is traced back to two following premises: Firstly, the radiation of material is the radiant superposition of each atom. Secondly, any radiation of a single atom is an instant event. Therefore, Planck's radiation quantum theory is brought into the frame of classical physics again. After that, the infiltrations on each other for continuity and discontinuity are revealed. With the examples of the generation in family and the grade in necessity, the administrative structures in nature are pointed out. Finally, starting from these structures, two knotty problems in science are examined: the antinomy in mathematics and the theory of heat death in physics. To sum up, it is indicated that physics would face to imminent disaster because of the appearance of quantum. [Academia Arena, 2010;2(2):33-43]. (ISSN 1553-992X).

Key words: classical physics; radiation quantum theory; continuity and discontinuity; metaphysics; positivism philosophy; dialectics; contingency and necessity; administration structure; antinomy; heat death theory