

物理学咬文嚼字之四十六

Oh, Paradoxes

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

No progress without a paradox¹⁾.

——John Wheeler

Take away paradox from the thinker and you have a professor²⁾.

——Soren Kierkegaard

摘要 Paradox 在中文物理学文献中被翻译成悖论或者佯谬,武断了点,不足以传达 paradox 的真实含义. Paradox 一直伴随着人类的认识进程,芝诺佯谬、孛生子佯谬、EPR 佯谬、理发师佯谬等是数学和物理绕不开的话题. 与 paradox 意义相近的词有 dilemma, antinomy 和 catch-22 等.

我们生活的世界是个非常吊诡的世界,猫鼠同穴,警匪片中的警匪常常是一家,战争贩子获得诺贝尔和平奖,前些年甚至还有一帮子曾是中国人外国人格外热心地打造建国献礼大片. 这些诡异的、看起来 paradoxical 的事情,对于心地率直的民众来说实在是不好理解. 其实,paradox 不光日常生活里有,哲学、数学和物理学中也不乏 paradox 的影子^[1],而且更考验理解力, Wheeler 老先生甚至认为 paradox 的解决是知识进步的途径. 就物理学而言,这话我信.

Paradox, 来自拉丁语 para+doxa, para 的英文意思是 a going beyond, by the side of; doxa 的英文对应为 opinion, 就是观点. 一些带 doxa 的词好理解, 如 orthodox (正统的)、heterodox (异端的), 但是 paradox 的意思却不易把握. 带 para 的词意思都不好理解, 如 parahydrogen (仲氢), 再如下句 “Every spacetime is paracompact. This property, allied with the smoothness of the spacetime, gives rise to a smooth linear connection, an important structure in general relativity” 中的 paracompact (仿紧的), 英文和中文译文一样难懂, 理解它们的唯一途径是学习它们使用的语境, 看看它们到底在说啥. 按 Webster 大字典的解释, paradox 是 a statement contrary to common belief, a statement that seems contradictory, a statement that is self-contradictory (即同常识矛盾的表述、看似矛盾的表述、以及自我矛盾的表述), 总是和矛盾扯在一起. 那些

看似矛盾或者不自洽的人、事和物也都可以称为 paradox. 欲速则不达讲的是一个 paradox; 大地既生长万物, 亦埋葬万物, 则大地就是个 paradox 或具有 paradox 的存在 (The paradox of earth is that it cradles life and then entombs life).

既然 paradox 总和 contradiction 挂钩, 不妨从中文的矛盾讲起. 《韩非子·难一》中故事云: “楚人有鬻盾与矛者, 誉之曰: ‘吾盾之坚, 物莫能陷也.’ 又誉其矛曰: ‘吾矛之利, 于物无不陷也.’ 或曰: ‘以子之矛, 陷子之盾, 何如?’ 其人弗能应也.” 矛与盾之间, 生来就是互为对象的对立物³⁾, 故用来翻译 contradiction (相逆之言) 较为合适. 但如果把 paradox 也基于矛盾的形象来理解, 难免有失偏颇.

注意《韩非子》是将矛盾的故事归于“难”处的. “物莫能陷”的盾与“物无不陷”的矛(图1), 两种说法若都成立, 逻辑上存在困难, 最重要的是不符合现实 (reality). 两难的境界是常见的, 汉语常把 dilemma 翻译成左右 (进退) 两难或者困境, 这

1) 没有悖论, 就没有进步. ——笔者注

2) 抽掉悖论, 思想者不过教授耳. 出此言者为丹麦哲学家, 汉译其名为克尔凯郭尔, 但我印象中丹麦语 gaard 的发音类似高德. ——笔者注

3) 我猜测矛比盾出现的要早. 矛和盾互为依存, 但未必能成就对方的存在. 除了在极少数原始部落之外, 矛和盾如今至少作为武器是消失了的, 不是它们中的一个消灭了对方, 而是新事物的出现消灭了它们俩. 了解这一事实, 或许对理解某些哲学和科学争论有益. ——笔者注



图1 “物莫能陷”的盾与“物无不陷”的矛构成了 contradiction

dilemma似乎和如何理解 paradox 有关。Dilemma = two + lemma, 即两种主张, 不过两种主张都是 unfavorable(不利的) or disagreeable, 因此是两难境界, “being on the horns of a dilemma, neither horn being comfortable (处于dilemma的犄角上, 但哪只犄角都不让人舒服)”。另一个有关的词是 antinomy(反十名), a contradiction or inconsistency between two apparently reasonable principles or laws, or between conclusions drawn from them(两个看似合理的原理或定律, 或是自它们得到的结论, 之间的矛盾或者不自洽的地方), 意思同 paradox 较近, 汉译干脆说是“自相矛盾”。Antinomy 有时和 paradox 混用, 罗素悖论(Russell's paradox)也叫 Russell's antinomy^[2]。

Paradox 在一些数学和逻辑文献中被翻译成矛盾命题, 在中文物理学中被翻译成佯谬和悖论。佯, 假装也, 李白《笑歌行》有句云“今日逢君君不识, 岂得不如佯狂人”, 即此谓也。佯谬, 大约是说其看起来谬而实则不然。悖论, 其中‘悖’字, 意为违背、违逆。近似的词语有悖言、悖理, 就其是“违反逻辑规则或者公式的推理”这个意思来说, 用悖论或者悖理来翻译 paradox, 愚以为比佯谬贴切一些。中文的悖论或者佯谬理解 paradox 不妥的地方是它们的判断性色彩太明显。Paradox 恰恰说的是一种不好判断正误甚至是抽象地部分对、部分错的境地。Wilczek 提到有几年狄拉克和别的物理学家一直在跟一个极为特殊的 paradox 作斗争——怎么一个“明显正确的”方程(指狄拉克方程), 却是灾难性地错误的呢^[3]? 这里的 paradox, 就是说狄拉克方程既有对的地方, 也有错误的地方, 而对与错可能还有一些值得商榷的地方。

生活中处处充满悖论, 在有些地圈你会觉得生活就是个大悖论, 可以想象文化作品中不乏悖论式的表述。运用 paradox 能让表达显得更俏皮, 更智慧, 更有表现力。英国著名诗人柯勒律治的名句“Water, water, everywhere, nor any drop to drink”(出自长诗 The Rime of the Ancient

Marinere(老水手之歌))简直是神来之笔⁴⁾。丹麦学者 Piet Hein 可能是深谙其中三昧, 他甚至创造了一种被称为 grook 的新诗体⁵⁾, 似乎是用来表达悖论的。例如, 其中一首这样写到:

A bit beyond perception's reach
I sometimes believe I see
that Life is two locked boxes, each
containing the other's key

(生活是两个锁着的箱子, 每一个都锁着对方的钥匙)。

另一首名为 Out of time 的小诗是这样写的:

My old clock used to tell the time
And subdivide diurnity
But now it's lost both hands and chime
And only tells eternity

(大意是: 曾经响报晨昏的一只老表, 连指针也没了, 只能静静地诉说永恒)。这样的深刻内容就不是一般的诗了, 我觉得物理学家也要严肃对待。也难怪, 人家作者本身就是著名的哲学家和数学家。有时候, 悖论式的表述更多的是无奈, 如“我过去总以为我是没主见的, 如今连这一点也拿不准了(I used to think I was indecisive, but now I'm not so sure)”, 又如“你要是来到了岔路口, 就岔着走吧(If you come to a fork in the road, take it)”。还有点俏皮, 是不是?

在科学上, paradox 有定义认为是自看似可接受的前提经过看似可接受的推理过程得到不可接受的结论(A paradox can be defined as an unacceptable conclusion derived by apparently acceptable reasoning from apparently acceptable premises)。这个说法可能不妥, “不可接受的结论”未必就不可接受。物理学家 Aharonov 给出了一个比较全面、准确的定义: paradox 是这样的论述, 其开始于看似可接受的假设, 通过看似有效的推理, 看起来是导致了一个矛盾, 但因为逻辑上不承认矛盾, 则要么看起来可接受的假设是不可接受的, 或者看似有效的推导不是有效的, 或者看似矛盾(的结论)本身不是矛盾^[4]。这个定义的优点是, 它还给出了如何消解悖论(resolving the paradox)的方法和突破口。

按照 Aharonov 的说法, 一个 paradox 之所以是

4) 细想想也不算啥悖论, 海水可不就是一望无际却不能饮用吗。——笔者注

5) Grook, 丹麦语为 Gruk, 有人说来自 Grin + Suk(笑+叹息), 但 Piet Hein 本人认为这个词没有出处(had come out of thin air)。Piet Hein 甚至写过不少的哲学 grook。——笔者注

个 paradox,有三种情况.其一,那不过是个错误.一个有名的错误性悖论是所谓的孪生子佯谬:一对双胞胎,其中一个开始空间旅行.按照所谓狭义相对论的 Lorentz 变换⁶⁾,旅行者的时钟相对较慢,则过了若干年后,旅行者归来,其看起来比留在地球上的双胞胎中的另一个年轻多了(图 2).这样的 paradox,严格说来没有什么技术含量,它不过是把不同参照系中的尺度变换错当成了可比较的过程了^[5].基于广义相对论中所谓时空连接的某种理论可能,有人还编排了“回到从前”式的 paradox:因为时空的连接,某人从某个时空点回到了他被孕育前的过去,遇到了他的父亲(或者母亲,或者爷爷奶奶、外公外婆中的某位)并起了冲突或误会,杀死了他的父亲(或者母亲,或者爷爷奶奶、外公外婆中的某位),这样就同他在未来的出现构成了矛盾.我们不知道是否确切有这么个时空连接的地方,我们也不知道经过这个连接点的生物学过程是否可能导致杀死前辈的事件.这种捕风捉影式的联想不在科学范畴.

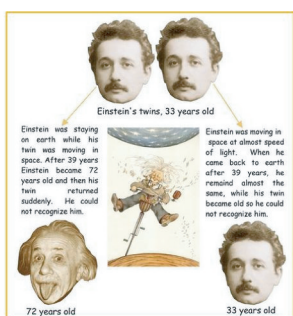


图 2 被传播到泛滥程度的孪生子佯谬

有些 paradox 连错误都不算,不过是个错觉.如 Escher 的名画 Waterfall paradox (图 3),是硬要把地面上的力学常识(水往低处流)同画面上的视觉效果(错觉)调和,这就出现了矛盾.运用 paradox 当然吸引眼球,不失为增强艺术表现力的法门.

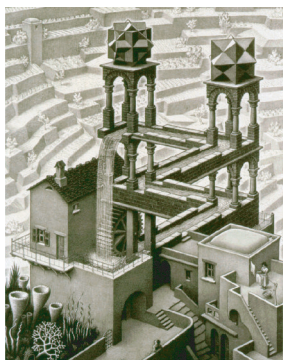


图 3 Escher 的画 Waterfall paradox

出现 paradox 的第二种情况是我们的知识存在 gap 或者 flaw (缺口,缺陷).公孙龙的白马非马论

是中文语境中常提到的一个悖论.如果仔细研究公孙龙的论证过程,以今天的观点会发现它不符合逻辑,因为它恰是出现在逻辑学在中国的发展阶段.因为知识缺口造成的 paradox,会随着知识的发展逐渐消除.一个有名的例子是黑洞熵的概念.当星体(一个多粒子体系,有熵)的引力大到连光都不能逃逸的时候,它就成了一个黑洞,可看作是个单体.按照经典热力学,单体当然没有熵,那么原来的熵哪里去了.黑洞没有熵,这让 John Wheeler 感到很闹心.后来, Bernstein 提出黑洞就是有熵,且只要熵值同其质量的平方成正比,则任何质量的物体落入黑洞,熵值会大于原来的熵之和.这解决了热力学同黑洞之间的矛盾^[4].但是,这种比较 naively 把热力学推广到黑洞的方式带来的问题是,热力学既然对黑洞成立,这个“黑体”就应该辐射.可“黑洞”的定义就是不辐射呀?这就引起了新的矛盾.据说这个矛盾 (paradox) 用 uncertainty principle 就能解决了.把不确定性原理运用到光不能逃逸的黑洞,黑洞就得老老实实满足黑体辐射了^[6].这种解决问题的方式,老实说,笔者于佩服之余,隐隐约约感到有点不那么令人信服⁷⁾.

Paradox 的第三种情况是它真的是一个矛盾 (contradiction). 比如,按照牛顿力学,速度叠加遵循伽利略变换, A 相对观察者的速度是 V_A , B 相对 A 的速度是 V_{AB} , 则 B 相对观察者的速度是 $V_B = V_A + V_{AB}$. 但是, Maxwell 方程组得来的光速与参照系无关,光相对于任何运动着的观察者速度都是 c , 是个常数.爱因斯坦用相对论力学——作为牛顿力学的发展——解决了这个矛盾.当然,相对论带来的关于光速的理解,内容要比相对论速度叠加公式所能告诉我们的要深奥得多⁸⁾.

6) Lorentz 变换不是 Lorentz 得出来的,而是一个姓 Voigt 的法国人先得出的.——笔者注

7) 以笔者的浅见, uncertainty principle 没有这种狗皮膏药的功能,贴在哪里都好使.它本身的表述就漏洞百出,且被广泛地误用(见 2012 年《物理》杂志第 2,3 期刊登的 uncertainty of the uncertainty principle 一文).此外,让一个具有质量和自旋的个体具有黑体辐射的性质,要给它找到一个自洽的量子理论,文字上的 argument 是不足以服人的.别的不说,这个大质量体的量子引力理论同自旋的代数如何自洽起来,就不容易.何况,热力学是以关于能量共轭的形式组织的,而力学,包括量子力学,是以关于作用量共轭的形式组织的(参见 2011 年《物理》杂志第 10 期刊登的《共轭》一文),力学和热力学形式上的自洽这个问题似乎未受到物理学家们的提及,更别提哪年能得到一个自洽的理论了.——笔者注

8) 笔者有一个不成熟的观点:光速 c 毋宁是一个时空连接的参数,它就不该被理解为速度,不该和其它的速度,比如中微子的速度或自行车的速度,相提并论.——笔者注

有了 Aharonov 上述关于 paradox 的分类,再次读到那些数学和物理上的悖论时我们可以作大致的分析. 比如,哲(科)学上的一个重要悖论是芝诺的飞矢不动悖论:如欲让运动发生,物体就必须改变它占据的位置,但在任何时刻(无长度的),箭既不挪向也不挪离它在的地方,即飞矢不动. 芝诺佯谬包含着一个错误,它把时间分成了点,而点的和是构不成线段的. 当然,它也意味着我们认识上的一个 gap,任何时刻箭的位置构成的是坐标空间中的图像,而运动则是切空间里的事情^[7],当然芝诺的时代人们还没有切空间的概念. 芝诺还有一个有名的悖论,即快跑的 Achilles 也追不上乌龟,因为 Achilles 要追上乌龟,就必须先到达和乌龟之间距离的一半;而这期间乌龟又往前走了一些, Achilles 又要追上现在距离的一半,这样一直下去, Achilles 永远也追不上乌龟(图 4). 当然我们都知道连我们也能追上乌龟,别说 Achilles,显然芝诺错了. 但我们若简单地认为芝诺错了,就这么把问题放过去了,那损失可就大了. 这个悖论引导我们更深入地思考时间. 时间要靠事件来定义(a sequence of events),若用 Achilles 到达和乌龟之间距离的一半这个事件作为时间单位,则这个时标中的时间计数趋于无穷大, Achilles 永远也追不上乌龟. 但是,若用咱们的摆钟定义的时标计时, Achilles 追上乌龟所用时间是有限的: $t = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{L}{V_1} \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^m$, 其中 L 是 Achilles 和乌龟之间的初始距离, V_1 和 V_2 分别是使用摆钟时标的 Achilles 和乌龟的速度. 芝诺时标的时间和我们的摆钟时标下 Achilles 追上乌龟的时刻, t' 和 t , 之间可由变换 $t' = \ln[1 - (V_2 - V_1)t/L] \ln(V_2/V_1)$ 得到^[8].



图 4 Achilles 永远追不上芝诺的乌龟

每当物理学上出现悖论的时候,都要求我们认真地加以对待,因为我们可以用悖论增进理解(use paradox to understand)^[9]. 热力学第二定律说热量不会自发地从低温体系流向高温体系,或者说一个体系不会自发地分成低温部分和高温部分. Maxwell 的小妖,一个完全遵守力学定律的家伙,把气体给分成了速度(动能)高和速度(动能)低的两部分,这显然是违反了热力学第二定律. 怎们解决这个 paradox 呢? 其实不用解决. Maxwell 的小妖只是告

诉我们,热力学和力学就不是一路的学问^[4]. 当然,在那个历史时期,有这个见识可不容易.

提到物理学上的悖论,一个绕不过去的悖论是所谓的 EPR-paradox,它源于一个思想性实验⁹⁾. 1935 年, Einstein, Podolsky 和 Rosen 合作发表了一篇文章^[10], 指出若制备了一对处于总动量为零的相干态(entanglement)的粒子,假设它们此后能进入很远的、没有相互作用的距离¹⁰⁾,则可以分别地测量粒子 A 的位置和粒子 B 的动量,粒子 A 的动量也精确地被知道了,这样相当于 simultaneously^[11]精确地测量了粒子 A 的位置和动量. 这说明要么有超过光速的相互作用(spooky-interaction-at-a-distance), 违反相对论,要么可能的测量结果本来就在粒子里,这引出了隐变量理论. Einstein 他们由此得出量子力学是不完备的结论,并由此引发了持续至今的讨论. 那么,粒子的行为到底是该按照量子力学的 entanglement 还是按照隐变量理论来理解呢? 后来, Bell 提出用经典概率必然满足的不等式来检验相干态粒子的行为,发现不满足 Bell 不等式,于是人们得出结论量子力学赢了^[4,12]. 这些所谓检验 Bell 不等式的相干态,不是 $p_1 + p_2 = 0$ 的动量相干态(不好制备),而是两个电子的自旋单态,实验是通过检验粒子自旋态(实际测量涉及的偏振态)的关联性验证 Bell 不等式是否被满足. 重大问题就要格外严格地检验(A critical point should be critically checked out),我对这些实验的所谓有效性心里有些犯嘀咕,因为它们还是用实际测量的经典的东西去讨论量子世界的行为,我称之为用经典概率的语言(ρ -语言)讲述量子世界(通用的是 Ψ -语言)的故事. 这两种语言目前既没有统一,也没弄清楚界限,所谓的薛定谔的猫这个悖论,笔者以为,就是强调这两种语言的无法交流.

物理的思维或许还有助于解决,至少是帮助理解,一些数学上的悖论. 集合论出现后,罗素提出了一个所谓的理发师悖论:理发师只给镇子上的不给自己刮胡子的人刮胡子. 那么,谁给理发师刮胡子? 这里的悖论在于:理发师若不给自己刮胡子,他就满

9) Thought experiment, 也直接用德语形式的 gedanken experiment, 其中的 thought 和 gedanken 为过去分词. 汉译思想实验容易错把思想理解成名词. 我以为, thought experiment 不过是 thought experiment 而已. 一些传说中神乎其神的 gedanken experiment 一样是错误的源泉,同实际的实验相比更易有欠考虑的地方,千万不可迷信. ——笔者注

10) 有过任何关于只存在于有限距离内的相互作用的描述吗? ——笔者注

足他给自己刮胡子的条件,但若他给自己刮胡子,他就不满足给自己刮胡子的条件.这是通俗版.罗素悖论(antinomy)实际说的是,“一个包含所有不是其自身的元素的集合之集合”定义了一个悖论.这个数学的悖论,实际上忽略了个体和集体(集合)的其它特征,才使得集合也成了集合的元素.从物理的角度看,集合与集合的集合 dimension(量纲、维度)不同,就不该放在同一个层面上讨论.

Paradox 有些是内在的,几乎无法消解的¹¹⁾. 一个著名的例子是作家 J. Heller 1961 年的小说 Catch-22^[13],这里的 catch 作为名词的本意是“a hidden qualification; tricky condition”,一个挖了陷阱的条件.汉译可能是不好直译 catch 的这个意思,所以书名干脆叫《第 22 条军规》.这个诡异的第 22 条军规规定,飞行员只有疯了,才能获准免于飞行转为地勤,但必须由本人提出申请,但你一旦提出申请,恰好证明了你是一个正常人.第二十二条军规还规定,飞行员飞满 25 架次就能回国,但它同时强调你必须绝对服从命令,要不就不能回国.结果是上级不断给飞行员增加飞行次数,而你却不能违抗——因为你想回国.这本小说影响力很大,以至于 Catch-22 本身被当作一个词被 Webster 字典收录,指“a paradox in a law, regulation, or practice that makes one a victim of its provisions no matter what one does (法律、规定中的悖论,不管人们怎么做都会成为这条规定的受害者¹²⁾”).”

Paradox 同 contradiction, controversy, inconsistency 有联系,但不简单地是矛盾、争议或不自洽.一个 paradox 当它是个正确的 paradox 时,是非常有用的.许多悖论都能提出非常严肃的问题,同思想或概念体系的危机相联系.我在本单位做过的《真正的学问》报告中曾写到:“真正的学问不在于一时解释了什么或预言了什么,而是看它是否真能自洽地融入了整个人类的知识体系,成为人类宝贵思想财富之不可或缺的一角”.但是,进一步想,逻辑上的矛盾就该当作 paradox,就该坐卧不安?我们所说的逻辑,难道不仅仅是人的逻辑吗?它可以是自然必须遵守的规则吗?从 Emergence 的角度来看,我们只不过是某个层次上的自然现象而已.曾经的“南辕北辙”被当作悖论,当有一天我们认识到大地的 spherical topology,它成了再科学不过的事情了.未来的科学,也许会出现更具挑战性的 paradox,需要我们在更高的层次上去理解它,解开它的疙瘩. We have to be willing to wrestle with paradox in

pursuing understanding(为了达成理解我们还不得不心甘情愿地同悖论掰腕子),诚哉斯言.不过,物理学的不完备没什么大惊小怪的,连数学也不完备,这说明我们本就不能建立起我们认为纯粹完备的体系.现实特立独行,包容那驱动谜一样世界的截然相反的两面(Reality goes its own way, embodying the very opposite that power riddles of the world^[1]),就这样.

参考文献

- [1] Sorensen R, A brief history of the paradox: philosophy and the labyrinths of the mind. Oxford University Press, 2003
- [2] Hellman H, Great feuds in mathematics. John Wiley & Sons, 2006
- [3] Wilczek F. Fantastic Realities. World Scientific, 2006. p. 158. 原文如下: For several years Dirac and other physicists struggled with an extraordinary paradox. How can an equation be “obviously right” since it accounts accurately for many precise experimental results, and achingly beautiful to boot — and yet manifestly, catastrophically wrong?
- [4] Aharonov Y, Rohrlich D. Quantum Paradoxes. Wiley-VCH, 2005. p. 2. 原文如下: A paradox is an Argument that starts with apparently acceptable assumptions and leads by apparently valid deductions to an apparent contradiction. Since logic admits no contradiction, either the apparently acceptable assumptions are not acceptable, or the apparently valid deductions are not valid, or the apparent contradiction is not a contradiction
- [5] Sachs M. Concepts of modern physics, Imperial college press, 2007
- [6] Hawking S. Comm. Math. Phys., 1975, 43: 199
- [7] Vignale G. The beautiful invisible. Oxford university press, 2011
- [8] 方励之. 哲学是物理学的工具. 湖南科学技术出版社, 1988. p. 98
- [9] Rohrlich F. From paradox to reality: our new concepts of the physical world. Cambridge University Press, 1987
- [10] Einstein. A, Podolsky B, Rosen N. *Physical Review*, 1935, 47 (10): 777
- [11] 曹则贤. 物理, 2012, 41(4): 262
- [12] Afriat A, Selleri F. The Einstein, Podolsky, and Rosen paradox; in atomic, nuclear, and particle physics. Plenum Press, 1999
- [13] Heller J. Catch-22. Simon & Schuster, 1961

11) 中文的矛和盾之间的“矛盾”是可以破解的,而且已经被自然而然地破解了.——笔者注

12) 也有的 paradox 是让人怎么着都占便宜的,正好和 catch-22 相反.薄伽丘所著的《十日谈》中第九天第十个故事中那个色鬼神父詹尼,就是用这种 Paradox 占愚蠢贪婪的彼得罗的便宜的.——笔者注