

物理学咬文嚼字之六十五

空空, 如也

曹则贤[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2014-08-28 收到

† email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20140910

人生似瓦盆，打破了方见真空
——洪应明《菜根谭》
色不异空，空不异色。色即是空，空即是色¹⁾
——《般若波罗蜜多心经》
空色皆寂灭。
——陈子昂《感遇》
禅师都未知名姓，始觉空门意味长。
——[唐]杜牧
善知识，莫闻吾说空便即著空²⁾。
——《六祖檀经》

摘要 空是个日常生活、宗教、哲学、数学和物理学都要面对的艰涩概念。Space, void, nothingness, emptiness, vacancy, vacuum, hole 是各色的空。汉译一古脑地都用一个“空”字对付。何谓“空”，何谓“真空”？恐非常识之识也。是空非空。

1 文艺范的空

空这个概念，充斥人类文化的各个角落。从实实在在的“有”，人们抽象出了“空”的概念。物质性让我们遭遇尘世的悲苦，空虚、虚空于是就有了特别的意义。存在是束缚，是执着，而空，自在，就显得很有范。张籍《书怀》有句云：“别从仙客求方法，时到僧家问苦空”，《红楼梦》里给妙玉的判词是“欲洁何曾洁，云空未必空”，都透着别样的文艺范。

空的概念混迹于宗教、玄学、

哲学、数学与物理诸领域，仿佛一切皆空。空是我们不得不面对的艰涩概念，又实在，又难以把握。阿部正雄说“空必须空掉自身”^[1]，刘慈欣却说“空不是无，空是一种存在，你得用空这种存在填满自己”^[2]，这让人无所适从。“一念空时万境空”，这一句中就有两种不同的空。佛教徒有所谓的空性(sun-gata)与虚空(akasha)。虚空是指空间的空及空大。那么空性呢？是指粒子可以用湮灭算符消灭掉，还是指高度自组织的体系如生命终究要归于寂灭？

西文物理文献中论及“空”，常常是几个词来回交替着用。《至美无相》中有一段关于空的论述：“Take, for example, the idea of a perfect emptiness—the void (例如，关于完全的空，即空洞，的概念)”，“gravity acted between particles across the vacuum (引力穿越真空在粒子间作用)”^[3]。你会疑惑这里的perfect emptiness, void 和 vacuum 哪一个不是真空？有时候，物理学家对“空”之概念的滥用能直接把人逼入空门。读者朋友请试着跟我阅读理解如下一段奇文：“Empty

1) 佛家的色，代表物质。佛法对物质的认识依据两个方面：一为显色，即颜色；一是形色，即形状。空与色构成世界，这有点类似原子论的atom 加 void 的世界观。——笔者注

2) 聪明的人们啊，别听我说空就执著于空。这也是这篇文章的主旨。——笔者注

space, the vacuum free of matter excitations, is not empty, for there is still space. The vacuum of quantum gravity, devoid even of spacetime excitations, would be emptier than empty space (空的空间, 即没有物质激发的真空, 其实不空, 因为还有空间。量子引力的真空, 连时空激发都是空乏的, 会比空的空间还空)^[4]。看到这里我是懵了。估计作者自己也不好意思了, 于是接着写到: “We are reaching the limits of logic and language, and those limitations are a prelude to the conceptual difficulties faced in quantum gravity…… A whole world rests on emptiest space, at least according to loop quantum gravity (我们来到了逻辑³⁾与语言的极限, 那些极限实际上是量子引力所面临的概念困难的前奏……整个世界是建立在空荡荡的空间上的, 至少圈量子引力是这样认为的)。”^[4]

文学家们也热衷于描写各种的空, 丹·布朗《失落的密符》^[5]一书充斥着这样的例子: “He was pure consciousness now… a fleshless sentience suspended in the emptiness (虚空) of a vast universe”, “Robert Langdon's floated through the emptiness of space (空间之虚空)”, “He peered into the infinite void (无尽的空洞), searching for any points of reference”, “like shock waves across a vast nothingness (空无一物)”, “vacant face (茫然的面孔) of Langdon”, 等等。传神地翻译出这些不同的“空”的意境真不是容易对付的挑战, 反正笔者没这个本事。

当一个词在一种前提下使用是一个意思, 在另一种前提下使用是

另一个意思时, 就会产生因歧义而带来的错误。在日常的讨论中, 这种逻辑错误很常见。使用错误逻辑得出的结论是无意义的^[6]。可叹的是, 理论物理和宇宙学中充斥着这种根本无意义。本文涉及多个关于“空”的西文词汇, 且这些词长期被混用或被用来循环定义, 笔者尽力想理出一个清晰的思路来, 但发现根本做不到。职是之故, 下文的小标题不具有严格的意义。

2 Empty emptiness

Empty 是一个典型的英文词, 名词形式为 emptiness, 来自古英语的 emti, 未占据、不受强制之意。数学里 empty 的概念用于 the empty set (曾用名 null set), 符号 \emptyset , 汉译空集, 指不包含任何元素的集合, 其大小或曰势 (cardinality) 为零。在自然数的标准集合论定义中, 人们使用集合对自然数进行模型化。在这个语境中, 零就用空集加以模型化。0 是数学史上引入的最重要的数, 导入零这个概念需要漫长的过程。考虑到零的概念和符号 0 的出现比别的数字都晚, 也就能理解空集的概念也出现得较晚。“有”作用于人, 开始了人对自然的认识, 而“无”, 0, 以及 \emptyset , 都属于抽象的概念, 是人类思维的产物。“有”与“无”, 不在一个层面上。在数学中, 有定理称“对空集的任何元素, 该性质成立”, 这样的性质, 因为没有任何对象或者载体, 被称为 **vacuous truth** (空指真理)。爱因斯坦的广义协变原理就是因为是 physically vacuous (没有物理内容) 而饱受责难。

Emptiness, 汉译虚空、无意

义。Emptiness 是广义的啥都没有, 与此相对 void 和 vacuum 常常指存在中间没有存在或存在感有些欠缺的地方。在“资产阶级不断增长的虚空 (emptiness), 与一惯用虚空来表达自己的资产阶级一样是短寿的, 与资产阶级今朝有酒今朝醉的虚幻生活一样是缺乏主心骨的……在时间 (temporal) 意义上和实际 (factual) 意义上, 无望 (hopelessness) 是最令人难以忍受的, 是完全与人类的需要不相容的”^[7]一段中, emptiness 与 hopelessness 被联系到了一起。物理上用 emptiness 和 perfect emptiness 来表达完全意义上的无。某些科幻文章中逃离了地球的人类驶入 empty space (空旷的太空), 眼前就只有 emptiness 了。Emptiness? Don't you know it's hopeless (空, 你不觉得就是无望吗!)?^[8] 面对这样的空与无助, 人类如何安慰自己恐惧的心灵?

3 Void

Void 来自拉丁语动词 vacare, 即 to be empty, 可用作动词、名词和形容词, 和汉语的“空、无”相对应。比如在 void my bladder (小便的委婉语) 中是动词, 有排空的意思; 在 the contract may be void by law (合同于法无据) 中是形容词, 而在 empty space was the void^[9] 中, void 是名词。Empty space was the void, 怎么翻译? 空的空间就是个空洞?

Void 这样的存在, void of all content, 是啥内容都没有。日常用法中的 void 似乎等同于绘画中的留白, 那里被看作画的一部分, 但又不是画的一部分。黄宾虹 1943 年 11 月 6 日给傅雷的信中, 提到《韩非

3) Logic, λογισ, 逻辑, 就是希腊语的“语言”诶! ——笔者注

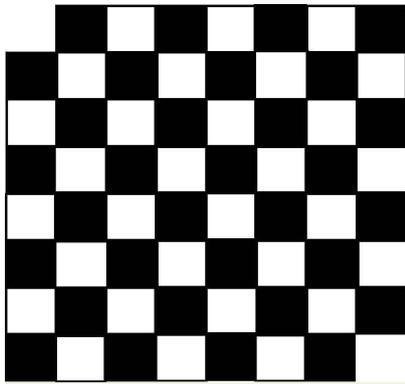


图1 原子与空隙。是否要把黑方块和白方块同时都当作存在呢？

子》的“画荚”：“言其画之隙处皆成龙蛇……鄙见以为此论画虚处之宗师，宋元名画其致密之处必得如此方成绝艺”。可见，留白与虚、隙相干，都和void有关。达芬奇说“一幅画中最白的地方要像宝石那样可贵。”一幅画中没有内容的void是最有价值的存在，此一辩证法意味的观点可算是东西方艺术家的共识。实际上，若一幅画的黑、白部分都和我们熟悉的形象相像，我们就愿意同时把黑色部分和白色部分诠释为同一幅画的内容而不是理解成画面加void。有些艺术家故意利用这一点来创作一些很有意思的画作。

在古希腊哲学家的原子论语境中，世界是由原子和void(空隙)组成的，一维的形象让人想起二进制的1-0字符串。这个featureless void，实际上连那时候的柏拉图也怀疑其存在。原子是存在，being, essence，原子之间的空隙不过是抽象概念(图1)，来自对运动的观察。一个固化的原子构型(configuration)，无所谓是否有void；但若是原子的构型

是可变的，即原子之间是有相对运动的，则诱使人们引入距离⁴⁾以及原子之间存在void的观念。卢克莱修在他的*De rerum natura*(物性论)一书中指出：如果物体之间没有space, void，那就没有运动。

把想象中的存在之缺失或者缝隙当成void的习惯，在晶体学研究中得到了继承。以想象中的完美晶格结构为出发点，多了或者少了都被称为缺陷。如果某个格点上缺少了占位原子，这样的缺陷被称为vacancy(空位)，或者干脆就称为empty site；相反，若在非格点处出现原子，则被称为interstitial。Interstitial，名词形式为interstice, a small or narrow space between things or parts，其实也还是void，来自拉丁动词intersistere(to set in between)。Vacancy的动词形式是vacate，形容词形式为vacant。一个位子空出来了(vacant)，那些有意继任的人难免有冲突。在固体中，当一个vacancy被产生时，也会引起附近原子的骚动。原子向空位的运动是一种重要的扩散机制(图2)。

如今宇宙学家的星系巡天结果显示我们的宇宙似乎呈一种“泡沫网状”结构。Void又被用来表示大空间尺度上无星系空

区，汉语语境中有人称之为巨洞(图3)。其实，这样的void区域并非没有物质，只是相对于所使用的观测信号⁵⁾是“无”的。一种时髦的说法是void充满着暗物质。

比作为名词的void色彩更强烈一点的词是voidness，“No light, no sound, no feeling. Only an infinite and silent voidness(没有光，没有声，没有感觉，只有无边寂静的voidness)”。比作为形容词的void色彩更强烈的是devoid，完全没有的意思，例句如“Even space was devoid of some subtle matter, effluvia, or immaterial matter(平直空间完全没有任何细微的物质、排出物或者不具实体的物质)⁶⁾”^[10]。柏拉图在

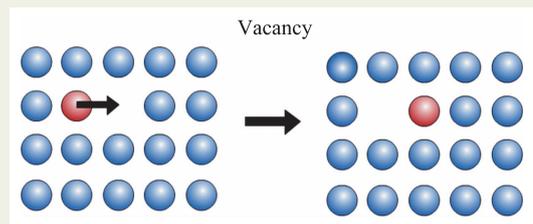


图2 固体中有vacancy存在时，附近原子有填补该空位的冲动

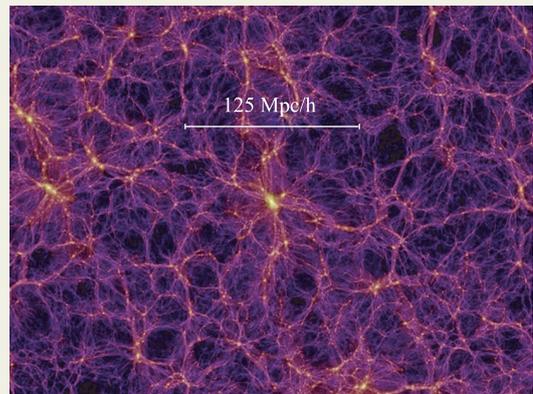


图3 宇宙结构的模拟图中，每一个亮点都对应一个星系团，而空白区域就是void

4) 考虑单纯的两体问题，没有距离的概念。在实在的物理空间里，两体之间的距离是用其它存在来标定的。牛顿的有度规的绝对空间是高度抽象的概念。——笔者注

5) 天知道那些用来巡天的信号是什么信号，所使用的探测器是怎样神奇的探测器。——笔者注

6) 这些句子译成汉语都很别扭。Immaterial matter，不具实体的物质，猜想是指光啊、中微子啊以及别的什么场。——笔者注

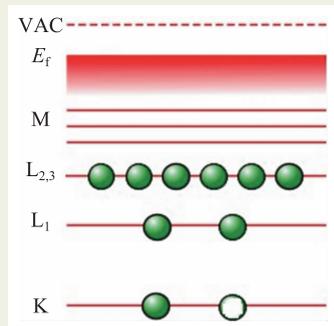


图4 Ne原子中电子占据能级的示意图。K能级能容纳两个电子。若其中一个电子缺失，人们会说那里留下一个hole

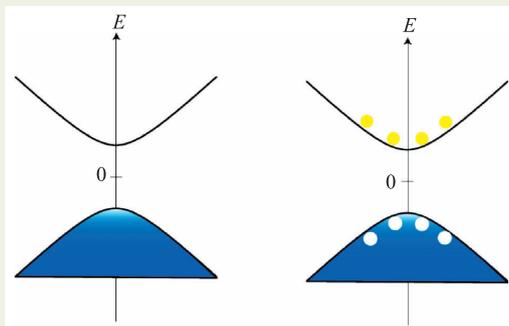


图5 狄拉克的void, 所有的负能量态都被占据, 所有的正能量态都是空的。当少量的电子被激发到正能量态时, 会在负能量电子海中留下vacancies, 这些vacancy可被诠释成反电子或者正电子

就在原来满满的负能粒子void大背景上留下一个vacancy, 一个hole (图5)^[3]。这个hole就是由于构成大背景之某个元素的缺失造成的。固体点阵中缺少一个原子是vacancy, 一罐水中缺失的部分是气泡(bubble), 和这儿的hole都是类似的图像。

带电荷粒子集体中的“hole”, 可等效地看成是一种新的基本粒子, 和实体粒子

门上挂的“不懂几何者莫入”的牌子, 英文写成“let no one devoid of geometry enter here”。Devoid of geometry, 即完全缺乏几何学知识。

4 Hole

Hole, 形容词形式为hollow (德语为hohl), hollow 或者hollowed-out的空间, 对应汉语的孔、穴、洞、缝隙等。在物理文献中, hole可以是一般意义上的孔洞, 如to drill a hole in the plate (在板上钻个孔), to collapse into a black hole (坍缩成一个黑洞), 但更多的时候它被译成“空穴”, 是一种能量空间中的存在。

图4中是Ne原子能级的示意图。按照Aufbau principle (构建原理), 1s能级(K壳层)上可容纳两个电子, 2s能级(L₁壳层)上可容纳两个电子, 2p能级(L_{2,3}壳层)上可容纳六个电子。如果有高能光子或者电子入射把芯能级, 比如K壳层, 上的一个电子击出, 则(在能量空间中)留下一个hole, 此时hole汉译

为空位。芯能级有空位的原子是一个不稳定体系, 能量较高壳层上的电子会试图填补这个空位, 在高级壳层上产生一个空位, 多出的能量会以光子形式释放。1925年, 法国科学家Piere Auger注意到还存在这样的过程: 能量较高壳层上的电子在填补芯能级上空位的同时, 会把附近能级上的电子击出, 留下两个空位。此过程就是所谓的Auger process (俄歇过程)。

Hole在另外的语境中会被译为空穴, 这时候它是一个等价粒子的概念。当初, 1926年, 狄拉克刚提出相对论性量子力学方程时, 很是为方程的负能量解的诠释伤脑筋。狄拉克不得不设想, 负能量态是被满满地占据的, 那构成了所谓的黑暗的宇宙背景, 所谓的“空虚”(the void, the dark cosmic background)。这样的背景space远远不是empty的, 应该给它找个非同寻常的词, 于是物理学家称之为vacuum。此处的vacuum, 名为真空, 其实不空。如果一个负能粒子被激发到正能量态,

子有同样的质量但是电荷相反(如果所研究的带电粒子集体同带相反电荷的粒子集体构成一个中性的整体, 这后一点才成立。至于等效质量问题, 那更麻烦)。在空穴理论(hole theory)中, 有这样的真空(vacuum)图像, 其是被“负能量电子”海所填充的^[1]。狄拉克的负能量电子海中的hole带正电, 因为那是电子被激发后留下来的。有的叙述把它名为狄拉克的void, 激发后在电子海中留下了vacancy或者hole。Dirac一开始是想用质子解释这个hole的, 他那篇论文的题目叫“a theory of electrons and protons”, 结果还是引入了反电子或者正电子的概念来命名这个等效的存在。等到1932年人们发现了真的正电子, 狄拉克方程中波函数的四个分量于是被诠释成两个描述电子行为, 两个(负能量解)对应正电子。正电子是实实在在的粒子, 不是hole。所谓的电子海的概念也失去了存在的必要⁷⁾。但是, 这个概念有一天还会借尸还魂。

(未完待续)

7) 好像本来就没什么道理, 或者至少还存在其它无法自圆其说的困难。狄拉克想过、写下过许多没道理的想法, 这是有思想的人的特征。但是, 不能因为是狄拉克的想法就不辨妍媸。所谓的磁单极研究, 乃是对狄拉克一思想之不明就里乱加发挥的典型案例。——笔者注