

物理学咬文嚼字之六十五(下)

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/wl20141006

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⁾。

——《六祖坛经》

(上接2014年第9期第634页)

薛定谔方程运用于固体所得到的能带理论, 带来了对固体何为导体何为绝缘体的初步认识。绝缘体具有被填满的价带和全空(empty)的导带, 价带和导带之间有一个能隙。被电子填满的价带提供了一个真实的狄拉克电子海的图像。请注

意, 狄拉克理论中有正能解和负能解, 那里的能量是极性的(polar); 而薛定谔方程中电子的能量虽然相对于某个参考能级可正可负, 但这里的能量不是极性的, 正负不具有绝对的意义。固体能带论中, 固体中的电子都处于——相对于真空能级来说——负能级上。全满的价带

中电子的动量之和总为零, 因此在(弱)电场驱动下动量变化为零, 即不能表现出净电流, 这是能带理论对绝缘性质的解释。若某个电子被激发到导带, 则在价带中留下一个空位(hole)(图6)。在导带中的电子很自由, 能导电; 而原来填满的价带中的大量电子因为空穴的出现也能稍微活动一下筋骨,

所以对电导有一点贡献。如果把空位等价于一个正电荷的话, 则电导由导带中带负电的电子和价带中带正电荷的空穴一同贡献的。不过, 我们一定要记住, 固体能带论语境中的电流仅是由带负电的电子贡献的⁸⁾。空穴是一个集体行为的等效概念, 等效的结果是空穴带一个单位的正电荷, 但与狄拉克理论中的空穴不同, 此处的空穴的(有效)质量不同于电子的质量。

注意, 原子能级上的hole等价于一个正电荷是由于原子核提供了正电荷背景的原因; 在固体能带论中, 价带中的空穴等价地带一个正电荷是因为存在正离子晶格背景的原因。在狄拉克的真空图景中, 空穴等价地带有一个正电荷。如果要为狄拉克的理论找理由的话, 那就是物质世界是中性的, 他的电子海需要一个正电荷海与其中和。但

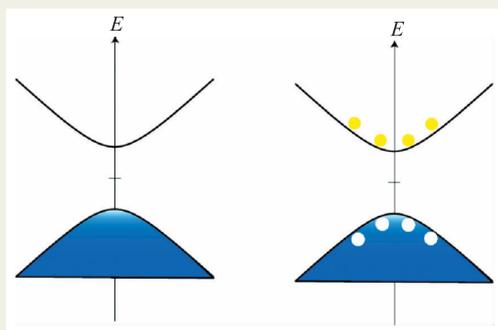


图6 绝缘体的价带(全满)与导带(全空)。当少量的电子被激发到导带时, 会在价带的电子海中留下holes, 这些hole可被诠释成带正电的粒子, 但质量与电子不同

8) 离子导体中的电流有来自带正电的离子的贡献。——笔者注

是，这无疑会将狄拉克的论证置于一个更加不合理的位置。没关系，狄拉克不在乎——这似乎是他成功的一个前提。如果这个世界是纯气（一个电子加一个质子）的世界，这样的狄拉克理论可能就被物理学家说成是无可挑剔的了。此外，图5中电子海的形象，比较含混；图6中的价带，一般是动量—能量空间中的示意图。但是，如何将能量—坐标空间分立化使之与电子数目相对应（否则占满是什么意思），这里没考虑。这个问题进一步地引入了量子统计。

剧场中绝大部分被占据的座位中的少数空出的座位 (a few vacant seats)，是可等效地被当成空穴的绝佳案例。这一点连文学家们都注意到了。钱钟书《围城》有句云：“这些空座像一嘴牙齿忽然掉了几枚，留下的空穴，看了心里不舒服。”

固体中一个原子缺失的地方，其它原子会试图占据那个位置；水体中出现一个气泡，其它部分的水会试图填充那个部分。价带中某个电子缺失了，其它电子的动量之和因此有了改变的可能。因为有了空位的原因，整个体系动了起来。当然动的主体仍然是原子、水或者电子。可是，如果研究那个“空位 (hole)”的运动的话，因为对象较少的的原因，问题会变得较简单。但是，因为空位的运动是实体整体运动的一个等价的 (effective) 效果，我非常怀疑对空位运动的研究能反映实体运动的全部。

5 Space

如果说有什么重要物理概念被错译得离谱的话，首屈一指要算

space。Space是个无处不在的科学概念，中文译成空间。可是，英文物理文献中随处可见 empty space, emptiness of space 的说法，把它们译成空的空间，空间的空？

Space, 拉丁语 spatium, 延展 (to expand), 跟进 (to succeed) 的意思。英文提及 three-dimensional space, 会说它是 extension in three directions (在三个方向上的延伸)。Space 可以理解为位置上的间隔，“他 (牛顿) 把一个凸透镜放到一块平板玻璃上，这样两者之间就有了一个小的空气 space, 即一个从接触点向外越来越大的 gap (空隙)”^[12]

Space 还可以指时间段，例如有 “within a short space of time (一小会儿)”，“in the space of two hours (两小时内)”，“to rest a space (歇会儿)” 的说法。在 “And yet his genius demanded **space** for reflection that he could ill afford”^[13] 一句中，space 也是时间间隙，此句可译为 “他 (达芬奇) 的天才需要思考的时间，但他却常常做不到”。Space 的形容词形式之一为 spatial, 如 spatial extension 其实就是规格、大小。Space 的另一形容词形式为 spacious, 是说容量很大，如 The Hall is spacious。Space 和 time 拼在一起可写成 spacetime, 也有写成 timespace 的，两者的概念内涵应该是正交的。汉语一般称为时空。Spacetime 的形容词形式为 spatiotemporal, 如 spatiotemporal sequence (时空序列)。

Space 还是动词，就是分隔，留下间隔的意思。Space out 就是加空格、空行的意思。The systems of stars are **spaced** with the same density in all directions 一句可大略译成 “星系之间均匀相隔，在所有方向上密度都相同”。由动词 space 而来的

名词 spacer, 是隔离物的意思，任何造成间隔的东西都是 spacer, 比如垫片。在石墨的碳层之间塞入碱金属等元素的原子算是插入 spacer, 不过其专门词汇为 intercalation (夹层)。据说插入分子分隔层 (intercalation of a molecular spacer layer) 能提升一些材料的超导转变温度。

改变 space 的汉译怕是不可能了，但是谈论一下是否有更好的选择还是允许的。古汉语里的空虚，不是如今我们的内心空虚，应是 space 的意思。庄子《秋水》云：“井蛙不可以语于海者，拘于虚也；夏虫不可以语于冰者，笃于时也。”就是讲时空尺度的重要性。所谓的“拘于虚也”，就是说受空间的限制；“笃于时也”，就是受时间的限制。Space 包含所有考虑的对象，有全体的意思，如统计学中的样品空间 (sample space) 就定义为包含所有可能结果的集合。从这个意义上来看，space 对应于庄子的“大块”，试体会“大块无心兮，生我与伊”，“夫大块载我以形，劳我以生，佚我以老，息我以死”，等等。“善知识，世界虚空，能含万物色像”，这可算佛门对 space 概念的解释。

数学上把 space 定义为满足一组公设的元素的集合。空间不仅是一个集合，而且是有结构的集合。或者说空间不仅有点，还要有点之间的连接。这样的空间很多，比如 vector space, Banach space, functional space, 等等。对于量子力学的表述至关重要的希尔伯特空间就是由某个自伴随算符的本征函数所张的空间。希尔伯特空间是矢量空间的一种，可以定义其中矢量的模和任意两个矢量 x, y 之间的点乘 $x \cdot y$, 从而可以进一步地定义量

$\cos^2\phi = |x \cdot y|^2 / (|x|^2 |y|^2) \in [0, 1]$, 因此 $\cos^2\phi$ 就可以描述几率。这就是量子力学的关键小把戏。

离开空间的概念物理学简直寸步难行。可是, 什么是物理意义上的空间? 海德格尔在《诗·语·思》(Poetry, Language, Thought) 中写到: “Space is in essence that for which room has been made, that which is let into its bounds (空间就是为了给其它东西提供地方)”, 有趣。由此可以理解为什么说 space is the arena in which a particle reveals its position (空间是粒子表现出位置的场所)。莱布尼兹则说 “Lastly, space is that, which results from places taken together (说到底, 空间就是把地方集合到一起)”。笛卡尔认为 “space being the only form of substance (空间是存在的唯一形式)”, 所有的空间都充满物质。

Space 一词在西文里本身没有空的概念。但是, 当讨论 space 为存在提供地方的努力时, 自然会讨论 empty space。牛顿就坚持空间必须是空的, 应该被当作基本的、独立的对象处理, 只有这样才能在次级层面上讨论充满空间的东西, 比如在其中运动的粒子^[10]。所以, 可以说 “particles moving through otherwise empty space (粒子穿过除却自身为空的空空间。笔者以为, 这句话是说任何存在都运动在其它存在所定义的 space 中)”; “Since space was empty⁹⁾, light had to be something that traveled through this nothingness (因为空间是空的, 所以光必须是某种能够穿过‘虚无’的东西)^[9]”。但是, 莱布尼兹坚信空间并不存在。在他看来, Space 不过就是一

个方便的为事物相对位置编码的方案^[14]。

又, 有时候我们说起 space, 比如 outer space (外太空), 这里的 space 从概念上就包含了存在, 所以会说行星的轨迹穿过空间的 void (Planets trace orbits through the void of space)。Void 是 space 中 empty 的地方。

物理学的 space 概念, 参照数学的定义, 应该由物质(元素)和物质间的联系(元素满足的公设)一起加以定义。假设物质间的联系是纯几何的联系的话, 那么包括所有的点及其间联系的空间必须是凸的。似乎在宇宙学模型中, 空间结构自然就是凸的, 但这个强约束对物理学的影响是什么, 未见深入讨论。不过, 现代物理的 space 充满力场, 如果物质之间的连接是场的话, 如何从这个事实出发去构造空间呢? 或者, 不知空间的数学结构, 如何描述其中的力场呢?

关于空间的数学与物理的内在同一性, 或许可以用椭圆为例加以说明。椭圆可以从一点出发定义, 它能描述被太阳束缚的行星的轨道。从两点出发的关于椭圆的定义, 在物理体系中也一定会有它的体现。氢分子离子, 地球—月亮—人造卫星体系, 就是关于两个吸引中心的运动问题。在这里, 两个中心的存在, 使得电子或者人造卫星运动在一个有结构的空间中。关于这个空间结构的描述, 或者坐标系, 就应该和椭圆有关。使用椭圆—双曲线坐标系, 这类问题有相对简单的解的形式。这正验证了这样的观点: 物质的存在决定了空间的结构。为什么如广义相对论所言是质

量决定了空间的形式呢? 这里的问题就和质量没关系, 是电荷的存在决定了空间的形式。当然了, 这里涉及空间本身结构和描述空间所采用之数学结构的区别, 可是它们之间真有实质性的区别吗?

物理学的第零定律, 谓我们的空间是三维的。所有的粒子具有在空间中占据一定体积的特征。把粒子理想化成点粒子, 允许零距离的出现, 是一些物理理论发生灾难的本源。有些理论设想我们的空间具有更多的维度, 但在多出的、长度很小的维度上是闭合的, 并用麦秆作比喻: 不考虑壁厚, 麦秆可看作是二维的, 但有一个维度是小尺度且闭合的, 所以远距离上看麦秆就表现为一维的了。然而没有证据表明我们的宇宙是高维空间中的一个薄片或壳。引入高维空间也许是解决某些物理学悖论的有效方案, 但那个悖论的出现本身可能是无意义的, 没必要非要为此付出引入高维空间的代价。

注意到人们常把 spatial dimension (空间维度) 与时间相提并论, 甚至把三维空间和一维时间缝合到一起构成所谓的闵科夫斯基空间。然而, 我们可以有空间, 但我们不可能有时间, 这就是为什么狭义相对论有(x; ict) 的原因。时间来自我们的想象, 或者时间来自我们用位置—运动描述世界时引入的辅助参数。Dave Pressler 也有类似的观点^[6]。

Space 有时也会被误用。空间量子化, space quantization, 是对德语 Richtungsquantelung 的翻译, 原文应是方向量子化。方向量子化即角动量 z-分量的量子化。如只从中文字面上理解这个概念, 可能引起

9) 科学史上的认识过程正好相反。因为认为光必须是某种物质的振动, 人们曾认为空间充满以太。——笔者注

更大的误会。

Space 对应德语的 Raum, empty space 对应 Hohlraum。但是, Hohlraum 这个词在英语物理文献中存活了下来, 其意思是 hollow space 或者 cavity 的意思, 可译为空腔。在辐射热力学中, Hohlraum 就是其壁与内部辐射能量处于辐射平衡的腔体。壁上开一小孔的不透明容器可看作是理想的腔体, 透过小孔逃逸的辐射可以当作是黑体辐射的近似。对这个 Hohlraum 的辐射谱分布的研究是导致光子能量量子化概念的关键。

6 Vacuum

Vacuum 在一般英文文献中是名词, 复数形式 vacua, 汉译真空。Vacuum 是一个拉丁语形容词的中性形式, 阳性形式为 vacuus, 本意是 vacant, void 的意思, 也就是“空无一物”的意思。英语里与 vacuum 同源的形容词是 vacuous, 如数学里的 vacuous truth (虚指真理)。关于 vacuous 的例句有“Relativity principle in the form of general covariance was physically vacuous, a pure mathematical property (广义协变形式的相对论原理物理上是空指的, 那纯粹是数学性质)”, 又如“If there is no way the premises are all be true, then the guarantee holds vacuously (如果所有的前提不能皆为真, 那保证就落空了)^[15]。比 vacuum 还抽象一点的日常用名词为 vacuity (空乏), 如评价某人是一个 a vacuity of taste (毫无品味的家伙)。

Vacuum 被汉译成真空。真空是

佛教用语, 看来译者是严肃对待 vacuum 这个词的。笔者没有慧根, 于“非有之有为妙有, 非空之空为真空, 乃大乘至极之真空也”之类的句子没有个理解处。Vacuum 的很多物理用法, 意义都不是落在“真空”上。

古希腊人伊壁鸠鲁和卢克莱修等人宣称宇宙是由 atom 加上 void 构成的, 但亚里士多德反对这一观点, 认为只要有“空”的话, 旁边的物质会自动填满^[10]。他还从抽象意义上加以反驳, 既然 void 是“什么都没有”, 那就不存在^[11]。因此, 亚里士多德提出了 Horror vacui (对真空的恐惧) 的假设。后来, 法国作家拉伯雷把它转述为 Natura abhorret vacuum (大自然讨厌真空, 英文为 Nature abhors vacuum)^[16]。“大自然厌恶真空”是说物质, 具体地说是气体, 会迅速填满被 evacuated 的空间。这个局部的 vacuum 是在存在中人为创造的。亚里士多德用这个假设来解释水泵的原理, 当然也能用来理解你穿衣服淋浴时为什么衣服总是贴在身上。其实, 若权力真空一旦出现, 可能会更快地被填补。在这个意义上, 似乎说“人性讨厌真空 (humanity abhors a vacuum)”更确切。人性讨厌各种各样的真空——humanity abhors vacua。

然而, 似乎真空不是那么容易被填满。水在抽空的管子中只能上升到有限的高度, 这说明 void, vacuum 并不总是要被填满, 而是可以维持的。托里切利于 1643 年首次利用水银在实验室里制备了真空状态, 开启了关于真空, 勿宁说是关于气体, 的研究。今天, 真空简直

就是许多科学研究和日常生活的前提条件, 为了实现高真空而研制的不同工作范围的真空泵林林总总 (图 7), 原理也各不相同。目前, 在一般实验室里, 实现 10^{-11} mbar 的超高真空已不算难事。“在真空中”的英文表达为 in vacuo, 其中 vacuo 是 vacuus 的夺格, 作状语。

其实, 宇宙的广大部分都多少算是空的空间 (empty space), 看来宇宙关于她的大范围厌恶不像是干了点什么——宇宙没有能力填满真空。宇宙大体上接近真空。稍微远离星体的外太空是更高品质的真空, 真的很空, 平均来说每立方米就几个氢原子。这也是整个宇宙的平均物质占有水平, 或者毋宁说是氢原子的分布定义了空间的概念, 而星球, 不过是其中的高密度偶发现象而已。

真空是什么存在都没有的存在。不过, 莱布尼兹却说 Vacuum



图 7 典型的分子涡轮泵。高速旋转的叶片能造成气体的单向流, 从而在两端维持大的真空度之差

10) 请试着长出一口气, 然后把嘴张开。慢慢体会这个过程。——笔者注

11) 为了描述实在, 我们人类确实是添加了一些不存在的东西, 比如圆心。愚以为这恰是人类抽象之威力所在, 是科学得以出现的前提。——笔者注

est extensum sine resistantia (真空是没有阻力的地方), 这个定义更物理。愚以为, 从质量、电阻的角度或者从激励—响应的角度来理解, 能体会到这个 sine resistantia 定义的真空概念太有深意了。水、空气的无色无味, 其实都是我们视觉和味觉定义的真空态。

Vacuum 的概念逐渐被运用到多种数学和物理语境中, 有了更多的别样色彩, 也就有了更多的歧义。比如数学上冯诺依曼的宇宙是由这样的集合构成的: 其元素也是集合。任何是集合族 X_{i+1} 之元素的属于集合族 X_i 的集合, 至少有一个元素。那么, 最终必有一个集合, 拥有最少的元素, 就是空集。这个冯诺依曼的宇宙的第二个元素就是 the empty set \emptyset , 因此可以说 von Neumann's universe is born from a “philosophical vacuum (冯诺依曼的宇宙诞生自一个哲学的真空)”^[17]。这个哲学的真空跟 Higgs 机制太同构了。

在量子力学中, 真空态 (vacuum state) 是粒子数为零的态, 湮灭算符作用于其上本征值等于零, 即 $a|0\rangle=0|0\rangle$ 。在更高级的量子理论中, 真空态是物质的基态。它指的是这样的时空区域, 能量—动量张量的所有分量都为零, 即此区域中没有能量—动量, 也就没有携带能量—动量的粒子或者场。读者很奇怪没有物质, 没有物质携带的能量—动量, 为什么这里会被称为是一个时空区域? 这是否是数学上的 vacuous truth?

量子场论的基态, 即真空态, 的图像完全不同于 $a|0\rangle=0|0\rangle$ 定义的真空态。考虑到产生算符和湮灭算符关于真空的操作, $a|0\rangle=0|0\rangle$, $a^\dagger|0\rangle=|1\rangle$, $aa^\dagger|0\rangle=|0\rangle$, 真的容易

理解“虚空之为虚空, 就在于‘生’是必死的, ‘死’是无所谓死的”(见木心《素履之往》)。量子不确定性加上产生与湮灭过程, 意味着一个非常热闹的真空: 粒子—反粒子对飞快地产生又倏然而逝! Volovik 把粒子物理的真空看做仿佛是处于平衡态的冷量子液体; 在一本书的第一页上说“量子真空, 也称为以太、时空泡沫、量子泡沫或普朗克介质。”^[18] 这个热闹的真空态伴随着电荷涨落、零点能涨落、粒子数涨落等概念。这样的 vacuum 是一锅煮沸的汤。如果你觉得这个概念不好理解, 参见中国大地上佛门里的疯狂腐败你就多少能明白点。

基于量子涨落的概念, 人们编排出了很多有趣的故事。真空涨落的概念允许虚粒子—反粒子对的产生, 这些涨落而来的粒子的效应是可测量的, 比如电子因为真空涨落造成的有效电荷就不同于其“裸”电荷, 据说有人测量到了这个效应。然而, 我们也学过这样的理论, 电荷的量子化是和群论有关的, 电荷是某种指标^[19], 是很刚性的量。在量子化的麦克斯韦方程中, 其中的电荷可都是常数——确切地说, 是参数。那些测量得到电子电荷有因真空涨落带来的有效电荷的所谓实验, 莫不是和潮落理论在唱双簧吧? 理论与实验固然是内在关联的, 但毕竟不能忘记理论和实验也最好能为对方提供独立的、互相校验的对手, 那样的实验对于理论的验证才多少有点说服力。

量子涨落或者真空涨落 (vacuum fluctuation), 即在空间的点上存在能量随时间的变化, 据说根据的是海森堡的那个 uncertainty principle (不确定性原理): 能量守恒可以被违背, 但是只能是在那个原理给出

的小的时间范围内。可以说, 提出真空涨落的动机是为了解决无中生有的此一重大的哲学和物理学问题, 但是依据所谓的海森堡不确定性原理来解决这个问题, 显然是把问题看得太简单了, 此外其理论物理的功底也让人感到不踏实。

首先, 对于时间—能量, 就没有 $\Delta x \Delta p \sim \hbar/2$ 意义下的不确定性关系 $\Delta t \Delta E \sim \hbar/2$ 。甚至, 基于海森堡 1927 年文章演绎的所谓不确定性关系从根本上就是荒诞的, 不确定性关系不过是函数傅里叶变化之 support 之间的对偶关系。它未必反映在物理世界里, 尤其是未必出现在省略掉或缺失相应的严格数学结构的物理论中! 那些使用这个关系的人, 基本上不愿意去正视这里的 Δ 的意思。在没有弄清时间的概念, 确立时间作为物理量之本质之前, 就算是 Δ 的定义都是如 Robertson 导出关系 $\Delta x \Delta p \sim \hbar/2$ 所使用的那样, 这个 nonsensical 的不确定性关系也没有任何意义^[20]。今天, 终于也有别人敢指出这一点了^[21]。

从(寂静的)真空态中, 产生粒子, 正是老子所说的无中生有的问题。为这样的根本性的哲学或者物理问题构建数学的描述, 不可能是一蹴而就的事情, 这一点科学家应该有清醒的认识。量子论通过真空涨落去消除物质与虚空的界限, 构造了一个不断产生粒子—反粒子对的热闹的真空态, 未必不是一个很聪明的主意。但是, 没必要非要硬拉一个没有底气的不确定性原理来作支撑, 它只会带来心理上的自我安慰而不会带来物理的实质。实际上, 量子场论中连坐标也是参数, Robertson 意义下的 $\Delta x \Delta p \sim \hbar/2$ 也是无法得到的。“确实, 不同于牛顿的真空, 那是

pure emptiness, 现代物理的真空具有和物质介质共同的特征。我们错把它当成 nothingness^[12]。”据说现代物理的真空拥有如下四个关键性质: 规范相互作用, 费米统计, 手性费米子和引力。但引力也不是俗世里的问题, 它不过给出空间的定义而已。为这样的真空构造数学严格的理论体系, 除了聪明才智以外, 耐心也是必须的。

相对于一个一直匀加速的观察者的真空热化 (thermalization of the vacuum), 被称为 Unruh effect^[10]。Unruh 是德语名词, 即“烦躁, 不平静”。这个概念太难, 此处不论。

与 vacuum 有关的动词是 evacuate, 即 to empty, 是将一个地方的东西或者人清空, 汉译疏散 (人)、清空、抽空。被 evacuate 的人或物, 就是 evacuee, 同义词有 refugee (难民)。有篇科幻文章讲述地球灭亡后进入太空寻找新的落脚点的难民, 不停地 “called out into space, in the hope of making contact with some other evacuees”。这里的 evacuee 一词用得伤感, 他们不仅仅是 evacuated 的, 而且来到了无尽的 outer space, 真得处于 vacuum 中了, 四周近处肯定是笼罩着 nothingness。不知科幻作家如何靠幻想引导人们走出这 hopelessness?

Evacuate 有个近义词, deplete。半导体器件中常有因为扩散或者外场作用造成的载流子密度较低的区域, 称为 depletion layer (抽空层) 或者 space charge layer (空间电荷层)。

7 Plenum

谈论原子论、真空、空 (void), 就不能忽略 plenum 这个字。Plenum 是拉丁语形容词中性形式。Plenum 在英文中作为名词指充满物质的 space, 与 vacuum 相对。如果 vacuum 可译成佛门的真空的话, plenum 就是佛门的圆满。据说玻义耳曾试图用光颗粒说 (corpuscularianism) 来阐明 vacuum 与 plenum 之间的区别。在一般的气体物理中, 气体部分地被抽空的地方被称为 vacuum, 而气体集中密度比外部环境还大的区域被称为 plenum, 这也是有的英汉字典把 plenum 翻译成高压的原因。由 plenum 而来的英文形容词有 plenty (大量的), plenary (齐全的。Plenary session, 也作 plenum, 全会)。

亚里士多德反对宇宙是原子真空的观点, 而倾向于认为宇宙是一种 fundamental plenum (根本性的圆满), 是 plenum of matter (物的圆满)。其实这也是一种关于 space 的连续观点与分立观点的冲突。亚里士多德的观点是 plenism, 即物质空间论。对原子论的 plenic interpretation (物质空间论的诠释) 剔除了 void 的存在: “The plenum contained within it the pregnant possibility of everything. From this cornucopia issued forth all that was substance. (原初的圆满孕育一切的可能, 从这聚宝盆里涌出那些实体)”。

莱布尼兹从 substance^[12](本体)与行动统一的原理出发得出的实体概

念是一个力的连续统 (continuum of force), 因此这样的实体是 dynamic plenum (力的圆满), 而不是物的圆满。后来人们干脆就用 force plenum 的概念^[10]。这应该是场论的一个思想基础。

爱因斯坦 1905 年建立了他的狭义相对论。狭义相对论不需要以太这种 underlying substrate 作为参照, 因此他认为 empty space 构成了真正的空洞 (void)。等到他用弯曲空间建立起广义相对论时, 他不得不改变观点, 认为空间是内涵丰富的 plenum, 并给它一个新的标签: 时空度规^[22]。

由 plenum, plenism 容易想到一个词 holism (整体论)。整体论的英文为 holism, 来自拉丁语 holos (full, plenum), 认为有机的整体具有独立的实在性, 不会简单地通过理解其组成单元就能达成对整体的理解。Holism 的观点与近日流行的关于 emergent phenomena^[13] (骤生现象) 的观点很接近。注意, holism 虽然看上去和 whole 意思接近, 但 whole 来自德语的 heil, 健康的、完整的意思; holism 字面上更接近 hole, 但 hole 来自 hollow。请勿望文生义。

8 结语

归于形的存在, 如我他, 如蝼蚁, 如草芥, 从来都是空的。聚而成形, 散而归空。当尘归尘土归土的那一刻来临时, 人是能深刻地体会万物皆空的道理的。宏观层面存

12) Substance, underlying substrate 的意思, 是表现层面以下的东西, 汉译物质、物体、实体无法传达其本意。——笔者注

13) Evolve 是旋转着冒出来, evolution 汉译演化。Emerge 就是突然冒出来, 有学者提议翻译成演生。个人比较倾向于翻译成骤生, 谓在一定层次上, 当个体数目大到或者相互作用复杂、增强到某个程度时突然冒出。——笔者注

在物之成形与归空，可看做是微观粒子之聚散(物理学家们当下是以产生算符和湮灭算符来糊弄的)。那么，微观粒子也是其下一个层面聚集而来的吗？物理学家们认为是这样的。按照质量等于下一层粒子之质量加上能量的逻辑一路下去， $m_i = \sum m_{i-1} + \Delta E_{i-1}$ ，如将这个逻辑

有限截断的话，必有一个层面的粒子质量仅来自于下一个层面之能量的结论，这是 Higgs 机制的逻辑基础。纯能量的存在算是空吗？那证明这“空”之确凿的许多所谓努力和成就，恐怕有许多“空”的成分吧。

我的一个小朋友说：“承受不了

的是空，是虚无，是回看来路，一切都渐渐蒸发……”，深刻得真实。电影《梅兰芳》有句台词：“多大的繁华到头来都是一场虚空”，那是因为繁华是 emergent phenomenon。Emergent property 大约是佛家的空性。当组装体解体归于其组成单元后，emergent property 自然皆归于空。

参考文献

- [1] 阿部正雄著,王雷泉、张汝伦译,禅与西方思想.上海译文出版社,1989
- [2] 刘慈欣.三体.重庆出版社,2010
- [3] Vignale G. The beautiful invisible. Oxford university press, 2011. 171 中译本《至美无相》
- [4] Bojowald M. Physics Today,2013,(3):35
- [5] Brown D. The lost symbol. Anchor,2012
- [6] Pressler D. The Greatest Math Error. Guest comment in Journal of theoretics. vol.5,2003
- [7] Bloch E. The principle of hope. The MIT press,1995. 中译本《希望的原理》
- [8] Wrigley S S. Nature,2014,511:502
- [9] Schlain L. Art & Physics. Harper Perennial,2007. 160
- [10] Cao T Y. Conceptual developments of 20th century field theories. Cambridge University Press,1997
- [11] Wilczek F. Inter. J. Mod. Phys. A,2004,19:supplement,45—74
- [12] Rothman T. Everything's relative. Wiley, 2003. 15,172
- [13] Ball P. Flow. Oxford University Press, 2009
- [14] Green B. The fabric of the cosmos. Vintage Books,2004
- [15] Sorensen R. A brief history of the paradox. Oxford university press, 2003. 105
- [16] Rabelais F. Gargantua and Pantagruel (拉伯雷《巨人传》,版本众多)
- [17] Manin Y I. Mathematics as metaphor. American Mathematical Society, 2007. 24
- [18] Volovik G E. The universe in a helium droplet. Clarendon Press,2003
- [19] Sternberg S. Group theory and physics. Cambridge university press, 1995; Dvoeglazov V V (Ed.). Einstein and Poincaré:the physical vacuum. Apeiron, 2006
- [20] 曹则贤. 物理, 2012, 41(2): 119; 2012, 41(3):188
- [21] Dumitru S. Do the uncertainty relations really have crucial significances for physics? arXiv:1005.0381v1 (2014)
- [22] Puthoff H E. Can the vacuum be engineered for spaceflight applications. NASA Breakthrough Propulsion Physics, conference at Lewis Res. Center, 1977

拥堵的交通推动着城市的发展

当一个城市开始成长时，它总是从一个单中心结构演化为一个多中心的结构。所谓单中心结构是指一切活动都集中在同一个地理区域，也就是典型的中央商务区。而多中心结构必然共存着大量的分支中心。最近，来自于法国原子能委员会的两位科学家 R. Louf 和 M. Barthelemy 共同提出了一个新的随机模型，在新模型中考虑到出现交通日益拥堵时应如何解决。在过去 30 年的经济模式中，单个人选择工作地点时注重的是能获得最大的收入，即工资与交通成本间的差额。但在一个城市里，家庭与企业间的分布并不是静态的，随着城市人口的增加，交通将会拥堵，所以花在

物理新闻和动态

交通上的时间和成本也会相应地增加。但在新的模型中，他们引入了一些与发展结合的新概念，例如个人会减少对某些地区工作的选择，而增加对其他地区工作的吸引力，这些地区就成为新的分支中心。模型预测显示，当城市人口超过某一临界值时，城市就会由单个中心型突然转化成多中心型，同时交通距离与分支中心的数目都与城市人口呈亚线性关系。这个预测结果与实际数据高度吻合，特别是在收集了从 1994 年到 2010 年间美国 9000 个城市邮递员人数与邮政区变化的数据后，进行对比，发现与模型预测非常一致。

(黄 哟 编译自 *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 111: 198702)