

物理学咬文嚼字之三十一

核一心

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

Who carved the nucleus, before it fell, into six horns of ice?¹⁾

——Johannes Kepler in de Nive Sexangula

摘要 核心(芯)是个日常用词;相应地,西文 nucleus (nux), kernel (Kern, corn), core (coeur) 也都是些日常用词,大体上发音也相似. 作为专业词汇, nucleus 及其各种衍生词汇,如 nucleon, nuclein, nucleation 等等,具有极强的类比意味.

毛泽东无疑是一位伟大的理论家、战略家. 在指导中国国内革命战争时,他一针见血地指出“中国革命的首要问题是农民问题,而农民的首要问题是土地问题.” 在指导抗日战争时,他明白并让中国军民都明白了中日战争是一场我们一定会胜利的持久战. 倘若时势造人让他学习物理的话,我想他也一定会是一位具有深刻洞见的伟大的理论物理学家,因为他看问题总是能明了问题的核心所在,并从基础的层面加以考察.

中文的核,形声词,从木,亥声,指的是果实(所以从木)里的硬芯 (pit, stone). 有意思的是,中文的核有两种发音:核 (hé)与核(hú). 作为名词出现在桃核、梨核、枣核、苹果核、煤核中的是核(hú);作为动词出现在核查、核准、审核中的是核(hé). 当然,出现在桃核、梨核中的核也可以念核(hé),一篇描述用桃核(hú)刻成小船的文章就一直被念成《核(hé)舟记》. 不过也要注意,把煤核(hú)念成煤核(hé)怕是不妥,枣核也是更多地被念成枣核(hú)的. 学中文的老外一定奇怪我们中国人为什么在发音上要区别苹果核(hú)与核(hé)桃,万幸的是,核(hé)桃也罢,煤核(hú)也罢,核字的意思却始终是一致的.

果核是果实的具有实质性内涵的部分(见图1),所以“核”就被推广代指一些事物的中心部分、关键部分或者坚硬的部分. 不仅有可视的煤核,还有抽象的戏核(hú). 戏核,顾名思义,就是一部戏曲(推广至一切影视作品)中最关键的部分,用于表现整部戏的核心思想,突出最主要人物性格. 一部戏中,戏核自然也是最好看的部分,比如京剧《沙家浜》中的

“智斗”一场. 此外,像教育这种伟大的事业,原来也是有核的. 王充所谓“文吏不学,世之教无核也”(见《论衡·量知》),正可用来说明中国教育之现状.



图1 核,果实的中心

大自然的设计是很聪明的. 一些果子外面是甘美的果肉,诱使飞禽走兽啄或采,目的是让它们把果核(种子)带到远方以利繁衍. 种子本身又有自身的核心,外面的硬壳只起保护作用(否则被飞禽走兽连同果肉一并消化了),中心的果仁才是重要的;当然,果仁的大部分不过是贮存的营养,更核心的部分是作为生命发端的胚芽. 如果考察一下人类对原子的认识,会发现大约是循着这个剖开果肉见核见仁的过程(见图2).

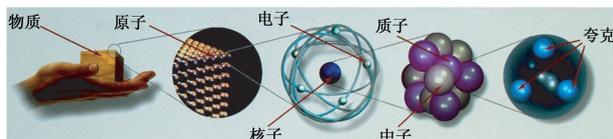


图2 从大块物质到夸克. 对原子结构的认识过程,有点像剖开果肉直到发现果仁里的胚芽的过程

1) 开普勒在《论六角雪花》一书中的句子:“是谁在雪花飘落之前,在其核上雕刻了六只犄角?”——笔者注

在物理学中,提到核字,人们最先想起的可能是原子核这个概念.原子核,这里的核读 hé 音.原子核里的核字,英文为 nucleus (复数 nuclei, nucleuses),来自拉丁语 nux,就是指核桃一类的坚果(英语为 nut, 德语为 Nuß).自然,这里 nucleus 依然被用来类比一些中心的、坚硬的、最重要的存在.原子核概念的产生是一个抽丝剥茧的过程.虽然早在 1844 年,Michael Faraday 就曾用 nucleus 来描述“central point of an atom (原子的中心点)”,但却没有今天原子核的内容²⁾.关于原子结构这个概念发生的渊源,笔者不是太清楚,只是知道在现在意义的原子核出现之前有著名的 J. J. Thomson 的“plum pudding model (李子布丁模型)”:原子像一小块(molecule)点心,外面点缀的果肉就是电子.如何安排原子中的电子,Thomson 还给出了细致的模型:原子外层类似一个导电的球壳,电子点缀在其上,且相互之间库仑势的总和取极小值.这就是所谓的 Thomson 问题,后来在数学上得到了推广,今天依然是一个值得关注的研究课题,并被用到力学、叶序学、球面结晶学等领域^[1,2].1911 年,Rutherford 为了解释 α 粒子(氦原子的核)轰击金箔的实验,提出了原子的行星模型:原子的所有正电荷集中在中心一点上,为原子核,电子围绕原子核运动.物理学从此开辟了原子核物理此一新领域.

有趣的是,关于一个坚果的名词,比如中文的栗子,既可以指带毛刺的全果(俗称毛栗子),也可以是指连壳带仁的单瓣(见糖炒栗子),甚至是去壳的果仁(见栗子烧鸡).核桃也如是,既可以指的是带果肉的整个果实,也可以是连壳带仁的核心部分,有时也用来指去壳的仁(见图 3).英文的果仁俗称 nutlet, fruit pit,但另有一个词汇叫 Kernel,指的是麦粒、米粒之类的谷粒和松子仁、核桃仁这样的坚果壳层(nutshell)里的柔软部分,和 corn (谷粒)同源.Kernel 因此意指事物本质的、重要的部分,如 The kernel of his problem (问题的实质).虽然我手头的字典里没有相关信息,我总觉得 kernel 词源上和德语的 Kern 有关.德语 Kern 就是核,原子核是 atomische Kern,核物理就是 Kernphysik.考虑到西文中 c, k 常常可互相替换,不知道欧洲核子中心(Centre Européen pour la Recherche Nucleaire,设在瑞士;瑞士讲德语)在设立之时,是否就想到了其缩写 CERN 与 Kern 几乎同构? Kernel 还是一个重要的数学概念.其定义之一如下:设 AB 是曲线 C 上的两个同态的可交换环,函数 $f:A \rightarrow B$,则 $f(a)=0, a \in A$,这样的元素 a 的集合为函数 f 的 kernel! 这好像就是关于函数的 support 的定义.于求解物理问题时常见的数学



图 3 核桃,似乎既可以指连皮带肉的果实,也可以指连壳带仁的坚果甚至单指果仁.栗子也是如此. Nucleus 在物理学中应用的历史,似也有类似的含混

概念 Kernel,出现在一些积分里,汉语习惯上就是翻译成积分核.比如,在解一类 Dirichlet 问题³⁾上,比如已知圆盘边缘上的温度分布 $f(\theta)$,求整个圆盘面上的温度分布,则整个圆盘面上的温度分布可表示为 $\varphi(r, \theta) = \int_0^{2\pi} P(r, \theta - \alpha) f(\alpha) d\alpha$, 其中的函数 $P(r, \theta) = \frac{1-r^2}{1-2r\cos\theta+r^2}$ 就是 Poisson (泊松) kernel. 在积分方程里,未知函数和一个已知函数卷积(convoluted),则此已知函数就被称为 integral kernel(积分核),比如第二类 Fredholm 积分方程 $\phi(x) = f(x) + \int_a^b K(x, t)\phi(t)dt$ 中,函数 $K(x, t)$ 就是积分核. 解数理方程的 Green 函数方法就涉及到 Fredholm 型积分方程.若能找到函数 $G(x, s)$,使得 $LG(x, s) = \delta(x-s)$,其中 L 为线性微分算子, $\delta(x-s)$ 为 Dirac 函数,则函数 $U(x) = \int G(x, s)f(s)ds$ (此处积分采第一类 Volterra 型积分方程的形式),是方程 $LU(x) = f(x)$ 的解.这里的技巧就是找到特定的 kernel 函数,把方程的解表示为 kernel 函数和源分布函数 $f(x)$ 之间的卷积.可以证明, Poisson Kernel 实际上是 Laplace 方程的 Green 函数之微分.在求解传热问题时,这样的 kernel 函数有专门名词 heat kernel^[3], 汉译热核,请注意不要和热核反应(thermonuclear reaction)中的热核弄拧了.

在中文语境中,内核是和心脏相联系的,所以有核心的说法.在西语中,这样的联系同样存在.汉语的核心常常用作对 core 的翻译,而 core 也用作对 kernel 的解释(kernel: the central, most important part of something; core). 英文的 core, 来自

- 2) 笔者想再次强调一下,对一个物理学概念的正确理解应该将之放在物理学的大框架内,要看到尽可能多的与之相关的物理图像
- 3) Dirichlet 问题,即寻找在给定区域的内部为某偏微分方程的解且满足指定边界条件的函数这样的问题.——笔者注

法语的 *coeur*, 即心脏, 例句如 *cri de coeur* (心灵深处的呐喊). 有趣的是, *coeur*, *core*, *kern*, *corn* 发音也相似. *Core* 也是常见的物理学专业词汇, 指代来自或者处于深处的, 如果不是严格地在中心部位的 (*central*), 事物, 比如放在变压器线圈中的软铁 (*core iron*), 原子外部电子所处的高结合能的能级如 *1s* 能级 (*core level*). 汉语翻译 *core* 有时不用“心”, 而是用“芯 (灯心草茎中的髓)”字, 原因不明, 不过意思倒没有偏差. 因此, 就有了铁芯 (*core iron*)、芯能级 (*core level*) 之说. 在例句 “The envelope (of a planetary nebula) being lost while the remnant core becomes the white dwarf” 中^[4], *remnant core* 可译为 中心部分的残留物. *Core*, 内核部分, 如再加上 *hard* 强调一下, 就有死硬的、绝对的意思, 如 *hard-core drug users* (不可救药的吸毒者)^[5].

对于一个 *nucleus* 来说, 其大致由坚硬的保护壳 *shell* 和一个柔软的精华 *kernel (core)* 组成. *Shell* 是一个常见的物理学词汇, 有时用 *nutshell* 标示坚硬的、拒绝接近的外壳. 一些物理学家似乎喜好用 *nutshell* 作书名来招徕注意力, 如 Stephen Hawking 的 *Universe in the Nutshell* (果壳里的宇宙), Alan Zee 的 *Quantum Field Theory in a Nutshell* (果壳里的量子场论), 和 Eberhard Zeidler 的 *Quantum Field Theory* 一书的 1.2 节 *Quantization in a Nutshell* (果壳里的量子化). 人们曾为原子和原子核构造过 *shell model* (壳层模型), 前者处理的是电子在原子外部的构型问题, 后者是处理原子核内如何安排质子和中子的问题. 其实, 核壳结构不只是为果实、鸡蛋或者地球这样的大家伙安排的结构, 许多微生物都是采用简单的核壳结构. 近年纳米科技突飞猛进, 更是出现了许多有趣的人工合成的核壳结构. 有兴趣的读者, 请参阅专门文献^[6]. 与 *nucleus* 对应的词, 并非只有 *shell*, 另有一词为 *periphery* (边缘、外围). 一个社会中的核心与边缘 (*core and periphery*), 对应的是权势与无助 (*power and hopelessness*), 富足与贫困 (*rich and poor*). 对于处于 *periphery* 之边缘化了的人民与文化的困窘, Harm de Blij 有详细而深刻的论述^[7].

Nucleus 对应的动词为 *nucleate*, 然后又派生成名词 *nucleation*, 汉译形核 (现行《物理学名词》里定名为“成核”). 形核是材料、组织生长过程的必要步骤, 不管是晶体还是黑社会, 其成长都会经历一个形核过程, 在这个过程中个体 (个人、原子等) 一面聚集, 一面逃离. 当形成的核心 (*nucleus*) 的尺寸超过一个临界值

后, 其对个体就有了足够的吸引力, 个体依附于该核心的几率会大于自其逃离的几率, 于是开始快速生长过程. 就晶体生长而言, 除了自发形核机制外, 各类缺陷和杂质附近都容易形核, 提供生长的核心^[8]. 晶体生长先有个形核的过程, 古人早有觉察. 《诗经》有句云: “相彼雨雪, 先集维霰”, 可资为证. 而由本文题头的 “Who carved the nucleus, before it fell, into six horns of ice?” 可知西人在 17 世纪也早就意识到形核的概念. 可见生长形核这类朴素的科学概念, 其产生大体与地域和文化无关, 因此在不同文化语境中有近似相同的表达.

关于核的概念, 可能初学物理的人会存有一些阶段性的迷信. Rutherford 给出原子核模型以后的一段时间里, 人们关于原子核的观念大致如枣核那样, 是硬硬的均质的一团 (考察对低能粒子的散射行为). 然而随着对原子核质量的精确测量、中子的发现以及原子核 β 衰变现象的发现, 人们发现原子核并非如枣核那般, 也许核桃的核或者苹果核能提供更真实的模型 (比较图 4 和图 2). 原子的核心不是糊涂一块, 组成原子核的单元及或成份不是唯一的, 它有空间结构、能级结构还有衰变过程. 所谓核心是唯一的理解, 大约是某种一厢情愿. 组成原子核的单元包括中子和质子, 它们统称为核子 (*nucleon*), 这是自 *nucleus* 派生的又一个词.



图 4 栗子与苹果的核心, 其中包含多枚核子 (*nucleon*)

因为许多模型是有核心的模型, 地球围绕着太阳转, 电子围绕着原子核转, 许多学物理的人便以为这个宇宙也一定有某个中心, 一切都要围绕其进行. 表现在对运动的描述上, 就是要有参照点. 狭义相对论为我们破除了对参照点的依赖. 而关于膨胀宇宙的 Hubble 定律的确立, 则支持宇宙是一个没有中心的流形 (比如气球的表面), 也就是说我们的宇宙是一个没有核心的世界. 就对宇宙的浅显认识而言, 我个人倾向于接受无核宇宙这样的宇宙观, 它反映的是, 世界是存在的集合及其之间相互联系的集合论观点. 在这样的世界里, 元素之间的关联产生了时空的概念, 核心之不存在是先验的!

核的概念似乎和硬度(刚度)是密切关联的. 汉语里作为动词的核,意味着深入核心,究其实也. 但只要接近核的壳(shell of nucleus), 硬度问题就来了. 就原子核而论, 原子半径在 0.1nm 量级, 而原子核的尺寸为 fm, 差了 5 个数量级. 因此, 要穿过(penetrates)一个原子核⁴⁾的 nutshell, 入射粒子的能量需要以 MeV 以至 GeV 为单位. 在这样的能量上, 原子核的结构才可以被探知. 随着对核心的逼近, 所需能量也会越来越高; 而且越靠近核心, 越感觉深不可测. 此为常理, 完全不用乞灵于不确定性原理来得到解释. 那么, 在研究原子核的路上我们会一直遇到越来越坚硬越来越小的内核吗? Schrödinger 认为不会的. 最终我们会看到, 超过一定的尺度之下, 所谓的物质不过是“form”, 即最核心处只是形式而已^[9]. 以渐进自由度为关键词的关于夸克相互作用的描述, 同以库仑势形式的关于电荷之间相互作用的描述, 以及以汤川势形式的关于核子之间相互作用的描述, 其方法论上的逆转是由存在的现实决定的. 这方面的物理描述挺复杂, 但道理却是明白易懂的——1948 年攻入天津的解放军战士和 1945 年攻入柏林的苏军士兵都知道, 过了 nutshell 以后的核心, 其实是软的. 正是: 世间万物, 谬分壳核; 核心深处, 一片虚无.

把原子核里比原子核还小的组成单元, 即质子和中子, 叫 nucleon, 这个词的构造有西语中构造小词的习惯. 1869 年 Fritz Miescher 第一次在细胞核(cell's nuclei)中分离出了一种蛋白质与 DNA 的复合体(DNA with associated proteins), 将之命名为 nuclein (核素), 是一种介于核蛋白和核酸之间的中间产物(in the nuclei of cells that are intermediate to nucleoproteins and nucleic acids). 此词的构造也显然用到了小词的构法(注意到德语的“小”就是 klein), 其字面意思只是一种比细胞核更小的东西而已.

最后提一下, 西文果核的植物学说法为 putamen (复数 putamina), 英文字典解释为 the hard stone, or endocarp, of certain fruits, as of the peach and the plum, or the shell of a nut, 是桃李的硬核或者坚果的硬壳. 笔者未见此词在物理学文献中的用法, 聊录于此, 以免太过鄙陋.

后记 历经许多曲折, 最终承蒙新加坡 World Scientific 出版社抬举, 《物理学咬文嚼字》前三十篇得以结集出版. 出版社深知此类书籍销售之艰难, 故只印了一千册. 恳望热心的读者解囊购上几册, 倘若 World Scientific 出版社亏了本, 这种书就更没地方出版了.

在封笔的半年多时间里, 许多前辈和朋友都通过不同途径表达了对这个专栏的关切. 他们的厚爱让笔者深为感动. 今语云: “码字的为知己者涂鸦”, 只要《物理学咬文嚼字》还有一位热心的读者, 则贤也会勉力而为, 不敢有丝毫懈怠.

这段时间闲来无事, 时不时又会想到语言的作用, 思考其对科学甚至政治的影响. Nature 杂志上一篇文章说的好, 语言是身份的认同(……they see their language and culture as their identity, and as a source of pride not to be given up (他们把他们的语言和文化看作为其身份认同, 是决不肯放弃的自豪的源泉). Tuan Y F. Nature, 2008, 455: 168). 网上还读到一段文字: “她(宋美龄)的优雅、她的活力甚至她的能干, 更像是美国式的, 不怎么“中国”. 她的英语无论说和写, 都比她的中文好, 甚至连她的思维方式都是英语的. 尽管贵为第一夫人, 但她的交往圈却还是欧美化的中国人, 连打电话都用英语, 给接线员留下了深刻的印象.” 这段文字让我好像对中国现代史的进程多了点理解.

令人欣喜的是, 近年来似乎有越来越多的老外学中文, 而且是在科学界. Advanced Materials 杂志在北京办事处的外籍工作人员, 就基本都通中文. 也许有一天中文会成为科学语言之一, 则这物理学咬文嚼字的活计就该轮到老外们做了. 我们期待着.

——曹则贤于 2010 年 7 月

参考文献

- [1] Altschuler E R *et al.* Phys. Rev. Lett., 1997, 78: 2681
- [2] 曹则贤. 球面结晶学. PPT, 2007
- [3] Berlinc N, Getzler E, Vergne M. Heat Kernel and Dirac Operator, Springer, 2004
- [4] Cotterill R. The Material World. Cambridge University Press, 2008, 8
- [5] Brown D. The Lost Symbol, Doubleday, 2009, 10
- [6] Li C R, Ji A L, Lei G, Cao Z X. Adv. Mat., 2009, 21: 4652
- [7] de Blij H. the Power of Place: Geography, Destiny, and globalization's Rough landscape. Oxford University Press, 2008
- [8] Markov I V. Crystal Growth for Beginners. World Scientific, 1995
- [9] Schrödinger E. Nature and Greeks. Cambridge University Press, 1954

4) 对原子核做电子/核子散射就是一个深入原子的过程, 关于原子核和核子的有关研究就是这样进行的. 这是一种和地质钻探可比拟的活动. Hofstadter 因对原子核的电子散射研究获得 1961 年的诺贝尔物理学奖, 获奖演说为 The electron-scattering method and its application to the structure of nuclei and nucleons. ——笔者注