

物理学咬文嚼字之六十九

什么素、质？

曹则贤[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2015-01-14收到

† email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20150207

安得郢中质，一挥成风斤。

——李白

如彼梓材，弗勤丹漆，虽劳朴斫，终负素质。

——张华

摘要 英文数理概念如proton, prime number, 都源于序数词“第一”，汉语以质子、素数的翻译应付，倒也算贴切。

1 何以为质

《庄子·徐无鬼》中有这样一段故事，照录如下：庄子送葬，过惠子之墓，顾谓从者曰：“郢人堊慢其鼻端，若蝇翼，使匠石斫之。匠石运斤成风，听而斫之，尽堊而鼻不伤，郢人立不失容。宋元君闻之，召匠石曰：‘尝试为寡人’为之。’匠石曰：‘臣则尝能斫之。虽然，臣之质死久矣。’自惠子之死也，吾无以为质矣！吾无与言之矣。”愚读这则故事时，总是幻想当时情景：某人把斧头抡出呼呼风声直奔同伴鼻端的白灰，同伴看到亮眼的斧头砍下来不避不让任由利刃从鼻端刮过。这是怎样的对自己、对同伴的自信？这样的一对搭档，当真对得起这个“质”字，还真不是庄子、惠子之流逗嘴皮子者所能比拟的¹⁾。

这则故事难为人的地方是对“质”这个字的理解。从故事来看，“质”在郢人一匠石那里指那些能互相成就的搭档，在庄子—惠子那里则可理解为砥砺切磋的对手。李白的“安得郢中质，一挥成风斤”，感慨的就是这种相得益彰的对手、搭档太难得了。质，从贝，与财富有关。以钱受物曰贄，以物受钱曰质，所以有质押的说法，强调的也是价值上的等量齐观。所谓的人质，以人为抵押，那质押的人要有足够的价值才行，不是什么人都可以作人质的。据《战国策》记载，秦急攻赵国，赵氏求救于齐，齐曰：“必以长安君为质，兵乃出。”对方为出兵而要求的人质是赵太后的心肝小儿子长安君，价值高到“太后不肯”。太后明谓左右：“有复言令长安君为质者，老妇必唾其面。”后来，还是经过大臣触龙一

番迂回劝说，尤其是点明了“人主之子不能恃无功之尊、无劳之奉”的道理，老太太才算是勉强同意了：“于是为长安君约车百乘，质于齐，齐兵乃出。”

在当代汉语中，质还可当本性、禀性理解，指那些带根本性的东西或者组成成分，对应英文的nature, natural disposition, 故有素质、物-质、性-质等说法。素也是本性的意思。太素者，质之始也（—《列子》），这里的太素，大约对应西方形而上学里的essence或者后来经典物理经常出现的ether，即本原的存在，最早、最初形态的物质。因此，素被用来翻译那些可能是基本成分的概念，如元素(element²⁾)、核素(nuclide)、毒素(toxin)、因素(factor)等。素和质常合用，有素质、质素的说法；有时候这两个词会混用，比如素数也叫质数。

1) 庄子曾与他以为“质”的惠子打过一段机锋，见《庄子·秋水》篇。庄子与惠子游于濠梁之上。庄子曰：“儻鱼出游从容，是鱼之乐也？”惠子曰：“子非鱼，安知鱼之乐？”庄子曰：“子非我，安知我不知鱼之乐？”惠子曰：“我非子，固不知子矣；子固非鱼也，子之不知鱼之乐，全矣。”庄子曰：“请循其本。子曰‘汝安知鱼乐’云者，既已知吾知之而问我。我知之濠上也。”——笔者注

2) 有个英语成语叫in one's element, 可能是如鱼得水、得心应手的意思。——笔者注

2 本性第一

物理学中的质子(proton), 数学中的质数(素数, prime number), 其对应的西文的本意都是第一的意思。Proton, 来自希腊语πρώτο(第一)。亚里斯多德提及自己关于metaphysics部分的论著时称其为τὰ περὶ τῆς πρώτης φιλοσοφίας (the [writings] concerning first philosophy), 即metaphysics乃是第一(位的)哲学; 相应地, 关于自然的研究或者自然哲学则是第二(位的)哲学。以proto为词根的词有不少, 如protomartyr(第一个殉教者), prototype, 即the first thing or being of its kind; original; model; pattern; archetype³⁾, 汉译原型器件。原型器件也许很粗糙、丑陋(图1), 但其重要之处在于其所体现的思想。能够做出一种原型器件是从事材料、器件研究的科研人员梦寐以求的理想。在有些词汇中, proto会被翻译成“原”, 如protoplasma(原生质, 即生命中最基本的浆体), protohistory(原史学, 即对紧靠着有记载的历史之前那段时期的历史研究); 在有些词汇中, proto会被翻译成“先”, 如protandrous(雄性先熟的), protogynous(雌性先熟的)。人类就是一种protogynous animal。这大概是女性优先文化的生物学本源。

Prime, 来自拉丁语的第一(primus), 其变形有很多种, 如prim, primary, primal, primate, primeval, premier等等。只要我们记得其原意为第一, 它们的具体意思都好

理解。Premier作为名词, 汉译总理, 其实也就是prime minister, 即首席部长。类似地, prima ballerina, 芭蕾舞团的首席女演员, prima donna, 歌剧里的首席女演员, 类似京剧里的头牌旦角。至于prime numbers, 应该是指其具有第一位的重要性(primacy)的那些整数(见下)。

3 质子

质子, proton, 就是“第一”原子核的意思, 是卢瑟福于1920年给氢原子核起的名字。此前一年, 卢瑟福发现能够自氮原子核轰击出氢原子核。氢原子有三种同位素, 原子核质量数分别为1, 2, 3, 它们分别被用英文记为protium, deuterium, tritium, 其实来自希腊语的πρώτο(第一), δεύτερο(第二)和τρίτο(第三), 汉译氕、氘、氚虽然照顾了其为一、二、三的意思, 但是强以为其为“气”就走偏了。这质量数为1的原子核, 带一个单位的正电荷, 应该是物质的building block, 就被命名为proton。当然, 它也可以被理解为基本的、本原的东西。质子+电子的松散组合, 或者叫稀薄氢等离子体, 才是这个宇宙的背景状态。那些由看似无数星体组成的也许也是无限数目的壮丽星系, 不过是如同质数(prime numbers)一样的边缘人(outlier, 参见下文), 其测度为零。

类氢粒子作为其它原子之基本单元的概念有一个长期的发展过程。1815年William Prout就觉得所有原子是由氢原子组成的, 他那时称之为protyle。Protyle, 词根来自



图1 贝尔实验室保留的锗三极管原型器件

希腊语ύλη, timber(木材), material的意思, 所以字面上protyle乃为原料的意思。基本粒子的概念源于对气体放电的研究, 从阴极发生的阴极射线其荷质比有唯一的值, 后来我们知道这就是电子。阴极射线打到固体靶面上又引起新的未知射线, 名为X-ray, 此是后话。从阳极发出的阳极射线具有不同的荷质比(取决于放电所用的气体), 因此有第一或者最小荷质比的问题。1917年以及接下来的一段时间里, 卢瑟福证明氢原子核出现在别的原子核中, 具体实验是用 α -粒子轰击氮原子, 涉及的是核反应 ${}^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}\text{O} + \text{p}$ 。显然, 氢原子核应该有个专门的名字, 至少应该有别于氢原子(两者质量几乎没差别)。卢瑟福提议将之命名为proton或者prouton(根据William Prout的名字), 最后是proton这个命名被接受了下来。

质子(proton)是物质的基本单元, 这也意味着相对物质世界的典型尺度来说, 它是小不点儿。当然,

3) Archetype的词头为希腊语的αρχος, 是第一、居于统领地位的意思, 相关词汇包括archangel(大天使), archduke(大公), archbishop(大主教), archenemy(劲敌)等。——笔者注

4) 如果我们使用距离描述力, 用力来定义粒子的大小, 则这大小永远是一个含糊的概念。实际上, 对所有物体大小的定义都会遭遇同样的问题。在基本粒子的碰撞问题中, 真不知道那里的距离是如何定义和测量的。——笔者注

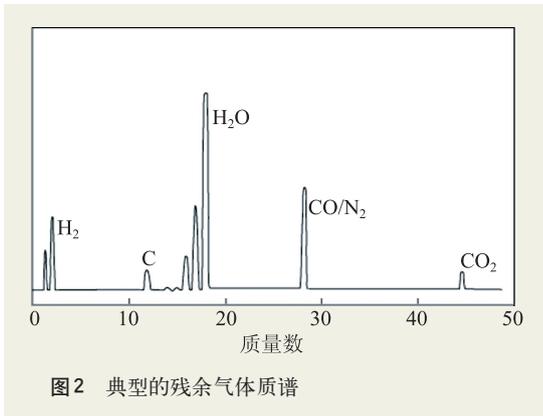


图2 典型的残余气体质谱

它的大小不好定义⁴⁾，现在一般认为质子的半径约为0.84—0.87 fm。此一事实的一个含义是，我们很难用实际的物质圈出一个没有氢原子的空间。同真空技术打过交道的人都知道，随着真空度的提高，真空室中各种气体的相对含量不断改变。实际上，残余气体的质谱特征本身就可以用来评估真空的品质(图2)。干净的超高真空室里，其典型质谱应该由质量数为1, 2, 对应H⁺和H₂⁺，的两个高峰加上一些不易察觉的小鼓包组成。而所谓的H⁺不过是质子的别名而已。离子H⁺不过是裸的——也许是部分裸的——质子，因此它有别于所有其它的离子，这是水具有各种反常性质的关键。一定程度上H⁺跟得上电子的运动⁵⁾，则对付一般固体的所谓固体理论之前提假设，即Born—Oppenheimer近似，就不成立。一切或明或暗地以Born—Oppenheimer近似为前提的所谓关于冰之结构或者性质的计算，其可能正确的几率都不会大，或者干脆说没有。

4 素数

素数，汉语又称质数，是对

prime number 的翻译。所谓的素数是指只能被1和其自身整除的正整数。2, 3, 5, 7, 11, 13是最小的几个素数。显然，这里的prime是fundamental, basic, from which others are derived (基础的、它者可由其导出的)的意思。这表现在数论中的算术基本定理

上，该定理指明任何一个大于1的整数都可以唯一地表达成一组素数的积，即对于整数N，总有 $N=p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_n^{a_n}$ ，其中 p_1, p_2, \dots, p_n 是一组互异的质数， a_1, a_2, \dots, a_n 是正整数。从这个角度看，就容易理解为什么说质数是“basic building blocks of the natural numbers(自然数的建构单元)”了。由此定理可以证明存在无穷多的素数，这一证明欧几里得在公元前300年就完成了。一个自然数是否是素数的性质称为primality(素性)。两个没有公约数的整数被称为是互质的(relatively prime)。

数论的主要研究对象是素数。数论研究，按我的理解，简直是一项羞辱我等资质平庸者智商的游戏。数论的一些结果，总能收到令人瞠目结舌的效果，比如素数定理：任取一个整数N，其是质数的几率同logN成反比，此事实由高斯于1796年发现；比如孪生素数猜想，即存在无穷多相差2的素数对；比如可表示为4n+1的质数必是两个整数的平方和；比如如果质数p是群的阶数的因子，则必然存在阶数为p的子群；又比如哥德巴赫猜想，即任意一个大于2的整数可以表述为两个素数之和，等等等

等。笔者小时候在家乡的土墙上看到关于哥德巴赫猜想的报告文学，总也想不清楚这玩意儿为什么要证明，为什么连证明不了这个题目的人也是伟大的数学家。如果这些数学家自己难为自己的游戏还不够震撼的话，下面的黎曼猜想应该够分量了。黎曼ζ-函数定义为 $\zeta(s)=\sum_{n=1}^{\infty} n^{-s}$ ，其中变量s为(不是1的)复数，此函数同素数紧密联系。由算术基本定理(Euler)证明 $\zeta(s)=\sum_{n=1}^{\infty} n^{-s} = \prod_{p \text{ prime}} (1-p^{-s})^{-1}$ (这可是连接加法和乘法的最基本的纽带)，其中p为所有的素数。进一步地，黎曼1859年给出了一个大胆的猜想：除了 $s=-2, -4, -6, \dots$ 外，黎曼ζ-函数的所有零点对应复数 $s=\frac{1}{2}+it$ 。^[1]黎曼猜想和素数的关系本质上是说素数尽可能规则地分布。从物理的角度来说，这大致是说素数分布的不规则只能来自随机噪声。这是否是黎曼函数同随机函数、量子混沌等学问有关的原因，笔者不懂，此处不敢妄议。

素数的没有因子的性质可看做是(孤傲者的)孤独的隐喻，它宿命地应该在人类情感描述中占有一席之地。意大利粒子物理博士保罗·乔尔达诺于2008年发表的处女作《质数的孤独》(La solitudine dei numeri primi)当年就成为畅销书，并被改编为同名电影。小说讲述一对从童年到青年时期一直相伴的男女之间的感情故事，他们因为不同原因都是落寞寡欢的人，孤独、不合群，就象质数相对于其它自然数那样是局外人(outlier)，但他们之间却互相关心。这种情感，非常亲近但又绝不是浪漫情怀(very

5) 其实我们不知道电子怎样运动，关于电子运动还没有统一的图像。——笔者注

close but never romantic), 就好象一对孪生素数, 比如2760889966649和2760889966651那样, 很接近却又都是孤独又孤立的(solitari ed isolati)。此一对人类情感的数学表述, 愚以为非凭借物理学家特有的深切与细腻则绝无可能。也许比孪生素数更哀婉的爱情故事是彼岸花的花与叶吧: 彼岸花, 彼岸花, 生生世世, 花不见叶, 叶不见花。

5 素数与物理常数

有趣的是, 10以内的质数, 即2—3—5—7, 可以联接物理学的基本常数^[2]。考察一下光速的数值 $c=299,792,458$ m/s, 此为一整数。暂且把物理单位m/s和因子 10^8 放到一边, 将2.99792458乘上 $\sqrt{2/7}$, 得到1.6024580928, 这个数值和基本电荷 e 的推荐值 $1.60217653(14) \times 10^{-19}$ C在前四位有效数字上吻合。再者, 将 $\sqrt{2} \times 5$ 除以2.99792458, 得1.0548222864, 这和普朗克常数 h 的推荐值 $1.05457168(18) \times 10^{-34}$ Js在前四位有效数字上也吻合得很好。此关系是在研究量子系统的涨落时被注意到的⁶⁾, 它说明涨落可能是更基本的物理问题⁷⁾。若此从基本物理问题推导而来的定量关系是确切的话, 那意味着对基本常数的精确测量就无须逐个进行了——针对一个确实能精确测量⁸⁾的量去努力就好⁹⁾。基本物理常数与质数间的关系, 我猜也许在黎曼 ζ -函数与物理的关系中可以得到理解, 希望这一点能引起同行们的注意。

参考文献

- [1] Sabbagh K. Dr. Riemann's Zeros. Atlantic Books, 2002
 [2] Mohr P J, Taylor B N. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants, 2002

6) 此定量关系由西南科技大学刘涛先生在研究量子涨落问题时得到。——笔者注
 7) 浙江大学陈庆虎教授向笔者指出这一点。其实, 爱因斯坦的工作早就体现了这一点, 可惜我当初阅读时未能领会。——笔者注
 8) 关于物理量测量问题, 其中的循环论证比热力学理论框架中的还要多。——笔者注
 9) 中国科技大学汪克林教授语。——笔者注

Cryocoolers and Cryostats

Visit us at booth # 1101 at the APS March Meeting



High Power Cryocoolers
1.5 W @ 4.2 K



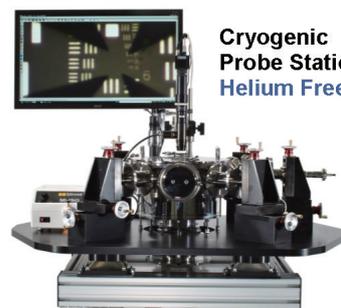
ARS Manufactured Closed Cycle
3 K — 1100 K



Top Loading Fast Sample Change



Cryogenic Probe Station Helium Free



Advanced Research Systems

www.arscryo.com
ars@arscryo.com