

物理学咬文嚼字之八十五

重与轻

曹则贤[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2017-03-13收到

[†] email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20170409

艳色天下重，西施宁久微？

——王维《西施咏》

依本分，只落得人轻贱。

——无名氏《志感》

摘要 重感和下落是人的第一层感觉。物理文献中涉及重的词汇有 weight, gravitation, gravity, graviton, gravitino, gravific particles, barometer, baryon 等。相关讨论还会涉及 levity, levitation, lepton 和 lightness 等关于轻的概念。

1 引子

生命从水中上岸后，除了要对抗干燥和短波长光照以外，还要抵抗重力。当动物学会了仅用两个下肢就能维持身体平衡¹⁾时，解放出来的上肢就能做更多事情从而让该动物变得聪明起来，比如猿、松鼠和猿。与猿、松鼠和猿不同，虽然有些恐龙也解放了前肢，但似乎前肢没能演化为手，恐龙也就没能变得聪明起来。他们硕大的身体遭遇的巨大重力，可能才是其灭绝的原因。恐龙灭绝的另一个可能原因是笨死的。笨重，笨重，太重了就笨。笨重的反义词是轻灵。

那种由猿解放了双手变来的动物，他们现在管自己叫人类，甚至聪明到可以用广义相对论描述重力

(gravity)的地步。陆上的动物要为自己建造巢穴，这个活动中遇到的一个关键干扰因素就是重力。一部人类建筑史，首先是抵抗重力的历史。劳动的双手让人类变得越来越聪明，越来越聪明的人类把思考的对象扩展到了整个宇宙²⁾。这其中，重量的问题，物体下落的问题，成了物理学的本源问题。

与重相关的物理学词汇包括 weight, gravity, gravitation, graviton, gravitino, gravific particle, barometer, baryon 等。重的对立面是轻，相关的词汇包括 lightness, levity, levitation, lepton, 等等。

2 重力现象与重力理论

古希腊哲人认为世界是由土、水、火、气四种元素组成的。这四

种元素会分别拥有某些性质的正反面，比如说土和水拥有 gravity(重)会下沉，而火和气拥有 levity(轻)会上升。这有点类似中国古代哲学里清浊的概念——开天辟地以后，浊气下降而清气上升。与轻重相伴的还有亚里士多德的关于运动的观点：物体的运动是要寻找其自然的归宿。此外，亚里士多德还认为在两个下落的物体之中，更重的那个下落的快。亚里士多德的观点遭到了其同时代人斯特拉托(Strato)的质疑³⁾。斯特拉托从对屋檐滴水过程的观察发现，下落速度是个变化着的量，从开始到触地这段时间间隔内速度应该是越来越快的：屋檐落下的水开始时是连续的，后来才变成间隔越来越大的雨滴。他由此认为物质只有重(gravity)这一个性质，而不是有轻、重两种性质。气和火看

1) 平衡是对 equilibrium 的好翻译。德语的平衡, gleichgewicht, 字面意思是等重。

2) 物理学史上德国人非凡的物理直觉来自哪里? 我的答案是手。

3) 我也是刚知道有这回事的。



图1 飞天和空间站中的宇航员

似上升是不如更重的物体下落得快受挤压造成的。Gravity 和 levity 是拉丁语词汇，形容词分别为 gravis 和 levitas。

所有蹒跚学步的小孩都曾因重力摔倒过，且有不少人一生中会被落下的物体砸到过头，他们中一定有很多人对此感到困惑过。传说1666年的某一天，一颗苹果砸到牛顿的头上，让他悟到了重力的奥秘。Gravitation is universal! 地球拉着苹果，也拉着天上的月亮。牛顿用平面几何的知识证明了，如果这个重力是和距离平方成反比的，则行星绕太阳的轨道就是以太阳为焦点(之一)⁴⁾的椭圆，这即是开普勒的第一定律。牛顿的万有引力公式可表述 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，其中的 G 为万有引力常数。 G 是 gravitation 的首字母。

Universal gravitation 被汉译为“万有引力”有点别扭，因为我们时常会遇到类似 gravitation is always attractive 这样的句子，翻译成“引力总是吸引的”？古代中国可是把 gravitational theory 翻译成重学的。此外，当我们谈论 gravitation 的时候，实际上谈论的是两物体仅仅因为有质量就有的那种作用，其涉及的内容博大精深(惠勒的大部头 gravitation，光目录就九页)¹⁾，将 gravitation 翻译成“引力”是不对

的。引力，或重力，应该是留给 gravitational force 的。

涉及 gravitation 的内容博大精深，源于爱因斯坦的引力理论，即广义相对论。要求时空的每一点上满足洛伦兹变换，且引力等价于弯曲时空的曲率，这样得到的高度非线性引力方程确实更多具有的是哲学价值。引力波方程，不过是作弱场近似返回来掏出了此前塞进去的满足洛伦兹变换的波动方程这只兔子。至于引力的量子化问题，有很多有趣的、徒劳的尝试。人们应该先弄明白谐振子问题为什么是可以量子化的。能够被量子化的问题很少，引力如果最终不能量子化，没什么好惊讶的。

英文谈及重量，用的名词为 weight，该词作为动词是加重的意思(统计物理中，weighted average 被汉译为加权平均)，weigh(德语为 wiegen)才是称重的意思。英语重量的单位 pound，磅，来自拉丁语的重，ponderosus，英文说人笨重就用形容词 ponderous。重力是物质的质量这个性质决定的，但质量，英文 mass，实际上是一大块的意思。英文的 massive，不是只说质量用 kg 表示的值很大，而且还很占地方。当然，在粒子物理语境中，一个 massive particle 就是说该粒子是有质量的或者强调其是有较大质量(相

对于电子)的。

光子是无质量的(massless)，无质量的粒子不参与 gravitational interaction(引力相互作用)。在光子之前，人们曾设想存在热质(caloric)传导热量。为了让热质免受水往低处流的烦恼，人们设想热质是无重的，因此有 weightless caloric 的说法。不过，weightless 常被理解为测量不到重力的，比如在 gravitational field(引力场)中(和称一起)自由下落的物体是 weightless，但它一直受到引力场的作用。

3 Microgravity & Levitation

深受重力之苦的人类特别羡慕那些能自在翱翔的鸟儿。杜甫的“飘飘何所似？天地一沙鸥”，岑参的“白发悲花落，青云羡鸟飞”，满满的都是羡慕之情。试图借助外力实现升空的人，西方神话中有自制翅膀的 Daedalus，中国明朝有用火箭绑椅子的万户。飞天的形象(图1)，是老祖宗欲飞升而不得之长期郁闷的结晶。令老祖宗想不到的是，他们的想象如今已变成了现实，人类已经能够挣脱地球 gravity 的羁绊，可以在空间站中尽展飞天的曼妙舞姿(图1)。

引力源于质量，则因为质量的不均匀分布，空间各处的重力水平是不同的。以地球表面的重力加速度为基准(记为 1 g)，则火星表面约为 0.96 g，月球表面约为 1/6 g。而在星际之间的广袤空间里，引力或曰重力加速度约为零(zero gravity)。在空间站中，重力水平约为 10^{-6} g，这个或更低的重力水平被称为微重力(microgravity)。人类在空间站中可以象飞天一样自在地生活？不！

4) 1)天上只有一个太阳；2)focus的意思不是焦点，是炉子；3)椭圆有一个焦点的定义。

象飞天那样自由翻滚可以，但生活可艰难了。人类生活在地球表面，人类的内在运动和外部环境中的运动都是1g重力水平下的过程。在微重力环境中，一切都走样了：水不再往下流，火苗不再往上窜(图2)——喝水抽烟都成了难题。尤为恐怖的是，微重力环境下骨质流失(bone demineralization)很快，这是航天员执行任务有时间上限的原因⁵⁾。什么叫“天人合一”？人要生活在1g水平的空间中，这就是天人合一的一个侧面。另一个大家都熟悉的、符合“天人合一”原则的现象是人要睡觉，要习惯世界的黑暗。

微重力环境下物体可以漂浮着，这对于做一些涉及流体的实验太有利了，因为可以避免同容器的接触，可以免除重力引起的对流等问题。人们在地面上也想让物体悬在空中(held aloft)，这可以通过光学、空气动力学或者电磁学的方法实现这一点。比如，因为超导体的抗磁性，在超导体上方的磁铁不能完全落下来，就可以悬浮着。这即是所谓的levitation。Levitation和levity同源，本意是轻，动词levitate是类比gravitate造的词，有rise and float的意思。汉译悬浮是从floating的形象而来的。

4 重子与轻子

关于轻重这种自然现象，西语中自然少不了来自希腊语的词。希腊语的重是βαρύς, barys, 基于这个词构造了许多含有重的意思的词汇。比如56号元素, barium, 1774年被确认, 汉语音译为钡, 意思就是重, 虽然其作为一种金属密度只有3.51 g/cm³而已。源自βαρύς的物

理词汇还有barometer, 被汉译成气压计、晴雨表, 其实就是个重量计量器件: 抽真空后的玻璃管内充入水银, 根据所支撑水银的高度(单位面积上的重量)来度量气压。与barometry字面意思相同的是gravimeter, 不过这是比重计或重力加速度计。在标准粒子模型中, 由三夸克组成的费密子如n, p, Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- 等粒子被称为重子, baryon。与重子相对的有轻子(lepton)六种, 分别为电子、缪子(muon)和陶子(tau), 以及各自对应的中微子(neutrino)(图3)。轻子比重子质量要小得多, 比如电子质量只是最轻的重子(质子和中子)的1/1836。轻子lepton, 来自希腊语形容词λεπτός, 但这个字的本意是小、细、精致。Lepton是希腊货币的最小硬币, 复数形式为lepta。

5 重粒子 gravific particle

Gravific是个和gravity相联系的形容词, 太罕见了, 笔者的Webster大词典都不收录。但是, gravific particle(重粒子)是科学史上非常重要的概念, 它曾是连接重学和热功学(thermo-dynamics)之努力的关键。

“民科”赫帕特(John Herpath, 1790—1868)自重力现象(gravity)出发研究热。此一研究方式是热功学得以建立的自然选择。Thermo-

dynamics关注的是热如何转换成功, 卡诺就是参考水车的原理(工作于两个高度上)才认定热机需要在两个温度上工作的, 而功就是用热机自矿井的提水能力加以定义的。赫帕特试图为gravity找到一个解释, 他提议存在一种微妙的以太, 由gravific particles组成, 其在接近天体会因高温而变得稀薄。此种以太的低密度使得gravity可以随处起作用。这一模型还让赫帕特建立起了温度同粒子速度之间的关系, 从而建立起气体的动力学理论^[2]。前面提到, 与此相对应, 热力学历史上的热质说认为热是由一种称为caloric的流体携带的, 而caloric是没有重量的(weightless)。

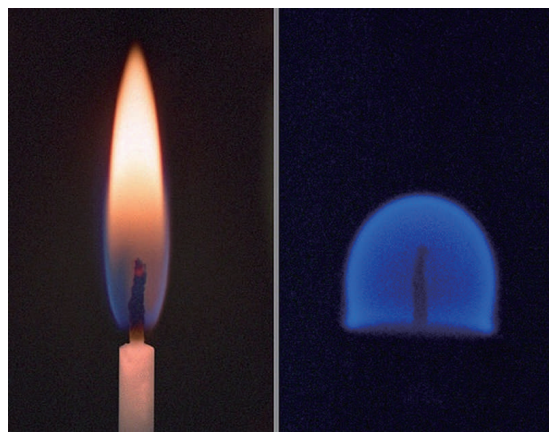


图2 地球表面上(左)和微重力条件下(右)的烛焰对比

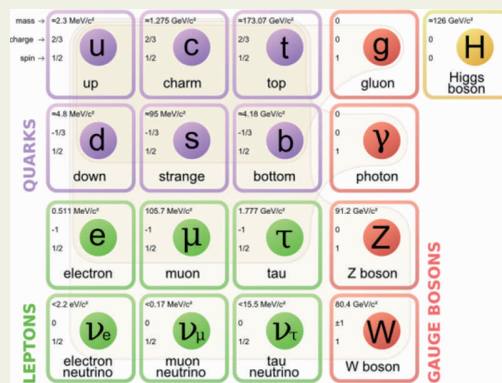


图3 标准模型中的夸克和轻子

5) 星际航行三年? 拉倒吧, 三个月你也坚持不了。

6 引力子与引力微子

因为笃信所有相互作用的本质都是交换(exchange), 1934年人们也为引力相互作用引入了相应的force carrier, 名之为graviton(引力子), 其可类比于电磁场的photon(光子), 强相互作用的gluon(胶子)和弱相互作用的W-, Z-玻色子。因为引力的源是应力-能量张量, 引力子就想当然地被认为是自旋为2的粒子; 因为引力是长程力, 引力子又想当然地被认为是无质量的。自旋为1的光子, 其与光波(束)是什么关系, 人们还弄不太清楚。

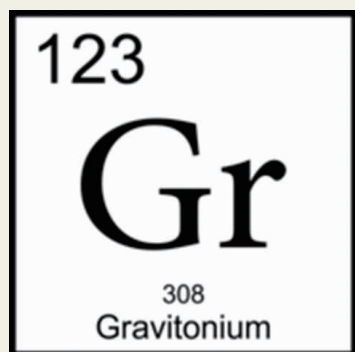


图4 元素 Gravitonium 在元素周期表中的可能模样



那所谓的引力波(假设真被探测到过), 它和graviton之间的关系是什么呢? 据说从引力波探测的结果可以算得引力子的引力质量上限为 $1.2 \times 10^{-22} \text{ eV}/c^2$ 。此外, 在超引力理论中, 还有引力微子的概念, 是引力子的规范费密子超对称伴侣。Gravitino(引力微子, 也译成超引力子)一字应该是参照neutrino(中微子)所造的。

围绕引力(子)有许多吓死人的著作, 比如《引力与超引力的规范理论》, 《二维量子引力与高温超导》, 《热核与量子引力》, 其中理论笔者不懂, 故不敢评论。不过, 西文文献中总冒出类似there is not a complete theory for graviton(关于graviton没有一个完整的理论)/most theories containing gravitons suffer from severe problems(大多数涉及graviton的理论都遭遇到严峻的问题)之类的评论, 可资参考。那么问题出在哪儿呢? 就物理来说, 把gravitation同别的相互作用等量齐观可能本身就是个问题; 至于那些不着调的引力理论, 前不着村后不着店上不达云霄下不接地气是其致命

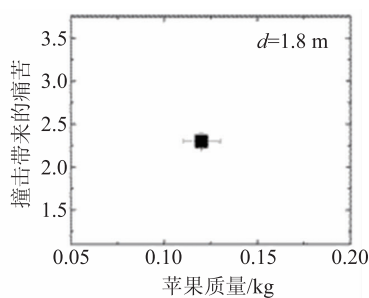


图5 研究重二两四的苹果砸脑袋的实验装置和实验结果

的弱点。

7 引力元素 gravitonium

把graviton加个拉丁语词尾则变成gravitonium。引力元素gravitonium, 符号为Gr, 原子序数123, 原子质量308(图4), 是漫画书《神盾局特工》(Agents of S. H. I. E. L. D)中虚构的元素⁶⁾。据说这个元素太稀有了, 也太重了。该元素的聚集体能干扰它自己产生的重力场, 从而使其形状是ondulating and amorphous(波动的、无定型的)。如果受到电流的刺激, 元素gravitonium构成的物质会固化为均匀的球形, 向外散发重力场, 因此可以拿它来建造小型重力场发生器(miniature gravity field generator)。在此物质附近, 重力场会改变引力的规则, 比如会反转重力的方向把靠近它的物质给悬浮(levitate)起来。这个作家不去专门研究引力可惜了。

8 结语

Gravity是被人类自然感知的现象, 也是最早被科学地表述了的现象, 不想最后竟然成了最难理解的现象, 这可真没地方说理去。对重力、对沉重感的无力, 让科学家和文学家都转而拿轻来说话。在瑞士的流亡生活, 让捷克作家昆德拉写成了《不能承受的生命之轻》(L'Insoutenable Légèreté de l'être); 对质量起源和重力问题的思考, 让诺奖得主维尔切克写出了《存在之轻》(the lightness⁷⁾ of being)³⁾, 两本

6) 95号以上的元素是人造元素, 目前已合成到了118号元素。不知道123号元素到底能不能最终也被合成出来。

7) Light, 轻, 在英语中竟然和光, light, 是一个字。再说一遍, 这是英语转写德语时稀里糊涂造成的讹错。轻light对应的德语词是形容词leicht, 光light对应的德语词是名词die Licht。

8) 关于强弱作用的描述会比对引力的描述更让人满意? 存疑。电磁学还算差强人意。

书就差一个形容词。维尔切克用轻松的笔调阐述了一个沉重的事实：Is gravity feeble? Yes, in practice. Is gravity feeble? No, in theory。重力弱吗？实际上它是，可是理论上它很难缠⁹⁾。

也许是要对抗重力(gravitation or gravity)给人的沉重、严肃的感觉，美国物理学网页上竟然有 zero gravity: the lighter side of science 专栏来谈论科学轻松的一面。这 zero gravity 的正确翻译应该是“一点正

经没有”。这个栏目发表的一篇文章阐明了好的科学和坏的科学之间的区别。好的科学是：1)苹果落到牛顿头上；2)牛顿发现万有引力定律。坏的科学是：1)苹果落到了牛顿的头上；2)牛顿发表了一篇题为“论一颗重二两四的苹果对头的冲击”的论文，而且其中还配了一张只有一个数据点的图(图5)。这篇文章让人看了会忍俊不禁，不过想想如今科学被做成这个样子，又笑不出来。

研究 gravitation and gravity 这种事，大家还是应该严肃点才好。

参考文献

- [1] Misner C W, Thorne K S, Wheeler J A. Gravitation. W. H. Freeman and Company, 1970
- [2] Coopersmith J. Energy: the subtle concept. Oxford University Press, 2010
- [3] Wilczek F. The Lightness of Being. Basic Books, 2008

更正

2017年第3期第196页《物理学咬文嚼字之八十四：Energy》一文脚注3：“以英国科学家 James Prescott Joule (1818—1889) 的名字命名。Joule, 译音应是儒勒，比如见于儒勒·凡尔纳”的说法有误。James Prescott Joule 是英国科学家，法国作家凡尔纳的法文名应为 Jules Gabriel Verne。特此更正。

曹则贤

2017年3月29日

读者和编者

《物理》有奖征集封面素材

为充分体现物理科学的独特之美，本刊编辑部欢迎广大读者和作者踊跃投寄与物理学相关的封面素材。要求图片清晰，色泽饱满，富有较强的视觉冲击力和很好的物理科学内涵。

一经选用，均有稿酬并赠阅该年度《物理》杂志。

请将封面素材以附件形式发至：physics@iphy.ac.cn；联系电话：010-82649470；82649029

《物理》编辑部