

# 物理学咬文嚼字之六十七 势两立

曹则贤<sup>†</sup>

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2014-11-28收到

† email: zxcao@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20141209

故兵无常势，水无常形……

——《孙子兵法》

弓弩，势也。

——《孙臆兵法》

要说他的危险，就是无权无势。

——《神枪手》

**摘要** 势是最基本的物理量。势是一种能力，源自相互作用。懂了“势”，就懂了生活和物理学的大部。

西文物理学概念在转入中文语境的过程中多有扭曲与误解，但也有一些例外。比如“能”，“力”，“位移”这些来自生活的术语，因为太贴近生活，中西文概念的含义并无明显的差别。另一个例子就是“势(能)”。势能是关于相互作用的抽象描述，故仍有“力”的影子。势，执力也，所以汉语有势力之说。而在西文中，势也和力相混淆，英文的power, force和dynamic等，和potential就是同源的。在有物理学之前，“势”就是个不可或缺的概念。汉语中由“势”字构成的词语俯拾皆是：声势，气势，权势，姿势，态势，趋势，情势，形势，势力，势利，趋炎附势<sup>1)</sup>，势成骑虎，势不两立，势不可当，势均力敌<sup>2)</sup>，蓄势待发，因势利导，大势所趋，形势所迫，审时度势……。稍加思考，就能体会到这些词语中

暗含的物理思想。

中文对“势”的概念之运用是深刻的、普遍的。我国古代军事家孙武早就认识到形与势的关系及其军事意义。《孙子兵法》十三篇，其四为“军形篇”，其五为“兵势篇”，其中一些论述如“胜者之战民也，故若决积水与千仞之溪者，形也”；“激水之疾，至于漂石者，势也”；“善战者，求之于势，不责于人；故能择人而任势”，等等，其中都可见早期朴素物理学的雏形，可作为物理学概念演化的证据。在政治层面，古人认为真正的大国应该从形、势、术三个方面看：“昔殷之辛，周之幽，据万乘之国，其势甚厚。——《莺莺传》”。势也被用来理解社会现象：“农赴时，商趣利，工追术，仕逐势，势使然也。——《列子》”。有趣的是，“势”的概念还被引入到文学理论，

王昌龄《诗格》就有作诗十七势之说，如“直把人作势”，“都商量入作势”，等等。

中文对“势”的概念理解也是相当物理的。《孟子·尽心上》云：“君子引而不发，跃如也”，这是说势发才有力的体现，这正和定义 $f = -\nabla U$ 相符。孔子为《周易》写的《象传》有句云：“天行健，君子以自强不息；地势坤，君子以厚德载物”，其中“健”应是“键”，即“乾”字。这两句，顾名思义，是对乾和坤的定义，意思是“乾”乃指“天行”，其重要特征是“自强不息”，而“坤”指“地势”，其重要特征是“厚德载物”。君，从尹从口，发号施令也，这里的“君子以”翻译成英文可作“it is characterized by”或者“of which the governing property is”。若要翻译整句，愚以为可以译成：乾 is re-

1) 附势，可否解为to move along the gradient of potential energy?——笔者注

2) 势均力敌才能达成平衡。两体系的热力学平衡，即处于均势，则子系统的热力学势涉及的各强度量都相互“力敌”。——笔者注

ferred to the heaven in motion, which is characterized by self-sustainable action towards ceaselessness; 坤 is referred to the ground with configuration, which is characterized by potential effort to host beings<sup>3)</sup>。这里是朴素物理思想的又一次体现,行、不息,与 kinetic energy (动能) 有关; 势、载物,与 potential energy 有关。关于自然的基本思想是超越语言的!

势能(potential energy)是在研究落体问题时于十九世纪提出来的。显然 potential 这个词源自古希腊哲学家亚里士多德的 potentiality 概念。Potentiality 是对希腊词δύναμις的拉丁化,这个词字面上是英文 dynamic 的词根,可以翻译为 potency, potential, capacity, ability, power, capability, strength, possibility, force 等等,而这些概念人们在不同的物理语境中都会遇到。亚里士多德用 potentiality 和 actuality (现实性) 这样的二分法原理来理解运动和因果。

Potential 本身也是形容词<sup>4)</sup>, 另

一个形容词形式为 potent。Potent 来自拉丁语 potis(able)+esse(to be), 词根 potis 有 master(掌控), husband(管理)的意思。物理上的 potential, 指的是其梯度表示一个力场的函数, 也写成 potential energy。即便是在物理学概念足够精细化了的今天, 我们也容易看出 potential(势能)和 power(功率), energy(能量)与 capacity(容)等概念, 谈论的其实都是能力。一个或者一组物体对空间别处的物体有作用, 先前人们用力的概念描述, 后来发现那力可以表述为某个标量函数的梯度, 这个标量函数就是势能。势可以看做单个物体产生的一个场, 带质量的粒子产生引力场, 带电荷的粒子产生电磁场。在热力学中, 人们要研究的是各种各样的热力学势, 这取决于热力学体系要考虑的具体内容。对于只有体积改变做功的简单体系, 焓  $H$ 、自由能  $F$  和 Gibbs 自由能  $G$  是三个导出的热力学势。

在物理学研究早期, 势能是一种 “unknown quality”, 是一种 the

power of producing certain effects at a distance (在远处产生效应的能力)<sup>1)</sup>。其实, 势能来自相互作用, 因此会被写成两体形式,  $V = \sum_{i < j} v_{ij}$ , 是两立的<sup>5)</sup>而非如汉语所言势不两立。如果写成  $V = \sum_{i < j < k} v_{ijk}$ , 那就是三体势了。三体势下的物理学, 不知是什么样的世界。从两体势出发, 可以得到一个与多粒子体系相互作用的粒子(test particle)在所处位置的势能。势能的改变不依赖于改变的路径, 它仅取决于多粒子体系中粒子的相对位置, 即构型(configuration)。因此, 势, 或者场, 关于电荷构型的依赖关系, 是电磁学教程中重要的一课<sup>2)</sup>。图 1 为典型的球形物体通过平方反比力所造成的势场。

既然势的本源是相互作用, 则我们从事实上就可以判断类似表述为  $mgh$  这样的势能只能近似, 或者是 emergent phenomenon (涌现现象) 层面上的内容。虽然  $m$  和  $g$  指向了相互作用的双方, 但是  $h$  不是两者关系的直观度量, 其取值还带有一定的任意性。

势由(粒)子及其所处的位置, 即形, 共同决定, 下棋的人都懂得这一点。中国象棋有“弃子取势”的说法, 就是置弃子于不顾, 将另一棋子放到关键位置上从而使得剩余棋子所占据的位置能形成“优势”。势乃位(configuration)之体现, 故势和位相关联。战国时苏秦得志之后衣锦归乡, 铺开三十里的排场高调显摆, 还在豪车上感叹: “人生世上, 势位富厚, 盖可以忽乎

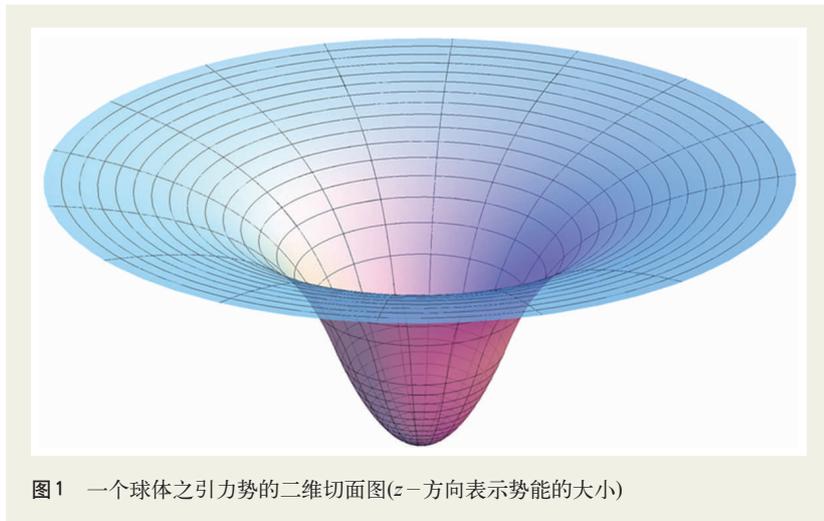


图1 一个球体之引力势的二维切面图( $z$ -方向表示势能的大小)

3) 此句为象辞, 解释天地的特征。果然孔子才是真大师。实在想象不出这句怎么能够被理解成赞誉或者鼓励某些君子的心灵鸡汤。——笔者注

4) 英语语法中有 potential mood (可能虚拟语气), 但现在通过助词 may, can, ought, and must 得以完成。——笔者注

5) 不两立不成势。汉语的势不两立, 是情绪化的表述。——笔者注

哉?”当然，形(位)决定了势(静态)，而势反过来决定了形的变化(动态)，故还有随势赋形、因势利导的说法。从势对构型的依赖能够判断体系的变化趋势。这一点，不妨和经典力学中粒子运动方程  $m d^2 \vec{r} / dt^2 = -\nabla U(r)$  放在一起相参校。

前面提到势能是标量函数，这当然不全对，电磁学中就有磁矢势(magnetic vector potential)的概念。相较于比较平淡的电势——其和引力势几乎是可比拟的——磁势，或者磁矢势，则有更多的故事。因为存在高斯定律  $\nabla \cdot B = 0$ ，可以引入一个矢量场  $\vec{A}$ ，要求  $B = \nabla \times \vec{A}$ 。但是磁矢势  $\vec{A}$  并不唯一，对于任意的<sup>6)</sup>标量场  $m$ ， $\vec{A}' = \vec{A} + \nabla m$  都符合要求，因此电磁学有规范选择的问题。磁矢势的引入，带来了一个问题，即磁矢势是实在的物理量还是仅仅是数学上的便利？Aharonov 和 Bohm 于 1959 年提出了一个实验方案：在电子束干涉的路径上放置一个致密的、足够长的螺线管。根据电磁学理论，磁感应强度  $B$  只存在于螺线管内部(不影响电子束干涉花样<sup>7)</sup>)，而磁矢势是分布在整个空间中的。若改变螺线管中的电流能观察到对电子束干涉条纹的影响，即可证明磁矢势是实在的物理量。此即为 AB 效应(图 2)，已为实验所证实。

从磁场的高斯定理到磁矢势的引入，背后的数学一般教科书上似乎鲜有介绍。在数学上，如果微分形式  $\alpha$  的外微分为零， $d\alpha = 0$ ， $\alpha$  是一闭合形式(closed form)；若  $d\alpha = 0$ ，且  $\alpha =$

$d\beta$ ， $\beta$  被称为“势形式(potential form)”，则  $\alpha$  是一恰当形式(exact form)。由于  $d^2\beta = 0$ ， $\beta$  不唯一。我们在电磁学中因为  $\nabla \cdot B = 0$  就引入  $B = \nabla \times \vec{A}$ ，实际上是假设磁感应强度  $B$  就是一个恰当形式，从数学的角度看这不严谨。对于可收缩的域，庞加莱引理保证闭合形式就是恰当形式。对于二维

空间的情形，1-form 的一般表达式为  $\alpha = f(x, y)dx + g(x, y)dy$ ，其外微分为  $d\alpha = (g_x - f_y)dx \wedge dy$ 。要求  $\alpha$  是闭合形式意味着要求  $g_x = f_y$ ；若进一步要求  $\alpha$  是恰当形式，即  $\alpha = dh = h_x dx + h_y dy$ ，这意味着要求  $h_{xy} = h_{yx}$ 。数学上这就是复变函数里涉及的 Cauchy 条件，物理上反映的是势能函数对空间二阶微分的  $x-y$  对称性，而这正是平面中电荷通过库伦作用产生的势所应该具有的特征。如此，容易理解为什么二维空间中的库伦势应是解析的复变函数。笔者当年上大学时一直为此困惑，就是因为数学跟不上。

一个有势的体系，若是将其去势了，就变得 impotent 了。数学上有个类似的概念 nilpotent，即零势的<sup>8)</sup>：对于环上的某元素  $x$ ，若存在整数  $n$ ，有  $x^n = 0$ ，则该元素是零势

的。一个例子是方阵  $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ ，

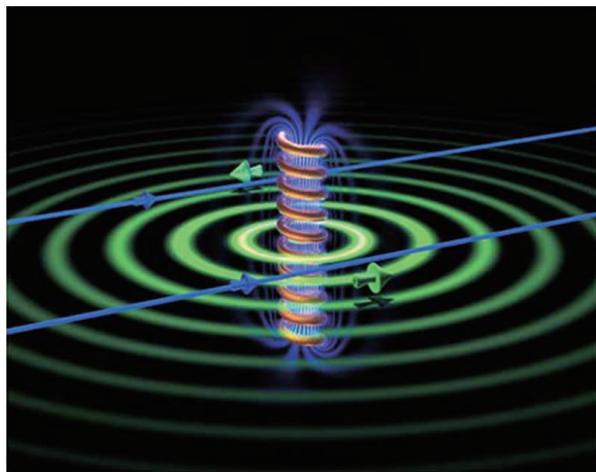


图 2 AB 效应的示意图。一束电子从螺线管周围通过，螺线管中电流改变对电子束干涉花样的影响可以判断充满空间的磁矢势  $A$  是否是真实的物理量

它是零势的，因为  $A^3 = 0$ 。不知道量子力学里的算符如费米子的产生算符  $a^+$ ，可否因为  $(a^+)^2|0\rangle$  也算作 nilpotent 的。Nilpotent, impotent, 传达的都是无力之感。中国很早就有了对男人的一种惩罚或奖赏，就是去势，即从器官层面祛除男人的一项能力，分为被动的阉割和主动的自宫<sup>9)</sup>。具体的操作过程隐藏在汉字“寺”中，其上面的“土”是男性生殖器的象形，而“寸”是指手腕处掩着一柄小刀。所以，周朝时就把阉割过的男人称为“寺人”。中国古代的读书人是统称为“士”的，如今叫做知识分子。“士”成了去势的优选对象，这好处甚至被固化到文字里面，真是知识(分子)莫大的幸运。好在中国的知识分子，从来都不缺乏自我阉割的意愿与勇气，则去势也不是什么不体面的事情。然则去势终究

6) 其实不是任意的，至少量纲要合适。这个规范的存在，正表明磁场和电场不是独立的；或者磁矢势和除以光速的电势，其实是一个数学对象， $(i\hbar/c)\vec{A}$ ，的不同分量而已。——笔者注

7) 一定吗？——笔者注

8) 中文数学书中将之翻译成“幂零的”，似乎是从  $x^n = 0$  出发得来的翻译，但没管字面本身的意思。汉译数学词汇里这种译法很多。——笔者注

9) 金庸《笑傲江湖》一书告诉人们，无来由的能力突然跃升只能是通过“辟邪剑法”实现的。辟邪，另辟邪径也。——笔者注

是一种损失。去势的人一旦得势，或者在别的维度上得势，难免会做出有悖人伦格外残忍的事情，史书上多有实例。

势是一个来自生活的、体现深刻物理学思想的概念，是关于自然之描述的关键概念。自觉地运用与势相关的物理思想去理解现实中的社会现象，虽不中亦不远矣。当下

的一个热点词汇是仇富。其实，那些穷苦人的看似非理性的行为，不是仇富或者仇恨权势，而是出于恐惧。在一个闭合的生存体系中，有权势的强者需要供压榨的弱者。对于一个演化的物理体系来说，某些过于强势的行为模式可能会让整个体系崩溃，而弱者会最先嗅到危险，因为死亡从他们开始。弱势者

有恐惧的权利，强势者和弱势者都有维持系统平稳的义务。

## 参考文献

- [1] Niven W D (ed.). Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Cambridge University Press, 1890. p. 564
- [2] Artley J. Fields and configurations. Holt, Rinehart and Winston, 1965

## 新的粲素粒子

两个粒子物理实验室的物理学家们独立地发现了一种新的神秘强子的证据。这种名为  $Z_c(3900)$  的粒子，好像是一种“带电的粲素”，是由以前所未见的一种方式组合起来的夸克组成的。对  $Z_c(3900)$  粒子的进一步研究可能提供关于将夸克束缚在强子内的强力的信息。

粲素是重介子，含有一个粲夸克和一个反粲夸克。由于是复合粒子，因而可以处于几种不同的能态。其中最著名的就是其第一激发态，称为  $J/\Psi$  粒子。在 1974 年发现的  $J/\Psi$  粒子使物理学家首次认识到夸克是确实存在的。虽然在过去的 40 年中物理学家对于夸克已了解了很多，但是目前的理论仍不能预言在夸克的许多可能的组合中，哪些组合能形成稳定的介子。

$Z_c(3900)$  粒子是北京 BESIII 实验室及日本 Belle 实验室的物理学家们各自独立地发现的。两个实验团队的目标都是研究神秘的  $Y(4260)$  粒子，该粒子是 2005 年在美国的 BaBar 实验中发现的。在过去 10 年中，在 BaBar, Belle, BESIII 等实验室中产生了许多 XYZ 粒子(即类粲偶素粒子)，而  $Y(4260)$  粒子可能是其中最令人费解的。

虽然 XYZ 粒子被认为是粲夸克的组合，但是这些粒子与这种解释并不符合。初看起来，质量约为  $4.260\text{GeV}/c^2$  的  $Y(4260)$  粒子像是粲素介子。但是仔细的研究发现，它的特性不能简单地用粲夸克与反粲夸克的组合来解释。

## 物理新闻和动态

一个可能的解释是， $Y(4260)$  粒子是一个新的“混杂粲素”粒子家族中的一部分，在这些粒子中，传递强力的胶子处于激发态。另一种可能的解释是， $Y(4260)$  粒子含有 4 个夸克(一种 4 夸克结构)，甚至可能是由两个介子组成的“分子”。

为更好地研究  $Y(4260)$  粒子，BESIII 和 Belle 团队通过电子与正电子碰撞产生了大量的  $Y(4260)$  粒子。由于该粒子的寿命非常短，不能直接探测，其生成的迹象表现在碰撞中所产生的  $\pi$  粒子和  $J/\Psi$  粒子的能谱中。

然而，在实验中两个团队都意外地发现了一种未料到的质量约为  $3.9\text{GeV}/c^2$  的粒子  $Z_c(3900)$ 。这种新粒子比  $Y(4260)$  粒子更加新奇，它衰变成一个带电的  $\pi$  粒子和一个中性的  $J/\Psi$  粒子。这意味着  $Z_c(3900)$  粒子必定携带有电荷，因此不会简单地由一个粲夸克和一个反粲夸克组成。

对这种现象的一个解释是，这种新粒子是由两个束缚在一起的 D 介子组成的一种分子，这种结构是描述夸克相互作用的模型所预言的。另外一种可能性是， $Z_c(3900)$  是一个 4 夸克粒子，由一对粲夸克一反粲夸克加上一个上夸克和一个反下夸克组成。如果后一种解释被证明是正确的话，那么自然界可以存在的强子种类比物理学家们所估计的要多很多。通过研究这些新粒子，可以收集到关于低能夸克相互作用的重要信息。

这项发现发表于 *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 110: 252001 和 *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 110: 252002 上。

(树华编译自 *Physics World News*, 18 Jun 2013)