

物理学咬文嚼字之十七

英文物理文献中的德语词 (之二)

曹则贤

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

他(牛顿)是实验家、理论家和技工,同样也是毫不逊色的语言艺术家。
——爱因斯坦 1931年为牛顿 Opticks序

我对语言思考得越多,我就越奇怪人们居然能相互理解。
——Kurt Gödel

(接物理学咬文嚼字之十五)

七、Gedanken experiment. 有时仍按德语习惯写为 Gedankenexperiment 而有些英文文献则直接写成 thought experiment 汉译为思想实验、假想实验、想象实验等。此词据说由奥斯特(Hans Christian Ørsted)于1812年所造,等价的德语词为 Gedankenversuch. 英文 thought experiment 出现于1897年,是对马赫(Emst Mach)著作 Gedankenexperiment 的翻译。考虑到 gedanken 是动词 denken(思想、考虑、想象)的过去分词,相应地,thought 也应理解为 think 的过去分词而非名词,这样对 Gedankenexperiment 的汉译似以“想象的实验”为宜。按定义, Gedankenexperiment 是为了验证某些猜想或理论而提出,但又囿于现实而无法实现的实验,是在思维实验室(laboratory of mind)中进行的;其目的为探索欲考察之原则的可能后果(A thought experiment is a proposal for an experiment that would test a hypothesis or theory but cannot actually be performed due to practical limitations; instead its purpose is to explore the potential consequences of the principle in question). 所谓“囿于现实而无法实现”有两重不同的含义:一是原则上不可能的,如爱因斯坦曾经假想的骑在光波上(riding on a beam of light)看世界;二是现实意义上的不可能,如后文要谈到的对电子的记录:固体探测器记录的所谓电子的位置就不可能是电子自身尺度大小的。不过,在马赫那里, Gedankenexperiment 却有另外的意思,它是对真实实验在想象中的操作,实

际实验则由其学生动手完成。

Gedankenexperiment 在人类认识过程中发挥过实际实验(practical experiment)无法比拟的作用。物理学更深层次上关注的是人类如何看世界的问题,而非测量的问题, Martin Cohen 就相信“相当多的近代物理是建立在想象性实验的基础上的”^[1]。Gedankenexperiment 的威力更多地体现在对物理原理的逻辑性验证方面,所谓的逻辑的力量(power of logic);但也正是因为 Gedankenexperiment 是想象的,没有直接的、现实性的强约束,它往往又容易落入 paradox(公说公有理,婆说婆有理)的窘境。关于前者,典型的例子为对落体定律的验证。不同质量的物体以相同速度下落是建立在反证法上的一个强的逻辑性结果(笔者以为,测量的误差无论多小,都可以看作是对差别的肯定,也可以看作是对差别的否定),其论证过程见伽利略的著作 Discorsi e dimostrazioni matematiche (1628), 大致讨论可参见《物理学咬文嚼字之十一:质量与质量的起源》^[2]。而关于后者,典型的例子有为讨论热力学第二定律而引入的麦克斯韦小妖(Maxwell's demon), 相关的想象性实验引出的争吵似乎比结论要多。

历史上非常著名的 Gedankenexperiment 要数薛定谔的猫了。设想在一个封闭的空间里有一个放射源,放射性事件的发生会触发一个机械装置打碎一瓶毒药,从而毒死里面的一只猫(图1)。由于放射性过程的发生是一个量子行为,因此,沿着量子式的思维该猫的状态应是死和活这两种状态的量子叠

加.当然,经验告诉我们,猫, cat or levine 只会要么是死的,要么是活的,就算是法医学意义上的半死不活也不是量子叠加态.薛定谔的猫于是成了量子哲学家和量子物理学家们津津乐道的话题,有人得出测量是量子力学本质的结论(猫本来是处在死与活的量子叠加态,是测量的瞬间将其坍塌为经典的死或活的状态);清醒些的认识到量子叠加态的概念并不适用于猫这样的宏观存在,故转而究问量子叠加态就体系尺度而言,到底哪里是量子力学与经典力学的边界.最近有“薛定谔的猫变胖了”的文章,量子叠加态已经可以在超导量子干涉器件中实现了^[3].有趣的是,从薛定谔提出关于猫的 Gedankenexperiment以后,他本人似乎无意于这些似是而非的、浅表层的讨论,转而思考生命从科学的角度来看其本质是什么的问题,很快写出了具有深刻洞见的不朽名著《什么是生命?》^[4],真正的科学家同家常科学家之间的区别,由此可见一斑.



图 1 薛定谔的猫思想实验

试图从确定猫的肥瘦来确定经典力学同量子力学间的界限是徒劳的,所谓的量子力学同经典力学的界限问题基本上是一类伪问题.量子力学并没有脱离经典力学的窠臼,更不应该视为经典力学的对立面.举例来说,被奉为量子力学圭臬的海森堡不确定性原理(Heisenberg's Uncertainty principle),早在1931年就从经典扩散方程里推导出来了.其实,从经典力学到量子力学,从猿猴到人类(图2),从电子的双缝干涉到C60分子的双缝干涉(对该分子的离化恐怕比笼统的探测位置更能破坏Welch Weg的设置,似乎研究者此时不在意这个问题,见下文)的记录图像,都有一种渐进的过渡,适用模糊数学的描述而不是硬要划出明晰的边界来.有些物理学家喜

欢做明显没有答案的工作(能确定是只下金蛋的鹅的除外.比如Ramsay确定中子到底有多中的努力),甚至明显混淆是非,比如明知牛顿引力公式中距离的指数是整数2(平方是也)而非实数2.0,偏要本末倒置地妄想用实验来检验牛顿公式到底精确到小数点后多少位,其意欲如何笔者不敢揣度.



图 2 猩猩在用自制的工具捕鱼.此照片为猿猴到人类进化的渐进性过程提供了强有力的佐证

八、Zitterbewegung 德语词 Zitterbewegung由 Zitter(动词形式为 zittern,颤抖、发抖、哆嗦) + 名词 Bewegung(运动)构成.英语文献多愿意保留其原文形式,但有时会加上英文注解 trembling motion.中文物理文献将之翻译成颤振运动,但“振”字破坏了“颤”字要表达的意思.中文“颤”表达的应是“小振幅快速抖动”的意思,例如王实甫《西厢记》有句云:“颤巍巍花梢弄影”,就非常贴近 zittern的原意.英文文献不将 Zitterbewegung翻译成 trembling motion,是因为 trembling难以表达 zittern 字面上的形象,即以字母“Z”开始从而表达弯曲、曲折、颤抖等形象.类似的英文字词有 zigzag zipper等.作为物理学专业术语的 Zitterbewegung强调了高频率、小振幅的弯折特征,而 Trembling至少字面上缺少这层意思.德语词“zitter”的意思可从复合词 Zitteraal(电鳗)、Zitterrochen(电鳐)得到形象化的理解(图3).

Zitterbewegung指的是遵循狄拉克 Dirac方程的粒子,尤其是电子(这也是为什么用 Zitter这个词的一个原因)的一种理论上的快速运动(图4).1930年,薛定谔推导相对论性自由电子之狄拉克方程的波包解,发现正能量态和负能量态的干涉产生了看似电子位置绕其中线(median)的快速涨落,其频率为 $2mc^2/\hbar$ 约为 1.6×10^{21} Hz^[5].注意到可见光频率在 $10^{14} - 10^{15}$ Hz 可以想见这个频率真的是太快了(这要求把电子限制到康普顿波长以内),这解释

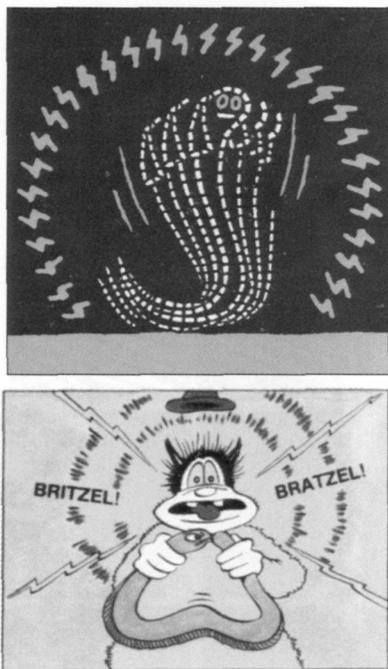


图 3 Zitterbewegung 作为生物放电的机制. 如图所示的动物为 Zitteraal(电鳗), 具有相同放电机制和类似名字的还有 Zitterrochen(电鳐). 注意上图中的抖动就是用字母“Z”形象地加以表示的

了为什么这个运动至今未能从实验上加以证实的原因¹⁾.

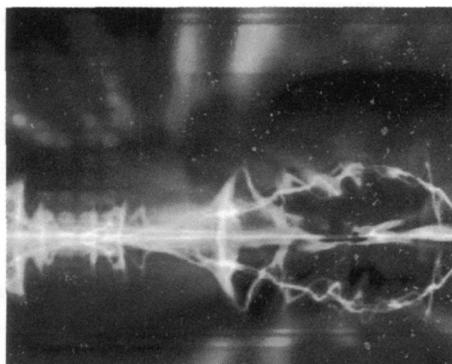


图 4 电子 Zitterbewegung 的假想图. 该运动一直未能被确立为物理学的实在

最近几年来, Zitterbewegung 被推广到原子、固体中的电子以及光子晶体中的光子身上^[6]. 但对该运动形式的确认, 在指望实践角度的努力结出成果之前, 对其理论意义上的正确理解恐怕还是需要先行一步^[7].

九、WelcherWeg experiment 德语 WelcherWeg 直译成英文就是 Which-way (which path), 哪条道的意思, 典型的面临“歧路”时的诘问, 说的

是基本粒子(电子、光子等)在双缝衍射过程中具体单个粒子到底是通过哪条狭缝的问题, 属于量子现象. 这个词英文不作翻译而保留德文原文, 不知是否是为了保持其哲学命题的味道, 反正就 Welcher-Weg 问题来说, 真正物理学意义上的讨论似乎不如量子哲学家的讨论来得热闹. 相关的词有“WelcherWeg information (信息)”, “WelcherWeg detection (探测)”, 所讨论的都是同一回事.

光的双缝干涉最早由 Thomas Young 从实验上加以验证: 在幕墙上得到一组明暗相间的条纹(图 5). 一般教科书上都认为此实验是证实光之波动性的关键, 但是笔者提请大家注意几个细节: (1) 此实验是用人眼观察自幕墙的反射光; (2) 波并不等于正弦函数; (3) 明暗相间的条纹其具体的光强分布函数到底是怎样的(反正不是等宽度周期性的, 否则无法解释它的有限范围)? 关于双缝干涉的讨论不可以抛开这些细节而走得太远. 双缝干涉的重要性在于, 如费曼 1963 年所云: “它包含着量子力学最后的奥秘 (It contains the only mystery of quantum mechanics)”. 光子的粒子性确立后, 可以让每次只有单个光子通过狭缝, 这样按说(正弦函数叠加说)应该没有什么干涉图案了. 但是, 1909 年英国科学家 Geoffrey Ingram Taylor 还是得到了干涉条纹, 如何解释? Dirac 给出的解释是光子的自干涉^[8]. 那自干涉是如何进行的? 狄拉克没有解释. 其实, 笔者以为这里值得一问(文)的一个关键问题是: 单个粒子同记录设备(幕墙、胶卷、显示屏、CCD, 或者别的什么)相互作用后留下的那个效果真的是理论物理学家讨论的粒子的干涉行为吗(图 6)? 那个亮斑是一个比电子的尺寸大许多个数量级的存在. 就是在亮斑那个尺度上, 亮斑尺寸的减小也让我们不断改变对干涉条纹(如果有人肯关注细节的话)的认识. 如果这不足以提示您什么的话, 下面的一幅关于人像照片的进展也许能让你关注“Detector”本身是如何影响我们对世界的认识的(图 7). 更要命的是, 单个经典的像素(由粒子同探测器相互作用而来, 而这个相互作用本身就是一个我们不太懂的量子过程)

1) 此运动由薛定谔方程加狄拉克哈密顿量导出, 粒子的运动由式 $x_k(t) = x_0 + c^2 p_k t / \hbar + \hbar c (\alpha_k(0) - c p_k / \hbar (e^{-2\hbar t / \hbar} - 1) / 2\hbar)$ 给出, 所谓的 Zitterbewegung 就是第二项. 但是, 这项好像是一个复数. 复数表示的坐标之作为运动加以诠释, 到底该是什么样的物理图像, 恐怕还是要仔细考虑的. 这要求把电子限制到康普顿波长以内, 这本身似乎构成了对其存在合理性的否定! —— 笔者注

在一定时间间隔上的叠加结果,跟我们想说明的微观粒子随时发生的自干涉到底是什么关系,似乎没有严格的令人信服的说明.关于自干涉的最近深入讨论,请参阅文献[9].但是,笔者提请大家注意,固体探测器永远不会提供好于 10^{-10} m 的分辨率,而电子的尺寸肯定小于 10^{-19} m,因此这个讨论可能终究是白扯!

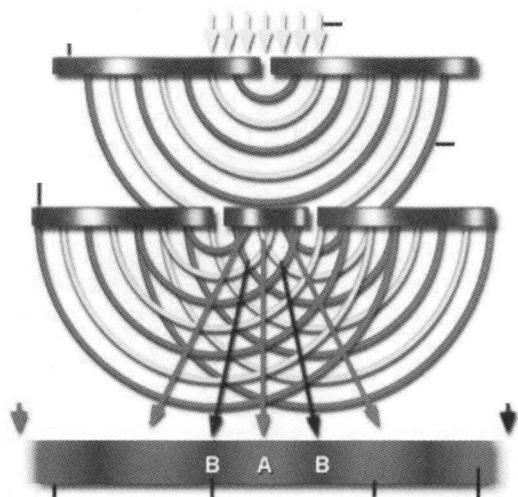


图 5 杨氏双缝干涉实验.其实验结果为一组明暗相间的条纹.关于条纹的细节,一般文献都语焉不详

既然,光子、电子是单个的分立体,人们自然想到,它经过双缝时到底是经过具体哪条狭缝呢?似乎是为了说明双缝干涉的奇异处,人们认为若对粒子在狭缝后进行探测以确定它到底经过了哪条狭缝,则干涉性消失.非常抱歉的是,笔者没找到具体的实验设施和结果的细节,自身也未接触过或参观过这样的实验.我只是闹不明白,一个躲在双缝后面的探测器如何就能判定粒子通过具体哪个狭缝的呢?这是一个非常棘手的、关键性的问题.除非粒子完全落在另一个狭缝的视界外,否则就不能判断粒子是从哪个狭缝通过,而这样则要求探测器堵死了它所面对的狭缝,则整个装置回到了单缝衍射的构型.那么干涉条纹的消失又有什么奇怪的呢?实际上,并没有干涉条纹的“存在”与“消失”的二值逻辑.对双缝衍射实验在双缝与屏幕之间增加测量过程(干扰!),一定会得到多种多样的由具体构型所决定的花样.其实,对双缝干涉(验证波动性)和 Welcher Weg 哲学问题判定,物理学家采取的是为我所用的实用主义哲学.举例来说,用 C60 分子经狭缝衍射来研究量子力学之边界(微观—宏观)实

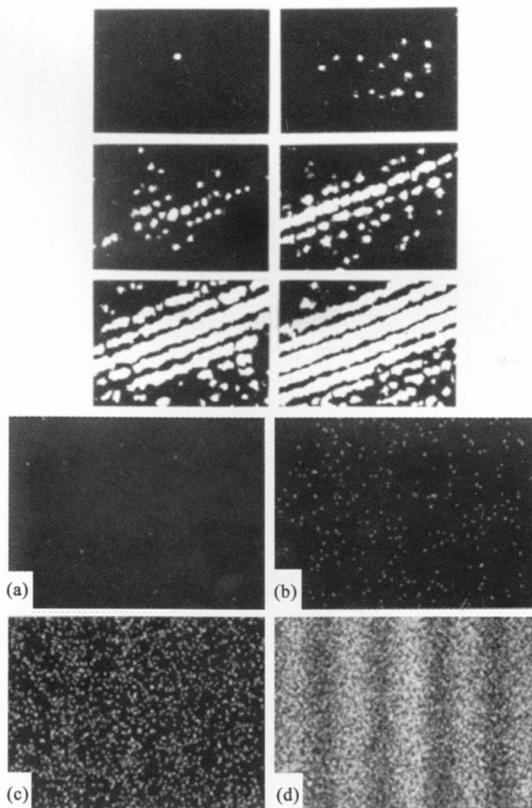


图 6 (上图)1974年完成的由直接电视屏所得到的一组电流不断加大的干涉图像.6幅小图的积分时间都是 0.04s 由于每一时刻只有一个电子打到屏幕上,这些图显示了如何由单电子行为获得干涉图像:(下图)1989年 Akira Tonomura 及其合作者获得的双缝干涉图像:(a) 8; (b) 270; (c) 2000; (d) 60000 个电子^[10]

验中,单个 C60 分子在被最后作为构成干涉条纹之组元被当作一个点记录之前,不是简单地被探测,而是要被俘获而后离化的^[11-13],但是物理学家依然以那个仅有几个高低变化的条纹作为量子行为的证据,而这时所谓的 Welcher Weg 哲学早抛到脑后了(就像用原子振荡作为时标,谁还想得起原子物理说原子谱线有宽度呢?).

十、Ansatz solution 解微分方程的一个较特殊的方法为寻找方程的 Ansatz solution 这个词又是半德语、半英语的混合体,中文数学、物理学工作者一般称为尝试解、设定解.这些翻译有一定的合理性(王同亿先生主编的《英汉科技词天》中“Ansatz”词条只是简单地将之译成“假设”,则有失草率),但都不能全面反映这个词的意思.因此,有人采取避而不译的态度,比如葛墨林先生著《杨—巴克斯特方程》一书中提到“Bethe-Ansatz”时就干脆照搬原文.

德语 Ansatz 的动词形式是 ansetzen (an +

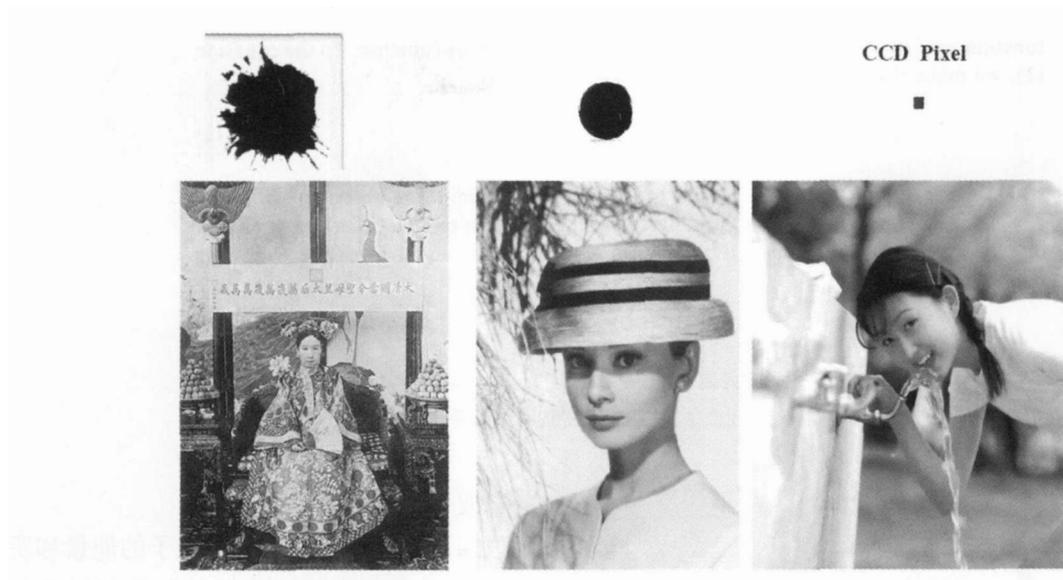


图 7 像素与照片质量的变迁·随着感光颗粒变小直至现代 CCD 相机用微小的方形像素 (pixel), 图片的分辨率越来越高; 加上彩色照相技术, 照片上的人类形象是越来越清晰, 越来越接近真实了·设若有某种生物只能通过照片来认识人类, 那它关于人类形象的认识该是经历了怎样的变化呢? 而在这期间若它不去研究照相技术而是仅作哲学上的探讨, 又会做出多少关于人类形象的胡说八道呢?

setzen 可分动词), 意为 apply set on put in 等等·作为名词, 有开始、开始的迹象、延长物、沉积 (物), 配方、突起、起奏 (唱)、尝试、应用、添加等等意思·比如, 在肚子 (Bauch) 上添加 (setzen an) 了一些内容, 就形成了 Bauchansatz 即啤酒肚 (图 8)·



图 8 Bauchansatz 肚子上的 Ansatz 即啤酒肚

Ansatz solution 作为微分方程的解的一种形式 (勿宁说是一种解方程的方式), 基本上可看作是尝试解·比如, 在处理经典谐振子的正则变换时, 可尝试选取坐标和时间分离的 $S=W(q, Q) - \alpha t$ 作为生成函数, 这就是具有猜想意思的 ansatz (原文: because of the ansatz for the additive separability for

the simple oscillator system. $S=W(q, Q) - \alpha t$ This was of course just an ansatz i.e., a guess toward a solution)^[14]. 但是, ansatz solution 并不仅指上述的猜想, 更多的时候它意味着设定某种特定形式的解, 并由此出发来看方程和方程所表示的物理问题应满足的约束·上世纪 90 年代初, 中国科技大学的汪克林教授用如

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^m a_i (\tanh^i \xi)$$

形式的函数级数求解多类非线性方程, 并由合适的解来确定方程参数应满足的约束, 走的就是这个思路^[15]. 这样, ansatz 就有了硬性设定的味道·

在数学、物理史上非常著名的 ansatz solution 是 Bethe ansatz 是由奥地利裔物理学家 Hans Bethe 于 1931 年为了求解一维量子多体问题而提出的, 它也曾用于二维统计物理问题·各向同性海森堡反铁磁体是第一个用 Bethe ansatz 得到解决的问题·除了遵循 ansatz solution 的一般思路外, Bethe 采用的技巧还包括用 permutation Operator 对角化哈密顿量, 用单个自旋向下的波函数的积构造总的波函数, 是科学大家智慧的完美演示范例^[16]·

十一、Bremsstrahlung 物理学来自日常生活, 一个明显的例子是大车的许多部件现在都成了数学、物理学专业名词, 这包括轴、轭、辐、轳·“轴”字自不待说·辐, 自中心轴向外放射以支撑轮子的木条, 洋文的 radius (半径), radiation (德语 Strahlung 放

for some appropriate algebraic combination of the hyperbolic function. To the equation (1), we make the ansatz

$$U = \sum_{i=0}^m a_i (\tanh \mu \xi)^i \quad (4)$$

where the integer m , $a_i (i = 1, \dots, m)$ and μ are parameters to be determined.

The requirement that the highest power of the function $\tanh(\mu \xi)$ for the nonlinear term $\frac{1}{2}\alpha u^2$ and that for the derivative term $\gamma u_{\xi\xi\xi}$ must be equal gives the following relation:

$$2m = m + 3. \quad (5)$$

图 9 汪克林教授论文中一段话极好地诠释了 Ansatz solution. 设定了 (4) 式中的解的形式, 然后确定若 ansatz 成为方程的解, 则其自身参数和方程中的系数应满足的约束条件

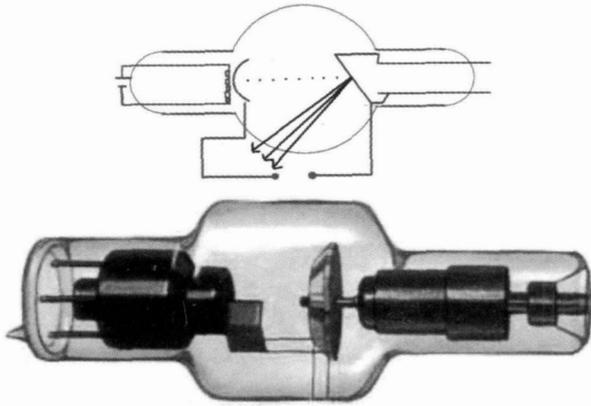


图 10 基于韧致辐射原理的 X 射线管之原理图与实物图. 来自阴极 (左侧) 的热发射电子被加速, 入射到金属阳极内部被骤然减速, 发出连续谱的 X 射线

射、辐射)和 ray (射线)都是这个意思. 轭, 驾车之牲口脖子上的曲木. 但南亚多有用一根直木架在两头牛脖子上的, 即所谓的共轭 (Conjugate 容以后专文介绍). 轱, 卡住车轮使其不转的木头叫“轱”. 撤除该木头就是发轱, 可以走了, 故屈原《离骚》有句云:“朝发轱于苍梧兮, 夕吾至乎县圃”. 后来, “轱”字引申为阻止, 则“轱致辐射”从字面上可知其为“(对带电粒子)刹车引起的辐射, 是对 Bremsstrahlung 一词的完美翻译.

Bremsstrahlung = Bremsen + Strahlung 其中 Bremsen 为车闸、制动器, 动词形式为 bremsen (制动, 刹闸); 而 Strahlung 为线, 放射线, 动词为 strahlen (光芒四射, 辐射). 轱致辐射描述的是带电粒子在减速时所产生的连续辐射, 此原理被用来制作 X 射线源 (图 10); 将电子加速到 10 KeV 左右然后打到金属靶上, 则电子的减速 (stopping) 会产生连续谱的 X 射线 (单色特征谱由靶原子中的电子向内层空穴跃迁所产生, 是完全不同的另一种机制). 该现象最早由特斯拉 (Nikola Tesla) 于 1888—1897 年间研究

高频电磁波现象时所发现.

轱致辐射的波谱依赖于带电粒子的能量和所遭遇的加速度. 注意到对带电粒子的防护不可避免地涉及对带电粒子的减速过程, 因此要选用合适的低密度材料, 尽可能使得轱致辐射被转换为长波长的辐射, 以减少辐射带来的危害. 这一点在航天科技中特别重要.

虽然轱致辐射可由带电粒子被“accelerated” (速度不一定增加²⁾) 时所产生, 但人们基本上是在较狭窄的意义上使用这个词的, 即指谓电子被阻挡时伴随的电磁辐射. 高速运行的电子被加速或在磁场下偏转时会发生强的电磁辐射被称为 Synchrotron (源自希腊语 syn + chronos 同步, 同时) radiation, 汉译“同步辐射”, 其光子能量范围可以从亚电子伏特直至兆电子伏特. 同步辐射最早在 1946 年被观察到, 早先的同步辐射光只是作为电子加速器的寄生模式 (parasitic mode) 被使用的, 随着同步辐射光应用范围的不断扩展, 科学家们设计了专门的同步辐射, 现在同步辐射光源已经进入了第四代. 目前, 我国分别在北京、合肥和上海建有同步辐射加速器装置.

随着德语变得势微, 在物理学英文文献中大约很难再出现德语新词了. 然本篇所涉及的几个德语

2) Acceleration 虽然大部分时是指加速 (to cause to move progress quickly or to cause to happen sooner), 但许多时候则仅指引起速度的改变 (by deflection 速率不变) (Wester New World Dictionary, Physics to cause a change in the velocity of (a moving body)). 例如下句 “Strictly speaking bremsstrahlung refers to any radiation due to the acceleration of a charged particle which includes synchrotron radiation; however it is frequently used (even when not speaking German) in the more narrow sense of radiation from electrons stopping in matter” 这里, 若将 Acceleration 理解成“加”速度就有矛盾了. 当然, 在中文语境中, “加速度”也和 acceleration 一样, 可能也只指速度的改变了. 如今有人还用“负增长”呢. ——笔者注

词之所以在英文文献中得到了保留,除了历史渊源外,其不易在英文中找到对应词也是重要原因.其实,物理学的表述至关重要是要精确地传达某种思想或图像,从这个角度来看,德语作为一种严格有余的语言,其失却物理学工作语言的地位殊为可惜.德语表达的精确,对修习物理学、数学、医学、机械、电子、计算机语言(Pascal语言就采用的是德语语法结构,不用猜也知道其创始人一定是说德语的)等学科无疑是非常有益的. Tsja die Physik auf Deutsch zu lernen das macht doch Spaß^β (吓,用德语学习物理,也算是种享受)!

后记:此文写作期间,喜逢神舟七号飞船成功发射,西方媒体逐步接受了汉语拼音 Yuhangyuan(宇航员)一词以及人头马式的 Taikonaut(太空人)一词.联想到关于“宇航员”一词美国用 Astronaut [astrō, 树枝,引申为星星; nauš, 船; nautikos, 水手],而前苏联和美国别苗头另造新词 cosmonaut (cosmō, 宇宙,秩序),可见话语权是实力的反映,且话语权进一步地还会沉淀到文字中.仔细分析文字中积淀的社会性内容,或许可另开世界文明史研究之新天地.

又:笔者本文中杜撰的“家常科学家”一词,仅供自嘲用.

更正:

(1)在“之一”中,我关于 Welcher Weg 的写法是“Welch Weg”,这两种写法文献中都有. Welcher带上阳性第一格词尾,在英文文献中 Welch Weg 用作第 2—4 格就比较

麻烦了,所以还是写成简单的“Welch Weg”比较方便.当然,读者记住有不同的写法,可以方便文献检索.

(2)在“之一”中,“Bremsstrahlung”被误写为 Bremsstrahlung 谨向读者诸君致歉.

参考文献

- [1] Martin Cohen. Wittgenstein's Beetle and Other Classic Thought Experiments. Oxford: Blackwell, 2005. 5
- [2] 曹则贤. 物理, 2008, 37, 355 [Cao Z X. Wuli (Physics), 2008, 37, 355 (in Chinese)]
- [3] Jonathan R. Friedman, Vijay Patel, Chen W. et al. Nature, 2000, 406, 43
- [4] Schrödinger E. What is life? Oxford: Oxford University Press, 1948
- [5] Schrödinger E. Über die kräftefreie Bewegung in der relativistischen Quantenmechanik, Berliner Ber., 1930, 418; Zur Quantendynamik des Elektrons, Berliner Ber., 1931, 63
- [6] Zhang X. Phys. Rev. Lett., 2008, 100, 113903
- [7] David Hestenes. Found. Physics, 1990, 20, 1213
- [8] Dirac P A M. The Principles of Quantum Mechanics, 4th edition, Oxford University Press, 1982
- [9] Mandel L. Rev. Mod. Phys., 1999, 71, 274; Bandyopadhyay S. Physics Letters A, 2000, 276, 233
- [10] www.hqrd.hitachi.co.jp/en/doubleslit.html
- [11] Amdt M. et al. Nature, 1999, 401, 680
- [12] Dürr S., Nonn T., Rempe G. Nature, 1998, 395, 33
- [13] Englert B G. Phys. Rev. Lett., 1996, 77, 2154
- [14] Goldstein H. Classical Mechanics, 3th edition, Addison Wesley (2001)
- [15] Lan H B., Wang K L. J. Phys. A: Math. Gen., 1990, 23, 3923
- [16] Lutz Osterbrink. The Bethe-Ansatz. Proseminar, ETH-Zürich, 2002

· 读者和编者 ·

订阅《物理》得好礼 ——超值回馈《物理学学科发展报告》

《物理》是中国物理学会、中国科学院物理研究所主办出版的学术期刊,1972年创刊,致力于传播当代物理学及其交叉学科的前沿最新进展,促进物理学与相关学科的相互交叉和渗透,沟通科研与产业,推动中国物理学的发展.作为中国物理学会的会员刊物,《物理》拥有众多来自科研和教学一线的优秀作者,集科学性、前沿性和可读性为一体,特色鲜明,让读者轻松掌握当前物理学各领域的最新动态,读者遍及国内各相关院所、高等学校和企业界.

《物理》每月12日出版发行,邮局定价为240元/年.2009年度的期刊订阅正在进行,为感谢广大读者长期以来对《物理》杂志的关爱和支持,《物理》编辑部特推出以下优惠订阅活动:

1.凡是中国物理学会交纳会费的会员,可享受优惠订阅价120元/年,或者400元/四年(订阅杂志的费用可以连同会费一起交纳到中国物理学会,也可以直接向编辑部订阅并提供相关证明);

2.其他非会员订户,凡向编辑部一次订阅两年《物理》杂志的,可享受优惠订阅价180元/年,并将免费获得《物理学学科发展报告》一本(该书由中国物理学会组织专家编写,中国科学技术出版社出版,定价40元).

汇款方式: (1) 邮局汇款: 100190, 北京 603信箱, 《物理》编辑部收;

(2) 银行汇款: 户名: 中国科学院物理研究所

帐号: 30948821-250101040005699

开户行: 农行北京科院南路支行.

汇款时请注明“《物理》(D07-3A)”

欲了解更多详情可以登录 www.wuli.ac.cn 查询,也可来电来信咨询.

联系人: 王进萍; 咨询电话: 010-82649266; Email: physics@iphy.ac.cn