

## 物理学咬文嚼字之二十六

# 阳、光

曹则贤

(中国科学院物理研究所 100190 北京)

太阳出来照四方(radiation),  
毛主席的思想闪金光(spectrum),  
太阳照得人身暖哎(heat effect),  
毛主席思想的光辉(information)照得咱心里亮,  
照得咱心里亮(illumination).

——电影《地道战》插曲

**摘要** 太阳既是内容丰富的物理教科书,又是不可替代的物理实验室.与太阳有关的名词包括 sun, helion (helio-), helium(氦), 形容词则有 sunny, solar, 甚至与太阳有关的物理学也有 solar physics 和 heliophysics 两个分支.与光有关的词包括 light, optics (optical, opto-) 以及与元素磷同源的 photon(光子).

地球是我们的家园.如果我们愿意严格一点,应该说太阳—地球—月亮构成的系统是我们的家园(图1).立足于地球之上,放眼望去,茫茫苍穹上大块头的天体只有炽热的太阳和冷艳的月亮.其他的星体以及无数星体的集合,无论大小,因为距离我们太远的缘故,对于不是职业天文学家或天体物理学家的我们,都退化成了神秘的、闪烁的背景.太阳和月亮都对地球的环境,包括气候、地质运动、水的循环、生态系统的演化等内容,具有决定性的影响,其中尤以太阳的影响为甚.太阳不仅仅是地球在宇宙中的锚点(anchor point),它同时还以 $\sim 200\text{W}/\text{m}^2$ 的照度<sup>1)</sup>源源不断地向地球辐照着能量.可以说,太阳是地球上一切活动所需能量的源泉.

太阳对于地球上的活动,包括其上人类的出现和人类中物理学家的出现,是具有决定性的影响的,因此容易理解太阳在人类文明中的关键地位.考察人类的文明史会注意到,许多地域的早期文明都存在太阳崇拜;倘若是信奉一神教的话,这唯一的神可能就是太阳.太阳每天从东方升起,影响着地球的每一个角落.自然地,人们关于自然的思考会时常掠过太阳;循着因果的链条,地球上许多自然现象都可能

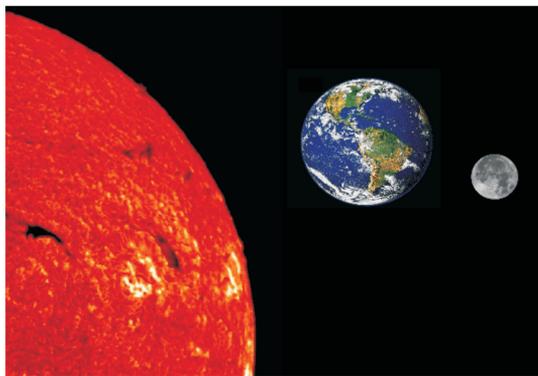


图1 太阳—地球—月亮,我们的家园.造物神奇,将太阳这个热源放在一个允许生命出现的距离上

归结于或追溯到太阳的存在.太阳在人类早期物理学中的地位以及在—些重大物理现象之发现过程中所扮演的角色,早已为物理学家们所关注,甚至有太阳是物理实验室的说法<sup>[1]</sup>.其实,关于太阳的物理学的观点可能早已深深植入人类的智慧——回味一下《地道战》插曲中关于太阳和阳光的描述,笔者仿佛

1) 光学上照度的定义为单位面积上的光通量,单位为 Lux.此处用法不同——笔者注

有捧读半部物理教科书的感觉。

太阳在中文里是一个非常感情化的词,翻译一下,大约是说“一个非常热、非常亮的存在”;相应地,太阳即为月亮. 英文的 sun, 来自德语的 die Sonne, 其形容词为 sunny 和 solar, 后者来自拉丁语(注意到意大利语中太阳为 il sóle, 法语为 le soleil). 一般带太阳作修饰词的中文表述,其中太阳对应的既可能是名词 sun (如 sunbird, 太阳鸟; sunburn, 阳光灼伤; sunflower, 向日葵; sunshine, 日光),也可能是形容词 sunny (如 sunny day, 晴朗的天; sunny smile, 灿烂的笑容) 和 solar. 形容词 solar 一般用于科学名词,如 solar system(太阳系), solar panel(太阳能电池板), solar eclipse(日食), solar corona(日冕)(图 2),等等.

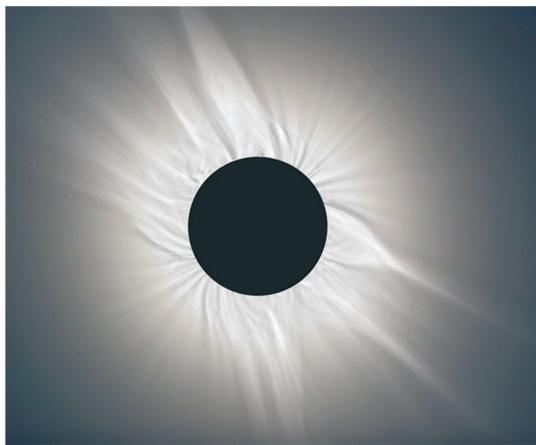


图 2 日全食的太阳,外围的日冕清晰可见

与太阳对应的一个词头 helio(作词尾时写成 helion),源自希腊的太阳神 Helios(希腊语Ἥλιος)<sup>2)</sup>,基本上是用在天文学、天体物理等严肃的场合. 人们熟知的相关词汇有日心说(heliocentrism),向日性(heliotropism),近日点(perihelion, around+helios),远日点(aphelion, ab+helios),太阳崇拜(heliolatriy),等等.

太阳演示着丰富的物理学内容,自然称得上专门的物理学分支,而且有 solar physics 和 heliophysics 之说. Solar physics(太阳物理学)的研究对象就是我们的太阳本身,是用物理方法研究、观测、探索太阳的一门学科. 而 heliophysics(日球物理)一词由美国波士顿大学的 George Siscoe 博士所创,意指关于由 heliosphere(日球)<sup>3)</sup>以及与其相互作用的行星大气、磁性层、日冕、恒星际介质等构成之系统的研究,是同空间天气(space weather)及空间天气的影响因素之研究相联系的一门学科. 日球

物理是一门环境科学,是独特的、气象学和天体物理之间的交叉科学(Heliophysics is an environmental science, a unique hybrid between meteorology and astrophysics). 日球物理涉及空间物理、等离子体物理、太阳物理等领域. 2007 年曾被定为国际日球物理年(International Heliophysical Year 2007).

太阳为物理学研究提供了丰富的研究对象和特殊的研究条件. 1665 年一个阳光灿烂的日子,年轻的牛顿在一个黑暗的屋子里将一个棱镜置于从窗户射入的阳光束的照射下,他惊讶地发现阳光被解析成彩虹一样的多彩的光带. 他的惊讶表现在他将这样的多彩的光带命名为 spectrum(来自 spectre, 鬼怪,灵异现象)<sup>[2]</sup>. 如今谱学(spectroscopy, spectrometry)已经成了重要的物理学分析手段,光是质谱方面就有五人次获得过诺贝尔奖. 太阳光谱还为元素的发现做出过贡献. 元素中同太阳有关系的是元素 helium(汉字“氦”是根据 helium 的发音新造的字). 19 世纪中叶德国科学家基尔霍夫(G. R. Kirchoff)和本生(R. N. Bunsen)发明了光谱分析技术,用于标定物质的化学(元素)成分. 1868 年法国天文学家 Pierre-Jules-César Janssen 在研究日食期间的太阳光谱时注意到了新的特征谱线,这可看作发现元素氦的最早线索. 1869 年英国天文学家 J. K. Lockyer 在日食观测中在日冕光谱中也观察到了一条很强的光谱线(图 3),同当时已知的地球上元素的光谱线对不上. 1871 年 Lockyer 正式宣布将发射这条谱线的元素命名为 helium(仍是源自希腊语的太阳神 Helios 一词). 现在德语、英语里氦元素的拼法为 helium, 而西班牙语则干脆还是太阳神的原名 helio. 1895 年, W. Ramsay 在研究铀矿石时发现了氦,也看到了最先在太阳光谱中观察到的明亮的黄线,从而确立了氦在地球上的存在. 元素氦是一种承载了太多物理内容的、非常奇特的元素. 1911 年,荷兰人 Onnes 实现了氦气的液化,从此开启了低温物理学这门学科,导致了超导、超流、量子霍尔效应等重大物理现象的发现. 地球上氦元素的储量不多,这可能是液氦(当然还连带着低温物理的研

2) 太阳神 Helios, 后来同 Apollo 合而为一了, 类似慈航道人成了观音菩萨——笔者注

3) Sphere 是球状物的意思, 所以 magnetosphere, ionosphere 分别指球状的磁场分布和离子分布, 汉译磁性层和电离层. Heliosphere 也被翻译成日光层. 但是如今有许多类似含有“及其外部环境”意思的以 sphere 结尾的词, 汉译为“圈”, 如 biosphere 就被译成生物圈, 即生物及其赖以存在的环境——笔者注

究)的成本居高不下的原因. 据说氦在月表矿石中有丰富的储量, 且<sup>3</sup>He 是解决人类能源危机选择之一的热核聚变所采用的原料, 因此获取月表的<sup>3</sup>He 成了人类探月活动的一大动力.



图3 氦气的发射光谱. 其中波长为 588 nm 的黄线具有最大的强度, 它同钠黄光双线(589.0nm 和 589.6nm)极为接近

太阳还是一个巨大<sup>4)</sup>的天体实验室, 其作为实验室的巨大贡献之一是为爱因斯坦的广义相对论提供了第一个观测证据. 1915 年爱因斯坦发表了其的广义相对论, 断言大质量物体的附近空间是弯曲的. 1919 年出现的日全食可持续约 6 分钟, 且出现在毕星团(Hyades)的方向上, 这为通过比较这些恒星的位置来判断光线经过太阳是否弯曲提供了绝佳的条件. 英国为此派出了两支远征队, 其中一支前往巴西, 另一支由埃丁顿爵士(Arthur Stanley Eddington)率领前往西非海岸的几内亚, 两支远征队都获得了较满意的结果<sup>5)</sup>, 至少是定性地强烈地支持了空间弯曲的论断, 爱因斯坦由此一夜之间成了家喻户晓的名字.

太阳的形象是同光密切地联系起来的. 光的英文词为 light, 来自德语 das Licht<sup>6)</sup>. 研究光的学问, 称为光学, 英文为 optics (德语为 Optik. 英文以前写成 opticks. 牛顿就曾写过以 opticks 为名的书), 相应的形容词为 optical. Optics 来自希腊语 οπτικός, 与眼睛、视觉有关. 目前的光学器件或光电子器件涉及的光都是以光束的形式出现的, 英文为 optical devices 和 optoelectronic devices. 物理学家关于光之本性的思考由来已久, 最早人们认为光是由颗粒(corpuscule)组成的, 后来又有了光的波动说. 1905 年, 爱因斯坦为了解释光电效应<sup>[3]</sup>, 提出了光子学说, 认为光束是由一个一个的光量子(light quanta)组成的, 光子的能量同其频率成正比, 那个比例系数就是普朗克常数. 有趣的是, 因为提出相对论而为万世景仰的爱因斯坦却未能因相对论获得诺贝尔奖. 1921 年, 实在不好意思坚持不给爱因斯坦诺贝尔奖的诺贝尔奖委员会将当年的诺贝尔物理学奖发给了爱因斯坦, 颁奖理由就是爱因斯坦对光电效应的解释.

为了将光量子区别于以往理论中的所谓光的微粒, 爱因斯坦构造了光子(photon)一词. 光子的词源来自希腊语 φως(phôs, 光、明亮的). 在光子说确

立以后基于单个光子行为的一些物理学现象或学科分支的命名多以 photo 开始, 如光电子效应即为 photoelectric effect. 将光电子效应中所采用的光源换成 X 射线, 则部分光电子可能来自原子的内部能级, 则测量光电子的动能可以获知样品中原子的内部能级的结合能. 结合能是原子的特征, 分析光电子的能量就能实现元素分析, 这套方法就是 X 射线光电子能谱(X-ray photoelectron spectroscopy, 简称 XPS). 与 photon 同源的科学名词有 phosphorus, 即元素磷. Phosphorus 的本意为光明使者(bringer of light), 即启明星. 磷元素之所以同光联系起来, 是因为磷元素是典型的长荧光材料(phospholuminescent materials), 其吸收(阳)光要在长达数小时后缓慢地再发射(re-emission). 白天接受阳光的辐照, 数小时后是到了夜晚, 含磷物质再发射出黄绿色的、飘忽不定的微弱光芒, 其恐怖效果浑然天成, 故坊间将之同鬼火相联系. 同光、光子相关联的现象或学科还有 photoluminescence(光致发光), photonics(光子学), 等等, 不再赘述.



图4 第谷的塑像(1946 建). 这个仰望苍穹的姿态为许多物理学家所尊崇

太阳每天从东方升起, 为我们提供了源源不断的能量和思想启迪. 记得温伯格(Steven Weinberg)有本书“Facing up: science and its cultural adversaries”(汉译《仰望苍穹》), 其封面就是瑞典 Hven 岛上第谷(Tycho Brahe)的雕像(图 4). 第谷仰望苍穹, 记录了大量行星运行的观测数据; 开普勒以数学和物理的目光审视这些数据, 得出了

行星运动三定律, 开启了现代科学的篇章. 今天的物理学家, 当他们仰望太阳的时候, 不仅会思考如何将太阳能转化成电或热来解决人类面临的能源问题, 更会继

- 4) 就天体物理层面的实验来说, 太阳的块头并不大——笔者注
- 5) 由于条件所限, 这次日全食所获得的数据不是很令人信服. 相当长的时间内一些科学家怀疑埃丁顿对数据做了手脚(had cooked the book), 幸运的是后来更多的观测证实了空间弯曲的论断. 最新的观测结果见 NASA 发布的关于引力透镜(gravitational lens)的照片——笔者注
- 6) 在英语中 light 还有轻的、轻便的意思, 这个意思对应的德文词为形容词 leicht. 我猜测这是德语条顿化为英语的过程中有人把 leicht 和 Licht 给混为一谈了——笔者注

续将思考深入到物质起源和宇宙演化等深层次问题上吧,或许在某个意想不到的物理问题上,太阳会再一次为我们扮演实验室的角色.至于光,关于光的本性我们还有太多太多的不明白,相信对光的理解一定会为我们带来更多的惊奇.

## 参考文献

- [1] Pasachoff J M. Nature, 2009, 459: 789  
 [2] 曹则贤. 物理, 2007, 36: 886 [Cao Z X. Wuli (Physics), 2007, 36: 886 (in Chinese)]  
 [3] Einstein A. Annalen der Physik, 1905, 322 (6): 132

## · 物理新闻和动态 ·

### 升级哈勃太空望远镜的宇航员又一次起程

为了维修和升级哈勃太空望远镜(HST),2009年5月11日搭载7名宇航员的亚特兰蒂斯号航天飞机从美国肯尼迪航天中心成功点火起飞.这是维护HST的第四次(也是最后一次)载人飞行.这项任务计划用11天完成,总共安排5次太空行走,每次持续6小时以上.原来的广角照相机将被更换,新相机将工作在“从紫外经可见光到近红外”波段.这使得望远镜能够看到更为黯淡和遥远的星系,它们的形成可以早至大爆炸后的5亿年.宇航员还将通过空间行走为HST安装一台新的光谱仪,它将广泛收集观察目标的温度、密度、速度以及化学组成等信息.原有的成像光谱仪需要修理,它工作于紫外和可见光波段,在2004年的一次断电事故中受损停机.此外,另有一台用于巡天观测的先进照相机,也需要修复.它是在2007年的一次电子线路短路事故中停止工作的.修复后,这台主广角相机的分辨率将提高10倍.这次航天飞机载人飞行,原定于2008年10月发射.之所以发射被推迟,是因为2008年9月突然发现HST上的计算机系统出现了问题.当然,计算机故障的排除也是此次飞行的任务之一.

HST是投资最大的天文观测项目之一,到2014年项目终止,总投入将超过60亿美元.HST的运行轨道距地面575km,由于是在大气层外进行观测,加之免除了大型仪器重力变形问题,图像清晰度大大提高.反射式望远镜的主镜直径是2.39m,长度为13.3m,外径为4.3m.1990年4月25日发射进入轨道后,HST姿态不稳并且成像球差大,基本上无法工作.1993年12月两批宇航员先后完成了预定的修复任务.之后,HST传回了一批又一批精美珍贵的照片.其中著名的有:位于大麦哲伦星云中超新星1987A爆发后的遗迹——3个相互穿插的气体光环;类星体由于引力透镜效应而形成的多重影像等.HST的寿命比原计划延长4年,它的成功是当代科技的一个奇迹.2014年HST的接班人——James Webb太空望远镜将发射升空.

(戴闻 编译自 Physicsworld. news, 12 May 2009)

### 超级反弹

当两个物体发生碰撞时,它们的恢复系数(coefficient of restitution, 简称为COR)定义为碰撞后分开时的速率与碰撞前相互接近时的速率之比.一个完全的弹性碰撞,它的恢复系数的值等于1,但大多数宏观物体的碰撞恢复系数都是小于1的,因为它们在碰撞过程中,其初始动能将有一部分转化为热能.例如一个高尔夫球下落到混凝土地面时,它的恢复系数约为0.8,它永远不可能大于1,因为它的部分动能已转化为热能,使小球的温度升高.这样的结果是符合经典的热力学第二定律的.

最近,日本Chuo大学的Hiroto Kuninaka和东京大学的Hisao Hayakawa两位博士进行了一系列计算机模拟,来考虑具有纳米大小的物体在发生碰撞时的变化.他们采用由数百个原子组成的完全相同的两个集团,每个集团以低于热运动速度的速度进行迎面碰撞,这时集团内的粒子被束缚在集团内.作这种模拟时并不需要指定特殊的原子,他们采用的是氩原子的参数,即温度选定为2K,碰撞速率约为10m/s左右.在模拟中,主要是改变集团凝聚力参数,即两个原子间的吸引力以及成团的凝聚力大小.模拟结果显示:对于高凝聚力的集团碰撞后就会黏在一起,像一块粘土一样;而对于凝聚力较小的集团,碰撞后就像撞击台球时,台球会各自分开一样,总的结果都满足恢复系数小于1的结论.但当凝聚力小于某一阈值时,就会出现恢复系数大于1甚至可以达到1.5的程度.这种超级反弹的能量来自于集团的温度,如果把集团的温度提高,还可以激发出更多的振动模式,这些振动会给碰撞带来意外的冲击能量,类似于体操运动员在跳马时能离地高高跃起的状态.

将原子无序运动的能量转变为整个集团的动能是一个熵减少的过程,这是违反热力学第二定律的,但在模拟过程中会出现这个现象的原因何在呢?可能的解释是由于纳米尺寸的物体,它们的热涨落能量是与有规运动能量同数量级的,所以在很少的情况下,热涨落能量可以激发粒子获得高速向外的运动速度,而大多数情况下,热涨落是起着阻碍粒子反弹的作用.因此,从统计的角度分析,平均来看,整个系统的熵仍然是增加的.这两位博士认为,他们的工作将为研究处于空间中的微型尘粒的碰撞给出一些新的思想,同时也为宏观连续体力学与纳米粒子力学之间构建了一定的联系.

(云中客 摘自 Phys. Rev. E, March 2009; 原文题目为 Simulation of Cohesive Head on Collisions of Thermally Activated Nanoclusters)