



物理学中长期悬而未决的问题

艾小白

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

(一) 概况

英国物理学家开尔文在 1900 年瞻望 20 世纪物理学时曾说：“在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云”。为驱散这两朵乌云，诞生了相对论和量子论，导致了 20 世纪人类社会空前的技术进步，极大地改变了人类的生产方式和生活方式，并促使人类整个自然科学的改观。与 19 世纪相比，本世纪的物理学取得了更加辉煌的成就。它在微观、宇观、复杂系统和现代生物四个基本方向上把人类对自然界的认识推进到前所未有的深度和广度。现在临近 20 世纪末，用类似开尔文先生的语言来总结 20 世纪的物理学，我们可以说：在新成就、新课题、新分支学科层出不穷的物理学天空上，20 世纪留下了更多的长期悬而未决的问题，其中不少难题是当代物理学前沿领域，如粒子物理、天体演化与宇宙学、凝聚态物理和生物物理学中思考的基本问题；也有不少难题在目前属于几乎无人问津，被物理学遗忘的角落。这些尚未解决的物理学问题的存在，表明人类对客观自然界的认识还很肤浅，有待深化。

(二) 探索的科学意义

一般说来，物理学研究在历史上的某个时期中总有活跃的前沿，也有属于非主流的研究课题。历史的辩证法提醒我们：事物总是在一定条件下相互转化的，抓住事物本质的非主流研究往往会开创一个崭新的研究领域。以史为镜，人们完全可以相信，随着这些难题的突破，极有可能会为物理学的发展奠定新的基石。其典型的事例是相对论和量子论的成功，毋需多加阐述。

其次，解释一种现象的理论常常不是唯一

的，不同的理论可能获得同一结果，好像为了到达某个目的地可以走许多条路一般。例如经典力学中哈密顿原理与牛顿运动定律等价；统计力学中的符拉索夫方程与牛顿第二定律等价；量子力学中薛定谔的波函数方程与海森堡的矩阵力学等价等等。从成功的一面来说，这些不同的理论之所以可以获得类似的结果，是因为这些理论具有共同的深层次的物理本质。这种经验暗示我们：一些长期不能解决的物理学难题亦可能具有共同的物理原因。“哪些问题”和“哪些问题”可能具有共同的物理根源？如何解决它们？作者才疏学浅，还讲不清楚。不过，这显然是一件需要众多物理学家们共同参与，甚至需要几代人的不懈的努力才能做好的工作。人类已有经验，对一些涉及物理学深层次本质的难题一时不能解决，在研究中常有采取巧妙技术绕道而行的例子。然而物理学的理论体系是一个统一的整体，物理学会在自身的发展中从不同角度重提同一个未解决的问题。因此，从物理学的发展来看，是问题总归要解决，能躲过初一，绝对躲不过十五，是迟早的事而已。

第三，与当今应用科学与技术的突飞猛进发展相比，目前物理学的基础研究似乎稍逊风骚，不像本世纪前 30 年那段光辉的达到高潮的年代。其实科学和技术的发展是相辅相成的。物理学的发展开辟出新材料、新技术、新工艺，而这些发展又反过来拓宽了人类的视野，促进了物理学基础研究的进展。现在全球性污染、气候趋暖、放射性废弃物增多和能源枯竭等问题已令人担忧。今后，随着世界人口的增长和不发达国家的经济发展，能源需求日益增多，上述问题会日趋突出。在解决这些问题时，人类

必定会遇到许多新课题,对这些新课题的解决也必定会出现超出现今所掌握知识的范围的情况。“人无远虑,必有近忧”.在上述两种情况下都不应忘记,人类在新的活跃的前沿上遇见的困难往往可能同我们过去未解决而绕过的暗礁有关.

因此为了更加卓有成效地推进科学进步,我们要重视研究解决物理学中那些谜一样的难题.

(三) 几个例子

例一:随着激光的问世,人类开始了用大功率强激光引发微热核聚变的探索研究.各种方案早在 70 年代已相继提出.而惯性约束的构想很快公认为是一条或许可替代磁场约束的新途径.其基本思想是使用一种驱动器,把足够能量、功率和强度的激光,以直接驱动或辐射驱动的方式传到含 DT 的小丸中,将其体积压缩千倍,使密度达 $100\text{g}/\text{cm}^3$ 以上,从而使小丸产生高增益的微聚变,并在点火之后,能以自持的热核反应释放 DT 混合物的能量.以后的 20 多年中,一些大国攀比竞争,各自陆续投入了几十亿美元的经费研究大功率大能量激光器,研究多路激光束打靶的技术、装置并进行试验.最初人们曾经很乐观地估计:用输出千焦耳能量的大功率激光器可在 2~3 年内实现“得失相当”的点火,10 年后可以制成核聚变反应堆.后来经历了失败,有些科学家谨慎表态:点火所需要的激光能量大约为数万~数十万焦耳,80 年代中要达到“得失相当”的点火水平,90 年代实现取出能量,21 世纪初要建造惯性核聚变反应堆.最近的实验结果表明,无论美国的 NOVA 装置,还是日本的激光 VII 号驱动器,均已将 DT 小丸压缩到千倍的液氘密度,甚至已达到 $\sim 1000\text{g}/\text{cm}^3$,但中子产额仍比理论预估低得多.虽说该项探索研究取得的进步是很大的,但至今的一切努力并未能按时间表获得预期的成功.如果我们冷静地探究其中的物理原因,即使不涉及激光与等离子体相互作用的非常复杂的过程,单从能量守恒来考虑也可略知一二.劳森判据来自劳森粗略的能量平衡估计,事实上

许多不容忽视的能量损失并没有考虑进去.在劳森研究点火条件的年代,人们考虑的核聚变堆是米级的概念,而研究激光核聚变时,靶核仅为毫米级,其表面的“黑体”辐射造成的能量损失大于等离子体内的韧致辐射所造成的能量损失.考虑这一种能量损失,具有能输出高达几兆焦耳~几十兆焦耳能量,功率达 1000 太瓦 (10^{15} 瓦),强度达 10^{15} 瓦/ cm^2 以上的巨型激光装置才可能是验证激光核聚变实验最有希望的候选者.美国提出工程费约耗资 7.5 亿美元/台的“雅典娜”装置与 10 亿美元/台的“国家点火设施”就是为了验证高增益惯性约束核聚变的科学可行性所要建造的巨型激光器.由此可见,考虑非平衡态过程,实现高增益惯性约束微聚变的物理条件是多么苛刻.

无独有偶,人们在相对论性重离子碰撞中又遇到了类似的问题.格点 QCD 理论已预言,在极端相对论性的原子核碰撞中会产生一种高温高密度的夸克-胶子等离子体 (QGP) 物态.而热高能光子被认为是诊断 QGP 和热强子物质的干净的探针之一.最近 CERN 的 WA80 研究组首次报道了他们在超质子同步加速器 (SPS) 上所作的 $200\text{GeV}/\text{AS}+\text{Au}$ 碰撞实验中获得的纯光子谱.基于对实验数据的再分析,WA80 组声称,实验中系统误差基本上得到控制,他们以 90% 的可信度进一步确认:对中央碰撞,在 $0.5\text{GeV}/\text{C} < P_T < 2.5\text{GeV}/\text{C}$ 中确实存在过剩光子问题.WA80 的实验结果已引起极大的理论兴趣.一方面实验上已证实微观动力学模型 RQMD 的预言,局部热平衡只能在原子核碰撞的最后阶段才能达到;另一方面,最近的理论研究表明,基于局部热平衡假设的简单的火球模型的计算结果,不论是一维还是三维计算,不论用“部分阻止”,还是“完全阻止”进行的计算,都与 WA80 数据符合.其实目前在该问题的理论与实验研究中均存在某些不确定的因素.例如理论研究中至少用过局部热平衡,熵守恒,手征对称恢复及相似流四个主要假设.本作者经过研究认为上述的理论计算虽分别应用了不同的模型,但差异仅在计算火球温

度分布的方法不同. 只要他们运用了局部热平衡的假设, 选用可调的物理参数总可以拟合 WA80 数据. 只有对不同的计算模型, 使用一组合理的共同的参数, 才能比较出不同模型的优劣. 因此如何解释过剩光子问题尚未解决. 经过初步计算, 我认为在火球存在的寿命内, 火球表面的“黑体”辐射损失不可以忽略, 对火球不存在绝热膨胀的演化过程. 为更好地检验上述的假设, 显然必须考虑局部热平衡与熵守恒假设不成立时的物理学规律.

综合这两个问题, 可以看到黑格尔与斯宾诺莎的正确: “现有的存在是规定的存在”, “任何规定都是否定”. 看来我们必须重视对如下基本问题的研究: (1) 对非平衡态过程, 对开放系统, 能否定义态函数? (2) 能否将宇宙环境对给定系统的影响通过边界条件反映出来? (3) 当熵不守恒时, 相对论性的流体力学方程应具有什么形式? 而这些问题又与更为基本的物理问题: “为什么时间有方向性?” 紧密相联系. 人类若不能在上述基本问题的研究中有所前进, 若不能对自然界深层次的规律有所认识, 那么“盲目实践”就是不可避免的.

例二: 狭义相对论诞生已快 100 年了, 至今仍留下许多谜一样的问题尚未敲定. 如超光速佯谬, 直角杠杆佯谬, 柔绳佯谬, 运动物体视在形象佯谬等. 严格地说, 狭义相对论对质点动力学是成功的, 无懈可击. 但是一涉及到广延体, 就引出问题, 以至相对论静力学, 相对论热力学与相对论流体力学至今尚未建立令人信服的理论框架. 比如运动物体的温度是变冷还是变热, 即温度这一物理量的相对论变换式是什么? 应该乘以洛仑兹因子? 除以洛仑兹因子? 还是不变? 均无定论. 虽然经过包括诺贝尔奖获得者普朗克、爱因斯坦、汤川秀树在内, 及著名的爱丁顿等几十位科学家几十年不断的探索, 仍未获得结论性的答案. 近年来在相对论性重离子碰撞实验中发现, 无论朗道提出的初条件, 还是布约肯提出的初条件均不能完全符合实际的物理情况. 对一维柱对称几何条件的否定甚至已暗示: 与洛仑兹收缩有关的煎饼模

型存在不妥之处. 换句话说, 我们现在应当反思“为什么人们至今不能直接测量洛仑兹收缩?”, 更要明确回答, “在相对论性重离子碰撞中重离子炮弹确实发生了洛仑兹收缩这样的相对论效应吗?” “如何验证?” 此类问题.

天体物理的进展又从不同角度提出了狭义相对论效应的问题. 最近哈勃望远镜关于哈勃常数测量的最新数据引起了关于宇宙年龄的争论. 其实对高速退行的天体, 人们实际上只能测出其光度距离而不是真实距离. 如果我们称由光度距离所决定的哈勃常数为“视在哈勃常数”, 那么真实哈勃常数又该如何决定呢? .

笔者经初步研究认为, 上述问题的解决, 不仅涉及对相对论效应的检验, 而且关系到应用狭义相对论理论于重离子碰撞研究, 于广义相对论及黑洞的研究, 于宇宙论的研究, 能否取得可靠的结论. 而且这些疑问的真正解决又必然与要在同一理论框架内能自洽地解决“狄拉克的大数之谜”以及“自然界的基本物理常数的数值是否会随时间改变”这些基本问题密切联系. 由此可见对任一给定的复合物理量能研究出一套规范的求其相对论变换式的方法, 已直接关系到对狭义相对论认识的深化. 在这个意义上讲, 狄拉克在临终前提醒人们: 对狭义相对论的认识还远远没有完成, 是非常正确的, 有教益的.

例三: 高温高密度等离子体物理学, 在本世纪 50 年代以后由于人类要探索干净的取之不尽, 用之不竭的热核能源问题, 才取得了坚实的发展. 记得 50 年代时, 有人曾乐观地宣称, 用不了多久人类便可以突进到可控热核聚变反应的实用开发阶段. 以后的 40 多年中由于许多等离子体的不稳定现象被发现, 使科学家的头脑冷静了. 人们开始认识到, 发展受控热核反应是综合性很强的研究课题, “聚变反应堆”——瓶装的太阳——越来越证明是一种难以建造的装置. 它需要同步发展诸如大体积高真空和超真空技术, 高电压大电流快放电技术, 运用电脑的自动控制技术, 束流技术, 强脉冲功率技术, 微波技术, 高功率强激光技术, 高精度

的数据采集和图象显示技术等等。就其物理基础而言,人类在不久前才认识到等离子体是一种多自由度的很不稳定的系统,在其中,扰动可以激起多种模式的波,而且当系统中存在各种不同位相的波时,系统便处于湍动状态等等。虽然最近的试验研究获得了重大进展,但要建成实用的装置还无定期,因为人们甚至无法预料还会有什么新现象出现。

(四) 机遇与对策

自本世纪 60 年代以来,继彩电、冰箱、洗衣机、空调机、微波炉、电子游戏机频繁地更新换代之后,全自动照相机、摄像机、影碟机、电脑也纷纷进入寻常百姓家。人们从自己的生活中越来越紧迫地感觉到,科学家早已呼唤的那个信息时代已经来到了。真是一片知识爆炸,财富剧增,日新月异的景象,令人目不暇接。然而今日辉煌之母,一切自然科学的领头羊——物理学却正在阵痛中呻吟。

1995 年 3 月在美国匹兹堡召开了一个约有 5000 名物理学家参加的应用物理学大会。会上没有出现令人激动的新发现与新进展的报告。从大会的论文看,目前绝大多数物理学家都集中在几个时髦的课题上,诸如高温超导(HT_c),碳六十(C_{60}),混沌(Chaos),扫描隧道显微镜(STM)和原子力显微镜(AFM)等。但上述各分支领域的发展趋势也呈现走下坡路的态势。据说,其应用前景并非如某些物理学家吹嘘的那么好。相反,会议上大家讨论得最为热烈的问题是物理学的前途问题。其实“物理学还有没有发展的前景”是近年来世界物理界一直争论的话题。

目前物理学在地球上的确不大吃香,其表现有如下几点:受世界经济不景气的影响,许多国家正在继续紧缩银根;除日本等少数几个国家,均对物理学基础研究的投入大幅度减少,研究经费普遍不足;许多国家的物理学家已加入失业大军的行列,靠救济金度日;物理学毕业生求职困难,在全世界普遍存在着新大学生不愿选修物理专业的情况。回顾过去,物理学有过自己的辉煌年代。本世纪的头 30 年中,由于物

理学发生了狭义相对论、广义相对论和量子力学三大革命,导致了 20 世纪人类社会空前的技术进步,极大地改变了人们关于空间、时间和运动的观念。接着,物理学对物质内部结构的奥秘展开了迅速、深入和广泛的探索。由于这些发展在第二次世界大战期间对军事科技产生了重大的影响,基于军事的与政治的目标的刺激,世界上的各大强国竞相急剧增加财政拨款支持以物理学为带头科学的各种科学研究。这一切极大地改变了人类的生产方式和生活方式,并促使人类整个自然科学的改观。苏联解体,冷战结束,以美国为代表的一些国家,竞相大砍基础研究经费,致使基础科学的研究陷入举步维艰的状态之中。与实验物理学家相比,理论物理学家的工作处境更为困苦。世界上许多国家的这一类研究机构都在惆怅中苦心经营。这些不幸给我们的启示是西方发达国家对基础科研重要性的认识水平并不是我们过去想象的那么高。一方面物理学并没有发展到尽善尽美的地步,另一方面,西方“兔子”睡觉了,不甘心长期落后的发展中国家是有机会赶上他们的。再者,我国传统的学术思想是着重于研究整体性和自发性,研究协调和协和。现代科学的发展正从分析走向综合,从局部走向整体,从平衡走向不平衡,从线性走向非线性,从孤立走向交叉,从静态走向动态,从形式逻辑的演绎法走向辩证逻辑的思维方向。这个趋势很符合我国传统的哲学思想。因此 21 世纪对我国科学的大发展是个不可错失的良机。为此我建议:

(1) 在 21 世纪我国要在什么学科上发挥自己的优势,与世界争高下? 要在什么方面,用什么战略去开拓世界市场,抢占什么高新技术的制高点?“机不可失,时不再来”。对上述问题,我国主管科技发展的高层决策机构要尽快确立自己的战略方针,并尽快制定出符合我国国情的发展策略;要拿出具体可行的办法来贯彻“稳住一头,放开一片”的正确方针。

(2) 在科学上只有第一,没有第二。既要鼓励我国学者到国际舞台上竞争,又要采取有力措施保护中国人的发明权。努力办好国内的

花儿为什么这样红

——浅谈“颜色”概念

徐满平 周杰

(安徽池州师范专科学校 247100)

“花儿为什么这样红? ……”花儿为什么有红、有黄、有白? 自然界中物质为什么会呈现五彩缤纷的颜色呢? 还得从电磁波谱说起。

我们都知道, 将电磁波按其波长的长短依次排列起来就形成了电磁波谱。能引起我们视觉的只有其中很小一个范围的电磁波, 我们称其为可见光(波长在 3800 埃—7800 埃)。不同波长的光在我们视网膜上能产生不同的效应, 正是这些效应给我们以颜色的感觉。那么颜色与可见光的波长有什么关系呢?

牛顿早在三百多年前就用棱镜将白光分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色光, 第一次发现白光(日光)的光谱。其波长从长到短, 即红光波长在可见光中最长, 紫光波长最短。然而, 人眼对白光的感觉就是白光, 不能分解出白光的光谱组成。其实适当地选择两种不同波长的单色光及它们的亮度, 再把它们混合起来也能得到白光。这些能配合成白光的两种单色光称为互补色。例如, 红光和青光是互补色。人眼产生的颜色感觉是一个复杂的物理、生物和心理的综合效应。

我们再来看自然界中各种物体呈现多种颜色的原因。首先, 我们要明确颜色不是物体自

一流自然科学杂志, 不让我国学者的“首创”成果被耽误, 被埋没。

(3) 对不符合“经典”的新思想, 人们往往难以接受, 要吸取历史教训, 制定更为宽容的政策, 鼓励、支持富有个性和想象力的科学家自由地从事研究与探索, 努力创造“离经叛道者”的生存与发展的条件。

(4) 解决物理学问题应以长期发展为目的, 重质不重量。不断增加科技投入, 坚持配置老中青三结合的科研队伍; 要用稳定的政

身的性质, 而是由它对照射到它上面的各种颜色的光反射和吸收决定的。

有色透明体的颜色, 一般都是物体对可见光选择吸收的结果。例如, 红色玻璃就是对红色光及橙色光吸收得很少, 而对绿色光、蓝色光

及紫色光吸收得多。当以白光照射这种玻璃时, 只有红色及橙色光透过, 其他色光都被吸收, 所以看上去就是红色的。还有一类透明体(如空气、水晶等), 对于通过它的各色光都作等量吸收且吸收量很小, 当光照射它时, 各种波长的光几乎都能透过。这类物体就给我们一种特有视觉感就称“无色”。可见无色乃是透明体所呈现的一种特殊现象。这样看来, 透明物体的颜色是由照射光的性质(频率)及物体对光的选择吸收性质决定的。这种由于选择性吸收而使物体呈现的颜色称为体色, 呈现体色物体的透射光与反射光的颜色是一样的。不透明物体的颜色一般都是物体对可见光选择反射的结果。例如, 植物的叶子, 由于含有胡萝卜素族的叶绿素, 吸收红、紫两端光波段, 而对绿光反射特别强, 所以在白光照射下呈绿色; 有些植物的花朵吸收绿色以下的短波段, 对红光反射特别强, 所以在白光的照射下呈红色。有些物体对可见光所有波段吸收程度很小, 而反射程度很大, 所以在白光照射下呈白色。可见, 不透明体的颜色是由照射光性质及物体对光的反射性质决定的。这种由于选择性反射而使物体呈现的颜色称为表面色。

策、科学的办法进行管理, 坚决克服妨碍科学发展的两个大敌, 即克服形而上学与功利主义; 要改革各级自然科学基金的申请办法, 采取新思路、新办法构筑非急功近利型科学家的“庇护所”。

我认为物理学中那些长期未获得解决的难题必定包含着新物理学的信号。可以预言, 在 21 世纪人类在基本物理思想与观念上的革命性突破是不可避免的。物理学的发展必将有一个更为广阔的天地。