

从近代物理学到高新技术浅谈

谢一冈

我们这一辈从 20 世纪 50 年代就开始从事物理学工作的人常常赞美“物理学是自然科学的皇帝”，数学是自然科学的“皇后”。看来似乎有些“老王卖瓜，自卖自夸”的味道。但是纵观科学技术发展史，似乎也并非言过其实，的确物理学是技术的基础。从更高的角度看，已经实现的人类三次工业或技术革命都是以物理学的重大突破为基础的。大家可以回忆：没有热学、热力学的研究，就不会有以蒸汽机的发明和广泛应用为标志的第一次工业革命；没有电磁学的研究和电磁学理论的建立，就不会有今天的以工业电气化和现代的无线电通信为代表的第二次工业革命；没有 20 世纪初期以相对论和量子论这两方面物理学的第三次重大突破，就没有由此产生的“近代物理学”，并进一步使人类踏入第三次技术革命时代。爱因斯坦的狭义和广义相对论不仅改变了人们的时空观，促进了对高能量的高速粒子和宇宙学的研究，并以其质能公式揭示出核能释放。普朗克的量子论和接续发展的进入微观世界的玻尔原子结构和量子力学又是原子、分子、核与粒子物理的基础。以激光为代表的近代光学和以能带理论为基础的固体物理都是以量子力学为前提的。可以说上述这些领域就是“近代物理

学”的主干。它们进一步促进了多种学科的兴起。大家可以回忆，例如在大学里，20 世纪中后期我国的物理学系已经从单一的物理系逐步分为多种分支学科的院系，如材料学院、现代光学学院、核学院、无线电电子和信息学院等，再如一些交叉学科，如化学物理、生物物理、地球物理等都是以物理为基础的分支科系。

谈及高新技术，在国际和国内方面，有人将 21 世纪高新技术的发展总结为：以信息技术为先导，以新材料技术为基础，以新能源技术为支柱，在宏观领域向空间及海洋技术发展，在微观领域则向生物技术开拓。尽管这种看法不一定十分准确和全面，但信息技术、新材料技术和新能源技术是高新技术的重要内容则是无疑的。它们也都是以物理学作为基础的。如核物理的发展，特别是中子物理和裂变的研究实现了核能的释放，激光的发明及其在光通信等方面应用，半导体物理和固体物理、纳米材料、集成电路微型计算机的飞速发展，使我们现在已经进入各种各样的高新技术汇合起来的信息和新能源时代。这就是物理学的第三次重大突破使人类发生的第三次产业或技术革命。

按照上述三次物理学的重大

突破和相应发生的三次产业或技术革命的人类历史发展进程和逻辑地合理推断，人们会自然地联想到有没有“第四次物理学重大突破”？有没有与之伴随的更新的技术革命？若有的话，它们都会是什么面貌，有什么特点？目前，虽然已经有些不同的说法，但是这个命题现在还是一个未解之谜，它要等待几代人去探讨。

在浅谈高新技术和现代物理联系这一庞大的课题时，我们就以前面提到的材料、信息、能源为主干，将它们同近代物理的联系做一些介绍。

关于材料 主要包括新型固体材料，包括金属、陶瓷、半导体、复合材料等。超导体可以是固体，如金属和陶瓷，但也可以是液态。近年来高温超导体，如几种铜-氧化物系列（温度为 92 K 的 Y-Ba-Cu-O，160 K 的 Hg-Ba-Ca-Cu-O）等都是值得注意的。在半导体方面值得一提的是量子阱和超晶格，近年来利用分子束外延（MBE）和化学气相淀积（MOCVD）可以制成极薄的半导体层，形成量子阱和超晶格，就相当于能人造地生成不同“子能级”，可以制成不同要求的器件，如特殊的高速集成电路等。另外如氮化镓（GaN）等宽禁带半导体在国外和国内受到重

视, 因其在可见光区域、紫外区有很高的量子效率和很低的暗电流, 特别是负电子亲和势 (NEA), GaN 器件作为直接的光阴极材料有很大的发展前途。除硅锗族半导体和已较常用的化合物半导体砷化镓 (GaAs) 外, 近年来其他化合物半导体如碲化镉 (CdTe)、碘化汞 (HgI₂) 和碲-汞-镉 (Cd-Hg-Te) 等, 因它们分别对 γ 与 X 射线, 甚至红外线波段分别响应而有广阔的应用前景。

近年来迅猛发展的纳米科技在化学、生物医学、材料学、电子学等领域取得了一系列令人瞩目的成果。纳米材料的尺寸效应、表面效应、量子效应, 使其在磁、光、电、敏感等方面呈现出常规材料不具备的新奇性质, 具有广阔的应用前景。碳纳米材料的研究如碳纳米管和足球面状的富勒烯 (C₆₀) 已成为当前国际上最活跃的前沿领域之一。这种作为二维材料的石墨烯的研制成功已被评为 2010 年诺贝尔物理学奖。目前, 将石墨烯应用于场效应管、太阳能电池、传感器、触摸屏、液晶显示屏和微电子器件等领域已有初步结果。历史上每一次碳的同素异形体的发现都促进了人类对自然的认识, 作为二维材料的代表——石墨烯, 更是打开了二维纳米材料的研究新领域, 以它为主的复合材料可作为太阳能电池、显示屏、超级计算机部件和交通工具用器件等。

在作为非晶态的固体的玻璃方面, 近年来它已远远超出我们常规应用的采光范围, 而向特殊功能

性器件开拓。例如非晶态的合金, 它也是一种金属, 又被称为金属玻璃。从原子结构角度看, 它有着“长程无序, 短程有序”的特点。目前已包括 2000 多种加入不同基材, 如铜、铁、稀土等物质经特殊处理后制成具有特殊性能的材料和部件, 例如利用其磁性法拉第效应器件可用于超高电压下的高空远程电性能传感器应用等。近年来出现一种兼有纳米尺度特征和非晶结构的新型功能材料, 即二者相结合的纳米金属玻璃, 可以带来二者的优点, 如制成特殊催化剂、高效绿色节能材料和多种电器电子部件等。

谈到信息 已经大为普及的是有线、无线通信和计算机技术, 这里就不多说了, 值得强调的是, 近代光学的发展特别是各种波长的电磁波的应用是当今最重要的发展领域之一。

20 世纪 50 年代物理界有“热核冷光”之说, 也就是说光学没有核能方面火热。但是自从 1960 年激光一经问世, 就以极高的速度发展, 并在各行各业得到广泛应用, 至少同核技术“并驾齐驱”或更有普及之势。激光有着极为广泛的用途, 其自身也是一个近代物理学研究的热点。支撑着今天信息社会通信网络的基础就是激光通信技术。高能量密度的光束自然也会使人联想到制造具有破坏性的光线武器, 现在这已成为现实。

近 20 年来, 量子物理与信息科学、计算机科学交叉形成了新的学科, 已受到各个发达国家的重视, 发展很快: 量子信息主要包括量子

计算、量子通信和量子密码学。其目标是利用量子观念及其衍生的量子特性进行信息存储、处理、计算和传送, 有可能为突破传统计算机芯片的尺度极限提供新的启示和革命性的解决方案, 同时必将促进相关量子信息器件 (如单光子源、单光子探测器、量子中继器等) 的发展。

1966 年一位华人科学家高锟提出用细玻璃丝代替比它粗万倍以上的铜线, 利用光传输信息, 而后来被称为“光纤之父”, 并分享了 2009 年的诺贝尔物理学奖。到目前, 光纤通信已普遍应用。但是从 20 世纪 80 年代末光纤传感器领域才开始发展起来。大家知道, 光纤是利用满足布列斯特全反射条件的原理引导光波传输的, 因此它的许多特性参数 (如振幅、相位、偏振、波长) 会受到其外界条件, 如温度、压力、电场、磁场等的影响而变化, 这就反过来可以利用特性参数来测定这些外部物理量。到目前统计可以测到 70 多种物理量, 而且由于其精度高, 微型化和适用于恶劣环境等优点, 已实现了相当程度的商业化。

在大科学装置的光源方面, 国内从 20 世纪后期已先后启用的运行在真空紫外区的合肥同步辐射 (HESYRL) 与北京同步辐射 (BSRF), 可覆盖 0.01 ~ 22 keV 的 X 射线区和更低的能区, 目前已有 500 多个用户在许多领域使用, 发挥了巨大的作用。上海光源 (SSRF) 是一台第三代中能同步辐射装置, 也是迄今为止我国最大

的大科学装置之一，可提供从红外光到硬 X 射线的各种同步辐射光，目前已经建成并在积极完善中。说到第四代光源——相干光源，即自由电子激光是完全相干辐射，最近几年也有长足发展。

一谈到光源就必需谈到它的探测。各种光子和粒子的探测都有其共性。在同步辐射 X 射线方面，目前尚多用气体电离室、正比计数管和 CCD 等，它们的记录速度都不够快。20 世纪末到 21 世纪初，由欧洲核子研究中心 (CERN) 的高能物理实验发展起来的多孔型与栅网型气体电子倍增器 GEM、MicromeGas、THGEM 等被统称为微结构气体探测器 (MPGD)。由于其信号快、抗辐射、价廉、易于大面积与多路读出等优点，在国外发展极快，国内也有相应的发展。对 X 射线成像方面国内已可达到约 $60\ \mu\text{m}$ 精度。它与不同的转换体相结合就可测量多种粒子，如中子、介子、紫外光子，并用于各种成像等。将其阳极做成微小的像素，再与集成度高的特殊电子学 ASIC 电路结合就成为像素探测器。探头也可选用较昂贵的半导体探测器阵列，可得到更精细的像素。它们都相当于探索粒子物理世界和极快速事件 (爆炸、分子瞬变， 10^6 帧/s) 的“高速相机”。

光子学发展到目前阶段，已经基本上成为与现代电子学平行发展的一门新兴学科。其中的光子学玻璃就是当代特种玻璃的一个重要发展，这里不再赘述。值得一提的是法国的阿罗什和美国的维因兰德因

使用单个光子控制和测量被囚禁的带电离子及其反过程而获得 2012 年诺贝尔物理学奖，为量子计算机打开了大门。

说到此，从普及与民生密切相关的光源的角度看，发光二极管 (LED) 是不能不提的。因它具有比一般通用灯泡转换效率高至少 10 倍和使用电压低等优点，近年来已逐步替代通用灯泡。LED 是将具有直接能隙的 P 型和 N 型的半导体材料结合在一起形成的。只要施加较小的顺电压，N 型半导体导带中的电子与 P 型半导体价带中的空穴相结合，就能发出同 PN 结能隙相应波长的单色光。不同的半导体材料有不同的能隙。比如 GaAlAs 的能隙对应着 660 nm 的红色，InGaN 有对应着 520 nm 的绿光和 390 nm 的蓝光的能隙。AlInGaN 材料的能隙对应着紫外光。由此可以得到多种颜色，从美化世界、便利交通和环保节能等国计民生方面来讲，LED 是大有发展前景的。

说起能源 回顾人类发展的历史，每一次高效新能源的利用，都会使社会进入一个新的时代，带来一次新的飞跃。新能源的开发是社会发展的基础。从 20 世纪中期以来，利用重核裂变原理的和平及军事利用已经是众所周知的课题。国内在不同地区已经或正在建造数十个核电站。另一方面，近年国外发生的核电站泄漏事件影响了人们对核能的态度。人们虽然有不同看法，但正确认识和继续发展、利用这一成熟的技术仍然是极为重

要的。这是人类在地球上含碳类 (煤与石油等) 燃料资源储量有限的情况下必须应对的。增加能源的低碳比例，发展其他能源当然是迫在眉睫的。

作为以太阳释放出巨大能量为原理的轻核氘-氚等的核聚变，比核裂变释放的能量还要多数倍，而其辐射却要少得多。另外核聚变燃料可以说是取之不尽、用之不竭的。由于这些特点，多年来各发达国家已投入巨大的人力财力进行可控核聚变研究。包括我国在内都预期在 2050 年前后争取进入实用阶段。为了加快速度，国际上也从较为保密改变为广泛的国际合作。例如，进入 21 世纪以后，科技界的一大新闻就是中国加入 ITER。ITER 是国际热核实验堆的意思，是一项热核聚变研究的国际合作的大规模科学工程。

快中子反应堆研究方面近些年来发展很快。目前一般热中子反应堆只能利用一定浓度的 ^{235}U 作为燃料，并要使用慢化剂使产生的快中子慢化成很低能量的热中子才能持续维持 ^{235}U 的链式反应。例如 1000 kW 的核电站每一昼夜只需消耗 1.04 g 的 ^{235}U 。这已比按数十吨计算的煤燃料少千万倍了。但是天然铀浓缩过程中大量的 ^{238}U 却都没有被利用。当不用慢化剂而在 ^{235}U 堆芯外围以 ^{238}U 作为增殖区时，由快中子同 ^{238}U 经链式反应即能产生大量的快中子，经过几次级联反应和衰变后可以产生钚 (^{239}Pu)。钚也是核燃料，这样就可以使核燃料增殖，使含 ^{238}U 很多的“贫铀”

和钍 (^{232}Th) 等天然矿藏都可直接得到利用。国外已有约 10 座快堆电站, 我国近几年已初步建成实验型快堆。如果说现在通用的核燃料只能用上 100 年, 那么更新一代反应堆的燃料资源可供人类使用成千上万年了!

另外特别要提一下的是由诺贝尔奖获得者卡罗·卢比亚在 20 世纪 80 年代提出的加速器驱动能源 (ADS), 这种利用废弃核燃料的清洁能源的研究近几年来在我国已经逐步赶上国际步伐。简单说它是利用能量约为 1 GeV 的中能质子加速器轰击次临界反应堆中的重金属 (铅或铋等) 引起散裂反应产生多个中子。这些中子作为外源中子使次临界反应堆进入临界状态而持续进行由加速器“控制”的链式反应。这样不仅利用了核能, 也就是说它不仅是一个能量放大器, 即释放的核能比加速器耗能大许多倍, 而且把不容易处理的一般核电站使用过的核废料经分离后作为次临界反应堆的燃料, 而使生成物不再有放射性或只是短寿命的。这就不仅形成了清洁能源, 还可以生产短寿命同位素以提供国民经济各方面使用。另外, 这种链式反应的生成物经过补充裂变材料后可制成再生混合燃料, 进而继续作为次临界反应堆的燃料使用。人们期待其早日成功。

在当前强调环保, 包括减少二氧化碳排放的形势下, 开发太阳能、各种化学能和风能等各种大、中、小型非化石 (煤、石油) 的能源十分重要并已全面开花, 各国都在尽

量挖掘可能的能源, 一些发达国家甚至已经开发出利用垃圾发电等。在这方面, 重要的是探索开发新材料和器件用以提高转化效率和便于储存等。所谓利用电化学原理的各种燃料电池被认为是氢能利用的最终解决方式, 是当前开发的热点。国内近几年来已经实现足够功率的而且只排水的“零排放”燃料电池, 已试用于汽车。国外已开发出千瓦级固体高分子燃料电池用于家庭。另外, 第二代薄膜太阳能电池也取得了令人瞩目的成就, 如 CuInSe_2 (铜铟硒) 和 CdTe (碲化镉) 等薄膜电池的实验室效率目前分别为 16.5% 和 18.5%。提高热电转换效率的新材料如 20 世纪末开发的有方钴矿结构的具有“声子玻璃-电子晶体”结构的 CuSe 材料已可达到很高的 ZT 值的热电转换效率。复合多层砷化镓 (AsGa) 的太阳能的转换效率已可达 40%。其他如需要在特殊条件下工作的放射性同位素电池, 已经用在探索月球和火星上。

其他方面 如红外辐射与遥感、超声与超声技术和近代物理分析技术。由于篇幅有限, 本文不便多谈。这里只点滴地谈几点:

红外辐射所对应的电磁波波长的范围在 $0.75 \sim 1000 \mu\text{m}$ 。特别是根据黑体辐射原理得到人体体温 (310 K) 所对应的波长恰为 $9.3 \mu\text{m}$ 。因此红外辐射不仅在军事上, 如红外侦查、制导、夜视和环境遥感监测等领域有重要应用, 而且在人体自身研究、医学等方面也有重要意义。国内已经重视开展中医经络理

论与实效的现代研究。甚至因为已经发现中医的经络同物理学的热、电、声、光, 特别是 $3 \sim 17 \mu\text{m}$ 的远红外辐射有着密切的联系。

红外辐射源除了使用加热器与多种金属氧化物和碳化硅等涂层材料结合以及电荧光辐射源等外, 各种特定红外波长的气体激光器 ($1.2 \sim 10.6 \mu\text{m}$ RF-CO_2) 和半导体激光器 (从 $0.9 \mu\text{m}$ 的砷化镓到 $6.5 \sim 13.5 \mu\text{m}$ 铅锡碲) 以及固体激光器 (Nd-YAG), 近年来也已逐步应用。在探测方面除了几种热探测器外, 多种光电管、光电倍增管和不同灵敏波段的半导体探测器也都应运而生, 例如硒化铟 ($3 \sim 5 \mu\text{m}$) 和前节已提到的 Hg-Cd-Te 合金, 其特点是根据其成分配比不同可得到 0.8 至几百 μm 的灵敏响应区。因为它们的尺度一般较小, 将其排列成阵列即可制成成像设备, 如红外 CCD 等。

谈到声学, 军事上常用的海洋声纳和民用超声清洗、焊接等已是大量使用技术。最新的有些新奇意味的发展是: 利用压电效应的超声电机; 为模拟太空环境的声悬浮技术; 材料的折射率系数、介电常数和磁导率均为负时可用以制成“隐身斗篷”。它们都将在特殊场合有着特殊的应用。

近代物理分析技术大都是利用近代物理开拓出的多种高科技技术, 它们已经作为各行各业测量的有力手段。例如核磁共振成像已大量在医院使用。利用探针尖端与待测表面的原子间的局域相互作用

巧过护城河

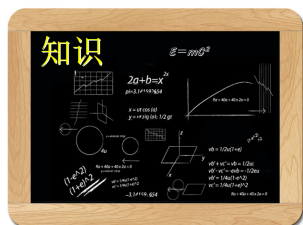
高云峰

明明邀请西西在周末去看“巧过护城河”的比赛。

“你知道吗？在江苏省常州市的淹城，有很多传说与越王勾践有关。”明明介绍说，“相传当年越王勾践曾经被囚禁在淹城，现在有两队大学生要穿越时空，想办法通过层层关卡，看谁能先救出越王勾践。”

“穿越时空？有意思。另外都有什么关卡呢？”西西问。

“穿越时空当然是虚设的，但是在勾践被囚的传说基础上，一场救援活动在两所大学的大学生中展开了。”明明介绍说，“救援活动首先要设计方案巧过护城河，然后还有翻越城墙、水炮对攻等环节，才可能把越王救出来。”



淹城的历史

淹城距常州市区约7 km，是我国目前西周到春秋时期保存下来的最古老、最完整的古城池。它的特点是3城3河：3条护城河1个套1个，从外到内围着3层古城（图1）。淹城的总面积约0.6 km²，在这小小的地方，却有着很多传说。

关于淹城的来历，一种说法是淹城曾是商末周初奄国的国都，奄君就是当时在山东曲阜之东的奄国君主。相传奄君与武庚勾结发动叛乱，被周成王所灭后，

带领残部从山东辗转逃到江南并在这里凿河为堑、堆土为城，仍称“奄”。因为古代的“淹”字与“奄”字通用，于是这里有“淹城”之名。另一种说法是春秋晚期吴国公子季札不满阖闾刺杀王僚夺取王位，决心与阖闾的强暴政治决裂，便在封地延陵筑城挖河，取名“淹城”。

当地还有一些未经考证的传说，例如，传说当年越王勾践曾经被囚禁在淹城。



“那你介绍一下比赛规则如何？”西西问道。

“每队5人，提供4块相同的木板，每块木板的尺寸是：长为3.5 m，宽



图1 淹城俯视图

用原理已经发明了各种扫描探针显微术，从而可以测量微小到百分之一纳米的原子分子层面的尺度，用以研究表面的原子结构等。再例如采用飞秒（ 10^{-15} s）激光技术的光学相干断层扫描可精确到1 μm 。这些新技术已对或将物理、化学、材料、生物、医学等领域起到巨大的推动作用。

本文很不全面地列举了一些近年来的进展，旨在

抛砖引玉。希望能够进一步看到它们的发展和更多的高新技术，特别是与物理基础有联系的文章，使青年一代增加从事理工的兴趣，以能够促进我国在21世纪的物理学向更深层次发展并出现更多的高新技术。

最后，借此机会感谢陈泽民对编写本文的支持、所作的有益讨论和一些修改。

（中国科学院高能物理研究所 100049）