

《九十年代物理学》总论

美国物理学综评委员会 美国物理学和天文学委员会
美国物理科学、数学和资源委员会 美国国家研究委员会

编者按：美国物理学综评委员会 (Physics Survey Committee) 等经过三年时间编写了《九十年代物理学》(Physics Through the 1990s) 一书。该书共9卷,包括《总论》,《综述》,《原子、分子和光物理学》,《凝聚态物理学》,《基本粒子物理学》,《引力、宇宙学和宇宙线物理学》,《核物理学》,《等离子体和流体》,《交叉学科和技术应用》,长达2036页。

我国物理学界十分重视这套丛书,正在组织翻译。现编译《总论》,供读者参考。

一、物理学若干重点

1. 基本粒子物理学

基本粒子物理学已取得了惊人的进展。我们已发现了夸克、轻子和载力粒子 (*force-carrying particle*) 三类基本粒子,其中有六种轻子,五种夸克。还有预料中的 t 夸克。我们早已知道光子能传递电磁力,近来又发现 W^{\pm} 和 Z^0 粒子能传递弱作用力,因而类似地认为带色荷的胶子能传递强作用力,预想中的引力子能传递引力。现在,还不知道由什么因素决定夸克、轻子的基本性质(如它们的重量和稳定性)。一些物理学家开始认为,夸克、轻子可能是由更基本的成分构成的,并在理论上预言 Higgs 粒子是新的基本标量粒子,还预言存在着质量可能是质子的 10^{16} 倍的自由磁单极子。

目前,物理学家已把作用在物质上复杂的力简化为三种基本力: 引力、统一的电弱力 (electroweak force) 和强核力。而且,由于在基本力之间数学上的相似性,暗示着可能存在有深远意义的统一性: 或许所有的力都是同一基本力的不同表现形式,或许万物都可简化为某些深奥的 (deep) 对称性。我们能发现基本

力吗? 我们能发现那种深奥的对称性吗?

2. 核物理学

今天,核物理学面临的基本问题已扩展到广阔的领域,包括强力和电弱力之间的相互作用,还涉及到从核力的微观尺度到大尺度的宇结构这样的物质世界的性质。核物理学最重要的任务是,把原子核作为强相互作用粒子的多体系统来研究,但这仍然是个十分困难的问题。人们可从量子色动力学最惊人的预言中得出,当核物质处在高温、高密度下,组成强子的夸克、反夸克、胶子将失去禁闭而自由活动,核物质就过渡到夸克-胶子等离子体。相对论和新的超相对论重离子碰撞实验将用来探索这种过程。

宇宙起源的大爆炸理论认为,宇宙在大爆炸后的几微秒就存在着这种物质状态——夸克-胶子海,或许在超新星爆发时和在中子星核心中存在着这一状态。探索夸克-胶子等离子体仍然是核物理学的前沿领域,这也将加深我们对宇宙演化的理解,并产生了核天体物理学,从而跨越了传统的核物理学、基本粒子物理学和天体物理学之间的界限。

3. 原子、分子和光物理学 (AMO 物理学)

AMO 物理学有着类似的情形,并产生了

许多共同的新技术,因而三者自然地结合成为一个单一的学科领域。它们还有一个共同的目标,即了解原子结构、简单的分子结构,以及它们如何相互作用、如何与光相互作用。AMO物理学也为其它许多科学和技术领域(如环境工程、超精细测量等)提供了研究手段。

在原子物理学方面,着重选择了基本检测和高精度技术,多电子动力学,原子系统瞬态三个前沿领域;在分子物理学方面,提出了孤立分子物理学和分子碰撞物理学两个广阔的领域;在光物理学方面,提出了新光源、先进的光谱学、量子光学三个领域。

粒子捕集器 (particle trap) 是一种新的装置,它由具有一定形状的电磁场组成,因而能捕集电荷,甚至单个电子和离子,并能使其贮藏达数月之久。利用这种捕集器,能进行非常精确的测量。通过单个电子实验,能为人们提供现代量子理论最精确的一种检测标准,同时也为研究分子间的碰撞和化学反应找到了一种新的途径,并使人们有可能制造新一代超高精度的原子钟。

现在,已经知道如何产生持续飞秒(10^{-15} s)的光脉冲。这种光脉冲可用于快速拍照,拍摄分子在化学反应时和电子在金属中传热时的行为,并制成影片。这种光脉冲还可用在未来新型的高速计算机中的信号传输。

4. 等离子体和流体

对等离子体的了解,意味着了解宇宙中的大部分物质,如太阳、恒星、磁层、恒星风和银河系都是由等离子体构成的。了解流体如何流动,这对于研究燃烧、血液流动、声波、空气动力学和板块构造学等来说,都有着重要的意义。

一般等离子体物理学着重于基本等离子体的概念和应用研究,如等离子体不稳定性和非线性效应,湍流和混沌等问题的研究,以及在自由电子辐射源、X射线激光、等离子体同位素分离、集团和激光驱动的加速器等方面的应用研究。近来,物理学家发现等离子体能用来增加荷电粒子的能量,即当激光束进入等离子体中时,等离子体波随着以接近光速传播的巨大的

电场而产生,被激发的等离子体波可加速粒子,使其达到超高能。这种加速器称为拍频波 (beat-wave) 加速器,它比传统的加速器小得多,但同样能加速粒子使其达到超高能。在未来若干年里,基于这一原理的实用粒子加速器将会出现。

在聚变等离子体物理学研究中,许多问题都涉及到高温等离子体物理学的基础研究。这些研究要达到的目标是,在等离子体中同时达到高温、高密度和长久的约束时间,即类似恒星中心的等离子体条件。对于磁约束聚变,要强调等离子体约束概念的改进,以及实验研究,如燃烧堆芯实验 (burning-core experiment)。对于惯性约束聚变,要注意理论分析和数值模拟计算,以及了解复杂的物理过程。在理论上,等离子体能被约束,并能加热到聚变温度,释放出巨大的能量。

在九十年代,需要进一步探索太阳系等离子体,包括研究地球等离子体环境、行星磁层和日层。这些是研究天体等离子体的“实验室”,我们从这些就地的直接探测中,可开拓一条了解宇宙的道路。当空间飞行器“先锋号”和“旅行者”脱离日层后,可直接探测到星际物质和银河宇宙线,从而使我们增添崭新的知识。

5. 凝聚态物理学

凝聚态物理学家利用各种技术来创造在自然界中尚未发现的固体。例如,利用一种技术可以使液体迅速地冷却,使它的原子没有时间完成正常的晶序过程,这样形成的固体仍然是非晶体,因没有彼此滑动的晶面,结果使得这种材料的强度得到明显的增强。另一种技术是,在清洁的表面上沉积仅有原子尺寸厚的薄层,实际上,这一层是二维材料,这种材料有异常的光电性质,可用来制造发光二极管。第三种技术是,沉积不同物质的交替二维层,即一层敷在另一层上面,这种材料称为超晶格,通过改变材料和层的厚度,我们能改变超晶格的性质,以形成具有特殊性质的材料。

新材料和制造它们的新方法,不仅在科学上具有重要的意义,而且也有重要的技术应用。

各种技术的发展,不仅取决于我们能够改变材料的强度和电性能,而且还依赖于我们具有有关材料表面和界面的知识。工业上最重要的化学反应,特别是催化和氧化,就发生在材料的表面上。在物理学的各分支学科中,凝聚态物理学最直接地刺激着技术的进步。

在未来的十年里,我们仍要研究非线性动力学、不稳定性和混沌等问题。特别重要的是,当我们知道仅有几个自由度系统的动力学已是惊人的复杂时,再要研究如何处理多自由度的实际系统的湍流和不稳定性则是更困难了。研究物质表面、界面和象非晶态固体这样的各种无序系统的理论和实验技术都是十分重要的。此外,还要考虑飞秒激光光谱学、自由电子激光、超热中子和同步辐射等的应用。

6. 引力、宇宙学和宇宙线物理学

我们以新的眼光来观察宇宙,从而改变了我们的宇宙观。除地面上使用的光学和射电望远镜外,现在还有在空间运行着的各种望远镜,能观测到来自恒星、银河系和宇宙边缘的红外、紫外、X射线和 γ 射线。它们和宇宙线同时给我们带来如超新星爆发等高能物理过程的信息。

引力物理学家希望引力波的研究将成为打开宇宙的另一扇窗户。爱因斯坦建立了一种理论:象运动着的荷电粒子会发出电磁波一样,运动着的物质会发出引力波。这种波极其微弱,仅当物质所包含的质量具有太阳和行星那样的质量大小时,才稍有明显的引力波能量发生,如地球在围绕着太阳的轨道运行时因辐射引力波而产生的辉光的能量大约为200W,正如房间里灯泡所发的光一样。然而,当巨大的恒星塌缩时,它因辐射出引力波而产生巨大闪光,其能量等于太阳的质量。最近,在实验室里已有非常灵敏的引力波检测器。在进入下个世纪之前,非常大而又非常灵敏的检测器也许会在空间运行。

宇宙学是将宇宙作为一个整体来研究。它主要研究宇宙的起源和演化等问题。五十年前,宇宙学家推论宇宙是在大爆炸时开始形成

的;三十年后,物理学家检测到了那一爆炸的余辉。现在,大爆炸理论已被人们广泛地接受了。过去十年,宇宙学家一直在试图拼成与宇宙在最大尺度上的行为相一致的图象来。

宇宙会永远继续地膨胀吗?会减慢、反相和最后塌缩吗?我们看到的恒星、银河系是由宇宙中占支配地位的物质组成的吗?大多数物质是由不可见的或理论上存在但还没有检测到的粒子所组成的吗?恒星、银河系是在何时以何种方式在宇宙中首先形成?是什么原因引起银河系具有巨大的空隙和复杂的纤维状?这些问题是十分复杂的。

二、交叉学科和技术应用

对于整个自然科学来说,物理学是基本的。物理学研究的粒子、原子组成了蛋白质、基因、器官、活体、整个人造和自然的材料、地球、海洋和大气。从这种意义上说,物理学是化学、生物学、材料科学和地球科学的基础。这些学科来源于物理学的基本概念和技术应用。因此,新的学科会在物理学与这些学科的交界面上兴起,形成科学上的整体,从而远远超过了它的各个部分的简单总和。交叉科学是未来科学最光辉的领域之一。

今后十年,另一方面的光辉领域是技术。现在,我们正处在第二次工业革命的中期,激光器、半导体、磁带和计算机芯片等急剧地改变着我们的社会。而这许多技术都依赖于物理学的基础研究,如磁共振成像原理,就是由物理学家Edward Purcell等发现的。根据这一原理,形成了一种能穿透人体而不使其损伤的革命性的新技术。Willian Shockley等发现了晶体管效应,为微电子学和计算机的发展开辟了一条广阔的道路。Arthur Schawlow等在研究光在分子和固体中的效应时,导致了激光的产生。

物理学中的新概念与其在技术上的应用之间的时间间隔越来越短。高速电子设备、光通信等新技术仅在其原理发现后的几年内就变得成熟起来。自然科学和技术的发展都将密切地

依赖于它们与物理学之间的交叉以及物理学的应用。

1. 地球物理学

物理学与地质学的结合便产生了地球物理学。物理学不仅为地球物理学提供了许多基本模型,而且也提供了许多方法。

海洋环流、海气相互作用、天气图和温室效应的模型在某种程度上全是二维、三维湍流问题。湍流仍然是物理学未解决的主要问题之一。然而,地球物理学家现在已有能力进行计算机模拟,从而建立了大气、海洋的实际模型。为了研究这些问题,人们专门制造了最快、最大的计算机。

现在,地球物理学家已经知道地球表面破裂成几块坚硬的板块,它们以每年 1—10cm 的速率彼此作相对运动。这些板块漂浮在地幔之上,因地幔流动而移动。地幔在某些地方上升,形成山岭,再向下延伸至海洋的中心;在其它地方下沉,又把大陆边缘拉回到地幔中去。板块理论也使我们容易理解为什么地震发生在板块相互摩擦的地方,山脉建造出现在板块碰撞或一块板块俯冲在另一板块边缘之下的地方,而火山爆发通常是发生在地幔上升到接近地表的地方。

物理学就是要解释这些运动的力和地球内部的热力学过程。研究地球的化学演变也是一个新的前沿领域。比较行星学的发展会加深对地球本身和太阳系其它天体的认识,而空间技术为这些研究提供了新的手段。预计在今后二十五年内,研究火星并进行实地考察,这将是优先选择的研究课题。

2. 生物物理学

生物学研究的极端复杂的生命过程主要是依赖于物理学的原理。物理学通过其无序系统的研究和统计学的应用以及灵敏仪器的帮助,最后能从基本原理出发来解决这种复杂的问题。生物物理学研究范围,从分子到细胞和膜,以至到象脑这样能协调工作的多细胞系统。

生物学家现在能用高灵敏度仪器研究单个分子如何携带电信号穿越神经细胞膜。这种信

号是经过荷电原子(特别是钠、钾、氯和钙)而流动的电流。允许电流通过膜的某些蛋白质分子是在神经细胞膜面上,而蛋白质分子利用折叠成不同的构形来调节电流。生物学家想精确地知道通路如何打开,以及在哪些原子中通路怎样辨别。最近,生物学家已研制出一种足够灵敏的仪器,使他们能测量通过单个通路分子的电流,而这些电流仅是普通灯泡电流的万亿分之一(10^{-12})。

物理学原理也为了解象荷尔蒙、抗体、过敏症反应物、病毒和细菌这样的外来物质如何进入细胞的入口奠定了基础。称为受体的蛋白质是在细胞表面上,而特殊的外来物质却能停靠和进入受体的表面。受体的结构能确定什么物质能停靠,一旦物质停靠和粘在受体上,受体就能把物质移动到细胞膜上的确定位置,就在这些位置上,受体带着物质进入细胞内。现在,光电仪器使研究人员能看见受体与物质的结合和物质沿着膜移动到入口处的运动过程。

研究脑的结构是生物学主要研究的工作之一。脑是一个神经网络系统,每条神经接收到来自许多邻近神经的输入信号,并把这些信号输送到许多其它神经中去。为了研究神经网络,生物学家应用了描述许多相互作用的原子系统的统计物理学模型。类似的模型用于描述恒星大气、气体凝聚和具有随机磁性方向而被称为自旋玻璃的某些材料。今后,要特别强调理论生物学和理论生物物理学研究。

3. 材料科学和化学

物理学、化学和材料科学所共有的内容和 技术有时会使一些外行人难于区分它们。

(1) 材料表面和界面

固体表面、固气界面或固液界面是氧化、燃烧、附着、沉积、催化、腐蚀等物理和化学过程的发生地。沉积出现在固体和其溶液间的界面处;催化可以加速化学反应,可带来每年达亿美元的收入;材料腐蚀带来的损失每年也可达亿美元。我们希望能 在分子水平上了解这些过程并控制它们。

(2) 缺陷

没有完美的晶体。晶体原子有序排列处将会整齐地遭到损坏。这样的缺陷常常决定晶体最重要的性质。在晶体中，某些缺陷会显露出颜色；另一些缺陷因能阻止晶体平面彼此滑动而间接地增加了晶体的强度。许多制造半导体的方法会产生缺陷，从而使半导体的效率降低。对微电子设备、半导体、光学材料、催化剂和所有结构金属来说，控制晶体缺陷是很重要的。

(3) 非晶材料和无序材料

玻璃和塑料内部的原子排列几乎没有固定的秩序。通过一些制造方法，能使非晶材料具有明显的物理性质，如能极快地传输信号，有独特的磁性，强度显著增强等。玻璃纤维在通讯系统中日益起着关键性的作用，但这仅仅是在它们本身光滑和无杂质的条件下，才能以惊人的速率携带信号。

(4) 有机电子材料

1972年前，人们还不知道导电的有机化合物。现在，能制造几种这种材料。例如聚乙烯是一种碳氢化合物，其它的是与稀有金属结合的有机化合物。有一种导电性可控制在12个数量级范围内的聚合物，还有一种最重要的有机超导体。

理论物理学和计算物理学在材料科学中有着广泛的应用。物理学中的新奇概念，如分维和分形等是重要的理论上的概念，在相变和微结构研究中有着许多潜在的应用。

4. 数学

数学始终是物理学的表达语言。数学和物理学这两个特殊的领域正在更深入地交织着。

云的运动，种群生长的起伏，破裂形聚变的等离子体不稳定性，流体运动中的湍流，大气运动，甚至蕨(类植物)的生长，都是混沌图形演化的例子。对于等离子体、流体和凝聚态物理学，以及物理学与地球物理学、生物物理学、化学和材料科学的结合来说，混沌的数学表示都是不可缺少的。极其复杂的结构或运动，能由屡次在越来越小的尺度上简单地应用同一规律而得出结果来，而为了促进描述这些复杂性的科学的发展，数学家正在研究处理混沌的数学方

法。

对于基本粒子物理学和宇宙学来说，拓扑学也越来越重要。拓扑学在粒子物理学理论上的应用，预示出时空上称为带(string)的二维缺陷。长期探寻的孤立磁北极或磁南极，磁单极，在时空拓扑结构中被视为是一维缺陷。宇宙学家认为，这两种缺陷对了解宇宙的结构来说是很关键的。

5. 微电子学

物理学在技术上的应用，使美国产生了巨大的经济效益。今天的科学，明天的技术，这是创新的过程。凝聚态物理学、化学、材料科学、微电子学一直在继续交织着，这使得每一学科的发展势必影响着其它学科的进展。象砷化镓这样的新材料沉积在仅有几个原子厚的层上，使电路性能变得比以往更加可靠。本来是为发展凝聚态物理学而研制的新仪器，很快地就应用于微电子产品制造了。现在，虽然微电子技术已经成熟，但它未来的发展方向将继续深受物理学进展的影响。

6. 能源和环境

物理学与能源之间的联系总是深远地延续着：燃烧、裂变、聚变和太阳能都是基于物理学的概念和技术。同样地，能源也总是影响着环境，而物理学提供了监测这些影响的检测器。

裂变、聚变和太阳能技术都是在物理学的基础研究过程中形成的。所有这些能源都能为世界提供实际上是无限供给的内在能源。这三种能源都依赖于物理学进一步的发展。裂变要作为能源被广泛利用，在时间上要比我们过去想象的要长。在聚变成为有效能源之前，物理学家需要更多地知道加热等离子体的最佳方法、聚变等离子体不稳定性的增长和聚变反应堆的辐射效应。太阳能的利用要依赖于太阳能转换为电能的装置，而这些装置又依赖于材料科学、光学和凝聚态物理的研究，以解决所需的材料问题。

燃烧提供了世界上90%的动力。由于能源价格上涨，石油、天然气和煤的供应减少，刺激着人们加强对燃烧过程和如何提高燃烧效率

的研究。

我们对天然气、石油和煤的利用能力,终究不太着重于它们的利用率,而是要更多地考虑它们对环境带来的影响,如酸雨、温室效应这类问题所引起的严重恶果。燃烧化石燃料,会使大气层中的 CO_2 浓度增加,从而产生温室效应。预计在下个世纪内,大气层中的 CO_2 浓度可增加 1 倍,这影响着输入的太阳辐射与地球向外的红外辐射之间的平衡,使地表温度增高,以致影响气候和粮食生产。

7. 光信息技术

光学技术比电子技术对社会有更大的影响。光子沿着玻璃纤维传输信息,并可以使其调到比电子更高的频率范围,从而能传输更多的信息。利用光存储信息的方法,可使几百万卷百科全书的等效信息量储存在糖粒般大小的材料中。利用光学双稳现象,能用一束光来开关另一束光。光学双稳性提供了研制光学变型晶体管的可能性,从而为光计算机的研制开辟了道路。

光学技术的潜力似乎是无限的。人们能在很远的距离范围内运用廉价、高速的信息系统。以光速运行的大型廉价计算机网,能给每个用户全部的实时的彩色图象,并使每个用户能与资料库、业务机构和图书馆联系。用并行结构计算机新技术与飞秒光脉冲技术相结合,使每秒能完成近拍次(10^{15} 次)的逻辑运算,这在数量级上超过今天最好的电子计算机。

8. 医学

物理学家和医学家已有在一起工作的传统。实际上,伦琴给医学学会第一次作了有关 X 射线发现的正式报告。医学家已利用物理学原理去创造一种用于研究人体内部结构的技术。

众所周知的这种新技术之一是计算机辅助 X 射线断层术 (tomography),称为 CT 或 CAT 扫描。另一种成象术是正电子发射 X 射线断层术,称为 PET,其再现人体象的原理类似 CT。磁共振成象 (MRI) 是另一种断层术:人体中的质子大多是处在液态分子中,而质子绕轴旋

转好象磁陀螺,当人体进入强磁场中时,所有质子轴沿磁场方向排列,然后施加接近核共振频率的射频场,使质子轴振动,这时质子再以射频辐射,不同器官和患病器官组织会产生稍微不同的再辐射,这样,就可在人体外检测到不同的射频信号,并由计算机重现三维图象。MRI 可提供非常详细的软组织象的结构。实际上,它基本上可穿透骨骼,可提供极好的脊髓图片,还可以提供跳动着的心脏和流动着的血液的图象。

三、在物理学上保持领先地位

直到第二次世界大战为止,欧洲是物理学活跃的中心。但是,在战争结束之前,中心已移向美国。自从美国在物理学上居于领先地位后不久,其它一些国家也希望占有领先的地位。在这种形势下,获得最前沿的科学知识和保持物理学上的领先地位,这对美国的利益来说是极端重要的。这是因为:

(1) 人类了解自然界和宇宙的渴望是由来已久的,而物理学是在最基本的水平上了解自然界和宇宙,因而能满足人类这种渴望和进行深入探索的需要;

(2) 物理学是中心学科 (central discipline),它的概念以及它在实验室中发展的技术和方法,广泛地为其它学科所采用;

(3) 物理学提供了技术所必需的基础科学的基础,而基础科学一直是新技术的推动力,今天在物理学上保持领先地位,对于明天在技术上占据领先是最重要的了;

(4) 国家需要高水平的技术,以便使经济繁荣,提高生活水平,而在科学上的成就有助于使美国在世界上保持领先地位。因此,美国要在大学吸引有才能的学生并训练他们掌握前沿科学知识,同时还必须尽可能保持科学研究的最高水平。

在美国,物理学研究是由各大学、工业界和联邦政府支持下的实验室来完成的。在某些领域,研究工作是围绕着诸如粒子加速器、等离子

体装置、同步加速器和空间飞行器等大型装置来进行的,而在凝聚态物理学、AMO 物理学、生物物理学、大气物理学等领域,研究工作却是靠物理学小组自己的实验室来进行的。这些各式各样的研究工作的组织形式,在物理学的发展中起着巨大的作用。在进行物理学研究的各部分之间要继续合作和增强人员的培训,以保持物理学研究的高效率。为此,物理学综评委员会提出如下建议:

(1) 小组研究 在科学发展和科学家的培训中,物理学小组起着主要的作用。大约有 70% 的物理学博士都是由物理学小组培训的,而且这些小组的研究工作还经常处于与社会应用结合最紧密的状态中,如新材料制造和能源应用等方面。因此,必须要保证小组的研究工作有一个良好的环境。

(2) 基础研究 智力上的挑战激发着基础研究。此外,基础研究还一再刺激着技术的发展和社会应用。美国国防部要在长期基础研究中增加投资;联邦政府将鼓励工业界支持基础研究;税收政策、反托拉斯政策应修改,促进合作研究。

(3) 大型设备 大型装置在重要的物理学研究中起着核心的作用。在基本粒子物理学中,要建立世界上最高能束的对撞加速器和超导超级对撞机(SSC);在核物理学中,为了在原子核中研究夸克效应以及为了产生和研究夸克-胶子等离子体,需要建造电子束加速器和相对论性核碰撞机;在凝聚态物理学中,为了在极端条件下和高分辨率下研究新材料的结构、性质和

相变,需要建造新一代的同步辐射装置和中子散射装置;在等离子体物理学中,要支持一个强有力的研究计划,建立燃烧堆芯实验(Burning Core Experiment)装置;引力物理学中,为了检测引力波,需要建立长基线引力波装置。

(4) 计算机 计算机的影响遍及物理学各个领域。为了检验和创造化学反应动力学、等离子体模拟、银河系动力学、引力物理学和粒子物理学等方面的理论,要建造大型计算机。统计物理学和凝聚态物理学中的许多基本问题,可能要通过计算方法来解决。

(5) 劳动力 要使博士前人员的数量增加 1 倍,来扭转在美国出生的学生人数的下降趋势;吸引富有聪明才智的年轻教师步入学术界,扩大斯隆(Sloan)人员计划和能源部优秀青年研究人员计划;简化侨民法,使外籍物理学家能在美国从事卓有成效的研究工作。

(6) 交叉学科研究 各基金团体要设法评价和支持交叉学科的合作研究,对正在从事交叉学科的年轻教师应给予特别的关注,各大学要创立交叉系,制定交叉学科研究计划,建立交叉学科研究中心。

(7) 自由的国际交往 国际合作也存在着困难。另外,技术情报外流也是值得注意的一个问题。但是应当主张,科学秘密不是国家秘密,科学秘密是隐藏在自然界中的。为了科学的繁荣,科学家们必须是自由地通信交往。

(李喜先根据《Physics Through the 1990s》一书编译)

(上接第 605 页)

1. 在同一测定仪上测定 MTF 时,它的重复精度很高。但在不同测定仪上,它们之间大约有 0.1 左右误差,这个误差太大。产生误差的原因很多,其中之一是测定仪光电接收材料的分光感光度存在问题,这实际上是白光 MTF 有待研究的课题。

2. MTF 和像面清晰度的对应关系,还有待继续研究。

3. 在空间频率数变高时,MTF 值变为零,产生伪分辨率现象,这是相位偏差引起的,它如何影响像质,也还需要研究。

- [1] 母国光、战元令,光学,人民教育出版社,(1978),313.
- [2] 北京工业学院光学教研室,应用光学,国防工业出版社,(1979),140.
- [3] E. 赫克特、A. 赞斯著,秦克诚等译,光学,高等教育出版社,(1980),852.
- [4] 小岛 忠,写真工业,通卷 334 号.