

医学影像物理学科的现状和未来*

张仕刚 谢耀钦 包尚联[†]

(北京大学肿瘤物理诊疗技术研究中心 北京大学医学物理和工程北京市重点实验室 北京 100871)

摘要 医学影像物理学是医学物理学的重要分支. 该专业的主要目标是培养研发高精密医学影像设备的骨干和医疗机构内的医学物理师, 以及发展该学科专业的科研和教学人才. 建立医学物理学科, 发展医学影像物理专业是我国计划于 2020 年成为世界制造业和软件业大国的重要内容之一. 中国目前还没有建立医学物理学科, 在研发水平、教学和培训水平以及产业的规模上都还非常小. 国家必须采取重大决策才能加速这个领域的发展. 为了赶上发达国家在这个领域的发展水平, 进而成为世界医学影像设备的制造大国, 最紧迫的问题之一是建立中国的医学物理学科和医学物理师制度. 文章在综述医学影像学科发展的同时, 分析了该学科今后发展的社会需求和发展前景, 为建立中国的医学物理学科和医学物理师制度提供依据.

关键词 医学影像设备, 成像物质波源, 医学物理学, 医学物理师

The present and future of medical imaging physics

ZHANG Shi-Gang XIE Yao-Qin BAO Shang-Lian[†]

(The Research Center for Tumor Diagnosis and Therapy and the Beijing Key Laboratory of Medical Physics and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The physics of medical imaging is one of the main branches of medical physics, which trains medical physicists for the R&D and clinical application of medical imaging equipment, as well as for advancing medical physics itself. The development of medical imaging physics is one of the biggest programs undertaken by China to become a world level manufacturer both in hardware and software. However, there is no formal medical physics specialty in China yet, and the scale of education and training as well as the level of manufacture of medical imaging equipment are still quite low. Therefore, for China to catch up with the developed countries, one of the most pressing needs is to establish an education and training system in medical physics and to set up a staff of medical physicists in hospitals. With this aim in mind an overview is presented of the current status of medical imaging, followed by an analysis of its future development and prospects based on the demands of society.

Key words medical imaging device, imaging substance wave source, medical physics, medical physicist

1 引言

各种人体成像设备构成了医疗器械行业中技术含量和附加值最高的一类医疗设备^[1-4]. 这些医疗设备目前已经广泛地分布在医院的放射科和核医学科等有关科室, 而且正向诸如介入治疗科, 神经外科

等科室扩展. 而以这些数字化影像设备为信息节点形成的医院网络信息系统, 构成了数字化医院的基础, 是医学领域体现中央关于数字化和信息化带动

* 国家自然科学基金(批准号:10275003;10175004)、北京市自然科学基金重点基金(批准号:3011002)资助项目

2003-10-23 收到初稿 2004-01-01 修回

[†] 通讯联系人. E-mail: bao@pku.edu.cn

产业革命的标志. 研究和发 展医学影像的关键技术、发展相应产业是我国计划于 2020 年成为世界制造业大国和软件大国的重要举措之一.

从信息源的角度看, 医学影像是容量最大的人体信息 和人的生化检查的信息一起, 存放在健康信息工作站(health information workstation, HIW), 把人的一生和整个家庭的信息库建立起来, 把这些信息库在社区整合并和社会联网, 和现在医疗机构的图像仓贮、通讯管理系统以及医院的信息管理系统连接起来, 形成全社会的人体信息网络. 这样的网络把整个城市的医疗机构、教学单位和其他医学单位连接起来, 把医疗服务深入到每个家庭, 形成一个非常广泛的健康信息网络系统.

在医疗机构内部, 医学影像已经成为每个医生进行疾病诊疗的信息来源. 按照患者的网上申请, 医生有权调用患者所有的健康信息, 并根据每个患者的具体情况提出处理意见. 可见, 这些技术的实现, 可以大大提高全民的健康水平, 使得以预防为主 的医疗方针得以落实.

对从事教学和人才培养的单位来说, 医学影像是每个学生的必修课或者选修课. 通过这些课程的设置, 让每个医学生知道如何为病人选择最佳的成像设备, 而对其他学生来说, 使得他们具备阅读人体医学图像的能力. 所以, 医学图像的教学将成为像计算机课程那样被学校广泛采用的基础课程.

从事医学影像物理的人员关键是要懂得图像的本质. 因为医学图像是通过与人体相互作用之后携带了人体信息的物质波来获得人体信息的. 所以, 医学物理工作者必须精通成像的原理、物质波的产生和探测技术、数据采集和图像重建技术、噪声和伪影的形成机制, 以及去噪声和消除伪影的方法^[5-7], 通过处理和分析获得能够准确表达人体解剖、生理和心理信息的医学影像, 最后通过可视化显示技术把这些信息呈现给医生和患者. 所以, 医学物理工作者在医学影像科室是必需的. 由于有医学物理师, 才能把就诊的人的信息准确率和处理的准确性不断得到改善. 这种趋势需要从两个方面同时努力才能实现: 通过高质量的无创伤成像手段, 更深层次地获取诊断所需要的人体信息, 通过提高控制物质波的能力, 为治疗提供监督的手段.

2 医学成像

如前所述, 医学影像物理工作者的主要任务是

实现人体成像, 按照成像时使用物质波的不同, 我们把医学影像分成不同的成像模态, 目前在临床广泛使用的是四种成像模态.

2.1 X 射线成像

X 射线成像模态分为平面 X 射线成像和断层成像(X-CT). 自伦琴发现 X 射线以来, X 射线首先在人体成像及医学中得到了广泛应用. 至今, 全世界平均大约有 70% 的成年人每年至少使用一次 X 射线检查, 人的一生中要做几十次 X 射线成像. 所以, X 射线成像及其应用是世界科学史及医学发展史上的一个重要里程碑. 利用人体不同器官和组织对 X 射线的吸收可以用组织密度进行表征, 此后, 发展出 X 射线透视、X 射线照相术, 为人体骨骼、内脏器官以及血管的疾病或损伤进行诊断、定位, 同时也把胶片带进了医学成像领域, 使之成为 100 多年来图像显示和信息存贮的工具. 随着 X 射线显像增强技术的发明和发展, X 射线的血管造影术和其他脏器的专门化 X 光机相继诞生, 大大扩大了 X 射线成像的应用范围. 目前在所有血管造影技术中, X 射线的血管造影仍然是经典的技术, 作为其他技术的标准. 平面 X 射线成像的未来发展方向是数字化的 X 光机技术. 这种技术来自于对传统 X 光机的批判. 传统的 X 光机照相技术的剂量有可能提高癌症的发病率, 从而限制在妇幼保健体检中的应用; 由于胶片显像使用的微粒的大小尺寸已经受到限制, 而颗粒不均匀性等因素的进一步克服已经非常困难, 胶片限制了对图像质量的进一步提高; 而胶片在信息时代的最大障碍是不能用计算机对影像信息进行处理, 不能在网上传送并以电子文档的方式永久存贮. 所以, 当前平面 X 射线成像设备的主要目标是实现全数字化, 主要产品包括直接数字化的 X 光机(DR)、通过荧光转化用 CCD 成像的 X 光机和用图像板的 X 光机(CR)两类三种. 最终的目标当然是 DR, 但是 DR 目前的空间分辨率和探测器的稳定性还不能完全满足临床的需要, 更重要的是价格太贵, 无法让普通的用户承受.

X 射线断层成像(X-CT)是 X 射线平面成像技术的突破性进展, 从 20 世纪 70 年代初的简单 X-CT 成像装置发展为今天的多层螺旋 CT 技术. 它是传统影像技术中发展最为成熟的成像模式之一, 其速度已经快到可以对心脏实现动态成像. 但是, 如何在病人剂量和片厚之间进行选择, 在临床上经常需要考虑的问题, 空间分辨率和对比度的进一步提高也受到了很多制约. 而多模态集成的成像装置, 例如

PET/CT、MRI/CT、电子直线加速器/CT 等相继问世,为用户提供了更多的选择和可能性。在软硬件水平上的多模态医学影像信息的整合集成是今后这个行业发展的重要方向之一。但是,我们认为在软件水平上的集成更具有灵活性,中国的发展不一定采用硬件集成的技术路线。同时,各种专业化的 CT 技术也得到了很快的提高和发展,主要是血管造影、骨密度测量等。最近的设计理念是去掉了“层厚”的概念,实现真正意义上的三维空间 X 射线断层成像 (volume CT, vCT),也就是目前直接数字化平面 X 射线在三维空间的数据采集和重建。目前, vCT 的实验室样机已经问世,图像的空间分辨率已经达到 0.1mm 的水平。

2.2 核磁共振成像 (MRI)

MRI 的发明和发展集中体现了各种高新技术在医学成像设备中的应用。它发展于 20 世纪 70 年代,但是到 1983 年才有商业化 MRI 设备进入市场,开始应用于无创伤疾病诊断和介入治疗等现代医疗活动中。之后该项技术越来越成熟,在影像诊断市场上所占的份额不断提高。由于这种成像设备具有在任意方向上的多切片成像、多参数和多核素成像、整个空间的真三维数据采集、结构和功能成像以及没有放射性等优点, MRI 受到世人的广泛重视,不断在扩展新的用途,其技术尚在迅速发展过程中。

目前各种各样的 MRI 设备产品都已经大量地进入市场,其中包括高场超导系统、低场开放系统和快速成像系统。在技术上,多线圈并行采集已经成为当前技术的重要发展方向之一,而气体成像 (^3He , ^{129}Xe) 已经成为肺部显像的商业选项。目前 MRI 的功能成像 (fMRI) 是 MRI 设备应用的前沿领域,主要应用包括人脑认知功能成像,用于揭示大脑工作机制的认知心理实验测量;目前已经开始把功能成像的技术广泛应用于大脑功能性疾病的诊断,并为肿瘤等占位性病变提供功能信息,从而更为准确地判断肿瘤发展的阶段和弥散的程度,并在治疗过程中作为保护人脑正常功能的可视化工具。作为脑认知心理基础研究的 MRI 设备的主磁场场强越来越高,已经达到 10T 的水平,系统的复杂程度,对设备的维护和功能开发,对受试病人安全保护都已经成为一个重要的研究领域。

2.3 核医学成像 (NMI)

NMI 也包括平面和断层成像两种方式,目前主要以单光子计算机断层成像 (SPECT) 和正电子断层成像 (PET) 作为发展的主流,其中动物 PET 也是发

展的热点之一。

目前 PET 在临床上的应用主要限于用 ^{18}F 去氧葡萄糖为药物的代谢参数成像,主要用于肿瘤的诊断,心脏动态成像以及少量用于神经系统疾病的诊断。

核医学成像最近的一个亮点是分子成像。目前分子水平的成像主要是指用放射性核素标记的化合物分子在人体内分布的可视化。这些图像是人体内微观分子的宏观分布。在宏观水平上通过统计学分析后得到关于该分子的分布,结合人类已经掌握的生化知识,分析这些生化过程,从而确定该生化分子在人体内的功能,并根据这些功能分析该化学分子在人体内与相互作用机制,或者归纳出对该化学分子是否对人体有利或者有害的结论(药物的药理和毒性的研究)。

人体的病变有些是通过基因突变开始的,从基因调控下的大分子运动紊乱开始,长期的紊乱引起脏器功能的变化,这种变化在脏器发生器质性变化之前就发生了,例如代谢紊乱、血流变化、血容积的变化等。但是主要从事结构诊断的影像设备例如 X-CT、超声波检查以及大部分 MRI 设备都不可能对这些紊乱进行测量,能够定量地测量这种紊乱的成像工具是核医学成像设备,这就是医学临床上常说的早期诊断。能够实现早期诊断是核医学影像设备得以发展的主要原因。拿癌症来说,根据统计学方法的研究结果,发射型 CT (SPECT) 可以比 X-CT 提前三个月诊断出癌症,正电子 CT (PET) 一般比 SPECT 还要早三个月诊断出癌症。很多癌症发展得非常快,半年时间就足以挽救至少延长一个人的生命。从原理上来说, X-CT 诊断病人的根据是 X 射线通过人体时,人体组织对 X 射线的吸收系数不同,而核医学影像设备的诊断依据是人体内的放射性强度分布,这种分布是通过放射性核素标记的药物浓度的分布体现出来的,因而可以用于研究和开发新药物。因为带有放射性标记的药物可以自动寻找和浓集在需要探测和研究的人体组织或者脏器上,根据放射性强度的分布及其随时间的变化规律,就可以知道特定组织或者脏器内对这种药物特异性吸收所揭示的生化规律,满足对这些药物的药理和毒性的研究目标。

核医学成像的优点是特异性好,是代谢、功能和分子成像,能够用于早期诊断,其缺点是空间分辨率差,病理和周围组织的相互关系很难准确定位。如何克服这些缺点,发扬它的优点,是医学物理工作者的

一个重要任务,通过医学图像存贮通讯系统(picture achieving communication system ,PACS)技术实现的多模态医学影像信息的整合集成是发展的方向.把核医学成像叠加在诸如 X-CT 成像、MRI 高分辨率结构图像上进行定位是目前比较流行的方法.所以,医学图像配准、分割和融合^[6-9]在医学成像方面的应用是这个领域内一个重要的方面.

2.4 超声波成像(Ultrasonic imaging , UI)

UI 是非电离辐射的成像模态,也包括平面和断层成像两类产品,但是以二维产品为主,加上血液流动的彩色多普勒超声成像仪在内,这类产品已经在市场上广泛使用,而三维成像技术和产品都还不太普及,而且这里所说的三维不是真三维,而是把二维切片叠加之后形成的准三维图像.但是,目前 UI 仪器正具有超过 X 射线成像的发展势头,成为使用最为广泛的医学成像工具.超声波成像的优点是安全可靠、价格低廉,所以在诊断/介入治疗和预后影像检测中都得到了迅速发展,成为四大医学影像之一,数量上增长最快.

超声成像的缺点是图像对比度差、信噪比不好、图像的重复性依赖于操作人员.因为超声波的发射和接收都是通过换能头实现的,而换能头掌握在操作员的手上.目前的 UI 设备也都在换能器之后就开始了数字化,之后的工作都是在数字化之后进行的.

3 医学软件业

上面提到的所有硬件设备都需要医学软件的支持,其内容包括以下三个方面的工作.

第一个层次的工作是和硬件紧密结合在一起的软件,主要承担对成像装置运动部件的控制、对数据的采集、图像预处理和重建,以及对采集的临床数据进行的分析.这部分软件包都被生产厂家所垄断,外人很难介入,而生产厂家也往往软硬件一起发展.由于中国在这个领域的制造业还不太发达,所以对高精尖产品的生产都是通过购进部件进行组装,然后发展一定软件.但是,从长远来看,软硬件结合的发展是必要的,因为只有这样,企业才能具备全面的竞争力,并保持企业的持续发展.国内企业的主要问题是需要加强 R&D 的工作.

第二个层次的软件主要是对医疗器械产生的数据进行分析处理的软件.由于临床应用的多样性,生产厂家很难完全包下来,而且这些软件依赖于方法学的研究成果,更新的速度也很快,是除了厂家以

外,小型医学软件企业有可能介入的领域.这种软件必须在医学物理人员、软件编程人员和医生紧密合作的情况下才能完成.但是,中国的医院还没有建立把这三部分人员结合起来的体制,使得我国对现有商业应用软件的开发明显滞后.

第三类软件是以医学信息的整合为目标的软件,这种软件也必须和医生共同完成,但是不完全依赖于医生,从而具有相对的独立性.为某种特定的医疗过程或者医学信息进行管理的软件属于这类软件,例如 PACS.很多其他应用软件,例如基于医学影像的计算机辅助诊断系统、手术模拟系统、手术计划系统、手术导航系统、放疗治疗计划系统、社区医疗监护系统、远程诊断系统、家庭医学信息系统等软件,加上各种专用医学影像工作站的软件,并和 PACS 技术结合,将成为一个规模很大的医学软件产业群.

PACS 是医学影像技术整合集成并进一步开拓影像资源应用范围的重要技术手段.以各种成像设备为节点,采集多模态医学影像信息,通过各种专用图像工作站的分析处理,满足外科手术计划和手术导引、计算机介入治疗、放疗计划、放疗时的实时监督和放疗后的剂量分布验证,以及针对某种特殊用途或者特定疾病进行计算机辅助诊断等功能的需要.这些软件及其相应的图像工作站通过医院的 PACS 连接起来,构成局域网中的节点.这些图像工作站也可以在医院中以影像诊断为主的科室内部使用,把几台设备的数据采集、图像传输存贮在一个共同的软件包下实现资源共享,这些科室的医生可以把商业设备上采集的数据,通过在和病人接诊的过程中,完成对病人信息的录入,做出科学的诊断并打印诊断报告.这种图像工作站还能方便地把同一病人不同成像模式采集的数据通过图像配准和融合的方法实现诊断信息的综合集成,提高对病人的诊断准确率.另外,基于微机的计算机图像工作站价格便宜,每个主治医师以上的医务人员有可能每人配备一台,而且还可以直接服务到社会的每个家庭和个人.

4 医学影像物理的今后发展

不同的成像模态所得到的医学影像有很多共同的地方,根据把物理问题和 IT 行业的问题相结合,更好地为医疗服务的原则,需要重点开展以下工作:

(1) 研究和用于成像的物质波产生装置,

包括物质波源产生的新原理和关键技术,目的是在提高波源产生物质波的效率的同时,改善物质波的束流品质,满足成像的需要;

(2) 对物质波和人体组织发生相互作用的规律建模,通过模型参数的最佳化,改善从影像提取信息的数量、质量和速度,减少误诊率和定位误差;

(3) 研究探测物质波的探测器、传感器或者换能器等关键部件,使得它们具有更好的灵敏度和分辨率(空间和时间分辨率)以及在治疗中的定位能力;

(4) 把探测到的信号放大、成形并实现数字化,在计算机记录的编码过程中防止失真,开展提高信号传输效率和保真度的方法学研究,这方面的技术越来越采用大规模集成电路的方法实现,小型化、可靠性、模块化和即插即用是发展的目标;

(5) 快速、高效地实现图像重建和显示,满足影像诊断和治疗中的影像监督需要;

(6) 消除噪声和伪影,提高图像质量并减少治疗时的定位误差;

(7) 设计新的成像和放疗系统,测量它们的性能指标,研究更好的质量控制和剂量计算的方法;

(8) 发展适合中国医疗机构特点的 PACS 系统和医疗机构的数字化关键技术。

在医学图像应用领域,广泛开展以下几个方面的科学和技术问题的研究:

(1) 在脑功能成像研究中的应用,这是 21 世纪最具挑战性并可能有很多重大突破的研究领域;

(2) 在临床诊断中的应用,在提高解剖学精度的基础上,重点发展人体生理和心理信息的采集和分析,发展包括功能信息在内的基于医学影像的计算机辅助诊断技术(MICAD)、虚拟内窥镜技术等;

(3) 在临床治疗方面,发展外科手术模拟,制订医学影像导引下的外科手术计划,增加介入治疗和放疗中的影像监督水平和对治疗计划执行情况的验证;

(4) 在教学和人才培养中解决如何准确表达人体生理、心理和解剖结构的建模问题。

以上列举的与医学影像有关的 8 个方面的科技发展方向以及 4 个领域的应用,涵盖了非常广泛的成像模式、一个规模很大的产业群和非常广泛的医疗服务体系。参加这方面研究与开发的单位和个人,不仅需要具备物理学的有关知识,还要学习医学领域的知识,并和信息行业的快速发展同步,对人员的素质,主要是学科带头人的素质要求是很高的。

医学影像设备的发明和发展是人类对疾病诊断的革命性进展,促进这方面的进步的不少科学家因此而得到诺贝尔奖,最近得到医学和生理学奖的是两位医学物理专家是 Lauterbur P C 和 Mansfield P,他们是核磁共振成像方面的物理学家。根据现在这个领域里存在的问题,以及解决这些问题之后对人类进步的影响,今后在这个领域内还会有更多的医学物理学家得到诺贝尔奖。所以,医学影像物理学是一个朝阳学科,和这个学科有关的产业是朝阳产业。

目前,医学影像设备需要继续提高成像速度及影像的空间和时间分辨率,改善影像的对比度,而在分子和基因水平实现人体成像已成为当前发展的新热点。在基因序列公布之后,为了搞清楚基因和人体内的生物大分子之间的关系,疾病和基因表达及其与生物大分子之间的关系,在人体整体水平上开展基因配体(通过放射性)和分子成像成为医学成像今后发展的重要方向。而核医学成像在这方面具有优势,目前的成像设备主要是单光子断层成像(SPECT)和正电子断层成像^[10](PET),但是由于空间分辨率差和受到放射性标记药物的限制,为实现这个目标需要对设备所做的改进工作还很多。今后核医学成像将越来越受到重视。

磁共振成像也可以提供分子水平的成像信息,这方面可以和核医学成像进行竞争,只是制造人体内生物分子相似物质方面没有 PET 成像那么灵活,但是空间分辨率比核医学高。其中核磁共振谱成像是测量人体内源性生化分子的一种技术手段。而外源性的分子成像主要依赖于从体外注入的显像增强剂,一般必须是磁性溶液,因为血脑屏障的原因,很难用于大脑成像,除非是对病理状态的检查。

分子水平的成像也是新药开发的重要工具,无论功能磁共振成像还是 PET/SPECT,都是当前开发新药所必不可少的工具,因为用放射性标记的药物进行的药物病理和毒性的研究是目前活体水平研究的最重要的工具,这些工具的使用可以大大缩短新药开发的时间周期和成本。但是,国内的药厂还没有意识到这个问题,国内的药厂还没有把这些现代化工具用上,也没有相应的人才提供这些服务。

从科学和关键技术角度,在上述工作的开展过程中都要解决医学影像的快速采集,三维空间加时间的信息(四维)分析,把解剖、生理和心理信息进行整合,在宏观和微观上同时成像,以及实时显示技术。但是,目前任何一种成像工具只能获取人体的部分信息,局部的或者部分的信息还不足以为准确

诊断提供足够依据,所以肿瘤的活检还不能取消.由于在图像中还夹带了伪影和噪声,所以正确使用成像工具,不断改进医学图像的质量,研究和新的成像工具,是医学影像物理工作者在今后相当长的一段时间内需要努力完成的工作,尤其是在临床应用时面临对设备的质量控制和质量监督技术,以及医学影像格式的标准化和信息的兼容性方面的工作,都必须在国家整体水平上进行规划和组织实施.

参 考 文 献

[1] 包尚联编著.现代医学影像物理学.北京:北京大学医学出版社 2003[Bao S L. Modern Medical Imaging Physics. Beijing: Medical Press of Peking University 2003(in Chinese)]
 [2] 包尚联.医学影像诊断和放疗设备的现状和前景.见:中国核学会编,全国“核技术及应用”发展战略研讨会论文集.北京:原子能出版社 2003. 86—94[Bao S L. In: The Nuclear Technologies and Applications Development Conference Theses. Chinese Nuclear Society ed. Beijing: The Nuclear Press, 2003 86—94(in Chinese)]
 [3] 包尚联.仪器仪表学报,2000,21(5):8[Bao S L. Chinese Journal of Scientific Instrument 2000 21(5) 8(in Chinese)]

[4] 包尚联.中国医学物理学杂志 2003,20(3):129[Bao S L. Chinese Journal of Medical Physics 2003 20(3) :129(in Chinese)]
 [5] 田捷,包尚联,周明全编著.医学影像处理与分析—原理与方法.北京:电子工业出版社,2003[Tian J, Bao S L, Zhou M Q. Medical Image Processing and Analysis-Principles and Methods. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2003(in Chinese)]
 [6] 包尚联,周云,赖松.中国医疗器械信息,2002,8(3):10 [Bao S L, Zhou Y, Lai S. China Medical Devices Information 2002 8(3) :10(in Chinese)]
 [7] 包尚联,谢耀钦,周晓东等.中国医学物理学杂志 2003,20(2) 83[Bao S L, Xie Y Q, Zhou X D et al. Chinese Journal of Medical Physics, 2003 20(2) 83(in Chinese)]
 [8] 余立峰.北京大学技术物理系硕士论文,2000[Yu L F. Master Thesis of Technical Physics Department of Peking University 2000(in Chinese)]
 [9] 周晓东.北京大学物理学院硕士论文,2002[Zhou X D. Master Thesis of Technical Physics Department of Peking University 2002(in Chinese)]
 [10] 包尚联,黄新瑞,邹润磊,中国医疗器械信息,2003,9(5):17[Bao S L. Huang X R, Zou R L. China Medical Devices Information 2003 9(5) :17(in Chinese)]



· 书评和书讯 ·

科学出版社物理类新书推荐

书 名	作(译)者	定价	出版日期	发行号
准晶物理学	王仁卉	¥45.00	2004年8月	O-1802
非平衡凝固新型金属材料	陈光,傅恒志	¥42.00	2004年8月	O-2027
物理学家用微分几何	侯伯元,侯伯宇	¥98.00	2004年8月	O-1976
金属陶瓷薄膜及其在光电子技术中的应用	孙大明,孙兆奇	¥56.00	2004年7月	O-1942
火灾风险评估方法学	范维澄等	¥80.00	2004年6月	X-0114
井孔中的声场和波	张海澜等	¥42.00	2004年6月	O-1334
岩石力学	谢和平,陈忠辉	¥54.00	2004年5月	O-1944
圆柱壳冲击动力学及耐撞性设计	杜星文,宋宏伟	¥42.00	2004年5月	O-1931
现代声学理论基础	马大猷	¥48.00	2004年3月	O-1830
计算电磁学要论	盛新庆	¥32.00	2004年3月	O-1900
医用加速器	顾本广等	¥110.00	2003年10月	R-1192
软X射线与极紫外辐射的原理和应用	张杰	¥59.00	2003年9月	O-1682
应用力学对偶体系	钟万勰	¥42.00	2003年3月	O-1542
广义相对论和引力场理论	胡宁	¥15.00	2003年3月	O-1157
激光的衍射及热作用计算	李俊昌	¥34.00	2003年3月	O-1553
高激发原子	詹明生	¥35.00	2003年2月	O-1683
粉末衍射法测定晶体结构	梁敬魁	¥68.00	2003年4月	O-1697

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书.如果您有出版意向,请和我们联系.凡购书者均免邮费,请按以下方式和我们联系:
 电 话:010-64017957 64033515 电子邮件:mlhukai@yahoo.com.cn 或 dpyan@cspg.net
 通讯地址:北京东黄城根北街16号 科学出版社 邮政编码:100717 联系人:胡凯 鄢德平
 欢迎访问科学出版社网址 http://www.sciencep.com