何泽慧先生学术生涯中的攻坚克难精神

刘　晓

（中国科学院大学　100049）

何泽慧先生是我国核科学事业的开创者之一，她心怀科学救国的信念，始终身处科研第一线，做出了多项创新科技、服务国家的学术成就。2013年7月17日，习近平总书记在考察中国科学院时发表重要讲话，号召我国科技人员“要有强烈的爱国情怀”，同时对科技创新提出了更高的要求，勉励科技人员“要有强烈的创新意识，凡事要有打破砂锅问到底的劲头，敢于质疑现有理论，勇于开拓新的方向，攻坚克难，追求卓越”[1]。何泽慧先生是爱国科学家的典范，一生淡泊名利，事迹已经广为传颂。本文聚焦其学术生涯中的攻坚克难的精神，谨以纪念何泽慧先生诞辰110周年。

何泽慧先生在科学上的攻坚克难精神，首先扎根于深沉的爱国情怀，二者密不可分。她的父亲何澄是辛亥革命元老，和蔡元培一样主张科学救国，极为重视子女的科学教育，从而决定了何泽慧一生中关键时刻的选择。还在读中学时的何泽慧，面临日寇的进犯，主张“不唱而静默地想方法救国、救同胞，才是现在中国人应有的态度”[2]。就读清华大学期间，北方形势一度危机，她照常到系图书馆里看书学习，从未弃考，在一份手稿中回忆道：“1935—1936，是日本帝国主义侵略我国最疯狂的时期，那时我在清华物理系四年级念书，总想只有抓紧时间念好书才能救国。”正是这样一位看似柔弱的女生，大学毕业后毅然留学德国，突破重重障碍，进入柏林高等工业学院学习弹道学来打败日本侵略者。刚到德国学习一年，她就得知“卢沟桥事变”爆发，报国心切的她甚至希望结束学业回国，在给大姐何怡贞的信中写道：“我学的弹道学，也许兵工署就要来电报请我回去服务，不是中国兵发炮发不准，放枪放不准吗！其实只要我一算，一定百发百中！他们不早些请我，不然日本兵早已退还三岛了。”新中国成立前夕，何泽慧与钱三强回到百废待兴的祖国，“决心为祖国的富强、进步，贡献自己的力量”[3]，让核科学事业在中国大地上扎根成长。

一、从核裂变到正负电子碰撞

当1940年5月何泽慧获得博士学位时，欧洲战场早已打响，她被迫滞留德国，先是进入西门子公司，1943年又转往博特教授（W. Bothe）领导的海德堡威廉皇帝医学研究院核物理研究所，开启了核物理研究的学术生涯。

1938年底，德国科学家哈恩和施特拉斯曼首先发现了核裂变。在海德堡，何泽慧遇到了曾在哈恩领导的威廉皇帝化学研究所工作过的库尔特·施塔克（Kurt Starke），他直接从哈恩口中得知了裂变现象。何泽慧与施塔克多次讨论过裂变发现过程中的戏剧性事件[4]。实际上，这是一场国际科学界延误了四年的发现。在《原子核裂变的发现：历史与教训》中，何泽慧总结道：“实验工作者第一位的事是以老老实实的态度来采集实验数据，使之经受得起任何严格的推敲，并且客观无偏地揭示事实的真相，然后坚持用实验事实去检验理论。”哈恩之所以最终成为做出发现的第一人，“他的丰富经验、高超技术以及严格细致、一丝不苟的科学作风被公认是

起了决定性作用的”[5]。同时她也直言不讳地指出哈恩小组中有迷信理论和迷信权威的表现：“出现这种情况的原因，归根到底，在于传统观念、旧道德因素以及认识论方面的局限。”哈恩的成就与教训，再加上博特教授的言传身教，让何泽慧很快做出了自己的发现。

何泽慧首先与梅尔-莱布尼茨（H. Maier-Leibnitz）一起建造了实验室的第二台云室，该云室带有磁场，从而可以观察带电粒子之间的碰撞及轨迹。何泽慧利用这个带磁场的云室研究锰-52的正电子能谱。她记录到能量处于25—800 keV之间的2774个正电子径迹，总长达到240米。一些径迹还需要用到立体摄影照片，显然这是一项艰巨而枯燥的工作。就是在这些径迹中，何泽慧敏锐地观察到178个碰撞，以及三次快正电子的湮没。她将这些碰撞发生能量交换的概率与既有理论进行比较，并在论文中自信地指出，在强能量交换的情况下，“实验数据比较准确，实验值高于理论值”，三次正电子湮没，“立体显微照片毫无疑问地证明了它们的突然停止”[6]。正负电子碰撞的照片还被钱三强在英法宇宙线会议上展示，《自然》杂志在报道中誉为一项“科学珍闻”（scientific curiosity）[7]。钱三强认为，过去用云室作正电子能谱的工作者事实上都应该观察到正负电子弹性碰撞的现象，但一直没有被人注意到。而何泽慧敏锐而细致的观察能力，在科学实验中不放过任何一点异常迹象的探索精神，以及对新现象做出正确分析的本领，在这件事情上已经显露出来了。

1945年海德堡被美军占领后，博特教授向法国的弗雷德里克·约里奥-居里（Frédéric Joliot-Curie）推荐何泽慧前往巴黎，称她“有资格在那里发表这些研究。正电子碰撞……这些实验有极大的理论意义”[8]。这项研究成为她进入约里奥领导的法兰西研究院核化学实验室后发表的第一个成果，并且持续到1948年。1946年7月22–27日，新婚不久的钱三强与何泽慧共同赴英国剑桥，参加英国物理学会和卡文迪许实验室联合举办的国际基本粒子与低温会议。何泽慧关于正负电子弹性碰撞的研究报告获准在会上宣读，并作为唯一一篇中国学者的论文载入会议报告文集[9]。

二、铀核三分裂与四分裂发现中的攻坚克难

就在国际基本粒子与低温会议上，剑桥大学卡文迪许实验室的李弗西（D. L. Livesey）报告了他和格林（L. L. Green）用核乳胶板研究原子核裂变的工作。报告在最后展示了产生三个带电粒子的裂变，即三叉形状的径迹，其中一个质量较轻，报告人认为这是一个裂变碎片发射出的α粒子。报告称，约在400例裂变中会有一个这样的事件。核乳胶的发明者，布里斯托尔大学的鲍威尔教授（Cecil F. Powell）也赞同这种“二次发射”的解释。但钱三强和何泽慧对这种解释提出了不同看法。

钱三强领导的小组利用鲍威尔提供的最新的乳胶材料，将其在硝酸铀酰溶液中浸泡后送到回旋加速器上进行中子照射，从而在乳胶中形成裂变的径迹。这些径迹不但稀少，也非常细微，一般只有20多微米长，所以观测要在放大上千倍的显微镜下进行。乳胶层的厚度是40微米，要观测的径迹分布在乳胶层的整个厚度，因此对于每一个视野，需要精细地转动显微镜的旋钮，以调节镜头的垂直位置，把焦点对准乳胶层的各个深度观察。在水平方向，先是从左到右，让载有核乳胶的玻璃片缓慢平移，一个视野一个视野地观察，接着前后方向上移动一格，再从左到右逐个视野扫描，这样才能一点一点把整个乳胶片内所有的径迹都观测一遍。

钱三强说，做这种观测工作是很辛苦的。长时间集中注意力于镜下观察，不但眼睛很累，引起头痛，而且由于身体固定在一种姿势下，时间长了，周身都会感到疲劳不堪（图1）。这确实是一种需要一点毅力的工作。在暗淡的视野里，搜索那些令人捉摸不定的径迹，没有足够的恒心和耐心，没有敏锐而细致的观察力，是不行的。两个法国青年耐心不够，找到的三叉形状的径迹较少。而何泽慧参加之后，由于她的细致和耐心，孜孜以求，不放过任何一条径迹，结果是她找到的最多。这些三叉径迹有共同的起点而且共面，初步支持了“三分裂”猜想。

尤其是1946年11月22日，何泽慧在用显微镜观察照射后的核乳胶板时，发现了一个四分叉的径迹，几乎在同一个平面上。次日，经与钱三强分析



图1 1947在巴黎法兰西学院原子核化学实验室观察乳胶片

讨论，认为是首例四分裂现象，钱三强与何泽慧联名将这幅照片送给导师约里奥和英国的鲍威尔教授(图2)。然而，研究一个问题一定要彻底，浅尝辄止是不行的。要证实三分裂，还需要进行一系列严格的、更加艰苦的实验和分析。钱三强说："问题提出来了，困难摆在面前，怎么办？世上无难事，只怕有心人。科学工作就是要创造性地克服困难，解决前人没有解决过的问题。我们决心迎着困难上，闯一闯。"他们要做的事情是，对每一个三叉事例进行测量，即每条径迹的长度和相互的夹角，这比单纯的观察要复杂得多。而且也要测量二分裂径迹的长度和数量，从而取得射程数据和多分裂的概率。最终他们以较为详尽的实验事实和理论分析，证实了三分裂这一新的原子核裂变方式，得到了其他国家相关研究成果的支持。

钱三强在总结三分裂与四分裂发现的历史时，首先强调了胆识和勤奋。"科学发现需要胆识，科学

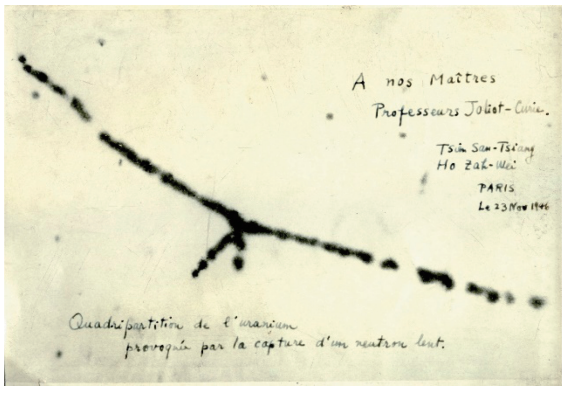


图2 钱三强、何泽慧给约里奥-居里夫妇的四分裂径迹照片

发现更需要勤奋。我们所知道的几乎所有有成就的科学工作者，不论中外，都是十分勤奋的。他们把全身心放在科学工作上；在紧要关头，更是达到了废寝忘食的程度。"[10]

三、攻克核乳胶技术

钱三强与何泽慧1948年回到祖国，共同创建了北平研究院原子学研究所。该研究所1950年5月和中央研究院物理所的原子核物理学实验室合并组成中国科学院近代物理研究所，钱三强先后担任副所长和所长。自此，钱三强更多投入到了科学的组织管理。而何泽慧始终未脱离科研第一线，将他们的研究工作继续下去。

面对几近白手起家的境况，何泽慧等科研人员必须从基本的探测设备开始研制。最初，她和彭桓武分管研究所的实验和理论部门，何泽慧的研究任务主要有两个：一是试制照相乳胶工作，研究人员有杨光中、陆祖荫、王树芬等。困难主要是国内不能买到研究所需的全部化学药品，质量优良的乳胶亦不易购买，质子源也无从获得。二是指导金建中和肖振喜装置自由膨胀式云雾室，利用云雾室，就可以研究正电子与负电子的散射问题。不久，研究所划分为四个大组，何泽慧负责"原子核物理组"，重要的一项工作就是制备核乳胶。

照相乳胶在当时是一项保密技术，西方国家有成熟的胶卷工业，如苏联就设有专门的乳胶和胶卷研究所。在照相乳胶基础上改进的核乳胶，其阻力是空气的几千倍，高能粒子在空气中的射程是几米的话，在核乳胶中只有几毫米，这样就可以在小体积范围内呈现出一个复杂现象，因此核乳胶是核物理研究的得力工具。但从国外购买乳胶往往因时间过久而灵敏度降低，所以必须学会制造中国自己的核乳胶。

当初钱三强向剑桥核物理学家鲍威尔教授学习核乳胶制作的时候，核乳胶技术还尚未定型。实际上鲍威尔也不是亲自制备，而是委托依尔福公司根据他的要求制作，他再用显微镜检查改进。而国内根本没有照相制片工业基础，所以在近代物理研究所，核乳胶制备将全部由何泽慧和助手们亲自动

手完成。

在何泽慧直接领导下，经陆祖荫、杨光中、王树芬近三年数十次的试验，积累了不少经验。不久，杨光中参军，王树芬调俄专学俄语，孙汉城加入。起初做一锅核乳胶要三个人同时操作。第一道工序“乳化”，将盛有明胶水溶液的烧杯放在45—50 ℃的恒温水浴中，何泽慧手持特殊形状的玻璃搅棍不停地搅动，陆祖荫拿一个内盛溴化钾水溶液的玻璃滴管，孙汉城拿一个内盛硝酸银水溶液的玻璃滴管。在有暗红灯的暗室中，三人都听一台节拍机的指挥，每响一下，何泽慧的搅棍转一圈，陆、孙各按一下滴管的橡皮球，溴化钾与硝酸银各滴下一滴。溴化银微晶体形成后，有明胶的保护，这些微晶体悬浮在溶液中，不易沉淀。

何泽慧对陆祖荫和孙汉城两位助手特别偏爱，孙汉城说：“我是她手把手地教出来的，她对我很关心，也是严师。”他的动手能力一开始比较差，因为做乳胶不能见光，在暗室里面，又有许多玻璃器皿，有些粗手粗脚的他，啪，今天把烧杯碰掉了，啪，明天又把搅棍碰掉了。这些事多了以后，何泽慧就用在德国的经验教育他们：“手里拿个东西，你要自己想象自己是个老太太，你抱着花瓶走路，你要慢慢地走，你不能动作太快了，动作一快就要闯祸。”

不久，陆祖荫改进了设备，巧妙地用有旁路进空气泡的玻璃管代替原用滴管，进气量由打破的一小段温度计的毛细管长短来调节。搅拌也改用了电动马达。以后制备乳胶就由一个人操作了，解放了何泽慧。她主要负责指导与讨论，用显微镜仔细观察乳胶，把好质量关。

就这样，何泽慧和陆祖荫、孙汉城两个助手继续改进核乳胶。几位物理学家承担起了化学家的工作，只能是边干边学。在极为简陋的设备条件下，凭借自我摸索，何泽慧小组在1953年就做出了灵敏度可与C_2相比的乳胶，但是溴化银颗粒会发生聚沉，还有待改进。1956年初，苏联科学家代表团来研究所进行工作座谈，谈到乳胶制造问题时，苏联专家对中国自己制造核乳胶的必要性表示肯定，但同时也认为工作的推进比较困难，应建立专门的机构和大实验室，组织大批的人员来做。

但在何泽慧的严格把关下，这些问题逐一得到解决。1956年制成对质子、α粒子及裂变碎片灵敏的原子核乳胶核-2和核-3乳胶，该项工作获得了1956年度中国科学院自然科学奖金（图3、图4）。


奖　狀

茲據中國科學院科學獎金委員會
決定授予

何　澤　慧　先生（合作者陸祖蔭、孫汉城）先生等于（原子核乳胶制备过程的研究）

中國科學院科學獎金三等獎

院長　郭沫若

一九五七年一月二十四日

1956

图3　“原子核乳胶制备过程的研究”获得中国科学院首次颁发的科学奖金，该奖项被追认为首届国家自然科学奖，获奖人为何泽慧和合作者陆祖荫、孙汉城。



图4　1957年在401所图书馆（得1956年自然科学奖金三等奖后）

为了能够探测不带电的中子，进行中子物理研究，何泽慧又领导研制了核-2载硼和核-2载锂乳胶，即分别加入含硼或含锂的溶液，利用它们与中子的反应产生带电的粒子进行探测。我国的这两种乳

胶也有特点，硼、锂含量比国外的要高，保存时期也比较长。它们在中子物理实验，特别是在测量原子弹的点火中子源时发挥了作用。

各种带电粒子中最轻的就是电子，电子的能量损耗率比其他粒子都小，所以难以记录。在核乳胶中所产生的潜影最少。从1955年开始，何泽慧与孙汉城、刘惠长就着手研制对高能带电质点灵敏的核乳胶，不断提升核乳胶的灵敏度，改进核乳胶的性能。何泽慧敏锐地指出："X光底片实质上是电子灵敏，有些文章说明X光胶片用的是金增感，我们可以借鉴试试。"这就为提高灵敏度问题指明了方向。1957年，新型核乳胶可以记录电子径迹，经过反复改进，终于制成电子径迹更为明显的核5乳胶，达到国外同类产品水平。

1957年5月，以朝永振一郎为首的20名日本物理学家访华，他们参观物理所之后总结道，何泽慧"领导的只有几个人的小组作出了使人难以相信的事，就是完成了不次于英国夸为世界第一的依尔福G_5乳胶的优良原子核乳胶，现在已投入生产，对中国的宇宙线学界利益将不知有多大"。他们对何泽慧先生"作粒子活动的实验很钦佩"。当时对质子、电子灵敏的核乳胶研制成功奠定了粒子物理研究的基础。何泽慧领导的小组在短短几年便连续取得这些成绩，堪称核科学创业时代的"奇迹"。正是这些工作，何泽慧在1997年香港回归之际荣获"何梁何利基金科学与技术进步奖"，她的获奖科学贡献是：发现了正负电子弹性碰撞、铀核三分裂四分裂现象，研制了对质子、α粒子灵敏的原子核乳胶。

四、核弹研制中的攻坚克难

原子弹研制期间，九所交到原子能研究所的任务主要由何泽慧负责组织，完成了多项反应截面数据和基础核数据的测量。而作为九所中子点火委员会委员，她在原子能所组织了为第一颗原子弹研制点火中子源的任务[11]。

中子源于1959年开始研制，为加快速度，曾有三条路线同时进行，使用单位最终选定了以王方定小组为主承担的化合物研制方案（代号"9501"）。何泽慧为王方定解决了实验场地和条件，帮助解决实验中的问题。9501是一种化学性质极其活泼并带有放射性的化合物，在当时的实验条件下，制备过程有一定困难，而且必须保证产品质量。王方定小组经过200多次反复试验，完成了19项技术革新，终于获得了优质材料。为确保材料的稳定性，他们又改进实验工作，经过大量尝试，于1961年合成了符合要求的材料。

早在1961年年初，原子能研究所就成立了轻核理论组和轻核反应实验组，为开展氢弹研究"预为谋"。轻核反应实验组（代号2-9）由何泽慧主持的中子物理室归口管理，专门从事轻核反应研究，组长先后由蔡敦九和丁大钊担任。该组建立了一些必要的技术储备和实验手段，为后来顺利完成相关任务奠定了基础。

1965年2月，二机部刘西尧副部长将氘和锂各种同位素反应截面的测量任务下达给原子能研究所，要求五个月完成。何泽慧将该任务称作"35＃"，亲自担任突击队司令员，负责指挥和业务指导，以轻核反应实验组为主抽调了30余名骨干，集中全所有关仪器设备。何泽慧召集大家讨论研究，按不同测试方法、仪器、反应道和能区，分成若干实验小组，由大家分头负责。实验中遇到困难，何泽慧就召集大家献计献策，互相帮助解决问题，并在关键步骤给出指导意见，逐一解决遇到的难题。"35＃"突击队经过不到五个月夜以继日的苦战，提前完成任务。这是平时需要用两三年才能完成的任务[12]。彭桓武对此有过高度的评价："何泽慧专门组织一些人，专门做这个实验，白天晚上做，几个月做出来了。原来的数据不对。核武器研究没有走弯路，没有走错误的方向，这是很重要的一件事情。"35＃任务的完成，使我国有了自己可靠的实验数据，澄清了当时数据的混乱，为我国早期的氢弹技术途径选择提供了有价值的基础数据。

何泽慧的科研生涯中，攻坚克难的事例还有很多，如领导中子物理研究室，利用反应堆、回旋加速器开展中子物理实验工作和反应堆的有关工作，测量关键的裂变数据，制成中子晶体谱仪和中子能谱仪。在高能所，何泽慧为宇宙线研究保驾护航，开辟高空气球探测技术。在很长的时间里，何泽慧指导和参与了我国高空科学气球系统的建设和高空科学观测工作，解决经费、组织等实际困难，多次到野外发放场地参加和指导，参加院气球工作讨论

会，积极推进我国高空科学运载工具和科学观测工作；她大力推动空间高能天体物理研究，向中央领导写信，表达对硬X射线调制望远镜（HXMT，又称“慧眼”）卫星项目立项的支持，促进了HXMT的立项和研制。

结语

回顾何泽慧的学术生涯，可以看到她不断在科学上攻坚克难，从自己独立研究，到团队合作，再到组织领导工作，都做出了切实可靠的创新成就和令人铭记的贡献，也让我们得到如下启发：

首先，强烈的爱国和奉献精神是科学上攻坚克难的不竭动力。何泽慧成长于内忧外患的旧中国，她继承蔡元培、何澄等前辈科学救国的志向，将人生道路与国家的命运联系起来。她参与新中国核科学事业的开创，不畏艰难险阻。在不同历史时期紧密结合国家需要与科学发展的方向，围绕国家任务开展攻关研究。

其次，以严谨的实验工作提出创新见解，敢于质疑科学上的成见。钱三强总结三分裂的发现史认为，科学发现首先不能囿于传统的成见，要敢于打破旧的观念。何泽慧也认为：“科学工作者有必要自觉地树立起科学的世界观和方法论，敢于向传统和权威挑战，把自己从各种狭隘的限制和盲目性中解放出来。”[13]这就需要“目光敏锐以及扎扎实实、一丝不苟的工作态度。立足常规，着眼新奇，在可靠的实验结果基础上，不放过任何一个新奇的现象”[14]。何泽慧在三分裂发现和核乳胶研制中的实验精细程度令人赞叹，因此她敢于强调：“只要实验结果是可靠的，我们就应该有勇气向已有的理论挑战。”

再次，创新工作离不开长期的积累和坚持，既需要个人的科学素养，也需要合作与协同。何泽慧说过，科学发展的历史经验告诉我们，在很多情况下，常常是一些在当时看起来不起眼的研究工作导致了意义重大的发现，“在这个意义上，与实验条件相比，研究工作者的素养是更具根本重要性的。”我们看到何泽慧的科研成就，都是经过长期积累才取得的。2774个正电子径迹，2万多个铀核裂变径迹，近十年的核乳胶使用和制备工作，以及核反应实验的提前布局和准备，都充分体现了创新所需的大量耐心细致的工作。而何泽慧以扎实敏锐的科学素养指导大家解决攻关难题，无私推荐人才，开辟学科发展方向，体现了现代科学团队合作和跨机构协作的特征，何泽慧无疑显示了卓越的学术领导和组织协调才能。

无论是科研还是生活，无论是人生的顺境还是困境，何泽慧先生都永远保持着攻坚克难、艰苦奋斗的精神。她勇于打破陈旧观念，特别是为女性争取权益，为基础研究争取支持，关心青年人才的成长。老一辈科学家的爱国、创新、求实、奉献、协同、育人精神，在何泽慧先生那里浑然一体，熠熠生辉。

参考文献

[1] 习近平. 使科技真正成为驱动我国经济社会发展的主要动力源. 见习近平.《论科技自立自强》. 中央文献出版社. 2023. 页29.

[2] 何泽慧 1931. 日本陆战队若到了苏州我们应持怎样的态度.《振华女学校刊》. 页24–25.

[3] 钱三强 1989.《重原子核三分裂与四分裂的发现》. 科学文献出版社. 页74–75.

[4] 赖因哈德·勃兰特. 纪念何泽慧院士. 见黄祖洽主编《何泽慧文选与纪念文集》. 山西教育出版社. 2015.页219.

[5] 何泽慧、顾以藩. 原子核裂变的发现：历史与教训——纪念原子核裂变现象发现60周年.《物理》. 1999. (1): 6–14.

[6] Ho Zah-Wei. Elastic Collisions between Positrons and Electrons and Annihilation of Positrons. Physical Soc. Combridge Conference Report. 1947: 78.

[7] Cosmic Rays: Anglo-French Conference in Bristol. Nature. 156(1945): 543.

[8] Letter from Bothe to Joliot, 1946-3-12. Paris: Curie Archives.

[9] Ho Zah-Wei 1946. Elastic Collisions Between Positrons and Electrons and Annihilation of Positrons[C]. Report of an International Conference on Fundamental Particles and Low Temperatures. Held at the Cavendish Laboratory, Cambridge, on 22–27 July 1946.

[10] 钱三强. 重原子核三分裂与四分裂的发现[M]. 北京：科学技术文献出版社, 1989.

[11] 中国原子能科学研究院编 2010.《中国原子能科学研究院简史，1950—2010》. 页26.

[12] 李觉等主编 1987.《当代中国的核工业》. 中国社会科学出版社. 页367.

[13] 何泽慧、顾以藩. 原子核裂变的发现：历史与教训——纪念原子核裂变现象发现60周年.《物理》. 1999. (1): 6–14.

[14] 何泽慧 1981. 立足常规，着眼新奇.《科学报》. 6月4日.

本文即将发表于《现代物理知识》。