

文章编号:1005-4642(2023)07-0025-06

专
题



课程思政融入近代物理实验课程的教学案例 ——以康普顿散射实验为例

吴奕初, 刘海林, 杨智慧, 王晓峰, 乔豪学

(武汉大学 物理科学与技术学院 物理国家级实验教学示范中心, 湖北 武汉 430072)

摘 要:康普顿散射实验属于近代物理实验中核物理实验教学模块的典型经典诺贝尔奖物理实验项目, 通过了解康普顿效应的发现过程, 深刻理解康普顿散射实验原理, 培养学生不断探索未知、追求真理的科学精神和科学品质; 通过介绍吴有训对康普顿散射作出的杰出贡献及学成归国后的先进事迹, 培养学生的家国情怀和严谨治学的科学态度; 通过经典与现代核仪器设备及测量方法对比探究, 掌握现代 γ 能谱的测量原理及技术, 培养学生敢于质疑、勇于探索、善于创新的科学精神; 通过虚实融合的实验教学, 多种方法验证康普顿散射的 γ 光子能量及微分截面与散射角的关系, 培养学生的科学思维方法、科学素质和科学实验综合能力。

关键词:课程思政; 近代物理实验; 康普顿散射实验

中图分类号: O571.418; G41

文献标识码: B

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2023.07.005

近代物理实验属于实践类、理科类专业课程, 深度挖掘隐含其中的“真善美”, 加强爱国主义和家国情怀教育, 如盐融水, 潜移默化, 在课程教学中实现价值塑造、能力培养和知识传授的有机融合^[1]。近代物理实验中的很多实验内容选自获得诺贝尔物理学奖的经典实验^[2-3], 近代科学的发展包含有中国人的贡献, 把这些中国元素融入实验教学, 增加学生的民族自信和文化自信, 提高学生分析解决物理相关问题的能力, 培养学生不怕困难吃苦耐劳的精神, 培养学生不迷信权威勇于创新的精神。

核物理实验与近代物理学发展紧密关联, 本文以康普顿散射实验为典型案例^[4-7], 结合我国核科学研究发展的历史, 通过介绍科学家严谨的科学态度和勤勉的工作作风及感人的爱国情怀, 培养学生对科学研究的兴趣及探究欲望, 实现培养崇尚科学、具有创新精神的高素质人才的目的。同时, 引入中国科学家吴有训对康普顿散射的贡献, 提升学生的民族自豪感, 将知识传授与价值引领有机融合, 实现课程对学生思想进行“随风潜入夜, 润物细无声”的教育作用, 进而有效提升学生

的综合素养, 较好地实现课程思政的教学目标。

1 案例教学目标及设计思路

康普顿散射实验属于近代物理实验中核物理实验教学模块的典型、独立的经典实验项目(高级实验)^[2]。教学目标包括以下 3 方面:

1) 知识目标. 了解 γ 射线与物质相互作用规律, 掌握康普顿散射效应的测量技术, 验证康普顿散射的 γ 光子能量及微分截面与散射角的关系。

2) 能力目标. 通过典型康普顿散射实验的设计、仪器的选择和搭配、实验条件的确定以及实验数据处理等方面的基本训练, 初步掌握核物理实验的基本知识和实验技能, 提升学生动手及分析问题、解决问题的能力。

3) 价值目标(或思政目标). 康普顿散射实验验证了“光量子说”的正确性, 最终人们认识到光子具有波粒“二象性”, 粒子与波动完美统一。结合我国物理学家吴有训先生对康普顿散射现象作出的杰出贡献及“育人”事迹, 开展家国情怀、爱国主义教育, 引导学生树立正确的人生观、价值观和世界观。

收稿日期: 2022-11-03; **修改日期:** 2023-03-22

基金项目: 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会教学研究项目(高物课教指字[2022]1号); “武大通识 3.0” 通识课建设项目(No. 2019-ybts-33); 武汉大学教学研究项目(No. 2020ZD-5)

作者简介: 吴奕初(1964—), 男, 福建上杭人, 武汉大学物理科学与技术学院教授, 博士, 研究方向为核技术及其应用。E-mail: ycwu@whu.edu.cn

传统的近代物理实验教材每个实验项目包括实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容及注意事项等,很少涉及课程思政内容,更确切地说思政元素隐含在实验教材中未被挖掘. 本案例的设计

思路是:以获得诺贝尔物理学奖的康普顿散射实验为载体,重构课程教学大纲,将该实验的主要思政元素融入到实验教学全过程. 案件的设计思路如图 1 所示.

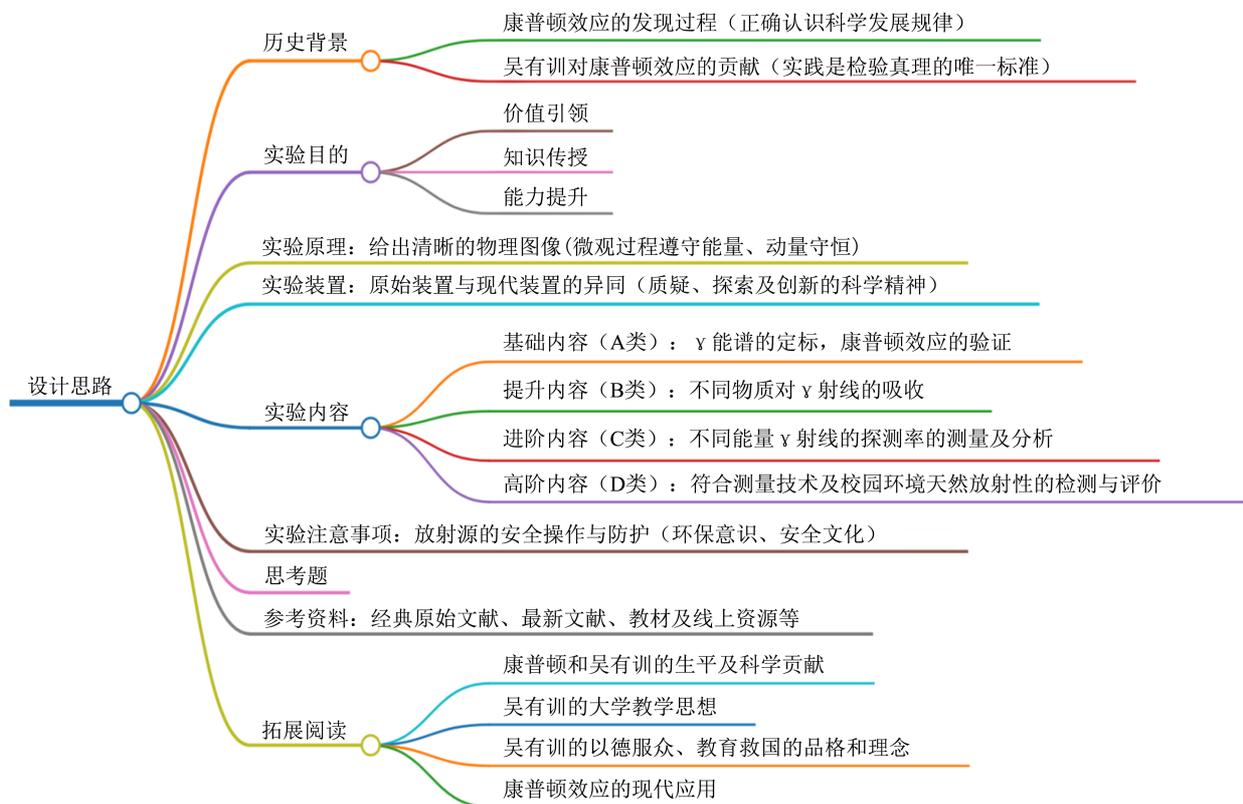


图 1 案例的设计思路

从图 1 中可以看出:相比传统的教学模式,该案例引入历史背景及线上、线下拓展阅读等内容;实验目的涵盖价值引领、知识传授和能力提升 3 个方面,与实验目标直接关联;结合大学物理实验课程标准化实验项目基本要求,基础(A类)、提升(B类)、进阶(C类)和高阶(D类)由低到高不同层次的内容,供不同学校、不同学科、不同专业、不同层次的学生选做. 例如,A类基础内容包括了放射源与高压的使用方法,学习放射性实验室安全注意事项;了解康普顿散射实验的旋转平台、探测器、高压与放大器、多功能数字多道及其软件的使用方法; ^{137}Cs 和 ^{60}Co 放射源对 γ 能谱的定标(能量刻度)及验证康普顿散射的 γ 光子能量及微分截面与散射角的关系等. 对于普通高校只选基础内容,其他部分(B/C/D)作为选做或拓展内容,具体的思政元素通过实验教学过程有机引入. 再如,对于物理学专业“拔尖人才”班可因材施教做

更多的内容,包括探究不同能量的 γ 射线对不同物质的吸收能力,多种方法高精度验证康普顿散射的 γ 光子能量及微分截面与散射角的关系,校园环境天然放射性的检测与评价,等等,提升实验的“两性一度”,引导学生树立正确的核科学观.

2 案例教学过程及教学方法

利用“实验空间——国家虚拟仿真实验教学课程共享服务平台”“高危核物理虚实结合实验教学平台”和“虚实交融诺贝尔奖物理实验教学平台”等实验教学平台,采用理论与实验、虚拟与现实、线上与线下相结合的混合式教学模式,将课程思政元素与实验教学过程有机融合,通过课前、课中及课后各个教学环节(表 1),引导学生重温康普顿和吴有训的经典实验,欣赏和体会设计思想和精湛技术. 学思结合、知行统一,培养学生勇于探索的创新精神,提高学生解决问题的实践能力.

表1 课前、课中及课后教学环节

	教师活动	学生活动
课 前	安排预习内容及要求,问题导向式教学,网上互动交流.	课前阅读教材,通过实验空间、虚实交融诺贝尔物理实验教学平台等线上查询、阅读或观看视频资料了解历史背景,特别了解吴有训对康普顿散射实验作出的杰出贡献,线上完成预习测试,完成预习报告.
课 中	1)检查学生预习情况,明确本实验的目的及要求,讲解康普顿效应的发现过程,吴有训育人的先进事迹等. 思政元素:科学发展基本规律,家国情怀、爱国主义教育.	检查预习报告、提问.
	2)实验原理解释: γ 射线与物质的相互作用规律,应用能量守恒和动量守恒推导康普顿散射公式. 思政元素:实践(实验)是检验真理(理论)的唯一标准.	提问、讨论方式,引导学生理解康普顿散射原理,该实验如何证实光子假设的正确性.
	3)检查学生仪器连接情况,特别介绍1923—1924年康普顿、吴有训使用的实验装置,比较经典实验、现代实体实验、虚实结合及虚拟仿真实验装置的异同. 思政元素:质疑、探索及创新的科学精神.	提问方式,让学生了解到现代测量技术的发展历程,对比了解当时康普顿和吴有训通过巧妙实验设计,完成实验,证实康普顿效应的普遍性.
	4)引导学生如调节能谱的位置,理论与实验相结合,理解能谱各个峰的物理意义. 思政元素:理论与实验结合.	师生互动、生生互动方式,让学生了解能谱的调节、能量刻度及分析,特别是康普顿散射平台出现的原因,加深对康普顿散射现象的理解.
	5)引导学生耐心测量不同散射角下 γ 光子的能量. 思政元素:实事求是,团队协作.	因测量等待计数时间较长,安排小组讨论(2套仪器,2人1组)等多种形式,解决实验过程中可能遇到本底测量的扣除、测量数据不确定度计算等问题.
	6)检查实验数据,提出实验报告撰写及课后拓展实验等要求.	实验结果分析与数据处理,特别是不同散射角下 γ 光子的微分截面计算.
课 后	1)能力提升:虚拟仿真实验引入教学(课外完成),与信息技术深度融合,提升该实验的创新性和挑战性(选做,主要针对“拔尖人才”班学生).实验内容分基础、提升、进阶、高阶等内容,供不同高校、不同学科、不同专业、不同层次的学生选做. 思政元素:两性一度.	线上完成虚拟仿真实验,线上线下“混合式”教学相结合,允许学生出现错误操作并及时改正(如加高压超量程),学生在掌握知识的同时也提高了动手能力.
	2)课外实验:校园实验——校园环境天然放射性的检测与评价.(选做,与日常生活紧密结合,提升学生的学习兴趣) 思政元素:树立正确的核科学观.	学生“亲身”体验天然放射性无处不在、无时不有.
	3)总结交流.	实验报告、PPT报告研讨等.

重温历史,展望未来,本实验项目典型的思政素材如下^[4-10]:

2.1 培养学生不断探索未知,追求真理的科学精神和科学品质

康普顿散射现象从1904年英国物理学家伊

夫研究开始,经历了近20年,直至1923年才由康普顿从理论上给以正确的解释.康普顿的X射线散射实验(康普顿散射)从实验上直接证实了光子是具有能量 $E=h\nu$ 和动量 $p=hk$ 的粒子,在微观的光子和电子的相互作用过程中,能量守恒和

动量守恒仍然成立,康普顿效应第一次从实验上证实了爱因斯坦提出的关于光子具有动量的假设,这在物理学发展史上占有极其重要的位置。

吴有训对康普顿效应的研究做出了突出的贡献。他测定了 X 射线散射中变线、不变线的强度比率 R 随散射物原子序数变化的曲线,证实并发展了康普顿的量子散射理论。

康普顿和吴有训的散射实验验证了“光量子说”的正确性,最终人们认识到光子具有波粒二象性,粒子性与波动性完美统一,启发学生认识到对于客观事物的认知总存在历史局限性,要以“吾将上下而求索”的精神,不断探索未知,追求真理,实践(实验)是检验真理(理论)的唯一标准。

2.2 通过实验教学,培养学生敢于质疑、勇于探索、善于创新的科学精神

比较 1923—1924 年康普顿和吴有训实验使用的实验装置与现代实验室使用的实验装置的特点及差异,深刻理解当时康普顿散射实验的设计思想。如何驳斥“三次辐射”和“箱子效应”等对康普顿效应的各种否定,证明康普顿散射现象的普遍性。目前的实验采用波长更短的射线代替 X 射线,先进的 NaI 探测器及核电子学设备代替电离室,学生可方便、快速完成康普顿效应实验的验证过程。通过问题导向式探究,引导学生“亲身体会”诺贝尔奖物理实验,激发学生积极认识世界和改变世界,树立正确的人生观和世界观。

2.3 通过虚实融合的实验教学,培养学生的科学思维方法、科学素质和科学实验综合能力

该实验教学将校园实验、虚实结合实验和虚拟仿真实验有效结合。引入校园环境天然放射性测量与评价实验,开设“无放射源”的核物理实验,让学生了解天然放射性无处不在、无时不有,树立正确的核科学观。引入虚实结合实验和虚拟仿真实验,用虚拟放射源替代普通高强度放射源,解决了放射源的使用和管理过程中的安全难题,消除了学生对使用放射源的顾忌心理,同时虚实结合实验增加了演示功能,让学生更直观地理解微观世界的物理原理及过程。虚拟仿真实验中模拟科研级核仪器设备,采用符合测量技术,并通过对不同能量 γ 光子探测效率的测量获得不同散射角度的相对反应截面,解决了传统实验中因放射源种类和强度受限而无法直接测量不同散射角度反应截面的难题,延伸了实验教学的时间和空间。

按“两性一度”要求建设,实体实验、虚实结合实验和虚拟仿真实验三者相互结合可使学生快速全面地学习实验内容,熟悉基本的核物理实验设备,掌握核物理实验的基本操作原理、过程以及数据处理方法,培养学生的科学思维方法、科学素质和科学实验综合能力。

2.4 通过学习吴有训先生的科学家精神,培养学生的家国情怀和严谨治学的科学态度

1926 年,吴有训先生谢绝了康普顿的诚心挽留,履行公费留学生的义务,怀着对中华民族的满腔热忱回国,开启了中国近代物理学研究的序幕。吴有训实事求是、淡泊名利的科学家精神,以及诚实守信、爱国奉献的忠毅精神是直击学生内心、涵养精神世界的最好素材。吴有训的以德服众、教育救国的品格和理念,“重学术、做实事、轻名利”堪称高校思政教育的典范。例如,1962 年杨振宁从国外赠书给吴有训先生,于扉页题词:“年前晤 Compton 教授,他问我师近况何如,并谓我师是他一生中得意的学生。”一些吴有训的名言:物理学终究是一门实验科学;实验物理学的学习要从使用螺丝刀开始;从事科学实验贵在“精细与有恒”,实验物理学家必须懂得科学理论,搞理论的必须懂得实验;科学实验是拓展科学研究领域的直接动力,也是技术产生的源泉。

3 案例特色及实践效果

对比其他近代实验,该案例具有以下特色:

1) 将吴有训先生的科学家精神引入教学,教学目标按价值引领、知识传授和能力提升 3 个方面要求,增加了中国科学家吴有训先生对康普顿散射的贡献及育人的先进事迹,让学生了解做学问、做实验及先学会如何做人,培养严谨的科学作风和创新的工作能力,有助于培养学生的科学思维方法和科学实验综合能力,立德树人,树立正确的人生观、价值观和世界观。

2) 将虚拟仿真实验引入教学,开发了虚实结合实验和虚拟仿真实验教学项目,通过实验空间——国家虚拟仿真实验教学课程共享平台等网上教学资源,延伸和拓展学生学习的时间和空间,提升实验项目的创新性、高价性和挑战性^[11-13]。

3) 将室外(校园)实验引入近代实验教学,突出通识教育教学理念,培养学生正确的价值观、健全的人格以及科学的思维方式,提升学生的学习

能力,更好地促进学生的“成人”教育.新开发了校园实验,注重实验课与生活中的物理现象紧密关联,学生在生活中学习物理实验的设计思想、实验方法,提升科学素质和解决实际问题的能力.

本案例利用“实验空间——国家虚拟仿真实验教学课程共享服务平台”等实验教学平台,采用理论与实验、虚拟与现实、线上与线下相结合的“混合式”教学模式,将思政目标融入实验教学全过程,与时俱进,线上资源定期更新经典实验项目的现代应用内容或前沿研究方向相关的新进展.实验项目PPT简介、短视频、获诺贝尔奖的经典原始文献及最新的实验研究文献则以二维码的方式给出,方便学生即时查阅,深入研究实验中遇到的各种问题,有利于培养学生自主学习、研究性学习的习惯.“康普顿散射实验”案例已经入选大学物理教指委的“课程思政案例库”并进行立项,课程思政工作委员会将其作为A+优秀案例展示,获得国内同行的广泛关注,学生也普遍认为本实验项目内容丰富、生动有趣,与生活关联密切.学生们反映:康普顿散射实验有趣,注重提升我们对物理实验的兴趣;充分利用网络资源,开展虚拟仿真实验,解决了无法实地做实验的问题.

此外,核物理实验与近代物理学发展史紧密关联,案例可推广到其他近代核物理实验项目中(近代物理实验课程需统筹安排,思政元素内容尽量不重复).例如,相对论效应验证实验,涉及爱因斯坦理论的发展或验证成果多次获得诺贝尔奖,学习爱因斯坦的科学思想和科学方法,他是追求自由和民主、献身科学事业、热爱世界和平、反对战争的科学勇士.卢瑟福散射实验,卢瑟福提出了原子的核式模型,使人类对微观世界的认识进入了新的里程碑,学习他敢于突破传统理论和权威,合理怀疑和批判的治学精神,锲而不舍的求真创新,对待科学严谨自信的治学精神以及实事求是的科学态度.正电子寿命测量实验,正电子是人类认识的第一个反粒子,我国科学家赵忠尧先生是发现第一个反粒子“正电子”的人,学习他勇于探索的科学精神,以及他在开创我国原子核事业和培养人才方面所做的贡献,激发学生努力学习,树立服务社会、报效祖国的信念和决心.

4 结束语

康普顿散射实验作为案例之一仍有许多思政

元素可被挖掘,如使用高危放射源,特别注意放射防护安全规范,放射性是“双刃剑”,既有利也有害;核信号探测的转换思维,闪烁体将“看不见”射线转变为荧光,光电倍增管中光电效应将光子转变电子并加以放大等.目前,康普顿散射技术在高能物理研究及现代核技术应用领域仍发挥重要作用,教学内容也可与现代应用相结合,引导学生通过拓展阅读了解放射生物学(放射疗法)、工业CT、射线光谱学(康普顿边缘)、康普顿散射成像及逆康普顿效应等相关知识,进一步可开发虚拟仿真实验项目(如射线放射治疗)将最新科研成果快速转化为实验教学,拓宽实验教学内容.

参考文献:

- [1] 教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL]. (2020-05-28)[2022-06-15]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html.
- [2] 吴思诚,荀坤. 近代物理实验[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2015:74-80.
- [3] 吴奕初,刘海林,熊永红,等. 诺贝尔奖物理实验[M]. 北京:科学出版社,2023:135-149.
- [4] 赵凯华. 有关光电效应和康普顿效应的若干问题[J]. 物理教学,2013,35(1):2-4.
- [5] 张祖荣,江遴汉. 对光电效应和康普顿效应几个问题的讨论[J]. 物理与工程,2014,24(S2):41-44.
- [6] 郭奕玲,沈慧君. 康普顿效应的发现及其意义[J]. 大学物理,1998,17(6):37-42.
- [7] 郭奕玲,沈慧君. 吴有训的历史贡献[J]. 物理,1997,26(12):740-746.
- [8] 康普顿诺贝尔奖演讲报告[EB/OL]. (2018-03-01)[2022-07-02]. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/compton-lecture.pdf>.
- [9] Compton A H. A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements [J]. Physical Review, 1923,21(5):483-502.
- [10] Compton A H, Woo Y H. The wave-length of molybdenum $K\alpha$ rays when scattered by light elements [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1924,10(6):271-273.
- [11] 康普顿散射虚拟仿真实验[EB/OL]. (2019-02-25)[2022-07-02]. <http://www.ilab-x.com/details/v4?id=4318&isView=true>.
- [12] 杨智慧,刘海林,王晓峰,等. 康普顿散射虚拟仿真实验设计及教学实践[J]. 实验室研究与探索,

2021,40(3):102-108,128.

[13] 刘海林,吴奕初,杨智慧,等. 虚实结合核物理综合

实验系统的设计与教学实践[J]. 物理实验, 2021,41(9):35-39.

A teaching case of curriculum ideology and politics integrate into modern physics experiment course

—Taking Compton scattering experiment as an example

WU Yichu, LIU Hailin, YANG Zhihui, WANG Xiaofeng, QIAO Haoxue

(National Demonstration Center for Experimental Physics Education,

School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Compton scattering experiment is one of the classical Nobel Prize physics experiments in the nuclear physics experiment teaching module of modern physics experiment. By understanding the discovery process of Compton effect and deeply comprehending the principle of Compton scattering experiment, the students could be cultivated the scientific spirit and scientific quality of exploring the unknown and pursuing the truth. Through introducing Wu Youxun's outstanding contribution to Compton scattering and his advanced deeds after returning to China, the students' native land emotion and scientific attitude of rigorous research were cultivated. Through the comparison and exploration of classical and modern nuclear equipment and measuring methods, the measuring principle and technology of modern gamma energy spectrum could be mastered, and the students' scientific spirit of daring to doubt, daring to explore and good at innovation could be cultivated; Through the experimental teaching of combination of virtual and real fusion, various methods used to verify the relationship between the gamma photons energy of Compton scattering, differential cross section and scattering angle, and the students' scientific thinking method, scientific quality and comprehensive ability of scientific experiments could be cultivated.

Key words: curriculum ideology and politics; modern physics experiment; Compton scattering experiment

[责任编辑:郭 伟]

(上接 24 页)

Research on experiment teaching of Brewster law

LIANG Jian, ZHANG Shirong, ZHANG Yixuan, ZHAO Xinying, REN Liyong

(School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: A teaching experiment for verifying Brewster law was designed based on the experimental device about the bidirectional reflectance distribution function. The incident angle of p-polarized light, known as the Brewster angle, could be obtained by measuring the polarization of the reflected light on the dielectric reflecting surface. Then the refractive index of the medium's reflecting surface could be figured out. Furthermore, by exploiting the difference between the metallic reflecting and dielectric reflecting surface in refractive index properties, the metallic/dielectric reflecting surfaces could be distinguished by measuring the circular polarization component of the reflected light. Additionally, the incident angle could be gotten in the case of the maximal circular polarization component by measuring the polarization state on the metallic reflecting surface, that was just the pseudo-Brewster angle of the metallic reflecting surface.

Key words: polarization; Brewster law; dielectric surface; metal surface

[责任编辑:郭 伟]