

浅谈大学物理教学中的核物理学

陈鹏辉

扬州大学物理科学与技术学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2023年8月12日; 录用日期: 2023年9月11日; 发布日期: 2023年9月18日

摘要

为满足国防需求和经济发展, 我国于20世纪50年代开始着力开展核工业体系建设。核物理学及应用是发展核工业的基石。核物理研究涉及前沿基础和重大应用两个方面, 近年来, 我国在这两方面取得了一定的进展。原子核物理学是物理学的重要分支之一。大学物理课程是理科、工科、农科、医科大学生的必修通识课。鉴于目前大多数高校的大学物理课程中未将核物理与核技术纳入到教学大纲, 考虑到核物理与核技术的重要性, 本文充分讨论了在大学物理教学中增设核物理与核技术内容的必要性。本文将简述理工科大学生应掌握的核物理前沿基础研究的教學大纲内容, 核技术及应用的教學大纲内容, 并给出合理的课时量建议。

关键词

大学物理, 核物理, 核技术

On the Discussion of Nuclear Physics in University Physics Teaching

Penghui Chen

School of Physics Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Aug. 12th, 2023; accepted: Sep. 11th, 2023; published: Sep. 18th, 2023

Abstract

To meet the needs of national defense and economic development, China began to focus on the construction of nuclear industry system in the 1950s. Nuclear physics and its applications are the cornerstone of developing nuclear industry. Nuclear physics research involves both cutting-edge foundation and major applications. In recent years, China has made certain progress in both aspects. Atomic nuclear physics is an important branch of physics. The university physics course is a

compulsory general course for students majoring in science, engineering, agriculture, medicine, etc. Considering the importance of nuclear physics and nuclear technology, given that most university physics courses do not include nuclear physics and nuclear technology in the teaching syllabus, this article fully discusses the necessity of adding content on nuclear physics and nuclear technology to university physics courses. This article will briefly describe the teaching content of cutting-edge basic research in nuclear physics for science and engineering students, the teaching content of nuclear technology and its applications, and give reasonable class hour suggestions.

Keywords

University Physics, Nuclear Physics, Nuclear Technology

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

原子核物理是人类认识物质世界一个重要层次。原子核是由几个到几百个核子组成的量子多体系统，是研究强相互作用、库仑相互作用的天然实验室。核物理主要是研究内容包括原子核结构、衰变、原子核之间的碰撞。当前核物理前沿基础研究向着高温、高密、高同位旋三个方向发展。近数十年来，随着国家综合国力的增强，我国核物理基础研究无论在理论上还是实验上都取得了巨大进步[1]。

核物理研究成果具有巨大的潜在应用价值。大量核物理前沿基础研究成果催生了一系列应用技术，已广泛应用于国防、工业、农业、医疗、环境、考古等众多领域，并在辐照材料改性、辐照加工服务、辐射技术装备、公众健康、公共安全、环境保护等方面形成一定的产业规模，取得了显著的经济和社会效益[2]。目前核技术在工业应用方面占比最高，其次是健康医疗领域。国内核技术应用产业的年产值已达 3000 亿元[3]，而世界各国核技术市场产值规模已超过万亿美元，与美国、欧洲、日本等发达国家和地区相比，中国核技术应用产业仍有非常大的发展空间，未来预计可达万亿级别的市场。

核物理经过一百二十余年的发展，形成了一个内容丰富的物理学二级学科，在理论和应用上都很重要的学科。自 1896 年贝克勒尔发现了天然放射性现象，到 1919 年卢瑟福等人通过 α 粒子轰击实验确立了原子的核结构，再到 1931 年查德威克发现中子，再到 1949 年迈耶夫人和简森各自独立提出原子核壳模型，这一系列发现对认识原子核内部结构具有重大意义，为原子能的利用开辟了广阔的道路。1939 年哈恩和斯特拉斯曼发现核裂变现象，随后 1940 年费米在芝加哥大学建立了世界第一个链式核反应堆。这两项重大突破标志着人类开始掌握核能的应用。粒子加速器与射线探测技术的发展为核物理的基础研究以及应用提供了必要的技术前提。核物理领域，仍有大量未被探索的区域，即使在已经探索过的领域还存在缺少精确的实验数据，更是没有建立起一套系统完整的理论[4]。

核物理学是一门生气勃勃的、发展中的学科。当前，随着研究深入到极端条件，核物理的发展离不开大科学装置。兰州近物所的重离子加速器，北京放射性核束装置 BRIF，东莞的散列中子源，在建惠州的强流重离子加速器、加速器驱动的嬗变装置，北京在线同位素分离丰中子束流装置等一系列大科学装置为我国核物理前沿基础研究和重大应用提供了广阔的平台[5]。作为当代大学生，很有必要了解目前我国大科学装置发展状况。这有利于开拓视野，结合自己的本专业，可以做一些交叉研究，会给自己未来的职业发展提供更多机遇。本文将分别从核物理学的前沿基础与重大应用两部分来展开论述。

2. 核物理前沿基础研究

大物理课程中有必要介绍一些核物理基本概念和一些前沿研究方向。我们根据核物理内容特性,简要地从原子核的基本性质、原子核模型、交叉研究三个方面分别阐述适合大学生掌握的前沿基础研究发展状况。大学生首先要了解一些原子核的基本性质,如原子核的电荷、质量、半径、自旋、磁矩、同位旋等。其次,要了解原子核的放射性和稳定性以及其背后的物理图像,如放射性衰变的类型、基本规律、放射性活度单位、液滴模型、结合能公式、核辐射测量等。最后,还可以理解一些原子核动力学知识,比如在不同能标下的重离子碰撞、原子核裂变和聚变、恒星中的核反应等[4]。

核结构与核反应的前沿研究主要对象是滴线附近原子核,称为放射性核束物理。合成新元素和新核素是核物理领域的前沿基础研究之一。从1896年核科学发展至今,稳定原子核只有286个,这些核素一般具有较大的结合能,它们的结构一般通过平均场、壳模型等理论加以描写。从1985年在美国伯克利国家实验室开展放射性束实验,核素数目快速增大,目前通过实验已合成3000余种新核素,而不同理论预言有8000~10,000个核素[4]。新核素主要集中在超重核区、滴线核区。其中合成超重核不仅可以拓展核素版图,还有利于研究大质量强相互作用系统,以及登陆超重稳定岛验证已有模型。合成丰中子重核有助于研究壳演化、确定中子滴线的位置、揭示核天体物理中超铁元素起源问题。合成新核素实验需要在大科学装置上开展,并且需要理论预言合成截面、最佳弹-靶组合、最佳束流能量。目前基于兰州高流强-直线超导加速器,我国正在积极开展合成超重新元素 $Z=119$ 的相关实验。在建的惠州高流强-重离子加速器,通过多核子转移反应有望开展合成新丰中子重核实验。

近滴线的原子核的结合能逐渐减小,直到最后一个核子的分离能为零。滴线核区的原子核作为弱束缚的开放系统,体积可以大大扩张,结构形态和有效相互作用的性质发生显著变化,甚至会形成晕核,传统核理论面临巨大挑战。原子核质量是核物理的一个基本物理量。实验上和理论上对原子核质量有较好的描述。对于较长寿命的原子核可以通过质谱仪测量质量,离子阱方法可以测量短寿命核素的质量。我们通过散射实验可以测量原子核的半径,通过伽玛衰变实验可以测量原子核的形变。近年来,人工智能与核物理交叉领域发展迅速。机器学习方法正在广泛应用于核物理学领域,比如原子核质量预测、原子核电荷半径预测、重离子碰撞动力学等。

考虑到核物理前沿基础研究比较内容比较丰富,教学时间有限,教学安排可以囊括原子核的基本定义,以及我国重点建设的大科学装置、发展的研究方向。核物理前沿基础研究教学内容安排一个课时。

3. 核技术及应用

随着核物理前沿基础研究的深入,催生了大量核技术应用。核技术应用涉及国家安全和经济发展,具有十分重要的地位,属战略高技术。基于核技术已形成众多的交叉学科[6],如核医学、辐射化学、放射性药物化学、辐射生物学、放射生态学、环境放射化学、核农学、考古测量学等[5]。大学生需要对核技术及应用有一定的了解,最好能了解核技术背后蕴含的核物理学知识。

核能对于国家安全和能源安全十分重要。重核裂变是质量较大的核俘获中子后分裂成两个(或多个)中等质量核的反应过程。重核裂变会放出几个中子,并同时释放出大量的能量,成功用于开发出原子弹,终结了第二次世界大战。战略核武器是一个国家非常规武力震慑的必备条件,一个国家有了核武就具备了一种对外拥有超越常规军备的武力震慑。也从一定程度上加大了其外交筹码和硬性强度[7]。目前,各大国仍未停止核武器的开发,比如战术核武器、核动力巡航导弹、核动力舰艇等。二战结束后,为了和平利用核能,开始大力发展核电技术,并且产生巨大的经济效益[8]。法国是发展核电的先锋国家,其核电占比达到七成以上,常年成为欧洲电力输出国。近年来我国在引进俄罗斯、法国、美国核电技术的基

础之上,国内企业中核、中广核集团合力自主开发了第三代核电技术“华龙一号”,并可以出口到世界各地[8]。我国相关研究所也在积极开发四代核反应堆“钍基熔盐堆”。大力发展核电对世界各国执行碳中和、碳达峰计划具有十分重要的意义。在航天领域,核能是我们未来建设月球基地、深空探测、星际旅行的唯一能源解决方案。两个较轻核聚合成一个较重的原子核,同时放出巨大的能量,这是轻核聚变反应,被成功用于造氢弹。由于多种限制,人类仍未完全掌握受控核聚变技术[9]。目前,中国、欧洲、美国为代表的三大研究组基于不同技术路径独立开展核聚变技术研究,其中美国和中国研究组已经实现核聚变短时间“净能量增益”。我国在发展核武器期间涌现了一批科学家,有钱学森、邓稼先、郭永怀、于敏等“两弹一星”科技功勋,是大学生思政教育必不可少的学习榜样。

核辐射探测技术是研究和利用射线与物质相互作用的技术。近年来,核探测设备的复杂性和精密度不断提高,核探测技术和方法已成为核科学研究和应用的关键[10]。核探测器按照射线与探测器内的物质相互作用而产生某种信号的不同可以分为气体探测器、闪烁体探测器、半导体探测器等。对于微观世界的研究,只能通过探测器来探测,实验与理论的相辅相成,促进了人类对于物质世界的认识,而这也离不开粒子加速器和粒子探测器的不断更新发展。在农业领域,核技术广泛应用于植物辐射诱变育种、农产品和食品辐射加工、农业核素示踪、稳定同位素示踪溯源、放射生物学基础及昆虫辐射不育等领域,成为改造、革新传统农业和促进农业现代化的重要科学技术[6][11]。在核物理发展的最初阶段,人们就注意到这门新学科的可能应用,并且很快发现了放射性射线对某些疾病的治疗作用。核技术在医学中也有广泛的应用,包括不限于质子治癌、重离子治癌、核磁共振成像、正电子发射断层扫描成像、辐射消毒、粒子手术刀、放射性示踪技术、放射性核束靶向药物等[8]。核技术在考古、环境治理等领域也发挥着独特的作用,比如,基于放射性碳鉴定年法的考古测量学、基于质子照射下的特征辐射激发或X射线照射下的荧光发射方法。

核技术及应用内容更贴近民生的技术,其涉及的学科门类广且深,建议针对不同专业的本科生,有选择的讲授相关核技术内容[12]。建议核技术及应用的教学时间为两个课时。

4. 总结

本文主要面向高校理工科大学生,从大学物理教学角度出发,考虑到核物理前沿基础研究以及重大应用的重要性,系统论证了在大学物理教学中增设核物理内容的必要性和紧迫性。核物理前沿基础研究内容丰富且高深,主要是解决自然科学的基本问题,学习这部分内容有利于大学生开阔眼界。这部分教学大纲主要是原子核基本定义、重点建设的大科学装置、重点发展的研究方向等,教学时间不超过一个课时。核技术及应用涉及国家安全和经济发展,属于战略高技术,且已形成众多的交叉学科,涉及的学科门类广且深。我们建议核技术应用的教學大纲针对不同专业的本科生,有侧重的制定教学内容,教学时间不超过两个课时。

基金项目

江苏省教育厅高校面上项目(21KJB140026)、江苏省基础研究青年项目(BK20210788)、扬州市绿扬金凤优秀博士项目(YZLYJFJH2021YXBS130)。

参考文献

- [1] 刘江. 核物理研究在我国的发展现状[J]. 大众标准化, 2021(10): 41-43.
- [2] 赫玲波, 闫迎辉. 核技术应用简介[J]. 一重技术, 2019(1): 1-5.
- [3] 我国核技术应用产值超 3000 亿元[J]. 国防科技工业, 2019(11): 9.

-
- [4] 卢希庭. 原子核物理[M]. 北京: 原子能出版社, 2001.
 - [5] 赵红卫, 徐珊珊, 肖国青, 等. 惠州加速器集群装置及其未来发展[J]. 中国科学(物理学 力学 天文学), 2020, 50(11): 77-94.
 - [6] 高鹏. 核技术在特需食品中的开发应用[Z]. 成都: 四川省原子能研究院, 2018-05-22.
 - [7] 王乃彦. 大力发展军民两用的核技术应用为国防现代化和国民经济建设服务[C]//全国“核技术及应用”发展战略研讨会. 北京: 原子能出版社, 2003: 6.
 - [8] 微亮. 美刊谈中国核工业军转民的一些情况[J]. 国外核新闻, 1995(3): 8.
 - [9] 核物理与等离子体物理发展战略研究编写组编. 核物理与等离子体物理(上册) [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
 - [10] 吴炳林. 核物理与核探测、核分析技术的应用[J]. 计算机产品与流通, 2018(2): 262.
 - [11] 祝铭山, 林东. 浅谈核物理学在各领域中的应用[J]. 中国科技信息, 2014(9): 56-58.
 - [12] 李新霞, 龚学余, 王镇华. 在创新中建设好理科核物理本科专业[J]. 高等理科教育, 2011(5): 79-82.