

核物理与工农业发展*

郑涛[†]

(北京大学物理学院 核物理与核技术国家重点实验室 北京 100871)

摘要 核物理应用主要包括核分析技术、同位素技术和离子束技术的应用,这些应用在工农业生产中发挥着巨大作用.离子束、电子束和同位素辐射源被广泛应用于辐照探伤、辐照加工、辐照消毒、辐照育种、辐照杀虫、辐照保藏等方面.核物理应用新技术将成为人类生活中重要的组成部分,正确认识核辐射并掌握基本的辐射防护知识具有重要意义.文章介绍了核物理在工业和农业中的应用及其社会效益和经济效益.

关键词 核物理,核技术应用,加速器,离子束,电子束,同位素,辐照

The application of nuclear physics in industry and agriculture

ZHENG Tao[†]

(State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School of Physics,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The applications of nuclear physics, which include nuclear analytical techniques, isotope technology, and ion beam technology, play an important role in industrial and agricultural production. Ion beams, electron beams and isotopic radiation sources are widely used in radiation detection, radiation processing, irradiation sterilization, radioactive treatment of seeds, radioactive eradication of insect pests, radioactive preservation, etc. Through a correct understanding of nuclear radiation and a good grasp of the basics of radiation protection, new technological applications of nuclear physics will become an important part of human life.

Keywords nuclear physics, application of nuclear technology, accelerator, ion beam, electron beam, isotope, irradiation

1 引言

在“大爆炸”后的宇宙演化中,复杂的核反应过程实现了由轻元素到重元素的合成和演化,也逐渐形成了我们现在的世界.这经历了一个从微观到宏观的演化过程.而人类对于世界、宇宙的认识是由宏观现象开始的.原始人的钻木取火是通过简单的机械手段实现了木材中原先储存能量的释放.石器时代,石刀、石斧的使用,开启了用人力分割物质的新时期.从人类挥动斧头砍倒大树,到科学家利用加速器加速粒子打开原子、原子核直至把质子、中子分至更小的物质层次夸克,这是一个从宏观到微观的过程,也是人类对物质世界的认识不断深入的过程.

科学技术是人类在认识自然、改造自然的过程中发展起来的,始终伴随并推动着人类文明的进步.核物理的发展也不例外.核物理是原子核物理的简称,是物理学的一个重要分支,是通过核物理实验和理论研究认识原子核的结构和反应规律的一门科学.从利用少数天然放射性核发出的射线到利用加速器产生粒子束进行实验研究,人类对核物理的知识不断积累,应用核物理知识的能力也逐渐增强.核物理的发展史实际上也是核技术应用的历史,两者相辅相成.核物理学的发展和进步带动了核技术的广泛应用,现代核科学技术的发展,使核科学与生产

* 国家自然科学基金(批准号:10720003)资助项目
2011-12-15 收到

[†] Email: tzheng@pku.edu.cn

的关系越来越密切,对人类生活的影响越来越显著.科学技术作为生产力的巨大作用在核科学领域表现得尤其明显.

与其他任何学科一样,核物理的发展也经历过高潮和低谷.当今世界对能源的迫切需求,使得核物理的研究重新受到了全球范围内的重视并得到大力支持,核物理研究可以提供更精确的核数据和探索更有效地利用核能的途径等,核技术应用为核能源的开发提供了技术保障.核物理应用不仅仅局限在能源方面,还具有更广泛和重要的应用价值.核物理的发展使得核技术也不断地推陈出新,在工农业生产中发挥越来越大的作用,并向社会生活多层次全方位的渗透,成为人类生活中重要的组成部分.

2 核物理在工业中的应用

核物理在工业中的应用广泛,涉及到材料的核分析技术、同位素技术、核无损检测技术和辐射加工技术等几个方面.

2.1 核分析技术(nuclear analytical technique)

航空航天、环境保护以及现代工农业发展都对材料的研究提出了新的要求,特别是以纳米材料、电子信息材料、特种功能材料、稀土材料、新型建筑节能材料、高分子材料及新型催化剂、复合材料、特种纤维材料、环境友好材料等为代表的新材料,具有更广泛的需求和成长空间.材料的物理性能和化学性能与材料中的痕量杂质元素、晶体的缺陷和微观结构有关.核分析方法可以获得材料中元素成分、物质结构以及杂质浓度体分布和表面层的形貌特征的信息,具有高灵敏度、快速和不损坏样品等特点.

我们知道,物质是由分子、原子组成的,原子可以分为原子核和核外电子.核分析就是利用粒子与物质的原子或原子核相互作用,用核物理探测技术取得相互作用过程中的信息,进而分析研究物质材料成分和结构的方法.粒子包括中子、 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线、正电子、质子以及用加速器产生的其他荷能粒子.常用的核分析技术包括卢瑟福背散射分析(RBS)、弹性反冲分析(ERDA)、核反应分析(NRA)、质子诱发X射线荧光分析(PIXE)、二次离子质谱分析(SIMS)、中子活化分析(NAA)、带电粒子活化分析(CPAA)、超灵敏质谱分析(AMS)等^[1].

2.1.1 卢瑟福背散射分析(Rutherford backscattering,简称为RBS)

卢瑟福背散射分析起源于1909年卢瑟福

(Rutherford)和他的助手盖革(Geiger)及学生马斯登(Marsden)的一个实验.他们在做 α 粒子和薄金箔散射实验时,观察到绝大部分 α 粒子几乎是直接穿过金箔,但偶然有大约1/800的 α 粒子发生散射角大于 90° 的背散射.此实验推翻了汤姆孙(Thomson)的原子模型,确立了原子的有核模型.

RBS方法主要用来分析轻元素材料中的重元素,是采用加速器加速得到或者放射源放出的高能 α 粒子轰击材料表面, α 粒子碰撞到材料中不同深度的原子核时被反弹回来,由探测器测量其能量. α 粒子的能量变化过程分为3个阶段:第一阶段, α 粒子进入材料到达特定深度;第二阶段,与材料中原子核碰撞发生反弹;第三阶段,穿出材料到达探测器.依据碰撞过程中的动力学分析,碰撞过程中的 α 粒子能量发生变化,其能量与材料中原子核的质量相关;第一和第三阶段能量变化和材料中原子核的分布深度有关.通过分析 α 粒子的能量谱,就可以得到材料成分的信息和深度分布.在1967年实施阿波罗月球登陆计划中,测量员利用5,6,7号卫星搭载的镅 ^{242}Cm α 卢瑟福背散射表面分析装置,测定了月球表面土壤的元素,发现有Ca, Fe, Si, Al, Mg, Na, O, C等^[2].实验装置如图1所示.

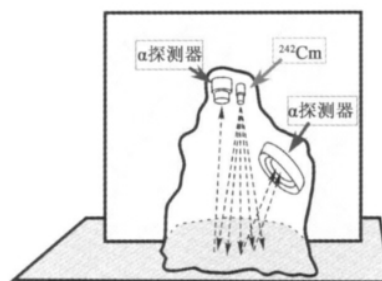


图1 阿波罗登月计划中使用的卢瑟福背散射表面分析装置图

2.1.2 中子活化分析(neutron activation analysis,简称为NAA)

中子活化分析是用反应堆、加速器或同位素中子源产生的中子作为轰击粒子,对待分析样品进行照射,样品中的稳定核素吸收中子会变成处于激发态的放射性核素,测量退激 γ 射线的能量和强度就可以确定物质元素成分,是一种定性和定量的分析方法.历史上首次中子活化分析是1936年匈牙利化学家冯·赫维西(G. Von Hevesy)和H. 莱维(H. Levi)用镭-铍中子源辐照氧化钷试样,利用 $^{164}\text{Dy}(n, \gamma)^{165}\text{Dy}$ 反应测定了试样中含有微量的镱.

中子活化分析包括待分析样品和标准样品的制

备、活化、放射化学分离、核辐射测量和数据处理等几个基本步骤。由于中子不带电,因而可以轻易穿过待测样品原子的库仑势垒而被俘获, (n, γ) 的俘获截面比较大,分析灵敏度很高。利用 (n, γ) 反应激发曲线的尖锐共振,可以很方便地测量杂质元素的浓度和深度分布。中子活化分析具有极高的灵敏度和准确度,对元素周期表中的大部分元素都能测定,可以同时分析同一试样中几乎所有元素,广泛应用于头发样品、地质样品中的稀土元素及环境分析的多元素试样分析中。举一个例子,公元 1908 年 11 月 14 日(光绪 34 年 10 月 21 日),光绪皇帝“病逝”,光绪死亡后不到 24 小时,慈禧太后去世。光绪死在 74 岁的慈禧前面,仅差一天,于是有了光绪是被人谋害致死的传闻。北京市公安局的侦查人员会同中国原子能科学研究所的科研人员,结合 2003—2006 年从河北易县崇陵(光绪陵寝)提取的光绪头发、衣物等重要检材,运用中子活化实验方法分析出光绪头发含有大量的砷,经过对光绪死亡原因进行了反复的检验和缜密的分析研究,综合分析判断的结论是光绪明显符合急性中毒死亡的特征。在现代核分析技术面前,长期未解之谜迎刃而解^[3]。

2.1.3 超灵敏质谱分析技术(ultra-sensitive mass spectrometry, 简称为 MS)

1949 年,美国物理学家 W. F. 利比(Willard F. Libby)成功地利用 ^{14}C 测定年代,他于 1960 年获得诺贝尔化学奖。 ^{14}C 的来源如图 2 所示:宇宙射线轰击大气分子产生的中子与大气中的氮通过 $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ 反应生成 ^{14}C , ^{14}C 可以经 β 衰变成为 ^{14}N , 半衰期为 $T_{1/2} = 5730$ 年。 ^{14}C 与 O_2 结合生成 $^{14}\text{CO}_2$, $^{14}\text{CO}_2$ 和 $^{12}\text{CO}_2$ 达到平衡后结合进入有机体中。假设具有以下条件:天然碳样品的放射性从过去几万年到现在保持恒定;自然界中所有活着的生物不断地与外界进行碳的交换,体内 ^{14}C 的含量是一定的(例如为 N_0);生物死亡后 ^{14}C 与外界交换停止,仅通过 β 衰变减少份额,则在这些条件下,通过测定样品中 ^{14}C 正在发生衰变的原子核数目,就可以确定 ^{14}C 在样品体内的份额 N 。由公式 $N = N_0 e^{-\lambda t}$, $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, 根据测得的 N 和 N_0 可以计算得到 t , 确定生物的死亡年代,进而得到与该生物同时代发生的事件的年代。

W. F. 利比把 ^{14}C 测年方法应用于埃及已知年代的样品,用以确定该年代所对应的埃及法老的年代。1950 年, Hans Eduard Suess 把放射性 ^{14}C 测年方法应用于研究从工业革命起矿物燃料的大量使用

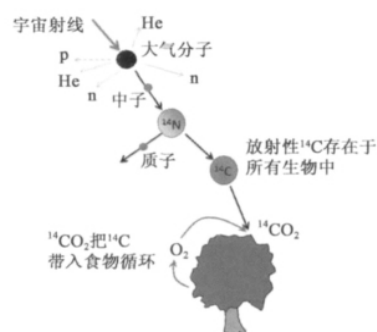


图 2 ^{14}C 的来源

所放出的二氧化碳对环境的影响,有效稀释 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值至约 2%,这种稀释效应称为 Suess 效应。放射性 ^{14}C 测年方法还被应用于研究核武器爆炸的监测,在大气核爆过程中产生大量的中子,与空气中的氮通过 $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ 反应产生 ^{14}C , 研究发现核爆炸产生最大影响的年份约在 1963 年,大气中 ^{14}C 的含量变为平常时期的两倍!

但是,这个方法受限于 β 射线计数法的局限性,因此,灵敏度低和需要样品量多。一种更灵敏的分析技术出现了,就是加速器质谱分析(accelerator mass spectrometry, 简称为 AMS)。这是一种基于加速器的现代核分析技术,它的主要贡献是实现了 ^{14}C 半衰量的精确测试,从而实现了精确测年。图 3 为 ^{14}C 专用加速器质谱计装置。人们利用离子源技术把碳同位素从样品中提取出来,通过离子加速器加速碳离子至 MeV 能量,然后用离子探测器技术直接鉴别碳同位素 ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C 等。对考古样品,用常规 ^{14}C 测年方法测量样品的放射性需要 1—5g 的纯碳样本,通过几天的测量才能使测定的年代准确到 ± 100 年;而加速器质谱法能够直接测量放射性碳,只需要 1—5mg 纯碳样本,在某些特殊情况下甚至可测量含碳 0.1mg 以下的样品。AMS 测量现代碳样品达到 1% 的精度只需 10—20 分钟,常规衰变法需 10 个小时以上。加速器质谱技术在我国夏、商、周断代工程中发挥了巨大的作用^[4]。



图 3 ^{14}C 专用加速器质谱计装置^[5]

AMS 技术还被应用于研究都灵的裹尸布,据说是救世主耶稣的葬布,上面显现了钉在十字架上的

裸体男人模糊的映像. W. F. 利比在 19 世纪 40 年代采用碳放射性法测了裹尸布的年代(所需样品很大). 1988 年, 在这块裹尸布上取下的 3 个样品分别在不同的实验室用 AMS 技术进行测定, 测定年代的争论仍在继续, 有兴趣的读者可以访问相关网站(网址: <http://www.shroud.com>)看最新的进展.

AMS 技术已在地球科学、考古学和古人类学、环境科学、生物医学、材料科学、核物理与天体物理和天体化学等学科中得到广泛的应用, 并显示出巨大的前景.

2.2 同位素技术应用(application of isotope technique)

放射性同位素在能源、工业、农业、医疗、环境、考古等诸多方面都有着广泛的应用. 使用放射性同位素的主要优点是可以通过测定它们发射的粒子和鉴定其特有的半衰期和辐射性质, 探测它们的存在.

1923 年, 匈牙利化学家海维西(G. C. de Hevesy)首先用天然放射性 ^{212}Pb 研究铅盐在豆科植物内的分布和转移. 此后, 加速器、反应堆等人工产生放射性同位素方法的建立为放射性同位素示踪法的更快的发展和广泛应用提供了基本的条件和有力的保障. 到目前为止, 放射性同位素主要来源于三种渠道: 通过加速器加速分离出的放射性同位素, 从反应堆中子辐照后产物和从反应堆裂变产物中分离出的放射性同位素.

同位素示踪法(isotopic tracer method)是将可探测的放射性核素(示踪剂 TRACER)添入化学、生物或物理系统中, 通过探测放射性信号来标记研究材料, 以追踪发生的过程、运行状况或研究物质结构等的科学手段. 同位素示踪所利用的放射性核素(或稳定性核素)以及它们的化合物, 与自然界存在的相应普通元素及其化合物之间的化学性质和生物学性质是相同的, 只是具有不同的核物理性质. 利用放射性同位素不断地放出特征射线的核物理性质, 就可以用核探测器随时追踪它在体内或体外的位置、数量及其转变等.

同位素示踪法具有非常高的灵敏度. 放射性示踪法可测到 10^{-11} — 10^{-18} g 水平, 即可以从 10^{15} 个非放射性原子中检出一个放射性原子. 它比目前较灵敏的质量分析天平还要敏感 10^7 — 10^8 倍. 放射性测定不受其他非放射性物质的干扰, 可以省略复杂的化学分离步骤. 体内示踪时, 可以在体外测量某些放射性同位素的 γ 射线, 做到非破坏性分析. 放射性同位素示踪法能准确定量地测定代谢物质的转移和转

变, 与电子显微镜技术等相配合, 可以确定放射性示踪剂在组织器官中的定量分布, 对组织器官的定位准确度可达细胞水平、亚细胞水平乃至分子水平^[6].

2.3 核无损检测(nuclear nondestructive testing)

核分析与核检测技术在现代化工业生产中发挥了积极而重要的作用. 核检测就是利用天然或人工放射性核素与核探测仪器相结合, 在生产过程中实施在线测量, 随时监测生产过程并做到实时控制.

核无损检测技术在工业生产自动化方面有大量的应用, 例如: 利用射线的吸收法及反射法测量板式材料(如钢铁、金属、橡胶、纸张等)生产过程中的厚度、均匀度和密度; 对不易移动的装置(如造船、飞机制造等)的大部件探伤; 在化学塑料、盐开采、污水等半液态生产过程中监测水分、湿度等.

工业 CT 是工业用计算机断层成像技术的简称, 它能在对检测物体无损伤的条件下, 以二维断层图像或三维立体图像的形式, 清晰、准确、直观地展示被检测物体内部的结构、组成、材质及缺损状况. 工业 CT 的主要技术特点是: (1)通过断层扫描图像直观地看到检测目标细节的空间位置、形状大小; (2)具有突出的密度分辨能力; (3)高性能探测器用于断层成像, 比普通成像方法应用范围更广; (4)数字化的图像易于存储和分析. 工业 CT 在汽车、材料、航天、航空、军工、国防等产业领域应用广泛, 是检测航天运载火箭及飞船航空发动机、卫星产品、机械产品质量等的重要手段, 特别是特种构件焊接质量的精密检测, 大型构件的装配质量监测和内部结构的精密检测, 结构仿真以及其他材料和构件的工业 CT 检测等^[7]. 图 4 为文献^[7]中给出的工业 CT 应用的典型例子.

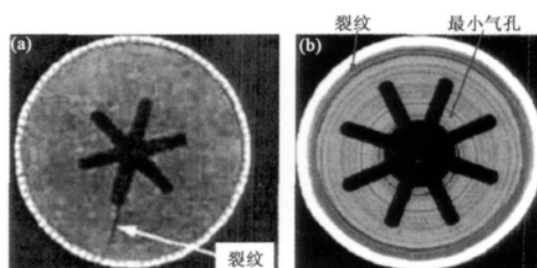


图 4 工业 CT 的典型应用 (a) 火箭发动机 CT 切片; (b) 火箭发动机药柱裂纹及气孔检测 CT 图像

2.4 辐射加工(radiation processing)

辐射加工是核物理应用的重要领域, 利用 γ 射线和加速器产生的电子束辐照被加工物体, 可以使其品质或性能得以改善. 作为人类和平利用核技术的成果, 辐射加工被广泛应用于医学灭菌消毒、食品

保鲜、环境保护、航空航天、石油化工等领域。

随着辐射化学和辐射生物学等基础研究的深入以及辐射源如 ^{60}Co 和电子加速器等技术的成熟,电离辐射应用被发展成为一种加工手段用于工业生产。辐射可以应用于对环境污染物的处理。利用加速器电子束对钢铁厂排出的废气进行辐照,可除去二氧化硫和氧化氮气体,用氨水吸收辐照转化物还可制得硫酸铵和硝酸铵。辐射处理生活污水和工业废水,除可以杀菌外,还能使许多有机污染物和无机污染物改性、氧化或分解,可以对醛类、氰化物、有机汞、亚硝胺、含氯有机物及染料等进行有效的处理。辐照污泥能杀灭细菌和病毒,使细菌残存率低至1%以下,还可以杀死寄生虫卵,抑制杂草种子发芽,灭菌后的淤泥可作肥料施于农田^[8]。辐射加工已在交联电缆、热缩材料、橡胶硫化、食物辐照保藏和废水、医疗用品灭菌消毒、废气处理等领域取得巨大成效,形成产业规模。

离子束加工技术是辐射加工技术的一个重要方面,在现代工业中占有举足轻重的地位。离子注入半导体自上世纪70年代起已成为集成电路制造的关键技术之一。随着离子束加工技术的发展,表征CMOS性能的2个基本指标,沟道长度和结深度,不断减小,使得提高集成电路的密集度成为可能,其发展路线如图5所示。离子注入金属材料可提高其耐磨、抗腐蚀、抗氧化性能,并增加硬度。离子注入陶瓷材料可提高其耐磨、导电等性能,并克服其脆性。离子注入光学晶体可改变其折射率,制造光波导、变频器等集成光学器件。离子注入聚合物可用于制造微电子器件掩膜,其分辨率好于光束和电子束^[9]。随着近年来航空航天工业的发展,对微电子器件抗辐射的要求迅速提高,离子束技术被用来研究单粒子翻转,利用加速器产生的射线模拟宇宙射线在微电子器件中引起的辐照损伤。

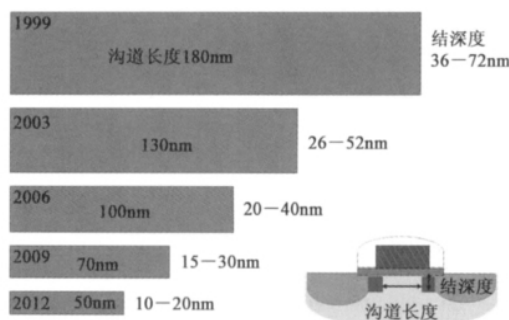


图5 微电子器件CMOS的发展路线图

3 核物理在农业中的应用

射线辐照可以使生物细胞内遗传物质的结构发生改变,因而引起生物形形色色的性状突变,这导致了核物理在农业方面有着特殊的用途:辐射育种、辐射杀虫和辐照保藏。

3.1 辐射育种 (radioactive breeding techniques)

生物的形态、性状和种类等都是由自身的遗传信息来控制的。在生物的发展和进化过程中,环境因素的影响导致生物的遗传信息不断更新,形成了生物的进化,但往往来说,这种进化过程都是很缓慢的。随着科学技术的发展,人们能够应用现代科学的成就来人工创造新的变异类型,即“人工引变”。大体说来,应用人工引变诱发的有利突变可以有千分之一的机率,而自然产生的突变只有百万分之一的机率,人工引变可以提高突变率1000倍。由于技术条件的限制,人们还不能控制变异的方向,必须在各种变异的后代中,进行认真仔细的选择,才能育成符合期望的良种。这种应用射线引变选育良种的方法叫做“辐射育种”。它是继“系统选种”,“杂交育种”之后而兴起的一种新的育种方法。

自1927年美国的Muller发现X射线能诱发果蝇产生大量多种类型的突变以来,辐射育种技术开始进入人们的视野。20世纪40年代,德国Fresleben和Lein利用诱变剂在植物上获得有益突变体。60年代末,联合国粮农组织和国际原子能机构联合举办植物诱变育种培训班,出版了《突变育种手册》一书,完成了这一技术从基础研究到实际应用的转折。70年代,诱变育种技术逐渐转至抗病育种、品质育种和突变体的杂交利用上,80年代以后,分子遗传学和分子生物学的广泛应用为诱变育种提供了新的技术,90年代期间,分子标记法的运用为实现定向诱变提供了可能^[6]。

辐射育种产生了巨大的社会效益和经济效益。人们通过辐照烟草、小麦、水稻等作物的种子,使其产生诱变,实现了作物品质的大幅度提升,还增加了产量,对现代农业起着巨大的推动作用。特别是对重离子辐照诱变育种机理的研究,取得了辐照效应强,突变频率高,突变频谱宽,可以实现定向诱变等研究结果,使作物高产、高品质、抗逆性强。中国科学院近代物理研究所利用重离子辐照育种技术已经在甜高粱、玉米、春小麦、冬小麦、马铃薯、中药材、畜草等方面选育出高产、高品质、抗逆性强的优良新品

系和新品种,并应用于能源作物、微生物、花卉、瓜果、桑蚕等的品种改良.中国科学院近代物理研究所用重离子辐照长寿花,使其产生变异,导致同株双色,见图6.

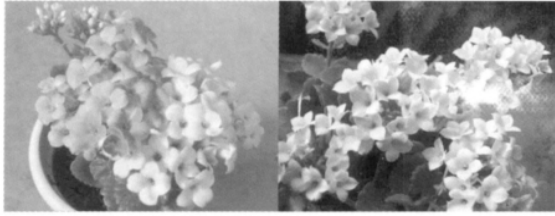


图6 长寿花经重离子辐照后产生变异导致同株双色(右侧为对照株)^[10](见《物理》网刊彩图)

3.2 辐射杀虫 (radioactive killing insect pest)

辐射杀虫是利用电离辐射防治虫害,其辐射效应与剂量大小有关,在适当剂量下,辐射的生物效应会导致昆虫生殖细胞染色体异位并受到损害,使当代受辐射的昆虫部分丧失延续后代的能力,并可遗传到下一代.辐射剂量再高会导致昆虫当代完全不育或致死.例如,美国东南部的螺旋锥蝇的幼虫在经过一定辐射后,就会丧失生育能力.然后,让这些绝育的螺旋锥蝇与虫灾地区的螺旋锥蝇进行交配,可让交配后的雌虫再也不会产卵繁殖了.这样,经过大约一年半的时间,就可以使这种蝇灭绝.辐射防治虫害,特别是昆虫辐射不育技术是一种“以虫制虫”的生物防治方法,对人类的生存环境不会产生消极影响.与传统的生物防治法不同,它不是借助天敌或者抑制物(如细菌微生物、病毒、抗生素等),而是利用害虫本能具有延续种族的特性来取得消灭害虫的效果^[6,11].

3.3 辐照保藏 (radioactive preservation)

辐照保藏是一项发展极快的灭菌保藏新技术.由于射线的穿透力较强,可以照射小包装,也可照射大型包装,适于工业化生产,且可在不解开包装的情况下照射,工作效率高.食品经辐照后不用冷藏,可保存其鲜度达数月一年之久,能有效地延长食品货架储藏寿命,便于运输,以满足边远地区和特殊作业人群的需要.

放射性同位素⁶⁰Co放出的 γ 射线具有较高的能量,穿透物质的能力强.一定剂量的照射,能杀死寄生在食品表面及内部的微生物和害虫.适当剂量的照射,能抑制农畜产品的生命活动,从根本上消除食品霉烂变质的根源.放射性同位素辐照在粮食、蔬菜、水果、肉类、调味品、中药等食品上,能杀死食品中的昆虫以及它们的卵及幼虫,并获得广泛应用.辐

照杀菌的最大优点是能彻底消灭微生物,防止病虫危害.这种技术具有其他灭菌保鲜技术不可替代的优点:杀虫、灭菌和抑制根茎类食品发芽等效果好,可以起到化学药剂所不能起到的作用^[6,12,13].

利用电子加速器产生的电子束进行辐照也是目前解决食品安全的有效方法之一,辐照后无放射性物质残留、无毒性和化学物残留,相对于放射性同位素辐照有操控性强、装置安全、辐照灭菌彻底有效等优点.利用电子束对食品进行辐照灭菌,适用于密度较低的食品或食品表面灭菌,其效果与采用 γ 射线辐照基本一样^[14].

研究表明,辐照食品对人体没有任何不良影响,可以供人食用,安全可靠.食品辐照加工可以减少食品添加剂和农药使用量,从而减少对人体的危害.食品在辐照过程中仅有轻微的升温,称为“冷加工”,在照射剂量恰当的情况下,食品的感官性状及营养成分很少改变.

说到食品的辐照保鲜,人们常常谈辐色变,其实人们大多数都是“身在辐中不知辐”.在我们的生活环境中,其实无时无刻不存在辐射,主要是来自宇宙射线、岩石、大气的辐射,在世界范围内平均每年每人都将接受2.4mSv的天然辐射剂量,也就是所谓的“本底辐射”.目前没有任何证据证实极低剂量的外加辐射会致癌.相反,还有学者通过动物实验证明,低剂量辐射反而提高了这些动物对高剂量辐射致癌的免疫能力.

2011年可以说是一个核辐射知识的普及年,因为日本福岛核事故引起的泄漏在全世界范围内造成了恐慌,影响面比1979年美国的三里岛核电站和1986年前苏联切尔诺贝利事故还要大.从公众盲目地抢购加碘盐,担心随大气环流带来的核尘埃,到现在的比较冷静地面对,充分证明了普及核辐射及核防护知识的重要性和必要性.在日常生活中,有了对核辐射及核辐射防护知识的基本了解,我们就不会盲目地拒绝接受新技术为我们的生活带来的便利,甚至产生不必要的恐慌情绪.

4 核物理应用展望

通过核物理相关技术的应用,核物理不仅与其他学科建立了广泛的联系,还在工农业生产、医疗、军事等领域发挥了巨大的作用;同时核物理的基础研究又为核技术的应用不断提供新的方法,描绘更广泛的应用前景.核物理基础研究和核技术应用,推

进了粒子加速技术和核物理实验技术的发展,而这两门技术的新发展,又有力地促进了核物理的基础研究和应用研究^[15,16].

核科学技术不仅对人类的生活,而且对世界的格局变化都产生了巨大的影响.展望未来,以同位素技术和辐射加工技术为代表的核技术将继续深入应用在能源、资源、环境以及人类健康等各个方面,并将在与信息技术、生物技术、纳米技术、环保技术等交叉渗透中发挥巨大的作用.

在全球范围内,面向核物理基础和应用研究的大型科学装置的兴建正方兴未艾,如德国的 FAIR 装置、法国的 SPIRAL2 装置、美国的 FRIB 装置、日本的 RIBF、中国的 CSR 和 BRIF 项目等,都是基于重离子加速器来研究物质的本质及粒子间的相互作用,主要研究目标包括:(1)粒子辐照效应、抗强辐射材料、纳米级材料设计;(2)生物辐照效应、重离子治癌、辐照诱变育种;(3)强相互作用物质结构和性质研究、新粒子态鉴别;(4)新能源探索、重离子惯性约束聚变及高能密度物质研究;(5)放射性束物理及天体演化关键节点的核过程研究;(6)高离化态离子和多电子量子体系及电子关联研究;(7)强流离子产生、传输、加速、聚焦及诊断方法;(8)超重新核素及新元素合成和性质研究.这些国际前沿课题的预期研究成果,无论是在新型抗辐射材料、辐射生物效应、重离子辐照育种、发展可再生能源方面,还是在重离子治癌、国家安全、解决宇航中的抗辐射问题等关系国计民生的方面,都会为核物理应用提供更加强有力的技术手段,发挥核物理的强大作用,这是和平利用核物理和核技术的重要方面.

参考文献

[1] 丁富荣,班勇,夏宗璜.辐射物理.北京:北京大学出版社,2004年10月[Ding F R, Ban Y, Xia Z H. Radiation Physics.

Beijing: Peking University Press, October 2004 (in Chinese)]

- [2] 阿波罗登月计划中的测量员计划. 见维基百科网站: <http://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E6%B8%AC%E9%87%8F%E5%93%A1%E8%A8%88%E7%95%AB>
- [3] 包振远. 近代史研究, 2008, (3): 140 [Bao Z Y. Modern Chinese History Studies, 2008, (3): 140 (in Chinese)]
- [4] 刘克新, 李坤, 马宏骥等. 核技术, 2001, 24(9): 783 [Liu K X, Li K, Ma H J et al. Nuclear Science and Techniques, 2001, 24(9): 783 (in Chinese)]
- [5] 北京大学核物理与核技术国家重点实验室网页 <http://sklnpt.pku.edu.cn/zyyqsb.html>
- [6] 罗顺中. 核技术应用. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2009年10月
- [7] 王增勇, 汤光平, 李建文等. 无损检测, 2010, (7): 504 [Wang Z Y, Tang G P, Li J W et al. Nondestructive Testing, 2010, (7): 504 (in Chinese)]
- [8] 马瑞德. 辐射加工技术. 成都: 四川科学技术出版社, 1984
- [9] 郭之虞, 王宇钢, 包尚联. 北京大学学报(自然科学版), 增刊: 北大物理 90 周年专辑, 2003, S1: 8
- [10] 肖国青. 中国科学院近代物理研究所核技术在生物应用研究中的进展及规划. 全国核反应会暨生物物理与核物理学科交叉前沿研讨会, 2007年4月10—16日, 昆明
- [11] 李光涛, 曹阳, 孙辉等. 粮食储藏, 2007, (2): 10 [Li G T, Cao Y, Sun H et al. LIANGSHI CHUCANG, 2007, (2): 10 (in Chinese)]
- [12] 徐昆龙, 肖蓉. 食品工业科技, 2005, 26(5): 179 [Xu K L, Xiao R. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(5): 179 (in Chinese)]
- [13] 赵晓南, 王成波, 胡少新. 黑龙江农业科学, 2011, (8): 151 [Zhao X N, Wang C B, Hu S X. HEILONGJIANG AGRICULTURAL SCIENCE, 2011, (8): 151 (in Chinese)]
- [14] 哈益明, 施惠栋, 王锋等. 核农学报, 2007, 21(1): 61 [Ha Y M, Shi H D, Wang F et al. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2007, 21(1): 61 (in Chinese)]
- [15] 王乃彦. 中国核工业, 2003, (6): 22 [Wang N Y. ZHONGGUO HE GONGYE, 2003, (6): 22 (in Chinese)]
- [16] Chai Zhi-fang. Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, 2000, 1(1): 19

· 封面故事 ·

相速度是描述波动现象的一个重要物理量,它与方向有关但不是矢量,也不遵循矢量分解的原则.在绝大多数文献中所说的相速度也叫最小相速度,是指沿位相场梯度方向的相速度,即等相面行进速度.从波函数形式看,几率幅和相位是相互独立的.波函数所谓的统计几率只与它的振幅有关,而相速度一般是从位相项计算得到.简单的推导发现,稳态 de Broglie 波的相速度可以直接从其几率分布和势场分布得到,无须知道位相项的具体形式.或者说,de Broglie 波的振幅不仅描述了几率分布,而且还描述了等相面行进速度即相速度分布.详见 *Chin. Sci. Bull.*, 2012, 57: 1494

(复旦大学核科学与技术系 王平晓 供稿)