

生物学中的物理实验举例

张锡娟

(扬州大学师范学院物理系 225002)

朱海星

(江苏省扬州教育学院物理系 225002)

现代生物学的发展离不开物理技术的应用, 物理学科的研究方法、思维方式具有通用性与普遍性的特点, 物理学研究中的基本方法对生物学的研究有着非常重要的借鉴作用。而生物学的发展又为物理技术的应用提供了新的领域, 扩大了物理研究的空间。从将小的发射机安放在动物体上进行跟踪, 研究动物活动规律, 到利用放射性物质的半衰期测定物体的寿命, 医学中的 B 超、X 光透视、CT 断层扫描等检查手段, 生物电、人体辐射、温室效应等自然现象, 都是物理学与生物学知识的综合应用。在物理教学中渗透生物学科中的应用, 对学生理解现代物理知识和培养应用创新能力都有深远的意义。下

面介绍的几例是明显的例证。

一、生物医学中物理技术

居里夫人应用 X 光检查战争中受伤病人的故事是物理技术应用于医学的典型范例。事实上, 从显微镜到 B 超, 到今天的 CT 和核磁共振等先进的医疗诊治, 物理学中的几乎所有重大技术突破都会或多或少地反映在医学领域中。这里举 3 个例子。

1 人体扫描器

人体扫描器是一种用于医学方面的仪器, 可以拍摄人体内部的照片。有两种基本形式的扫描器, 一是利用电脑断层摄影程序, 稀疏的 X 射线光束从不同的角度穿透照射身体, 其规律为 $I = I_0 e^{-\mu d}$, I_0

光盘来完成。常见的 CD-R 记录面有黄色和绿色两种, 是用染料聚合层记录信息, 以金膜作反射层, 常称为金盘。CD-R 盘片可在 CD-R 驱动器上阅读, 也可以在一般的 CD 驱动器上阅读(驱动器是根据光盘反射光读出数据的), 但 CD-RWC(可重复擦写光盘) 盘片只能在 CD-RW 驱动器上阅读, 但 CD-RW 驱动器可以阅读 CD-R 盘和 CD-ROM 盘片。

4.3 可擦写光盘(CD-RW, CD-Rewritable)

可擦写光盘可以记录、保存和拷贝大容量数据信息, 是利用激光技术制成的可以重复擦写的盘片。常见的 CD-RW 有两种, 相变型光盘和磁光盘。

(1) 相变型光盘

PD-相变型可重复擦写光盘全名是 Phase Change Rewritable Optical Disk, 是利用相变型光存贮材料在激光作用下, 材料发生晶态与非晶态相变及由此引起的反射率变化来进行记录和擦除, 它采用与 CD-ROM 相同的反射光方式读取数据, 向下兼容 CD-ROM 和 CD-R 盘片。

(2) 磁光型光盘

MO——磁光型光盘, (Magnet-Optical Disk) 也是一种可重复擦写光盘, 由磁光型可擦写光盘驱动器

来完成, 它的基本结构是在透明的片基(聚碳酸酯)上用阴极蒸发法附上一层薄而均匀的磁性膜, 磁性膜的材料是一种非晶态的稀土——过渡金属(RE-TM)薄膜, 稀土一般采用钆(Gd)、铽(Tb), 过渡金属常用钴(Co)和铁(Fe), 此薄膜具有较大的磁单晶各向异性常数, 高的矫顽力(Hc), 适中的居里温度(Tc, 材料超过此温度后, 磁性消失)和好的磁光效应, 在信号写入前先用强磁场对介质进行初始磁化, 使介质的磁畴具有相同的方向, 写入时, 在激光束聚焦区, 介质吸收激光能量后, 温度上升, 当温度上升到居里温度, 净磁化强度为零(退磁), 此时通过光头中绕有线圈的磁场的反向磁化, 在激光束离开聚焦区时, 使该区产生与周围磁化方向相反的磁畴, 这样就把信号写入介质。

从技术上来看, 相变型和磁光型两种光盘各有特色。相变型光盘向下具有兼容的特点, 磁光型光盘以其介质寿命长, 存储速度快而具有明显优势。

上面只是简单介绍了信息存贮技术中的机械刻纹存贮技术(唱片)、磁记录技术(磁带、磁盘)和激光刻录技术(光盘), 音像存贮发展的趋势是音频信号从模拟向数字化转变。记录媒体自磁带到光盘再趋向于全固态(全固态存贮技术)

为入射的强度, d 为通过物质的厚度, μ 为物质对 X 射线的吸收系数。X 射线探测器所搜集的结果经由电脑分析, 制成一张横切面照片, 叫做电脑断层扫描, 即 CT (Computed Tomography); 第二类型的扫描器是利用核磁共振原理, 使体内的氢离子在磁场内稍微移动后, 产生自己的磁场。这种共振可以被电磁共振扫描器上的感应元件侦测到, 从而在电脑断层摄影扫描器上, 采用电脑分析, 产生一张全身横切面图片, 叫做核磁共振成像术 (NMRICT)。

就 CT 而言, 其技术远非完善, 未来的 CT 将会发展为 MECT (Multiple Energy CT)。了解这一发展进程, 可以对 CT 的原理有进一步的认识。

传统 X 光照相得到的照片实际是体内各层组织或病变对 X 光吸收图像的重叠, 它无法单独区分某一层的信息。CT 则由于 X 光源及探测器进行了旋转扫描, 并采用现代计算技术进行数据处理, 得以逐层逐点重建整个横断面上 X 光吸收强度的图像, 从而从根本上克服了传统 X 光照相术中器官组织重叠问题, 这就是为什么 CT 能够更精确诊断的原因。

但是 CT 所使用的 X 光源仍是传统的 X 光管。这种光源产生的 X 光实际上是多种能量 (频率) 光子的混合物, 也就是说“多色”的 X 光, 而不是“单色”光。物质对不同能量 X 光的吸收是很不一样的, 因此 CT 探测器所收到的信息实际上不过是各种能量 X 射线吸收图像的某种平均。这种平均效应无疑将降低图像细微部分的对比度 (衬度), 使较小病变易被忽略。

使用单色或单一能量的 X 光可彻底解决这一问题。使用分光镜便可从复色光中分出所需单色光来。单色光仪的主体是一片衍射晶体 (如硅单晶), X 光入射到晶体上, 由于晶格对 X 光衍射干涉的结果, 在出射端, 沿不同的角度就可以获得不同频率的 X 光, 如同太阳光经棱镜折射后形成各种色彩的单色一样。采用单色 X 光, 原理虽然并不复杂, 但经过单色化, X 光的强度将要损失数千至数万倍! 解决这一问题的一个办法是使光源的强度足够强, 在单色化后尚有足够强度用于 CT。现代电子储存环引出的强度辐射光可以满足这一要求。

MECT 意为多种能量 X 射线计算处理断层照相术。这里所说的多种能量不是指同时使用多种能量 X 线去拍同一张照片, 而是指机器可提供多种能量的单色光以拍摄不同照片, 也即所提供的 X 光是单一能量的, 且此能量是可调节的。

磁矩不为零的原子核置于恒定磁场 B_0 中时, 原来的一个能级会分裂成几个磁能级。如果再在与 B_0 垂直的方向上加一交变电磁场, 当其频率合适时, 该原子核将在此交变场的激励下在各磁能级之间发生共振跃迁。这种现象称核磁共振。产生核磁共振的频率 ν 与恒定磁场的磁感应强度 B_0 的关系为 $\nu = rB_0/2\pi$, 其中 r 是核的回磁比, 不同的核 (或同一核的不同能级) 有不同的 r 值。对于最简单的氢原子核, 当 B_0 为 141T 时, 共振频率 $\nu \approx 60\text{MHz}$ 。改变 B_0 , ν 也相应改变。将物体置于具有线性梯度的磁场中, 物体的不同点上有互不相同的 B_0 值, 则各点将有不同的共振频率。测定共振谱线的频率分布就可得到物体各处共振核的空间分布。通过电子计算机可将这种分布还原为物体的图像。这项技术用于医疗诊断, 比 XCT 明显得多, 且对人体无伤害, 成像速度快, 提供信息多并对软组织分辨率高, 它可根据人体正常组织和癌变组织的质子密度等的不同而诊断癌症, 可根据脑部灰质和白质中质子所处环境的不同而分辨这两种组织, 虽然它们的密度仅差 0.2%, 这是用其他方法所不能做到的。

2 放射性药物诊断

应用放射性药物进行诊断和治疗是核医学的重要内容, 它是对付危害人类最为严重的疾病 (心脏病、癌症、艾滋病等) 必不可少的手段。20 世纪 30 年代后期发现 ^{131}I (碘 131) 在甲状腺中浓聚, 并开始用它研究甲状腺功能, 从而形成了第一个被临床应用的放射性药物。几十年来, 应用于临床的放射性药物越来越多。

用作药物的放射性核素应具备:

(1) 具有合适的半衰期, 多为几小时至十几天。随着测量技术和使用方法的改进, 半衰期为几分钟至几十分钟的核素也开始使用。(2) 可放出合适类型、合适能量的射线。如放出的 γ 射线能量一般应在 100—400keV。(3) 对人体无害。目前常用的这类核素有 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{197}Hg 、 ^{203}Hg 、 ^{198}Au 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ca 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 (左上角标有 m 表示该核素的同质异能素), 其中特别是 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (锝), 可制成多种化学药物应用于各脏器的诊断检查, 并且它所产生的单一能量的 γ 射线很适合显像造影, 病人口服或注射后, 探测放射性核素所放出的射线并进行显像, 即可了解该组织或器官的形态和病变情况。

3 心脏起搏器

心脏起搏器是一种人造心脏激励器。它向心脏发送小的电脉冲,以使心脏有规则地跳动。心脏起搏器适用于正常、健康的心律被损坏的情况。一个典型的起搏器大小约为 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 1\text{cm}$,重约 50g ,金属盒是用钛作的,外面套着一层橡胶,一般由锂电池或锌电池驱动,或者用原子能电池,其电源内有一薄片金属环,由它放出热并给一组热电偶供热,从而产生电。起搏原理是利用一电子脉冲电路发出规则的电流脉冲。通过调整阻值,可以增高或降低闪动频率,类似于心率在休息和活动时的不同情况。起搏器适时地向心肌提供电脉冲,电脉冲沿着一条线传到一个与心脏壁接触的电极上,它使心脏保持适当的心率,这很像是用电线去接触肌肉使它收缩。

埋植起搏器时,切一个小口使一条大静脉露出,把起搏器的导线插入静脉直通到心脏内部。电极头被稳固地安放在右心室的底部,并与肌肉接触,起搏器的盒埋放在上胸部的皮肤下面,整个手术只需20分钟。

起搏器要把电脉冲先送至心房,再送至心室。这与“天然”起搏器的工作原理相同。一个正常心脏的跳动由一个“天然”起搏器控制,它通过心脏发送一个电脉冲。这些脉冲先通过两个心房,并使心房收缩,结果通过瓣膜把血液挤进两个心室。在一个很短的时间间隔后,电脉冲通过心室,又使心室收缩,并把血液挤进肺部或身体各部。从大脑来的信息,通过神经传到天然起搏器,可以使心率加快。当天然起搏器或传送电脉冲的路径出毛病时,人造起搏器就可用来接替天然起搏器的工作。

除了上述两例外,现代技术对医学做出贡献的例子很多,例如外科器官移植手术、放射医疗法等。

二、研究生命的起源

研究生命的起源可以通过对化石、地质、天文等领域的研究来间接地展开。但现代技术的发展,使人们通过实验直接研究生命的起源成为可能。这里也举两例。

1 人工合成牛胰岛素

我国科学家于1965年9月首先用人工方法合成牛胰岛素,证明从有机小分子转化为有机高分子是可能的,成为用实验技术直接再现生命演化过程的里程碑。在人工合成完成后,还要证明人工合成的牛胰岛素与天然的牛胰岛素是否是同一物质,仍然要采用现代实验技术。

为了完成这一证明,科学家在人工合成过程中掺入放射性 ^{14}C ,以此作为示踪原子,然后将人工合成的牛胰岛素与天然的牛胰岛素混合,得到了放射性 ^{14}C 分布均匀的结晶物,从而证明两者都是同一物质。

2 原始大气中有机小分子产生过程的模拟

原始大气中,如何从无机分子产生有机分子,有很多猜测,但通过模拟实验的设想最有说服力。

美国学者米勒设计的一套模拟装置涉及物理、生物等学科的知识,其实验手段是物理实验方法,实验目的是为生命起源提供证据。他在该装置的烧瓶中模拟原始大气成分,充入甲烷、氨、水蒸气、氢等气体连续进行火花放电,通过电场将气体电离或断开化学键,最后在U形管内检验出有氨基酸生成,说明在生命起源中,从无机物合成有机物的化学过程是完全可能的。

三、生物世界中有趣的物理和生物现象

自然界中存在着一些有趣的物理和生物现象,对于这些现象的解释,可以使学生提高应用能力,拓宽知识面。

一个有名的例子是在沙漠中的一种蝎子,视力很差,却能利用相当于传感器的8只脚来判断沙漠中的小虫所处的方向,利用对横波和纵波的速度差来判断小虫的距离。还有海豚等动物能利用超声波在水中的衰减少的特点,准确而快速地捕捉食物。下面再举几个例子。

1 电鳗的生物电

电鳗为硬骨鱼纲,电鳗科。体呈鳗形,长达2余米,棕褐色,生活在水深超过200m的深海。它的尾部很长,其两侧各具发电器一对,能发出强烈电流,在海水中产生的电场强度超过 10^4N/C ,如果尾长为50cm,在放电时产生的瞬间电压可达5000伏,可把人击昏,甚至可击毙渡河的牛马。

类似的还有电鲛、电鳐。前者在背面皮下有成对的发电器,能击毙小动物,后者在头胸和胸鳍之间具一发电器,能发电御敌或捕食。

2 判断古生物的年代

古生物学是研究地质历史时期生物的形态、构造、分类、生态、分布、演化等规律的科学。研究对象是保存在地层中生物遗体和遗迹——化石。确定化石的年代有多种方法,其中常用的方法有放射化分析和放射性碳素断代。

等离子体物理及其技术的应用

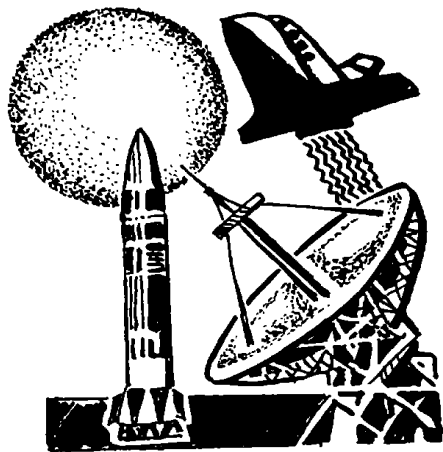
胡祥发

(昆明陆军学院物理教研室 云南 650207)

等离子体物理是物理学中一个年轻的分支学科。等离子体物理的研究已经成为人类认识宇宙,控制地球环境变化,以及最终解决能源问题的基础和保证。同时,它还开辟了很多新技术与新应用的发展途径。热核聚变等离子体、空间等离子体、天体等离子体和高技术等离子体的研究,越来越受到重视,已成为现代物理的主要组成部分。

一、什么是等离子体

1879年英国物理学家克鲁克斯在研究真空放电管的放电过程中,把电离态物质称为物质的第四态,等离子体概念就是从那个时候开始萌芽。1929年朗缪尔和汤克斯第一次引入“等离子体”这个名称,用以表示物质的第四态即完全电离或部分电离了的气体,它由离子、电子及未经电离的中性粒子所组成,从整体上看呈现电中性。等离子体是继物质存在的固体、液体、气体3种形态之后出现的第四态物质,其产生和运动主要受电磁场的作用与支配。像火焰和电弧中的高温部分,太阳和其他恒星的表面气层都是等离子体。在军事上,核爆炸、放射性同位素的射线、高超音速飞行器的激波、燃料中掺有铯、钾与钠等易电离成分的火箭以及喷气式飞机的射流



等,都能产生一定数量的等离子体。通常情况下,电离层中和各种飞行器射流产生的等离子体的电离度和密度都很低,不会影响飞行器的正常飞行和无线电设备的正常工作。

目前产生等离子体的方法主要有两种:一种是利用等离子体发生器产生等离子体。即在低温下,通过电源以高频和高压的形成提供高能量,再通过间隙放电或沿面放电,将气体介质激

活,使之电离形成等离子体;另一种是在兵器的特定部位(如强散射区)涂一层放射性同位素,其辐射剂量应确保它的 α 射线电离空气时所产生的等离子体包层具有足够的电离密度和厚度,以确保对雷达辐射的电磁波具有极强的散射和吸收能力。

从物理学角度来研究等离子体,所采取的方法有近似处理和统计处理两大类。近似处理中,对于不同类型的现象,可以采用单粒子模型或者流体模型。单粒子模型就是把等离子体看做由大量的独立粒子组成的系统。研究时完全忽略粒子间的相互作用,然后根据牛顿运动方程来确定单个带电粒子在电磁场中的运动轨道。然而,在有些情况下粒子间的相互作用不能忽略,这时必然把等离子体看成是连续的流体介质,这就是等离子体的流体模型。由于这

放射化分析亦称中子活化分析。用中子、光子或其他带电粒子照射试样,使被测元件转变为放射性同位素,根据这同位素的半衰期以及它所发射的放射线性质、能量等,以决定该元素是否存在、含量大小,并与已知年代的物质比较,判断试样的年代。

放射性碳素断代是测定古代遗存绝对年代的一种方法。碳的放射同位素碳14在有机物所含碳素中,占有一定比例。但有机物死亡后,则大约每隔

5570 ± 40 年减少为原有量的一半,即半衰期已知,由此可测出化石的年代: $N = N_0(1/2)^{t/T}$ 。

3 根的生长方向向下似乎没有疑问,但在空间站中,却会有不同的现象。

在太空中的宇宙飞船中,放置一株水平方向的幼苗,培养若干天后,根、茎生长的方向是水平方向。这一现象说明在太空进行植物种植试验,并不是一件容易的事。

种等离子体流体中存在大量的带电粒子,它是一种能导电的流体,它的运动受到磁场的影响。研究这种导电流体运动规律的科学叫做磁流体力学。本文在这方面不作阐述,主要是介绍等离子体的有关应用方面的知识。

二、等离子体在国民经济与科学研究中的技术应用

自1929年郎缪尔和汤克斯第一次提出“等离子体”概念以来,大约经历了70多年,等离子体不仅逐渐发展成了物理学中的一个新兴的分支学科,而且与其他多种科学紧密配合,相互交叉,构成了一些重要的边缘技术学科,应用极为广泛,经济与社会效益显著,并潜在着诱人的前景。其中较为典型的:一是应用于能源领域的受控热核聚变和磁流体发电。等离子体物理与受控热核聚变研究是密切相联的。受控热核聚变研究具有巨大的魅力,它能使人类面临的能源危机得到最终解决。核聚变能源是人类最理想的新能源,它以海水为原料,提取氢的同位素氘,在近亿度的极高温下发生核反应,释放出巨大能量。这种能源的原料取之不尽,用之不竭,而且极少放射污染。一旦实现,将引起人类社会生产力的巨大变革。它的研究成功与否,跟高温等离子体物理的深入研究关系十分密切。二是应用于材料科学领域的等离子体冶金、超细粉末制造,等离子体物理表面改性,离子束冷态表面冶金。三是利用等离子体的高温特性,应用于机械工业中的等离子体切割与焊接,熔炼与喷漆,电子束与离子束加工。四是利用等离子体发光特性,制造出各种各样的电光源。在国防工业中的等离子体火箭、粒子束武器、等离子体通讯等。

三、等离子体技术在军事上的应用

等离子体技术在军事上的应用,首先是等离子体隐形技术在军事上的应用,它是利用等离子体回避探测的一种技术。其基本原理是:利用等离子体发生器、发生片或放射性同位素在飞机(兵器)的表面或周围形成一种特殊的等离子体云团,等离子体的能量、电离度、振荡频率和碰撞频率等特征参数满足要求。敌方探测雷达发射的电磁波照射到环绕飞机的等离子体云团后,一部分电磁波能量被等离子体云团吸收。因为电磁波在穿越等离子体云团时与其中的带电粒子相互作用,将能量传递给带电粒子,自身能量被大大衰减。一部分电磁波被等离子体云团改变传输方向,不至产生反射。这两种现象会极大

地减少电磁波信号的反射,使雷达难以发现隐蔽在等离子体云团中的飞机,从而达到隐形的目的。而且等离子体隐形技术不涉及飞机本身的空气动力系统,在不影响飞机技术性能的同时,采用等离子体隐形技术的飞行器被敌方发现的概率可降低99%以上。这同一般的外形和材料隐形技术相比较,具有很多独特的优点:吸波频带宽、吸收率高、隐形效果好,使用简单、使用时间长,价格便宜;无须改变飞机的气动外形;由于没有吸波材料和吸波涂层,可极大地降低维护费用。

其次,利用等离子体云团,在空中设置“陷阱”,这就是常说的等离子体武器。在现代战争中,如何有效地抗击导弹袭击,是世界各国军事家共同关注的问题。现有的方式是“以导反导”,即使用反导弹拦截攻击导弹。由于攻击导弹目标小,飞行速度快,“以导反导”难度很大,就好比“大炮打蚊子”。由于等离子体隐形技术在美国、俄罗斯已取得了突破性的进展,于是有的科学家独辟蹊径,提出用等离子体武器消灭空中导弹的新方案,利用交汇的大功率电磁波束改变飞行器的飞行环境。这种武器主要由超高频电磁波束发生器、导向天线和大功率电源组成。等离子体武器辐射的电磁波束不是聚焦在目标上,而是聚焦在目标的前方和两侧,焦点处的空气被高度电离,形成电离度和密度极高的等离子体云团——空中“陷阱”。导弹、飞机等各种飞行器一旦进入等离子体云团,就会偏离飞行轨道,产生旋转力矩,只要1/10秒就可以使它“粉身碎骨”。另外,由于等离子体武器辐射的电磁波束是以光速传播的,导弹弹头的飞行速度不过8km/s,最多15km/s,对于等离子体武器辐射的电磁波束而言,相当于“慢镜头”动作或静止不动的目标,攻击非常方便,可在瞬间打击各种目标,不分主次,不辨真伪,假目标、真目标一并摧毁,能有效地对付来自太空和高、中、低空大气层的各种飞机、导弹的袭击。

