

11.5

带电粒子在磁场中运动

基本信息			
教学主题	带电粒子在磁场中运动	课时安排	1 课时(45 分钟)
所在章节	第 3 章第 6 小节(上册)		

【教学目标】

❖ 知识目标

(1) 了解运动电荷在磁场中受力的实验规律和数学表达,能够运用右手螺旋定则判断洛伦兹力的方向。

(2) 理解运动电荷在洛伦兹力作用下的运动规律,了解运动电荷在匀强磁场中的回旋半径、回旋频率和螺距的概念,以及磁聚焦现象。

(3) 了解运动电荷在非匀强磁场中的磁约束原理,以及这些特征在实际生活、工程技术和科学前沿中的应用。

❖ 能力目标

(1) 通过实际物理实验或现象到最终物理原理发现、归纳、总结的过程,学生能够提高自身发现问题、分析问题和解决问题的能力。

(2) 通过运动电荷在磁场中受力规律的研究,对应运动规律的描述,相关效应的说明,以及相关科学技术的应用,学生能够加强自身严谨的逻辑思维能力、探索意识和创新能力。

(3) 通过相关生活、实验现象和常见技术、科学前沿应用的比较、分析,学生能够形成较强的观察能力和逻辑推理能力,以及运用分析、比较、归纳和演绎等科学研究方法的能力。

❖ 思政目标

通过介绍我国可控核聚变装置“中国环流二号 M”建造运行的进展,在可控核聚变领域的最新研究成果,说明向实现清洁能源利用更近了一步,增强学生对科学研究的热情,对国家自豪感,对民族的自信心。通过科学方法的介绍,培养学生勤于思考的好习惯和严谨务实细致的学习态度。通过课堂思政培养学生积极向上的人生观和生活态度。

教学目标导图如图 11.46 所示。

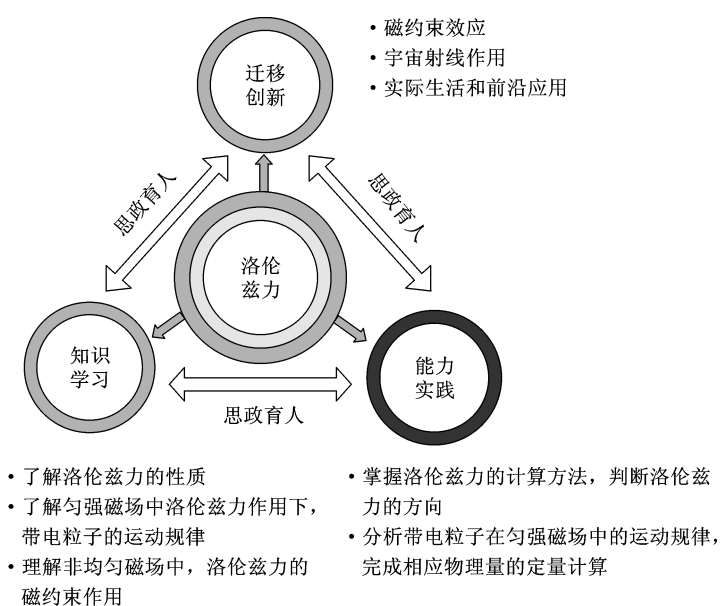


图 11.46 带电粒子在磁场中运动教学目标导图

【学生已具备的知识】

本次课之前学生已经学习了磁场的基本性质和特征, 掌握了磁场空间分布的计算方法, 了解了磁场对稳恒电流的磁力作用的基本规律, 并掌握了这种磁力的计算方法。通过安培力的学习知道了这种宏观的磁力在经典理论中可以看作是磁场对大量运动电荷作用力的宏观效应。在中学物理中也已经学习了运动电荷在匀强磁场作用下简单圆周运动的规律。但是一般的复杂磁场对任意运动电荷的磁力作用规律还不清楚, 需要进一步厘清。本节课将带来学生学习任意稳恒磁场对任意运动电荷所产生的洛伦兹力的规律。了解洛伦兹力的公式, 研究在不同受力情况下运动电荷的运动规律以及所产生的新的物理效应。了解这些基本性质和效应在实际工程技术、科学研究中的应用和最新进展创新。

【教学内容构成与导图】

本节课的教学内容导图, 如图 11.47 所示。

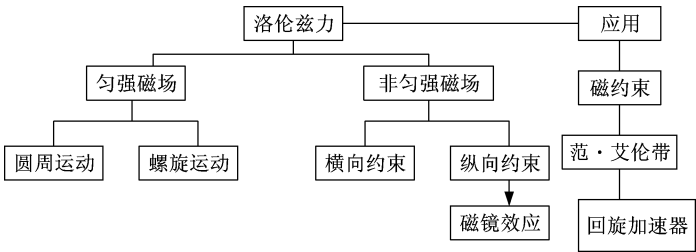


图 11.47 带电粒子在磁场中运动教学内容导图

【教学重点与难点】

❖ 教学重点

理解洛伦兹力的基本规律及在洛伦兹力作用下运动电荷的运动规律。



❖ 教学难点

- (1) 洛伦兹力的计算和方向判定。
- (2) 运动电荷螺旋运动和磁约束运动的规律。



【课程思政】

通过介绍中国的重要基础研究装置“中国环流二号 M”可控核聚变磁约束装置的研究进展,说明中国的磁约束聚变是如何一步步从无到有、从小到大、从弱到强的。中国的“人造太阳”梦即将变为现实,在能源领域的发展将迈上一个新的台阶。以此激发学生对科学知识学习的热情,使学生深刻体会我国的科技工作者对科学孜孜以求、攻坚克难的追求,对祖国和人民的忠贞不渝和无私奉献的精神,增强学生的国家自豪感和自信心。



【教学思路和方法设计】

❖ 内容分析

本节以实际天文现象的观察和电视报道为引子,现象背后物理原理的探索为主线,设问为导向,学生感兴趣的科学问题和技术应用、实际应用为辅助展开教学。

(1) 以实际的天文现象为引导,通过图片、视频中的现象,引导学生思考、分析现象背后的物理规律,突出处理问题的物理方法和逻辑思维能力的培养。

(2) 通过适当的问题设问,营造悬疑的课堂气氛,引导学生去寻找问题的答案。坚持以学生为主体,通过学生的参与厘清物理规律,吸引学生的注意力。

(3) 通过将课堂的物理原理与实际的攸关国家发展的重大基础研究和有趣的技术应用相连接,引发学生的学习热情。

❖ 教学设计思路

(1) 介绍电视《科学探索》栏目中新闻报道,以及在极地观察到极光的现象,分析这些天文现象背后的物理原因,认识地磁场对宇宙射线的磁力作用。

(2) 介绍经过大量实验事实验证的运动电荷在磁场中所受磁力的基本规律——说明洛伦兹力的数学表达式,明确洛伦兹力的计算方法和方向判断。

(3) 重点介绍运动电荷在匀强磁场中的圆周运动规律和螺旋运动规律,说明运动过程中的回旋半径、回旋频率和螺距的概念,明确磁聚焦效应的形成原因。

(4) 进一步说明运动电荷在非均匀磁场中的运动规律,突出说明洛伦兹力作用下形成的磁约束效应,详细说明横向和纵向磁约束效应。

(5) 介绍由洛伦兹力作用所产生的上述相关性质和效应在实际生活和科学技术中的应用。



【信息化教学资源】

- (1) 采用雨课堂进行教学。
- (2) 学校课程中心大学物理的课程平台。
- (3) 智慧树《大学物理》MOOC 平台进行线上线下混合教学。

教 学 过 程

◆ 课堂导入(4 分钟)

【天文现象】介绍在中央电视台的《科学探索》栏目的一期节目中报道：2005 年 9 月 25 号晚，南方航空公司一架飞往青岛的航班上的飞行员猛然发现飞机正前方的夜空中，出现了一个蚊香状的奇异的发光体，正以一种内螺旋轨迹飞行。奇怪的是，在空管部门的雷达上这个物体没有丝毫显示！同一天，在我国其他地区也有人看到了这一不明飞行物。科学家对这科 UFO 的一种假设性解释是：该现象是类彗流星体在穿经地球磁场时，由其上的等离子体（电浆）和地球磁场相互作用而形成的一种特殊天文现象。

显然在这一解释中考虑到了磁场对运动电荷的力的作用。这在大量的实验中已经被证实。

【引出思考】磁场中运动电荷所受磁场力的大小和方向如何确定？电荷运动的规律是怎样的？

◆ 新课展开(4 分钟)

【物理模型】磁场中有一电荷在运动（见图 11.48）。

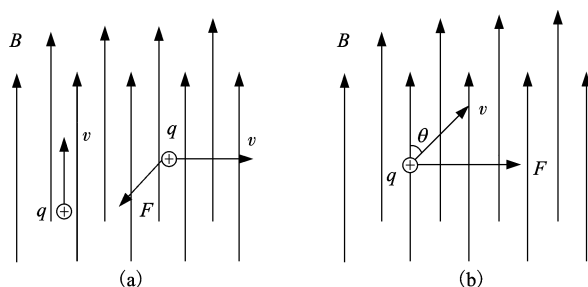


图 11.48 电荷在磁场中运动

实验表明，当带电粒子沿磁场方向运动时，受力为零[图 11.48(a)]。当带电粒子的运动方向与磁场方向垂直时，所受磁场力最大[如图 11.48(b)所示]。在一般情况下，当带电粒子运动方向与磁场方向成夹角 θ 时 $F = qv \times B$ 。这就是运动电荷在磁场中所受洛伦兹力的基本规律。洛伦兹力的方向可以通过右手螺旋法则来判断。

【引出思考】在这种洛伦兹力的作用下，运动电荷在磁场中的运动规律如何确定呢？

教学方法：电视报道，图片引入讨论。

设计意图：以问题和图片报道激发学生的好奇心，贴近生活。

教学方法：讲授法，讨论法，对比法。

设计意图：通过实际场景的物理抽象，帮助学生掌握物理建模和思考问题的方法。通过讨论对比帮助学生深刻理解物理概念。

◆ 知识深化(10 分钟)

运动电荷在洛伦兹力作用下的运动规律。

(1) 对于匀强磁场, 如果 v 与 B 垂直, 带电粒子在磁场中匀速圆周运动。

此时, 带电粒子所受的洛伦兹力充当向心力, 粒子做圆周运动, 如图 11.49 所示。

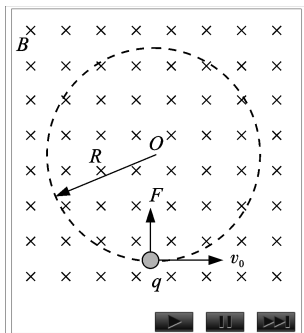


图 11.49 粒子做圆周运动

根据牛顿第二定律, $qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$, 可以求得此时粒子圆周运动的半径 $R = \frac{mv_0}{qB}$, 圆周运动的周期为 $T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$, 因此回旋频率为 $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$ 。

(2) 如果 v 与 B 斜交成 θ 角, 带电粒子在磁场中呈螺旋线运动(见图 11.50)。

【分析】将速度分别沿垂直于磁场方向和平行于磁场方向做正交分解, 可以得到分速度 $v_{\perp}$ 和 $v_{//}$ 。

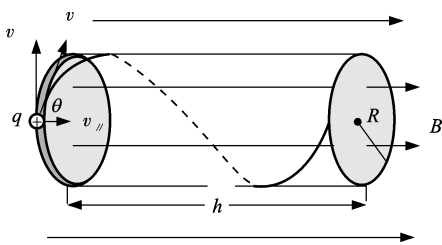


图 11.50 带电粒子在磁场中呈螺旋线运动

所以, 可以计算出螺旋运动的半径 $R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$, 以及螺距 $h = v_{//}T = v \sin \theta \cdot \frac{2\pi m}{qB}$ 。

磁聚焦效应: 一束发散角不大的带电粒子束, 若这些粒子沿磁场方向的分速度大小一样, 且它们有相同的螺距, 则经过一个周期它们将重新会聚在另一点。这种发散粒子束会聚到一点的现象叫磁聚焦(图 11.51)。

教学方法: 图形动画法, 讲授法, 逐步递推法。

设计意图: 通过图形做辅助帮助学生理解带电粒子在磁场中的运动规律。通过匀强磁场中圆周运动和螺旋运动的详细说明, 帮助学生逐步理解在均匀磁带电粒子的运动规律。

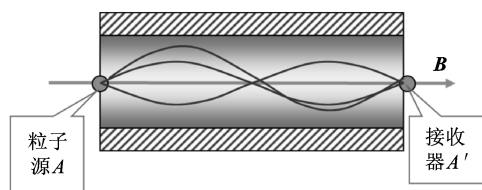


图 11.51 磁聚焦

◆ 课堂检测(5 分钟)

利用之前所学概念知识,引导学生讨论带电粒子在磁场中运动时相关物理量的计算和概念判断。利用雨课堂发布随堂测试试题或请同学到黑板上写出测试试题的结果并做一定的讲解,使学生更加深入理解所学的知识结论。

◆ 知识拓展(10 分钟)

【引出思考】如果在非均匀磁场中运动,运动电荷的运动规律会如何变化呢?

磁约束效应:在非均匀磁场中,速度方向与磁场方向不同的带电粒子,也要做螺旋运动,但半径和螺距将不断发生变化。螺旋运动的半径仍然和对应位置的磁感应强度有关,可以表示为 $R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \theta}{qB}$ 。当磁场逐渐增强,带电粒子运动半径逐渐减小,强磁场可约束带电粒子在一根磁场线附近,称为横向磁约束。在图 11.52 中, $f_{\parallel}$ 总会减少粒子的纵向前进速度,使粒子运动发生“反射”,所以在非均匀磁场中,纵向运动也会受到抑制,称为纵向磁约束。这一效应又称为“磁镜”效应。

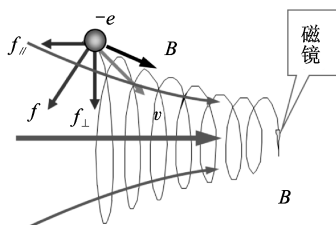


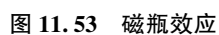
图 11.52 磁镜效应

粒子运动到右端线圈附近时,由于该处 B 很大,如果 v 初始速度较小,则 v 有可能减至为零,然后反向运动,犹如光线射到镜面上反射回来一样。带电粒子运动到左端线圈附近时,带电粒子轴向速度也有可能减至为零,然后带电粒子反向运动。通常把这种能约束运动带电粒子的磁场分布叫作磁镜,又形象地称为磁瓶,图 11.53 所示。

教学方法:知识检测法。

设计意图:让学生在前面所学知识的基础上练习计算匀强磁场中带电粒子的运动物理量的定理计算。加深学生对这一知识的理解。检测学生理解的效果。

设计意图:加深所学知识的难度,增强学生知识迁移的能力,激发学生探索创新的能力。



介绍磁聚焦效应在电子显微镜中的应用(见图 11.54)。

介绍地磁场的洛伦兹力对宇宙射线作用时形成的范·艾伦带(见图 11.55)和极光现象(见图 11.56)。

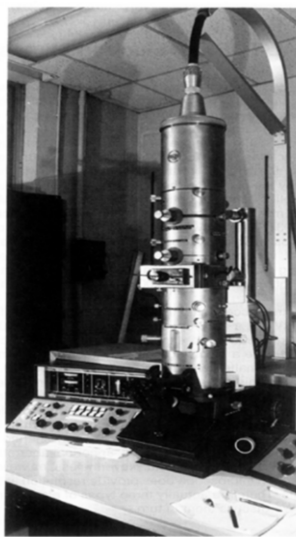


图 11.54 电子显微镜

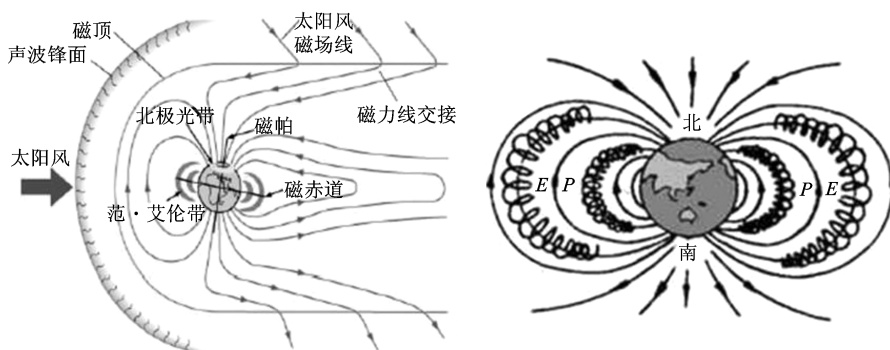


图 11.55 范·艾伦带

教学方法：讲授法，迁移法。

设计意图：增强学生知识迁移的能力，激发学生探索创新的能力。



图 11.56 地球极光和木星极光

◆ 科学前沿(3 分钟)

介绍我国的磁约束装置“中国环流二号 M”的建设进展(见图 11.57)。在地球上利用核聚变能,要求在人工控制条件下等离子体的离子温度达到 1 亿摄氏度以上。在地球上,没有任何材料可以把 1 亿摄氏度高温的等离子体给直接包裹起来。科学家们想出了用强磁场来约束高温核聚变燃料的办法。中国磁约束聚变一步步从无到有、从小到大、从弱到强。2020 年投入运行的“中国环流器二号 M”装置成为中国规模最大、参数最高的磁约束可控核聚变实验研究装置,中国的研究团队开始走向世界。

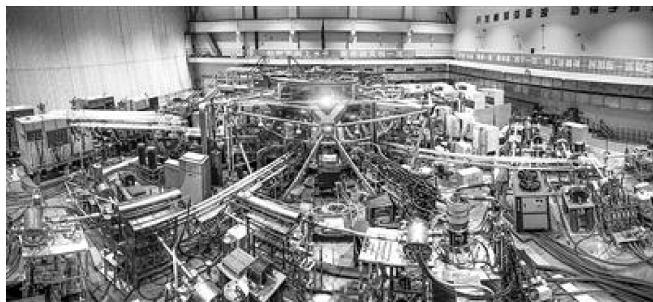


图 11.57 可控核聚变研究装置“中国环流二号 M

通过可控核聚变研究装置“中国环流二号 M”的介绍,说明我国在可控核聚变领域的重大研究成果,以及在这个领域开始走在世界领先的水平。对学生展开思政教育,激发学生对科学技术的热情和国家自豪感。

◆ 归纳总结与作业布置(5 分钟)

(1) 总结。

①洛伦兹力的基本性质,磁场中带电粒子在洛伦兹力作用下的运动规律。

②学生自由发表自己这堂课的启发和思考,内化所学知识;形成应用能力,进一步提高情感素养。

(2) 作业。

①练习册作业。

②预习下一节的知识。

教学方法: 图片说明。

设计意图: 加强学生知识应用的认知和视野,激发学生的学习欲望和热情,提高学生的科学素养。

设计意图: 总结梳理,巩固消化。理论与实际相结合。

◆ 板书设计

板书设计如图 11.58 所示。

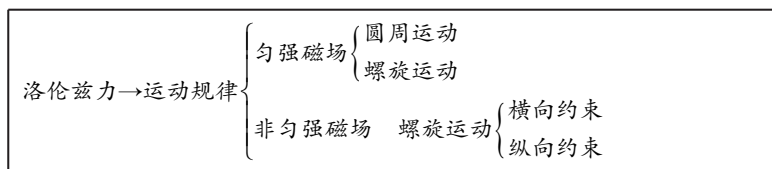


图 11.58 板书设计

教 学 后 记

本节课以实际的天文现象和科学报道为引导,以现象背后的物理规律的分析为主线,观察现象,设置问题,巧妙引入教学内容,贴近生活同时又创造了新奇、探索的教学情境。通过问题将学生的注意力牢牢吸住,激发学生的学习兴趣和求知欲。围绕问题,通过严密的逻辑关系,将知识内容层层推开。在此过程中积极设问、讨论,促进师生互动,充分发挥老师的主导作用和学生的主体作用。通过知识应用和前沿知识,加深学生的知识理解和印象,促进学生进一步探索科学新前沿的热情。通过课堂讨论、例题应用、学生神态,了解学生对知识的掌握程度,步步跟进,效果较好。通过课后作业、课后讨论,巩固课堂所学知识并加强课堂知识的难度,进一步拓展课堂知识的边界,让学生在作业和讨论中体会课堂知识。通过课堂知识与社会问题、人生历程做类比,激发学生的爱国热情和积极向上的人生态度,起到了较好的思政教育效果。

不足之处:课堂中对非均匀磁场中带电粒子运动规律讲解还不够深入,今后将在线上学习资源中补充相关内容,供学生线上学习。