# 第五单元 牛顿力学的局限性与相对论初步

## 一、单元概述

本单元参考《2017 年版高中物理课标》必修 2 的“牛顿力学的局限性与相对论初步”主题，主要由牛顿力学的局限性、相对论时空观、宇宙起源和演化等内容组成．学生在学习牛顿力学的基础上，从时空观的角度重新审视经典力学理论，并结合相对论的基本内容，初步形成时空观念．

在本单元学习中，学生经历无法应用牛顿力学解释新发现的现象、理论与实验结果存在较大误差等困境，了解牛顿力学的适用范围与局限性，体会人类对自然界的探索是不断深入的；在建立相对论时空观的过程中，初步了解时间延缓、长度收缩和时空弯曲等效应，体会相对论时空观与牛顿时空观的差异；初步了解宇宙起源的大爆炸理论和典型的恒星演化过程，关注相关的天文研究进展，激发对宇宙奥秘的探索兴趣．

本单元课程内容学习建议安排 4 课时．

## 二、内容要求

本单元对应《2017 年版高中物理课标》必修2的“牛顿力学的局限性与相对论初步”主题，下表中的“标引”与《2017 年版高中物理课标》【内容要求】下的序号一致．“内容”是根据【内容要求】提炼出的单元主要内容，“具体要求例举”是针对主要内容给出的表现性要求的示例．

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **标引** | **内容** | **具体要求例举** |
| 2.3.1 | 牛顿力学的局限性 | **知道牛顿力学的局限性**．能说出牛顿力学的适用范围，能识别牛顿力学不适用的物理情境；认识到人类对自然界的探索是不断深入的． |
| 2.3.2 | 相对论时空观 | **初步了解相对论时空观**．能说出狭义相对论的主要观点，能说出时间延缓效应和长度收缩效应，能简述相对论时空观与经典力学时空观的区别；能说出物质与时空的关系，能列举狭义和广义相对论的主要观测证据，认识到物理理论需要接受实践的检验． |
| 2.3.3 | 宇宙的起源和演化 | **初步了解宇宙的起源和演化**．能说出宇宙起源的大爆炸理论，能简述典型的恒星演化过程， |

## 三、教学指引

### （一）内容结构导图

牛顿力学的局限性

相对性原理

光速不变原理

相对论时空观

广义相对论

狭义相对论

时间延缓

效应

宇宙的起源和演化

长度收缩

效应

大爆炸

理论

恒星的

演化

### （二）任务设计举隅

本单元的任务设计思考路径是：在研读《2017 年版高中物理课标》的基础上，发掘出学生完成本单元学习后能够处理的一项任务，将其作为本单元学习的核心任务．《2017 年版高中物理课标》必修 2“牛顿力学的局限性与相对论初步”主题的活动建议中有“（1）阅读有关相对论的科普书刊，在同学中举办小型讨论会，”“（2）观看有关宇宙起源的科教电视专题片，了解宇宙的演化．”，它提供的活动形式与单元学习内容的特点和素养培育的侧重相适切．本单元的学习内容比较抽象，甚至与生活经验相悖；本单元的素养要求有两个重点，一是初步形成时空观念，二是体会人类对自然界的探索是不断深入的．核心活动的设计宜从理论的发展入手，以时空概念为线索，因此，将单元的核心任务确定为“撰写《时空简史》”．在教学中核心任务还需要进一步分解，以利于逐步落实，具体的任务分解、相关的教学内容及课时安排详见下表．

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **核心任务（问题）及其分解** | | **教学内容** | **课时安排** |
| 撰写《时空简史》 | 梳理牛顿力学不适用的情况 | 牛顿力学的局限性 | 1 |
| 比较牛顿和爱因斯坦的时空观 | 相对论时空观 | 2 |
| 搜索宇宙起源和演化的相关资料 | 宇宙的起源与演化 | 1 |

### （三）重点活动举隅

#### 1．单元活动

活动名称 撰写《时空简史》

活动资源 有关相对论的科普书目、有关宇宙起源与恒星演化的科普视频．

活动系列

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 对应课时 | 活动过程 | 活动说明 |
| 第一课时 | 归纳总结牛顿力学的局限性是如何被科学家发现的？  微型辩论牛顿力学到底是对是错？ | 学生对牛顿力学不适用的场景感到比较陌生，学习的重点是体会牛顿力学局限性的发现与新的观测证据或理论的出现密切相关．  通过辩论，学生学习如何有理有据地表达观点． |
| 第二课时 | 分析讨论 同时的相对性、时间延缓效应和长度收缩效应如何改变人们对时间和空间的认识？ | 牛顿和爱因斯坦的时空观比较抽象，在初步了解相对论效应之后，学生分析比较二者的时空观时就有了一定的基础． |
| 第三课时 | 实例分析卫星定位系统中，狭义和广义相对论效应分别会对时钟精确同步产生什么影响？ | 将抽象的时空概念与生活中的时间和位置测量联系起来，感受时空观的变化对人类生活的影响． |
| 第四课时 | 分析讨论如果太阳从诞生到变成白矮星是一天，此刻大约是几点？ | 观看科普视频片段，以时间轴的方式记录太阳各个阶段所经历的时间，了解典型的恒星演化过程． |

设计意图 时空是非常抽象的概念，学生生活中对时空的理解与物理学理论对时空的

界定有所不同，而理论自身也经历了时空观念的转变．本单元的学习活动以推演、思辨为主，

以撰写《时空简史》为载体，教师驯导学生通过课堂学习和课外资料查阅，让学生尝试将绝对时空观和相对论时空观的内容、时空观念转变的历程、理论与观测证据的关系等用科学的语言进行表达和交流．

#### 2．课时活动

活动 1 了解相对性原理和光速不变原理

活动资源 伽利略在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》中借辛普利邱和萨尔维阿蒂讨论相对性原理的对话．

活动过程

［分析讨论］ 回顾学习平抛运动时的示例，无论船静止还是匀速运动，从桅杆上静止释放一个小球，球都会落在同一位置．讨论若船完全封闭，能否通过落体实验判断船是静止还是匀速运动．展示辛普利邱和萨尔维阿蒂的对话，并将结论推广到力学规律，了解伽利略相对性原理．

［计算分析］ 一辆列车以速度 *v* 匀速行驶，若在车厢内向前发出一束光，光速为 *c*，计算车厢内和地面上的观察者测得的光速．学生根据生活经验进行计算，引出伽利略变换．

［微型辩论］ 麦克斯韦的电磁理论指出真空光速在不同参考系中大小相等，并且得到了一系列实验验证．组织学生针对应该选择伽利略变换还是麦克斯韦电磁理论展开辩论，介绍不同科学家的选择，体会爱因斯坦的想象力和创造力．

活动说明 教师在提出每个问题后，可以根据学生的情况组织思考、讨论和交流．在［分析讨论］环节，教师可再列举其他力学方法，供学生讨论，再推广到力学的一般规律.［计算分析］的问题符合学生的生活经验，此处计算的结果是［微型辩论］环节的基础，重点不在于学习伽利略变换的一般方法，微型辩论时可先让学生分小组讨论，然后选出代表发言，辩论没有确定的答案，主要考虑陈述的逻辑性．

设计意图 相对性原理和光速不变原理是本单元的核心内容，但学生不易理解其含义，可能的原因是，一方面其中出现的“惯性系”“物理规律具有相同形式”等表述较为抽象，另一方面这两条原理与伽利略相对性原理、电磁理论密切相关，需建立关联．本活动设计通过一系列问题，串联相对性原理、伽利略变换及其在电磁理论中遇到的困难，最后引出这两条原理，

## 四、评价示例

本单元评价包括三个部分：一是日常课堂活动评价，可以选择本单元的重点活动进行评价，例如对学生第一课时参与“微型辩论”的活动表现进行评价，建议从参与的积极性、辩论过程中能否举出论据、论据与论点是否具有逻辑关系等角度肯定学生的优点，指出可改进之处．二是日常作业评价，在完成本单元学习后，学生或教师根据作业的正确率、订正率等情况，完成本单元的日常作业评价；若完成单元长作业“撰写《时空简史》”，可根据提供的评价表进行评价．三是单元检测，教师根据学生在规定的时间内完成本单元检测的情况给出测试的成绩．以下给出了部分课堂例题、课后作业及单元检测的示例，供教师参考使用．

### 示例 1

宇宙射线进入大气层后，会在大气层顶部产生 μ 子．μ 子是一种不稳定的粒子，会很快衰变．在实验室中测得 μ 子静止时的平均寿命约为 2.2 μs．大气层顶部产生的 μ 子以大约 0.999 4*c* 的速度飞行，地面上的观测者测得弘子的平均寿命约为 63.5 μs．分析说明地面上测到 μ 子平均寿命增大的原因．

分析 在相对于 μ 子静止的参考系中测得的时间是固有时．以地面为参考系时，μ 子相对于地面以接近光速的速度运动，地面上的观测者会观察到明显的时间延缓效应．

解答 以地面为参考系，μ 子相对于地面以接近光速的速度运动，出现时间延缓效应，因此在地面观测者看来 μ 子的平均寿命增加了．

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **内容** | **涉及的主要素养** | **质量水平分析** |
| 相对论时空观 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能在具体情境中，判断某一参考系中测得的时间与固有时的关系，达到水平二． |

说明 本示例建议在学习“时间延缓效应”后作为课堂反馈或课后作业使用，不要求运用公式计算，只需分析说明即可．可根据学生情况进一步推理：若不考虑相对论效应，根据题设条件，μ 子发生衰变前在大气层中运动的平均距离约为 659.6 m，μ 子几乎不可能达到地面；而实际观测表明 μ 子能够在衰变前穿透大气到达地面．观测结果与狭义相对论的理论计算相符，是狭义相对论的重要实验证据之一．

### 示例 2

（多选）有一艘从地球匀速飞向太空的宇宙飞船，地球上的观察者发现宇宙飞船上的钟比地球上的走得慢．则宇宙飞船上的观察者（ ）．

A．也认为自己的钟比地球上的走得慢

B．发现飞船上钟的快慢与其在地球上时没有变化

C．发现地球上的钟比飞船上的走得慢

D．认为地球上观察者记录的时间不准确

分析 宇宙飞船中的观察者与宇宙飞船相对静止，测得的是固有时，与他静止在地球上测得的时间相同，因此 B 正确；而地球是相对于他运动的参考系，他会观察到地球上的钟比宇宙飞船里的走得慢，因此 A 错误、C 正确；两个参考系测量的时间对各自都是准确的，因此 D 错误．

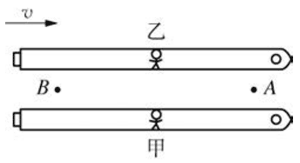
解答 B、C

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **内容** | **涉及的主要素养** | **质量水平分析** |
| 相对论时空观 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能在具体情境中，判断相对于自身静止和运动的两个参考系中所测时间的关系．达到水平二． |

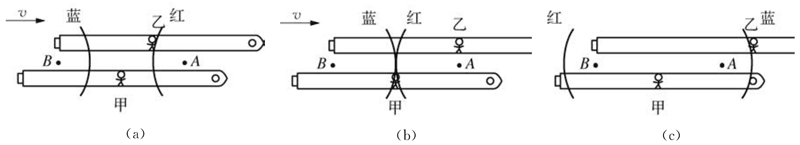
说明 本示例建议在学习“时间延缓效应”后作为课后作业使用．

### 示例 3

如图 5 - 1，甲乘坐的飞船静止，乙乘坐的飞船以速度 *v* 向右匀速行驶．某时刻两艘飞船齐平，甲、乙两人也齐平，此时甲右侧 A 点发出一束红光，左侧等距离的 B 点同时发出一束蓝光．分析说明，在甲、乙看来两束光是否同时发出？

分析 本题与教材中的情境略有不同，但分析思路相同，图 5 – 1 既可以巩固所学知识，又可以检测学生是否理解了同时的相对性，通过画出红光和蓝光分别到达甲、乙时两人的相对位置，判断两人接收到信号的先后，可知在甲、乙看来两束光是否同时发出．

解答 如图 5 – 2（b）所示，甲乘坐的飞船静止且 A、B 两点在甲两侧等距离处，因此两束光同时到达甲所在位置，即在甲看来两束光是同时发出的．乙以速度 *v* 接近A，远离 B，根据光速不变原理可知，光源 A 发出的光将早于光源 B 发出的光被乙接收到，如图（a）所示．所以在乙看来，两束光不是同时发出．进一步分析可知，乙先于甲接收到红光，晚于甲接收到蓝光，如图（c）所示，在甲看来同时发生的两个事件，对乙而言则变为先后发生的两个事件．



属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **内容** | **涉及的主要素养** | **质量水平分析** |
| 相对论时空观 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能在与应用示例相似的情境中分析两个事件在不同观察者视角中是否同时发生．达到水平二． |

说明 本示例建议在学习“同时的相对性”后作为课后作业使用．

### 示例 4

2016 年科学家首次宣布探测到引力波，引力波的发现成为了以下哪个理论的实验证据？（ ）．

A．牛顿运动定律 B．万有引力定律

C．狭义相对论 D．广义相对论

分析 引力波的存在是广义相对论的推论之一，因此成功探测到引力波成为验证广义相对论的又一有力证据．

解答 D

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **内容** | **涉及的主要素养** | **质量水平分析** |
| 相对论时空观 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能识别广义相对论的实验观测证据．达到水平二． |

说明 本示例建议在学习“相对论初步”后作为课后作业使用，或作为单元检测使用，完成时间约 1 分钟．

### 示例 5

根据本单元所学内容，搜集相关资料，撰写《时空简史》，简述人类对时间和空间认识的发展历程，引用的资料应注明出处，杜绝抄袭．

附：评价量表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **评价指标** | **表现描述** | **评分** |
| 科学性 | 能使用准确的科学语言叙述；内容与逻辑方面无明显科学性问题 | 0□ 1□ 2□ 3□ 4□ 5□ |
| 可读性 | 语言通顺浅白，无歧义；叙述生动有趣，能激发阅读兴趣 | 0□ 1□ 2□ 3□ 4□ 5□ |
| 规范性 | 准确注明所引信息的出处；抄袭按零分计 | 0□ 1□ 2□ 3□ 4□ 5□ |
| 丰富性 | 包含牛顿和爱因斯坦的时空观；能拓展到古代中国和西方对时空的认识，以及现代理论的最新发展 | 0□ 1□ 2□ 3□ 4□ 5□ |

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **内容** | **涉及的主要素养** | **质量水平分析** |
| 相对论时空观 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能阐述牛顿时空观和相对论时空观．达到水平二． |

说明 本示例建议作为单元长作业，在单元第一课时发布任务，完成时间可定为 1 ~ 2 周，根据学校实际情况，可由学生独立完成或小组合作完成，作业的成果可以在班级中展示或利用数字平台交流．在布置作业的同时可提供评价量表，指出学生撰写时应注意的方面，评价可根据实际情况采用学生自评、互评、教师评价或组合评价的方式．