# 第八章 牛顿力学的局限性与相对论初步

## 第一节 牛顿力学的局限性

1．下列物体的运动，哪些可以在牛顿力学的框架下得到解释，哪些不能在牛顿力学的框架下得到解释？

A．人造卫星 B．飞行的鸟

C．中子星 D．射出的子弹

E．电子

2．对下列物体运动速度计算速度比 。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 运动物体 | 马拉松运动员 | 赛车 | 歼击机 | 从太阳系逃逸的卫星 | 高能粒子 |
| *v* | 20 km/h | 260 km/h | 3 000 km/h | 16.7 km/s | 0.99*c* |
|  |  |  |  |  |  |

3．目前世界上最大的加速器可以将单个质子加速到 1.12×106 J（即 7 TeV）的能量，按照牛顿力学，这个质子的速度为多大？是光速的多少倍？（质子质量 *m*p = 1.67×10−27 kg）

4．对于质量为太阳质量的 3 倍、半径为 20 km 的中子星，计算无量纲数 （太阳质量 *m*日 = 1.989×1030 kg、万有引力常量 *G* = 6.67×10−11 N·m2/kg2、光速 *c* = 3.0×108 m/s）。

5．银河系中心很可能是一个巨型黑洞，质量大约为太阳质量的 400 万倍，半径约 1.0×107 km，计算无量纲数 。

6．在什么情况下，我们可以放心地使用牛顿力学来讨论问题？

\*7．如果在金星和地球上做同样的物理实验，哪种情况下的实验更符合牛顿力学？

### （一）参考解答

1．A、B、D 可以在牛顿力学框架下得到解释。C、E 不能在牛顿力学框架下得到解释。

2．见下表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 运动物体 | 马拉松运动员 | 赛车 | 歼击机 | 从太阳系逃逸的卫星 | 高能粒子 |
| *v* | 20 km/h | 260 km/h | 3 000 km/h | 16.7 km/s | 0.99*c* |
|  | 1.85×10−8 | 2.41×10−7 | 2.78×10−6 | 5.57×10−5 | 0.99 |

3．按照牛顿力学，可以认为质子的能量就是动能，因此有

*E*k = *m*p*v*2，*v* = = m/s ≈ 3.66×1010 m/s = 122*c*

按照牛顿力学，质子的速度将是光速的 122 倍。

4． = = 2.21×10−1

5． = = 0.590

6．如果速度比 远小于 1，无量纲数 远小于 1，说明速度很小，引力场很弱，并且研究对象的尺度远大于原子的尺度，我们就可以放心地使用牛顿力学来讨论问题。

7．金星和地球质量差不多，但金星相对地球离太阳更近，太阳引力场更强，所以在地球上做物理实验的结果更符合牛顿力学。

### （二）习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 题号 | 运动与相互作用 | 科学推理 | 科学论证 | 问题 | 解释 | 科学本质 |
| 1 |  | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 2 | Ⅰ |  |  |  |  |  |
| 3 | Ⅰ |  |  | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 4 |  |  |  | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 5 |  |  |  | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 6 |  | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 7 |  | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |

## 第二节 相对论初步

1．一列高铁高速行驶时，车上一个人拿着激光笔一边往前跑一边向前发出激光，车厢里坐着的乘客和地面上静止的路人看到的光速分别是多大？

2．如果在一艘匀速行驶的游轮上的密闭船舱内做物理实验，能否测出游轮的速度？

3．一高速列车以速度 *v* 向右匀速运动，在车上的乘客与地面观察者正好相遇的时刻车头和车尾同时被闪电击中，则在地面上的观察者看来，闪电击中车头和击中车尾是同时发生的还是有先后的？

4．两列高速列车以相同速率相向而行，则在地面观测者看来，两列车上的钟的快慢是否相同？列车上的观测者认为对方车上的钟比自己的钟快还是慢？

5．载人飞船发射时，地面上的观察者发现，点火后经过 592 s，飞船进入预定轨道，飞船上的航天员记录的相应时间比 592 s 更短还是更长？

6．一个短跑运动员以 10 m/s 的速度跑完 100 m 长的跑道，这名运动员认为自己跑完的距离比 100 m 稍短还是稍长？

7．狭义相对论和广义相对论的基本原理是什么？

8．若列车高速驶入一个静止长度与列车相同的隧道，隧道内的观察者认为有一个时刻列车完全在隧道内，列车上的观察者认为列车在任何时刻都不是完全在隧道内。谁的说法正确？

9．按照广义相对论，同步卫星上的钟和地面的钟相比，哪个走得慢？

10．丹麦天文学家罗默通过观测“木卫一”的运动来测量光速，地球、木星与“木卫一”的位置示意如图 8–1 所示。根据观测，“木卫一”绕木星的周期约为 42 h 30 min，所以每隔 42 h 30 min“木卫一”就被木星遮住（木星食）一次。因为木星绕太阳公转周期为 12 年，可以认为地球绕太阳公转半圈时木星在公转轨道上的位置变化不大。罗默发现，当地球离木星最近和最远时（即相差半年），看到“木卫一”从木星背后出现的时间相差约 22 min。如果日地平均距离为 1.50×1011 m，则罗默得到的光速是多大？如何改进误差？

木星和它的卫星

地球

当地球远离木星的时候，木星食将推迟

\*11．远处有一组恒星构成一个圆环，当恒星和太阳在同一方向时，地球上的人会因为太阳的照耀而无法看到恒星环。如果此时正好发生日全食且太阳正好落在恒星环之中，看到的恒星环会比没有太阳时看到的恒星环大一些还是小一些？

### （一）参考解答

1．根据光速不变原理，不论光源和观察者如何运动，光速都是 *c*，始终不变。

2．根据相对性原理，物理规律在所有惯性系中都具有相同的形式，因此在平稳行驶的涛轮上的密闭船舱内做物理实验，无法测出游轮的速度。

3．同时是相对的，对车上的观测者是同时的事件对地面上观测者就不是同时的。因为列车向右运动，所以地面的观察者看到的是闪电先击中车尾，再击中车头。

4．因为时钟变慢只跟速率有关，所以地面上观测者认为两列车上的钟的快慢是相同的，而对其中一列车上的观测者来说，对方的车是在做相对运动，所以对方的时钟会变慢。

5．因为时钟变慢效应，飞船上的钟走得慢一些，所以记录的时间会小于 592 s。

6．因为长度缩短，运动员认为自己跑完的距离比 100 m 稍短。

7．狭义相对论的基本原理是：相对性原理和光速不变原理。广义相对论的基本原理是：广义相对性原理和等效原理。

8．都对。因为运动是相对的，根据相对论的长度缩短效应，列车上的观察者认为隧道缩短了，所以列车比隧道更长，而隧道内的观察者则认为列车缩短了，隧道比列车更长。

9．同步卫星离地面高度约 36 000 km，所以引力场比地面要弱一些，按照广义相对论，引力场越强，钟就越慢。因此地面上的钟比同步卫星上的钟慢一些。

10．假定多余的时间正是光穿过地球公转轨道直径的时间，因此有

*c* = = m/s ≈ 2.27×108 m/s

考虑到木星位置的变化和光传播距离的变化，可以减小误差。

11．由于恒星的光经过太阳时会弯曲，看上去会觉得恒星位置向外有一点偏移，所以在日全食时看到的恒星环会比没有太阳时看到的恒星环显得大一些。

### （二）习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 题号 | 运动与相互作用 | 模型建构 | 科学推理 | 科学论证 | 证据 | 解释 | 科学本质 |
| 1 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 2 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 3 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |  |
| 4 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |  |
| 5 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |  |
| 6 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 7 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 8 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |  |
| 9 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |  |
| 10 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |
| 11 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |  |

## 第三节 宇宙的起源与演化

1．主序星（正常恒星）、红巨星、白矮星、中子星各有什么性质？

2．宇宙微波背景辐射是产生于星系形成之后还是之前？宇宙微波背景辐射有什么性质？

3．恒星的巨大能量是如何产生的？为什么地球不会自己发光？

4．什么是暗物质？有可能用光学或射电望远镜观测到暗物质吗？

5．小质量恒星和大质量恒星分别会演化成什么样的致密天体？

6．如果有一艘宇宙飞船向黑洞飞去，约定每隔相同的时间间隔就向地球发一个确定波长的信号，地球上的观测者看到的是什么样的情景？

### （一）参考解答

1．主序星是类似太阳的恒星，核心区域进行核聚变产生能量；红巨星形成于小质量恒星演化晚期，其特点是体积大、温度低；白矮星是小质量恒星演化的最终产物，特点是体积小、密度大；中子星是质量较大恒星演化的最终产物，通常在超新星爆发后产生．体积更小，密度更大。

2．宇宙微波背景辐射产生于大爆炸38万年后，星系形成之前。光子与物质不再有相互作用，变成自由光子，随着宇宙膨胀温度逐渐降低，形成现在观测到的宇宙微波背景辐射，目前温度为 2.7 K，在宇宙中的分布是均匀各向同性的。

3．恒星的能量来自核心区域的核聚变，由于恒星的巨大质量产生的引力收缩使核心区域形成高温高压的条件，使得氢聚变为氦的聚变反应得以持续进行。地球没有巨大的质量，核心区域不足以产生高温高压的条件，不会发生核聚变，因而不会自己发光。

4．暗物质不发光，没有电磁辐射，和普通物质只有引力作用，是目前尚未发现的一种未知的物质。因为没有电磁辐射，所以无法用光学或射电望远镜观测到暗物质。

5．小质量恒星演化到晚期先进入红巨星阶段，最后形成白矮星。大质量恒星演化到晚期将发生超新星爆发，最后形成中子星甚至黑洞。

6．引力场越强，红移越大，时钟越慢。因此地球上的观测者将会发现，宇宙飞船发回信号的时间间隔越来越长，信号波长也越来越长，到接近黑洞时已经完全接收不到信号。

### （二）习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 题号 | 物质观念 | 能量观念 | 模型建构 | 科学推理 | 科学论证 | 问题 | 证据 | 解释 |
| 1 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 2 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 3 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 4 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 5 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 6 | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ |