《相对论》内容概要

理论内容总结：

- §5.1 狭义相对论以前的力学和时空观
- §5.2 电磁场理论建立后呈现的新局面
- §5.3 爱因斯坦的假设与洛伦兹变换
- §5.4 相对论的时空观
- §5.5 相对论的多普勒效应
- §5.6 相对论速度变换公式
- §5.7 狭义相对论中的质量、能量和动量
- §5.8 广义相对论简介

练习题总结

洛伦兹变换	基本公式	正变换：$\begin{cases} x'=\dfrac{x-\upsilon t}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y'=y \\ z'=z \\ t'=\dfrac{t-\dfrac{\upsilon}{c^2}x}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases}$	逆变换：$\begin{cases} x=\dfrac{x'+\upsilon t'}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y=y' \\ z=z' \\ t=\dfrac{t+\dfrac{\upsilon}{c^2}x'}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases}$
	应用	空间收缩	$l=l_0\sqrt{1-\beta^2}<l_0$，在运动方向上收缩。在运动参考系中，同时测量两端点
		时间膨胀	$\Delta t'=\dfrac{\Delta t}{\sqrt{1-\beta^2}}>\Delta t$ 同一地点发生的事件即固有时间最短
相对论多普勒效应（由光速不变原理，对接收器来说光速永远都是 c。故只考虑光源运动）	一般公式（将 υ 投影到光源与接收器连线上） $\nu=\dfrac{\sqrt{1-\beta^2}}{(1-\beta\cos\theta)}\nu_0$		
	光源向着接收器运动	$\theta=0\Rightarrow\ \nu=\sqrt{\dfrac{1+\beta}{1-\beta}}\,\nu_0$	
	光源背离接收器运动	$\theta=\pi\Rightarrow\ \nu=\sqrt{\dfrac{1-\beta}{1+\beta}}\,\nu_0$	
	光源或接收器在二者联线垂直方向上运动	$\theta=\pi/2\Rightarrow\ \nu=\sqrt{1-\beta^2}\,\nu_0$	
相			

$$\begin{cases} u'_x=\dfrac{u_x-\upsilon}{1-\dfrac{\upsilon}{c^2}u_x} \\ u'_y=\dfrac{u_y\sqrt{1-\beta^2}}{1-\dfrac{\upsilon}{c^2}u_x} \\ u'_z=\dfrac{u_z\sqrt{1-\beta^2}}{1-\dfrac{\upsilon}{c^2}u_x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_x=\dfrac{u'_x+\upsilon}{1+\dfrac{\upsilon}{c^2}u'_x} \\ u_y=\dfrac{u'_y\sqrt{1-\beta^2}}{1+\dfrac{\upsilon}{c^2}u'_x} \\ u_z=\dfrac{u'_z\sqrt{1-\beta^2}}{1+\dfrac{\upsilon}{c^2}u'_x} \end{cases}$$

<table>
<tr><td>对论速度变换</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">狭义相对论中的质量、能量和动量</td><td>质速关系</td><td>$m = m_0 \Big/ \sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}$
光子的静止质量 $m_0=0$</td></tr>
<tr><td>质能关系</td><td>$E_k = mc^2 - m_0c^2$
mc^2 --相对论能量或总能；
m_0c^2 ----物体的静能</td></tr>
<tr><td>能量动量关系</td><td>$E^2 = m^2c^4 = c^2p^2 + m_0^2c^4$</td></tr>
</table>

2005-2006 第一学期

一、选择题：(每题 3 分,共 30 分）

**6. 一匀质矩形薄板，在它静止时测得其长为 a，宽为 b，质量为 m_0．由此可算出其面积密度为 m_0/ab．假定该薄板沿长度方向以接近光速的速度 υ 作匀速直线运动，此时再测算该矩形薄板的面积密度则为

(A) $\dfrac{m_0\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}{ab}$　　(B) $\dfrac{m_0}{ab\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$

(C) $\dfrac{m_0}{ab[1-(\upsilon/c)^2]}$　　(D) $\dfrac{m_0}{ab[1-(\upsilon/c)^2]^{3/2}}$

[　C　]

二、填空题：(每题 3 分,共 30 分）

*5. 当惯性系 S 和 S' 的坐标原点 O 和 O' 重合时，有一点光源从坐标原点发出一光脉冲，在 S 系中经过一段时间 t 后（在 S' 系中经过时间 t'），此光脉冲的球面方程（用直角坐标系）分别为：

S 系______ $x^2+y^2+z^2=c^2t^2$ ____________；

S' 系_____ $x'^2+y'^2+z'^2=c^2t'^2$ __________________.

***6. 已知一静止质量为 m_0 的粒子，其固有寿命为实验室测量到的寿命的 $1/n$，则此粒子

的动能是____$m_0c^2(n-1)$___.

三、计算题（每题 10 分, 共 40 分）

2. 火箭 A 以 $0.8c$ 的速率相对地球向正北方向飞行，火箭 B 以 $0.6c$ 的速率相对地球向正西方向飞行（c 为真空中光速）. 求在火箭 B 中观察火箭 A 的速度的大小和方向.

解：选地球为 K 系，火箭 B 为 K' 系，正东方向为 x 和 x' 轴的正向，正北方向为 y 和 y' 轴的正向. 火箭 A 为运动物体. 则 K' 对 K 系的速度 $u = -0.6c$，火箭 A 对地的速度 $\upsilon_x = 0$，$\upsilon_y = 0.8c$，$\upsilon_z = 0$.

根据狭义相对论的速度变换公式：

$$\upsilon'_x = \frac{\upsilon_x - u}{1-(u\upsilon_x/c^2)} = 0.6c \qquad 3\text{ 分}$$

$$\upsilon'_y = \frac{\upsilon_y\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-(u\upsilon'_x/c^2)} = 0.64c \qquad 3\text{ 分}$$

$$\upsilon'_z = \frac{\upsilon_z\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-(u\upsilon'_x/c^2)} = 0 \qquad 2\text{ 分}$$

在火箭 B 中测得火箭 A 的速度 $\vec{\upsilon}'$ 的大小为

$$|\vec{\upsilon}'| = \sqrt{(\upsilon'_x)^2+(\upsilon'_x)^2+(\upsilon'_x)^2} = 0.877c \qquad 1\text{ 分}$$

$\vec{\upsilon}'$ 与 x' 轴之间的夹角为 $$\alpha = \cos^{-1}\frac{\upsilon'_x}{|\vec{\upsilon}'|} = 46.83^\circ \qquad 1\text{ 分}$$

2006—2007 学年第 1 学期

一. 选择题（每题 3 分, 共 30 分）

7. 宇宙飞船相对于地面以速度 υ 作匀速直线飞行，某一时刻飞船头部的宇航员向飞船尾部发出一个光讯号，经过 Δt(飞船上的钟)时间后，被尾部的接收器收到，则由此可知飞船的固有长度为 (c 表示真空中光速)

(A) $c\cdot\Delta t$　　(B) $\upsilon\cdot\Delta t$

(C) $\dfrac{c\cdot\Delta t}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$　　(D) $c\cdot\Delta t\cdot\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}$

[A]

二. 填空题（每题 3 分, 共 30 分）

8. α 粒子在加速器中被加速，当其质量为静止质量的 5 倍时，其动能为静止能量的_4__倍.

2007—2008 学年第 1 学期

一、　选择题（将正确答案的字母填在空格内，每题 3 分，共 30 分）

7、 K 系与 K′ 系是坐标轴相互平行的两个惯性系，K′ 系相对于 K 系沿 Ox 轴正方向匀速运动. 一根刚性尺静止在 K′ 系中，与 $O'x'$ 轴成 30° 角. 今在 K 系中观测得该尺与 Ox 轴成 45° 角，则 K′ 系相对于 K 系的速度是：

(A) $(2/3)c$.　　(B) $(1/3)c$.

(C) $(2/3)^{1/2}c$.　　(D) $(1/3)^{1/2}c$.

[C]

8、设某微观粒子的总能量是它的静止能量的 K 倍，则其运动速度的大小为(以 c 表示真空中的光速)

(A) $\dfrac{c}{K-1}$.　　　(B) $\dfrac{c}{K}\sqrt{1-K^2}$.

(C) $\dfrac{c}{K}\sqrt{K^2-1}$.　　　(D) $\dfrac{c}{K+1}\sqrt{K(K+2)}$.

[C]

二、　填空题（每题 3 分，共 30 分）

8、已知惯性系 S′ 相对于惯性系 S 系以 0.5 c 的匀速度沿 x 轴的负方向运动，若从 S′ 系的坐标原点 O' 沿 x 轴正方向发出一光波，则 S 系中测得此光波在真空中的波速为__________c__________.

三、　计算题（每题 10 分，共 40 分）

2、设有宇宙飞船 A 和 B，固有长度均为 l_0 = 100 m，沿同一方向匀速飞行，在飞船 B 上观测到飞船 A 的船头、船尾经过飞船 B 船头的时间间隔为 Δt = (5/3)×10^{-7} s，求飞船 B 相对于飞船 A 的速度的大小．

解：设飞船 A 相对于飞船 B 的速度大小为 υ，这也就是飞船 B 相对于飞船 A 的速度大小．在飞船 B 上测得飞船 A 的长度为

$$l = l_0\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}$$ 4 分

故在飞船 B 上测得飞船 A 相对于飞船 B 的速度为

$$\upsilon = l/\Delta t = (l_0/\Delta t)\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}$$ 3 分

解得 $$\upsilon = \frac{l_0/\Delta t}{\sqrt{1+(l_0/c\Delta t)^2}} = 2.68\times10^8 \text{ m/s}$$ 2 分

所以飞船 B 相对于飞船 A 的速度大小也为 2.68×10^8 m/s．　1 分

2008—2009 学年第 1 学期

一、　选择题（将正确答案的字母填在空格内，每小题 3 分，共 30 分）

7、一宇航员要到离地球为 5 光年的星球去旅行．如果宇航员希望把这路程缩短为 3 光年，则他所乘的火箭相对于地球的速度应是：(c 表示真空中光速)

(A) υ = (1/2) c.　　(B) υ = (3/5) c.

(C) υ = (4/5) c.　　(D) υ = (9/10) c.

[C]

8、已知电子的静能为 0.51 MeV，若电子的动能为 0.25 MeV，则它所增加的质量Δm 与静止质量 m_0 的比值近似为

(A) 0.1 .　　(B) 0.2 .　　(C) 0.5 .　　(D) 0.9 .

[C]

二、　填空题（每空 3 分，共 30 分）

7、观察者甲以$\frac{4}{5}c$的速度（c为真空中光速）相对于静止的观察者乙运动，若甲携带一长度为l、截面积为S，质量为m的棒，这根棒安放在运动方向上，则

(1) 甲测得此棒的密度为__$\frac{m}{lS}$_____；

(2) 乙测得此棒的密度为_____$\frac{25m}{9lS}$___.

三、 计算题（每小题 10 分，共 40 分）

3、在惯性系K中，有两个事件同时发生在 x轴上相距 1000 m 的两点，而在另一惯性系K'（沿x轴方向相对于K系运动）中测得这两个事件发生的地点相距 2000 m．求在K'系中测得这两个事件的时间间隔。

解：根据洛仑兹变换公式:

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}} \quad , \quad t' = \frac{t - \upsilon x/c^2}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$$

可得

$$x_2' = \frac{x_2 - \upsilon t_2}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}} \quad , \quad x_1' = \frac{x_1 - \upsilon t_1}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$$

在K系，两事件同时发生，$t_1 = t_2$，则

$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}} \quad ,$$

∴

$$\sqrt{1-(\upsilon/c)^2} = (x_2 - x_1)/(x_2' - x_1') = \frac{1}{2}$$

解得

$$\upsilon = \sqrt{3}c/2 .$$

在K'系上述两事件不同时发生，设分别发生于t_1'和 t_2'时刻，

则

$$t_1' = \frac{t_1 - \upsilon x_1/c^2}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}} , \quad t_2' = \frac{t_2 - \upsilon x_2/c^2}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$$

由此得