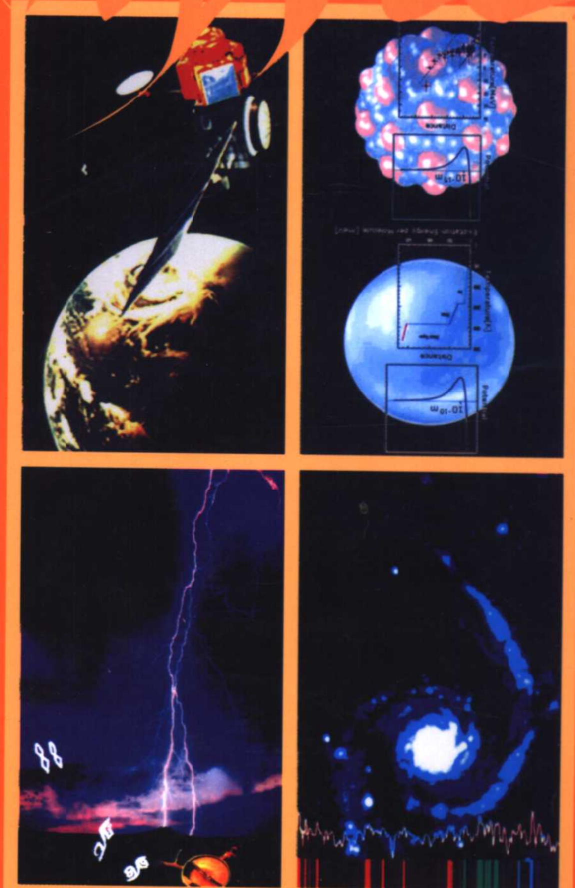
主　编　**钟锡华　陈熙谋**

大学物理通用教程



习题解答

题解编写组

6

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

主编　钟锡华　陈熙谋

大学物理通用教程

习 题 解 答

题解编写组
力　学　张瑞明　周岳明
热　学　刘玉鑫　周路群
电磁学　陈秉乾　王稼军
光学·近代物理　陈熙谋

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理通用教程习题解答/题解编写组编著. —北京:北京大学出版社,2005.3

ISBN 7-301-08770-5

Ⅰ.大… Ⅱ.题… Ⅲ.物理学-高等学校-解题 Ⅳ.04-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 017583 号

书　　名:大学物理通用教程——习题解答
著作责任者:题解编写组　编著
责 任 编 辑:瞿　定　顾卫宇
标 准 书 号:ISBN 7-301-08770-5/O・0639
出 版 发 行:北京大学出版社
地　　址:北京市海淀区成府路 205 号　100871
网　　址:http://cbs.pku.edu.cn　电子信箱:zpup@pup.pku.edu.cn
电　　话:邮购部 62752015　发行部 62750672　编辑部 62752021
印 刷 者:北京大学印刷厂
经 销 者:新华书店
890 毫米×1240 毫米　A5　15.625 印张　447 千字
2005 年 3 月第 1 版　2005 年 3 月第 1 次印刷
印　　数:0001—4000 册
定　　价:24.00 元

前　言

本书对原著《大学物理通用教程》所含全部习题，均一一作了解答，计有《力学》181道题解，《热学》137道题解，《电磁学》123道题解，《光学·近代物理》100道题解.

已有的《大学物理通用教程》的配套教材《习题指导》一书，其风格是以讨论习题的方式而引向对物理学基本理论和科学方法的深入理解和灵活运用，其体裁为每章设立内容提要、基本要求、复习题、典型例题和参考例题等单元，它并非针对原著中每道习题作答的，它更适用于学生复习小结或教师组织习题讨论课.

而《大学物理通用教程》自2001年出版以来，我们陆续收到读者来电来函，询问其题解何时面世.北京大学出版社为此特约原书各位作者，写成此题解一书.由教材作者亲自撰写题解，并时有借题发挥和适时指导，这必定更好地体现原书的教学意图和教学要求.愿本书在分析和解决基础物理学中的实际问题时，能成为读者的一个好助手.

钟锡华　陈熙谋

于北京大学物理学院

2005年2月18日·乙酉雨水

目　　录

第一部分

力　　学

1 质点运动学

1.1 已知质点位矢随时间变化的函数形式为

$$\boldsymbol{r} = R(\boldsymbol{e}_i \cos \omega t + \boldsymbol{e}_j \sin \omega t),$$

其中 ω 为常量. 求(1) 质点的轨道；(2) 速度和速率.

解 (1) 根据题目已知条件,质点运动方程的直角坐标分量式为

$$x(t) = R\cos \omega t,$$

$$y(t) = R\sin \omega t,$$

将以上两式平方后两端相加,得

$$x^2 + y^2 = R^2.$$

这是直角坐标系中圆曲线的标准形式,表明质点运动的轨道是半径为 R 的圆.

(2) 根据定义,质点速度分量为

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -R\omega \sin \omega t,$$

$$v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = R\omega \cos \omega t,$$

则质点速度为

$$\boldsymbol{v} = -R\omega(\boldsymbol{e}_i \sin \omega t - \boldsymbol{e}_j \cos \omega t),$$

速率为

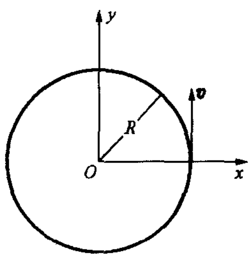
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega.$$

当 $t=0$ 时,

$$x(0) = R, \quad y(0) = 0,$$

$$v_x(0) = 0, \quad v_y(0) = R\omega.$$

表明质点逆时针方向运动.



题 1.1

综上可知,质点以 R 为半径沿逆时针方向作匀速率圆周运动——匀速左旋运动,如

题1.1图所示.

1.2 已知质点位矢随时间变化的函数形式为

$$\boldsymbol{r}=4t^2\boldsymbol{e}_i+(3+2t)\boldsymbol{e}_j.$$

求(1) 质点的轨道;(2) 从 $t=0$ 到 $t=1$ 的位移;(3) $t=0$ 和 $t=1$ 两时刻的速度.

解 (1) 由质点位矢的函数 $\boldsymbol{r}=4t^2\boldsymbol{e}_i+(3+2t)\boldsymbol{e}_j$ 可知,其分量式为

$$\begin{cases}x(t)=4t^2,\\ y(t)=3+2t,\end{cases}$$

消去时间参量 t,可得质点的轨道方程为

$$x=(y-3)^2.$$

(2) 从 $t=0$ 到 $t=1$ 质点的位移为

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(1)-\boldsymbol{r}(0)=(4\boldsymbol{e}_i+5\boldsymbol{e}_j)-3\boldsymbol{e}_j=4\boldsymbol{e}_i+2\boldsymbol{e}_j.$$

(3) 根据定义,质点速度为

$$\boldsymbol{v}(t)=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}(t)}{\mathrm{d}t}=8t\boldsymbol{e}_i+2\boldsymbol{e}_j.$$

根据上式,$t=0$ 和 $t=1$ 两时刻质点的速度分别为

$$\boldsymbol{v}(0)=2\boldsymbol{e}_j,\quad \boldsymbol{v}(1)=8\boldsymbol{e}_i+2\boldsymbol{e}_j.$$

1.3 站台上一观察者,在火车开动时站在第一节车厢的最前端,第一节车厢在 $\Delta t_1=4.0\mathrm{s}$ 内从他身旁驶过.设火车作匀加速直线运动,问第 n 节车厢从他身旁驶过所需的时间间隔 Δt_n 为多少?令 $n=7$,求 Δt_7.

解 火车开动时观察者站在第一节车厢的最前端,即火车初速 $v_0=0$.设火车的加速度为 a,每节车厢长为 l,第 n 节和第$(n-1)$节车厢驶过观察者的时间分别为 t_n 和 t_{n-1}.根据匀变速运动公式,则有

$$nl=\frac{1}{2}at_n^2, \quad ①$$

$$(n-1)l=\frac{1}{2}at_{n-1}^2, \quad ②$$

由①②两式可得待求的时间间隔 Δt_n 为

$$\Delta t_n=t_n-t_{n-1}=(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})\sqrt{\frac{2l}{a}}. \quad ③$$

题目已知第一节车厢在 $\Delta t_1=4\,\mathrm{s}$ 内通过观察者，故有

$$l=\frac{1}{2}a(\Delta t_1)^2,$$

即

$$\sqrt{\frac{2l}{a}}=\Delta t_1=4\,\mathrm{s}. \tag{④}$$

将④式代入③式，得

$$\Delta t_n=4(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})\mathrm{s}.$$

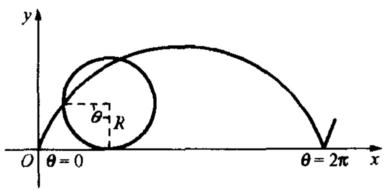
当 $n=7$ 时，

$$\Delta t_7=4(\sqrt{7}-\sqrt{6})\mathrm{s}\approx 0.8\,\mathrm{s}.$$

1.4 半径为 R 的轮子沿 $y=0$ 的直线作无滑动滚动时，轮边缘一质点的轨迹为旋轮线（见图），其方程为

$$\begin{cases}x=R(\theta-\sin\theta),\\ y=R(1-\cos\theta).\end{cases}$$

求该质点的速度；设当 $\mathrm{d}\theta/\mathrm{d}t=\omega$ 为常量时，找出速度为 0 的点.



题 1.4

解 根据定义，质点速度分量分别为

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=R\left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}-\cos\theta\cdot\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\right)=R\omega(1-\cos\theta),$$

$$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=R\sin\theta\cdot\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=R\omega\sin\theta.$$

速度为 0，即两个速度分量为 0，

$$v_x=R\omega(1-\cos\theta)=0,$$

即

$$1-\cos\theta=0,$$

得

$$\theta=2n\pi,\quad n=0,1,2,\cdots.$$

$$v_y=R\omega\sin\theta=0,$$

得　　$$\theta = n\pi, \quad n = 0,1,2,\cdots.$$

同时满足速度为零的解为

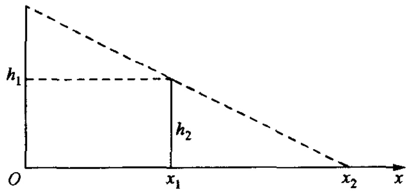
$$\theta = 2n\pi, \quad n = 0,1,2,\cdots.$$

将 $\theta=2n\pi$ 代入质点轨迹方程,即可确定其速度为零的点:

$$\begin{cases} x = 2n\pi R, \quad n = 0,1,2,\cdots, \\ y = 0. \end{cases}$$

1.5 路灯距地面的高度为 h_1,一身高为 h_2 的人在路灯下以匀速 v_1 沿直线行走. 试证明人影的顶端作匀速运动,并求其速度 v_2.

解 如图所示,人与路灯的距离为 x_1,人影顶端与路灯的距离为 x_2. 根据图中几何关系,则有



题 1.5

$$\frac{x_2}{h_1} = \frac{x_1}{h_1 - h_2},$$

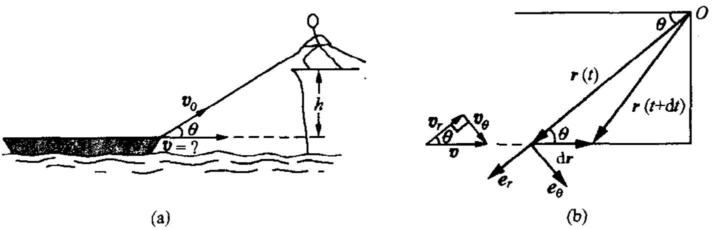
即　　$$x_2 = \frac{h_1}{h_1 - h_2} x_1.$$

根据定义,人影顶端速度为

$$v_2 = \frac{\mathrm{d}x_2}{\mathrm{d}t} = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \cdot \frac{\mathrm{d}x_1}{\mathrm{d}t} = \frac{h_1}{h_1 - h_2} v_1.$$

结果表明,人影顶端作匀速运动.

1.6 如图(a)所示,一人站在河岸上(岸高 h),手握绳之一端,绳的另端系一小船. 那人站着不动,以手收绳. 设收绳速率 v_0 恒定,求当绳与水面的夹角为 θ 时,船向岸靠拢的速度 v.



题 1.6

解 方法一：如图(b)，以收绳人之手处为极点 O，水平向左为极轴建立一平面极坐标系. 在该坐标系中，船的位置矢量为

$$\boldsymbol{r}(t)=r\boldsymbol{e}_r.$$

根据定义，船的速度为

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_r+r\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_\theta=\boldsymbol{v}_r+\boldsymbol{v}_\theta.$$

根据上式，在图(b)中作出速度矢量图. 题中给定的收绳速率 v_0 就是径向速度 $\boldsymbol{v}_r$ 的大小，即

$$v_0=\left|\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|=|\boldsymbol{v}_r|,$$

而船的速度方向沿水面指向岸边，故其大小为

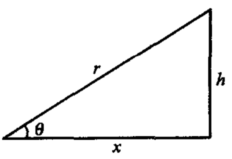
$$v=\frac{v_0}{\cos\theta}.$$

方法二：如图(c)所示，任一时刻 t，绳长为 r，船与岸边距离为 x. 岸高 h 是约束条件，h 与 r,x 的关系为

$$r^2-x^2=h^2.$$

将上式对时间求导，可得

$$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=\frac{x}{r}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},$$



(c)

图 1.6

式中 $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=v_0$ 为收绳速率，$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=v$ 是船的速率，$\frac{x}{r}=\cos\theta$，故有

$$v=\frac{v_0}{\cos\theta}.$$

说明 本题方法一从定义出发，通过对微小过程分析得到结论，概念性强，论述严谨，图像清晰. 求解过程清楚地表明，船速 $\boldsymbol{v}$ 为总速度，径向速度 $\boldsymbol{v}_r$ 和横向速度 $\boldsymbol{v}_\theta$ 是 $\boldsymbol{v}$ 的两个正交分量，而 v_0 是 $\boldsymbol{v}_r$ 的大小. 所以本题实际是已知速度分量求总速度.

1.7 试从哈勃定律计算星系距离或退行速度.

(1) 已知室女星系团中央附近的 M87 星系的退行速度为 1180 km/s，求它离我们多远.

(2) 后发星系团距离为 113 Mpc，求其退行速度.

(3) 类星射电源 OQ172 有巨大红移. 如果红移是由多普勒效应引起的(参见原书第 9 章),则它的退行速度为 $0.91c$,c 是光速. 该射电源离我们多远? (哈勃常数 $H_0=67\,\mathrm{km/(s\cdot Mpc)}$)

解 (1) 已知 M87 星系的退行速度 $v_r=1\,180\,\mathrm{km/s}$,根据哈勃定律,它与我们的距离为

$$r=\frac{v_r}{H_0}=\frac{1\,180\,\mathrm{km/s}}{67\,\mathrm{km/(s\cdot Mpc)}}=17.6\,\mathrm{Mpc}.$$

(2) 已知后发星系团距离 $r=113\,\mathrm{Mpc}$,应用哈勃定律,其退行速度为

$$v_r=H_0r=67\,\mathrm{km/(s\cdot Mpc)}\times 113\,\mathrm{Mpc}=7\,571\,\mathrm{km/s}.$$

(3) 已知类星射电源 OQ172 的退行速度 $v_r=0.91c$,应用哈勃定律,该射电源与我们的距离为

$$r=\frac{v_r}{H_0}=\frac{0.91c}{67\times(10^{12}\,\mathrm{a})^{-1}}=\frac{0.91}{67}\times(c\times 10^{12}\,\mathrm{a})$$
$$=136\times 10^8\,\mathrm{l.y.}=136\text{亿}\,\mathrm{l.y.}.$$

式中 a 为年的符号, l.y. 为光年($1\,\mathrm{l.y.}=c\cdot 1\,\mathrm{a}=9.460\,730\times 10^{15}\,\mathrm{m}$).

1.8 一杂技演员能把 5 个球一个接一个地上抛到高 3.0 m 处,使这 5 个球都保持在空中运动. (1) 试确定相继两次抛球的时间间隔. (2) 试求当一个球即将落到手上时,另外几个球的高度,设球在手中停留时间可忽略.

解 (1) 设第一个球自抛出至落回到杂技演员手上所用的时间为 t,相继两次均匀抛球的时间间隔为 Δt,由于有 5 个球保持在空中运动,故有

$$\Delta t=t/5. \qquad ①$$

球从最高点 $h=3\,\mathrm{m}$ 处落回到杂技演员手中所用的时间为 $t/2$,故有

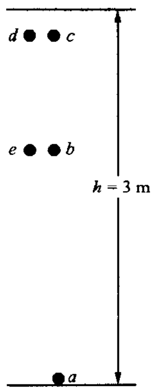
$$h=\frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2. \qquad ②$$

联立求解①②两式,可得

$$\Delta t=\frac{2}{5}\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.31\,\mathrm{s}. \qquad ③$$

(2) 小球抛出时的初速 v_0 与落回抛出点时的速度大小相等，即

$$v_0 = g\frac{t}{2}. \qquad ④$$



题 1.8

见图，当第一个球 a 即将落到杂技演员手上时，另外 4 个球 b,c,d 和 e 尚在空中，各球运动的时间为

$$t_n = n\Delta t, \quad n = 4,3,2,1. \qquad ⑤$$

高度为

$$h = v_0 t_n - \frac{1}{2}g t_n^2. \qquad ⑥$$

将①—⑤式代入⑥式，得到

$$h = n(5-n)\frac{4}{25}h, \quad n = 4,3,2,1.$$

得

$$n(5-n) = \begin{cases} 4, & 当\ n = 4,1\ 时, \\ 6, & 当\ n = 3,2\ 时. \end{cases}$$

这表明，b 球和 e 球在同一高度，

$$h_{b,e} = 4\times\frac{4h}{25} = 1.92\,\mathrm{m},$$

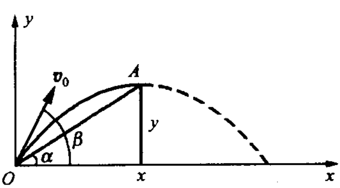
c 球和 d 球在同一高度，

$$h_{c,d} = 6\times\frac{4h}{25} = 2.88\,\mathrm{m}.$$

1.9　设 α 为由炮位所在处观看靶子的仰角，β 为炮弹的发射角. 试证明：若炮弹命中靶点恰为弹道的最高点，则有 $\tan\beta = 2\tan\alpha$.

证　如图所示，v_0 为炮弹出膛速度，β 为发射角. 炮弹在弹道最高点命中靶子，其竖直方向速度为零，即

$$v_y = v_0\cos\beta - gt = 0. \qquad ①$$



题 1.9

炮弹在水平和竖直方向的运动方程分别为

$$x = v_0 t\cos\beta, \qquad ②$$

$$y = v_0 t \sin\beta - \frac{1}{2}gt^2. \qquad ③$$

将①式分别代入②和③式,可得

$$x = \frac{v_0^2}{g}\sin\beta \cdot \cos\beta,$$

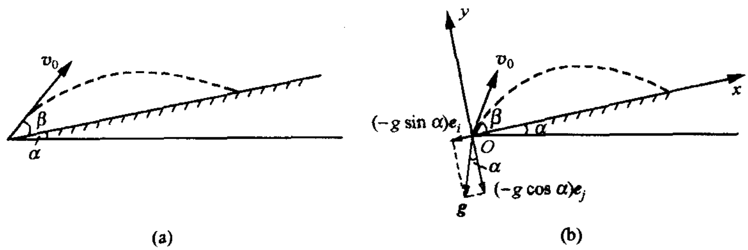
$$y = \frac{v_0^2}{2g}\sin^2\beta.$$

参看题图,由炮位所在处观看靶子的仰角 α 的正切值为

$$\tan\alpha = \frac{y}{x} = \frac{v_0^2/2g \cdot \sin^2\beta}{v_0^2/g \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} = \frac{1}{2}\tan\beta,$$

即 $\qquad \tan\beta = 2\tan\alpha.$

1.10 如图(a),大炮向小山上开火,此山的山坡与地平线的夹角为 α,试求发射角 β 为多大时炮弹沿山坡射得最远.



题 1.10

解 如图(b)选取坐标系.沿山坡方向为 x 轴,垂直山坡方向为 y 轴.在该坐标系下,

$$g_x = -g\sin\alpha,\quad g_y = -g\cos\alpha,$$

所以炮弹的运动方程为

$$x = v_0 t\cos\beta - \frac{1}{2}g\sin\alpha \cdot t^2, \qquad ①$$

$$y = v_0 t\sin\beta - \frac{1}{2}g\cos\alpha \cdot t^2. \qquad ②$$

炮弹落地而击中山坡上的目标,落地处 $y=0$,即

$$v_0 t\sin\beta - \frac{1}{2}g\cos\alpha \cdot t^2 = 0,$$

解此方程得

$$t=\frac{2v_0\sin\beta}{g\cos\alpha}. \tag{③}$$

将③式代入①式并运算，

$$\begin{aligned}x&=v_0\frac{2v_0\sin\beta}{g\cos\alpha}\cdot\cos\beta-\frac{1}{2}g\sin\alpha\cdot\frac{4v_0^2\sin^2\beta}{g^2\cos^2\alpha}\\&=\frac{v_0^2}{g}\left(\frac{2\sin\beta\cdot\cos\beta}{\cos\alpha}-\frac{2\sin\alpha\cdot\sin^2\beta}{\cos^2\alpha}\right)\\&=\frac{v_0^2}{g\cos^2\alpha}(2\sin\beta\cdot\cos\beta\cdot\cos\alpha-2\sin^2\beta\cdot\sin\alpha)\\&=\frac{v_0^2}{g\cos^2\alpha}[\sin2\beta\cdot\cos\alpha-(1-\cos2\beta)\cdot\sin\alpha]\\&=\frac{v_0^2}{g\cos^2\alpha}[(\sin2\beta\cdot\cos\alpha-\cos2\beta\cdot\sin\alpha)-\sin\alpha]\\&=\frac{v_0^2}{g\cos^2\alpha}[\sin(2\beta+\alpha)-\sin\alpha].\end{aligned}$$

上式就是炮弹沿山坡的射程. 射程最大，则要求 $\sin(2\beta+\alpha)=1$，即 $2\beta+\alpha=\frac{\pi}{2}$，所以

$$\beta=\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}.$$

也可以用求极值的方法求出 β 值，即令 $\frac{dx}{d\beta}=0$，

$$\frac{d}{d\beta}\left(\frac{v_0^2}{g\cos\alpha}\cdot\sin2\beta-\frac{2v_0^2\sin\alpha}{g\cos^2\alpha}\cdot\sin^2\beta\right)=0,$$

得
$$\frac{v_0^2}{g\cos\alpha}\cdot2\cos2\beta-\frac{2v_0^2\sin\alpha}{g\cos^2\alpha}\cdot2\sin\beta\cdot\cos\beta=0,$$

即
$$\frac{2v_0^2}{g\cos\alpha}\left(\cos2\beta-\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\cdot\sin2\beta\right)=0,$$

式中 $2v_0^2/g\cos\alpha\neq0$，故而

$$\cos2\beta-\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\cdot\sin2\beta=0,$$

即
$$\cot2\beta=\tan\alpha,\quad 2\beta=\frac{\pi}{2}-\alpha,$$