DOI:10.19789/j.1004-9398.2016.01.007

粒子在弹子球体系中的闭合轨道模拟

唐田田
(烟台南山学院数理部,山东烟台 265713)

摘 要

近年来,人造原子(量子势阱)逐渐成为一个热门课题,研究这些微腔结构对于新一代计算机研制将产生重大的影响. 对圆形和环形弹子球体系中经典运动轨迹进行了分析,通过寻找粒子在两种弹子球体系中运动形成闭合轨道的条件,画出了一些闭合经典周期轨道,进而得出闭合轨道的出射角度和轨迹长度. 本文的研究可以为进一步研究经典行为和量子行为之间的联系提供一定的参考价值.

关键词: 弹子球,经典运动轨迹,闭合轨道.
中图分类号: O562.4

0 引 言

自从 Gutzwiller 提出态密度的周期轨道理论以来[1],对某些体系运动行为的经典力学和量子力学之间关系的研究未曾间断过,周期轨道理论也就成为人们研究定态体系的量子谱和所对应粒子经典运动的关系的主要工具. 近年来,其方法和计算技术[2]已经成为原子和分子体系中精确计算的强大工具,从而量子体系和经典体系的对应关系也一直是人们感兴趣的问题. 量子计算结果和实验测量结果的精确符合消除了人们对量子力学基本概念的任何质疑,直到今天量子力学仍然是人们解决微观体系的精确理论. 半经典方法可以很好的解释实验上或应用量子力学方法计算得到的数据,这种解释方法对于我们了解体系的动力学性质起到了重要的作用[3-4]. 在低温下无论是弹性散射还是非弹性散射,高质量的异质结都可以小于电子的平均自由程,但是要大于电子的费米波长,当电子通过这样的空腔时可以看作是自由运动,这样的系统称为弹子球. 本文通过对圆形和环形弹子球子体系的经典运动轨迹进行了分析,画出符合条件的闭合经典周期轨道,进而得出闭合轨道的出射角度和轨迹长度,为进一步研究经典行为和量子力学之间[5]的联系提供一定的参考价值.

收稿日期: 2015-01-09

1 圆形弹子球体系经典周期轨迹

1.1 圆形弹子球体系物理图像描述

我们应用几何的方法得到经典轨道的信息,把圆形势阱比作一个圆形微腔,把这个圆形微腔铺满整个二维空间,如图1所示,把圆形微腔放置在 xy 平面上,x 轴沿直径方向,粒子位于坐标原点处.

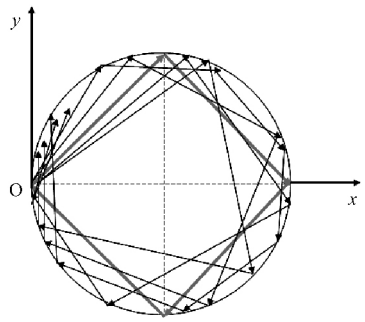


图1 粒子在圆形微腔中运动的轨迹模拟图

为了研究问题的方便,我们把粒子比做一个小球,小球从原点($x=0, y=0$)出发在圆内沿直线运动经过和圆形微腔的碰撞后,运动轨迹发生偏转,碰撞过程符合反射定律,经过多次碰撞回到出发点附近,由于出射角的不同形成多种轨道,其中红色标记的为闭合轨道,即小球沿此轨道出发,经过一次或多次碰撞后回到出发原点,下面我们就探究一下形成闭合轨道的条件.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2　闭合轨迹的研究

针对圆形弹子球体系,如图 2 所示,可以用角度为 θ(两条半径的夹角,如图所示) 和轨道半径 R 来表征形成闭合轨道的条件,当满足条件 $p\theta = (2\pi)q$(因为 $\theta = (2\pi)q/p \leqslant \pi$,所以 $p \geqslant 2q$,且 p、q 都是非负整数) 时,轨道是闭合的. 其中 p 表示与圆环的碰撞次数; q 表示轨道包围中心的次数,即粒子第一次回到初始点粒子转的圈数. 粒子出射方向相对于 x 轴的夹角用 φ_{out} 来表示,可以得出 $\varphi_{out} = (\pi - \theta)/2 = \frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{2q}{p}\right)$,则闭合轨道相应的回归角度(回归射线与 x 轴方向的夹角) 用 φ_{ret} 来表示,很容易计算出 $\varphi_{ret} = \pi - \varphi_{out}$.

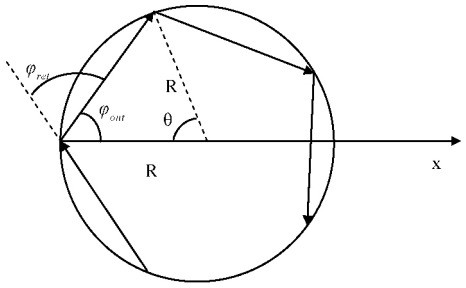


图 2　弹子球体系形成闭合轨道几何示意图

则经典周期轨道长度为

$$L(p,q) = p\left[2R\sin(\theta/2)\right] = p\left[2R\sin(\pi q/p)\right] \quad (1)$$

如果 q 不变,p 无限增大,当 $p\to$无穷大时,运动接近圆周,当 $q = 1$ 时,其轨道的总长度就是圆的周长.

$$L_1(p\to\infty,q) = 2\pi R \quad (2)$$

给出一种特殊情况,粒子由圆上的某点出发,经过圆壁反射后直接按原路径回到出发点(即 $p = 2$,$q = 1$ 的情况) ,此时们粒子经过多次碰撞回到出发点,我们可以计算出轨道总长度

$$L = 2R \quad (3)$$

图 4 给出一些圆形弹子球体系闭合轨道,粒子沿着这些闭合轨道重复运动是有可能的,所以轨道周长表示为

$$L(n;p,q) = np\left[2R\sin(\theta/2)\right] = np\left[2R\sin(\pi q/p)\right] \quad (4)$$

其中 $n = 1,2,3,\cdots$,表示轨道回到出发点的次数. 如果 p 和 q 没有共同的因数 n,则用 p 和 q 表示为 $p = n\tilde{p}$,则轨道可以表示为$(p,q) = n(\tilde{p},\tilde{q})$,它可以被视作粒子沿着单轨道做了 n 次重复的运动.

1.3　圆形弹子球体系中的闭合轨迹的模拟

模拟粒子运动轨迹图像按以下步骤进行: 首先将圆周长等分成 p 份,取等分点 0、1、2、3、. . . 、$p-3$、$p-2$、$p-1$,其中 0 点取在坐标原点($x = 0$,$y = 0$) 处,如图 3 所示. (1) 当 $q = 1$ 时,从 0 点开始依次连接各个点,就这样形成了无交点的闭合轨迹. 例如(3,1) 轨迹可以这样得到: 取圆周等分点 0 点、1 点、2 点,依次连接 0、1、2、0 点,就这样形成了闭合轨迹,其它类型的轨迹可以得到相似的描述,图像如图 4(a) ~(i) 所示. (2) 当 $q \geqslant 2$ 时(p 和 q 无公因数) ,依次连接点 0 点、q 点、$2q$ 点、…,(连接的两点之间间隔 $q-1$ 个点) 围绕圆心旋转 q 圈,一定会重新连接到 0 点,就这样形成了有交点的闭合轨迹. 例如(5,2) 轨迹可以这样得到: 取圆周等分点 0 点、1 点、2 点、3 点、4 点,依次连接 0、2、4、1、3、0 点,就这样形成了闭合轨迹,其它类型同样可以得到类似的描述,图像如图 4(j) ~(o) 所示.

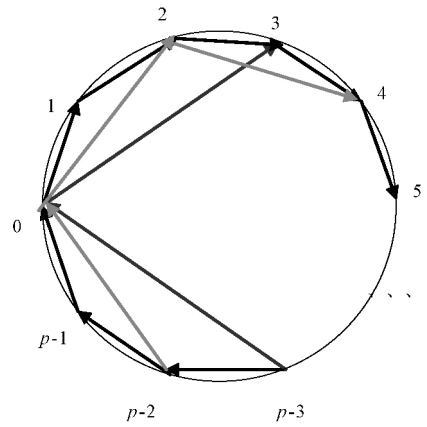


图 3　模拟粒子运动轨迹图像分析

图 4 给出了粒子运动形成多种不同类型的闭合轨道.

如图 4(a) 所示,当 $p = 2$,$q = 1$,$\theta = \pi$ 时,闭合轨道用(2,1) 表示,此时出射角 $\varphi_{out} = 0$,粒子从原点出发,沿着 x 轴方向运动,经圆形表面反射回到原点,这样的轨道被称作“直径轨道”. 当 $q \geqslant 2$ 时,闭合轨道的形状就是三角形和多边形. 如图 3(b) 所示,$p = 3$、$q = 1$ 时(要形成闭合轨迹则 q 只能取 1) 轨道为三角形,在轨道中 $\theta = \frac{2\pi}{3}$、出射角 $\varphi_{out} = 30°$,粒子经过与环形壁发生两次碰撞回到出发原点. 如图 3(c) 所示,$p = 4$、$q = 1$、$\theta = \frac{\pi}{2}$、$\varphi_{out} = 45°$,粒子经过与环形壁发生三次碰撞回到出发原点,当 $p = 4$ 时,q 还可以

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

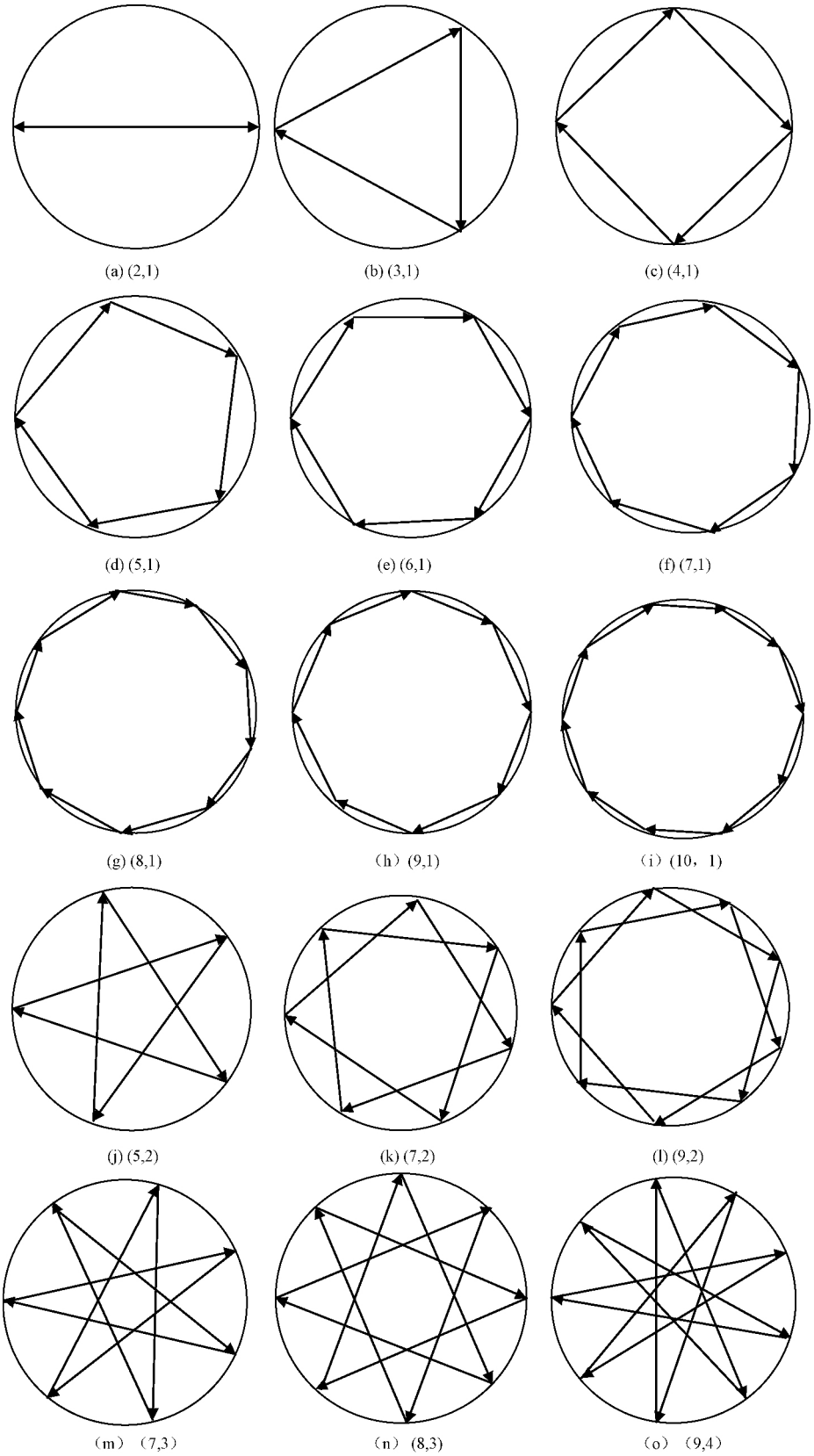


图 4　圆形弹子球体系部分闭合的经典周期轨迹示意图

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

取 2,此时粒子的轨迹为(a) 图. 其它类型的轨迹可以用相似的方法进行描述.

图 4 给出了圆形弹子球体系中粒子运动模拟图,表 1 中给出了圆形弹子球体系经典闭合轨道的参数. 观察以上图表可以初步得到这样的结论: (1) 当 q 为恒定值,$p\to\infty$ 时,轨道形状接近于圆形. (2) 当 p 和 q 都满足 $p\to\infty$,$q\to\infty$ 时,轨道形状接近于(2,1) 所表示的轨道. (3) 从模拟图和参数表中可以得出: 在(2,1) 和(4,2) 、(3,1) 和(6,2) 、(p,q) 和(np,nq) 每一组轨道中,它们的轨道形状相同,出射角相同,但是轨迹长度不同,后者轨迹长度是前者的 n 倍,可以理解为粒子重复了 n 次运动.

表 1　圆形弹子球体系经典闭合轨迹的参数(R = 100.00a. u.)

(p,q)	L(a. u.)	φ_{out}(deg.)
(2,1)	400.00	0.00
(3,1)	519.62	30.00
(4,1)	565.69	45.00
(5,1)	587.79	54.00
(6,1)	600.00	60.00
(7,1)	607.44	64.29
(8,1)	612.29	67.50
(9,1)	615.64	70.00
(10,1)	618.03	72.00
(4,2)	800.00	0.00
(5,2)	951.06	18.00
(6,2)	1 039.23	30.00
(7,2)	1 094.56	38.57
(8,2)	1 131.37	45.00
(9,2)	1 157.02	50.00
(10,2)	1 575.57	54.00
(6,3)	1 200.00	0.00
(7,3)	1 364.90	12.86
(8,3)	1478.21	22.50
(9,3)	1 558.84	30.00
(9,4)	1 772.65	10.00

2　环形弹子球体系经典周期轨迹

2.1　环形弹子球体系物理图像描述

在环形弹子球体系中建立 $x-y$ 平面坐标系,x 轴沿着某一直径方向,如图 5 所示. 假设体系的外径用 R 来表示,内径用 R_{in} 来表示,令 $R_{in}=fR$,$0<f<1$. 将我们要研究的粒子比作刚性小球,它从原点出发,由于出射角 φ_{out} 的不同,粒子经过与内圆和外圆发生多次碰撞形成不同的轨迹,总有那么几种情况,粒子又回到出发原点,形成了闭合轨迹,图中红色标注的轨道即为闭合轨迹.

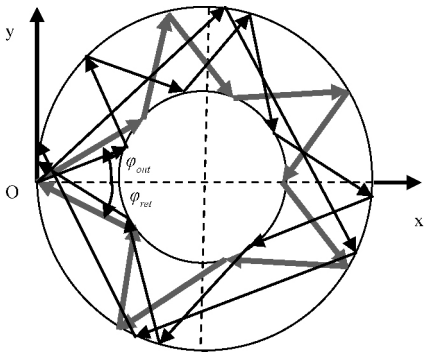


图 5　环形弹子球体系中粒子运动轨迹模拟

2.2　闭合轨迹的研究

现在我们研究一下粒子在环形弹子球体系中形成的所有的闭合轨迹. 因为粒子在环形体系中的运动轨迹与在圆形体系的运动轨迹具有相似性,所以我们可以用同样的方法找到环形体系中粒子的周期性闭合轨迹. 根据内圆半径的不同,讨论以下三种类型的闭合轨迹,如图 6 所示.

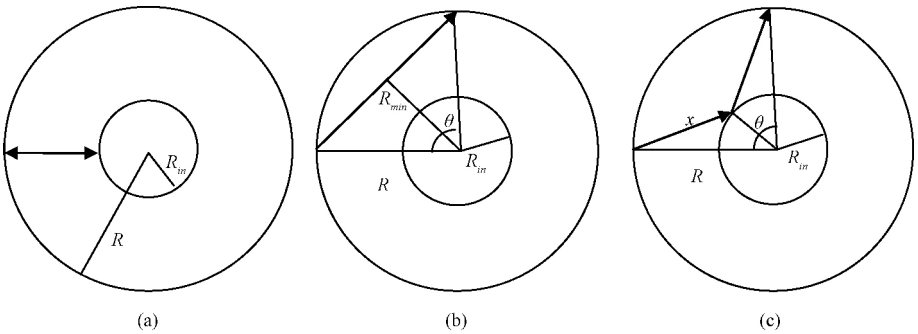


图 6　环形弹子球体系中粒子运动轨迹图形描述

第一种,如图 6 中的(a) 所示,粒子的出射角 $\varphi_{out}=0$,即粒子沿着半径方向射出,经过内圆表面反射后回到出发原点. 粒子运动一个周期其轨迹长度为

$$L^0=2(R-R_{in}) \tag{5}$$

粒子重复以上运动其轨迹长度为

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$L^{(1)} = n[2(1-f)]R \tag{6}$$

这里的 $f=\frac{R_{in}}{R}$,n 代表粒子沿着初始轨道反复运动的次数.

第二种,如图 5 中的(b)所示,环形弹子球体系中的闭合轨道与圆形体系中的闭合轨道具有相似性,粒子在这种类型的轨道中运动不与内圆发生碰撞,此时可以暂不考虑内圆的影响,因而轨迹仍然可以用一对非负整数(p,q)来表示,且 $p>2q$. p 代表粒子与外圆的碰撞次数,q 代表粒子回到出发原点之前围绕圆心旋转的次数. 如果 p 和 q 有共同的因数 n,即 $p=\tilde{n}p$,$q=\tilde{n}q$,轨道可以表示为$(p,q)=n(\tilde{p},\tilde{q})$,表明粒子沿着初始闭合轨迹重复了 n 次运动.

(1) 对于这些环形弹子球体系来说,粒子在环形区域中运动,只有在粒子运行轨迹中的最小半径 R_{min}(粒子在运动过程中距离圆心最近的距离)大于内径 R_{in} 时,粒子才始终不会和内圆发生碰撞. 观察图 6(b)可得:

$$R_{min}=R\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)=R\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right) \tag{7}$$

其中 $\theta=(2\pi)q/p$,圆形体系中已给出. 因为 $R_{in}\leqslant R_{min}$,$f=\frac{R_{in}}{R}$,所以

$$f\leqslant\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right) \tag{8}$$

由此可得

$$p\geqslant q\pi/\arccos(f) \tag{9}$$

(2) 粒子从原点沿各个方向射出,经过多次与外圆表面的碰撞,粒子返回出发原点,形成了闭合轨迹. 其轨迹长度为

$$L^{(2)}=2pR\sin\left(\frac{q\pi}{p}\right) \tag{10}$$

与圆形体系中闭合轨道长度公式一致.

(3) 当 $q>2$ 时,闭合轨迹的形状为多边形,粒子沿 x 轴的出射角:$\varphi_{out}=\frac{\pi}{2}-\frac{q\pi}{p}$. 每个闭合轨迹相应的回归角:$\varphi_{rect}=\pi-\varphi_{out}$.

图 7 中的 a,b,c,d,e,f 表示这种类型的轨迹.

第三种,如图 5 中的(c)所示,粒子在运动过程中与内圆表面发生了碰撞,但它的轨迹仍然可以用一对非负整数(p,q)来表示.

(1) 由图中三角关系可得:

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)=\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right)\leqslant\frac{R}{R_{in}}=\frac{1}{f} \tag{11}$$

所以要形成闭合轨迹也必须满足这样的条件:

$$p\geqslant q\pi/\arccos(f) \tag{12}$$

由此可见,不论粒子在运动过程中是否与内圆发生了碰撞,这个条件始终满足.

(2) 在图示中我们可以根据余弦定理得

$$x^2=R^2+R_{in}^2-2RR_{in}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \tag{13}$$

所以

$$x=\sqrt{R^2+R_{in}^2-2RR_{in}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \tag{14}$$

$$x=R\sqrt{1+f^2-2f\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right)} \tag{15}$$

其中 $f=\frac{R_{in}}{R}$,$\theta=\frac{2q\pi}{p}$ 上文已给出

轨迹长度为

$$L^{(3)}=2pR\sqrt{1+f^2-2f\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right)} \tag{16}$$

(3) 同样应用余弦定理可以求得出射角

$$2xR\cos(\varphi_{out})=R^2+x^2-R_{in}^2 \tag{17}$$

$$\cos(\varphi_{out})=\frac{1-f\cos(q\pi/p)}{\sqrt{1-2f\cos(q\pi/p)+f^2}} \tag{18}$$

$$\varphi_{out}=\arccos\left[\frac{1-f\cos(q\pi/p)}{\sqrt{1-2f\cos(q\pi/p)+f^2}}\right] \tag{19}$$

则每个闭合轨迹相应的回归角:$\varphi_{ret}=\pi-\varphi_{out}$.

2.3 环形体系中闭合轨迹的模拟

由以上分析可画出多种闭合轨迹的形状,图 7(a)~(f)中 $f=0.1$,在图 7(g)~(m)中 $f=0.5$. 在图 7(a)中,实线表示的闭合轨迹为等边三角形,与圆形体系中的轨迹的形状一样,粒子在运动中与内圆不发生碰撞;在虚线表示的闭合轨迹中,粒子在运动过程中与内圆发生了碰撞,即当 $f=0.1$ 时,(3,1)可以表示两种形式的运动轨迹,主要是由于出射角 φ_{out} 不同. 图 7(g)~(l)中,环形弹子球体系中内圆半径与外圆半径的比值 $f=0.5$,根据碰撞条件 $p\geqslant q\pi/\arccos(f)$ 可得,只有当 $p\geqslant 3q$ 时(图 7 给出的轨迹为 $p\leqslant 7$,$q\leqslant 2$)粒子的运动才能形成闭合轨迹.

在环形体系中当 $p=3$,$q=1$,$f=0.5$ 时,粒子距圆心的最近的距离 $R_{min}=R\cos\left(\frac{q\pi}{p}\right)=0.5R=R_{in}$,轨迹与内圆表面相切. 粒子在原点以出射角 $\varphi_{out}=30°$ 射出,掠过内圆表面,与外圆表面发生碰撞,经过两次反射回到出发原点. 图 7(b)中所示,此闭合轨迹用(4,1)表示,粒子的出射角 $\varphi_{out}=28.67°$,分别与内外圆表面发生 4 次碰撞,最后回到出发原点. 其它闭合轨迹可以用相似的方法进行描述. 综合以上分析,在环形体系中闭合轨迹的形状要同时用(p,q)、

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

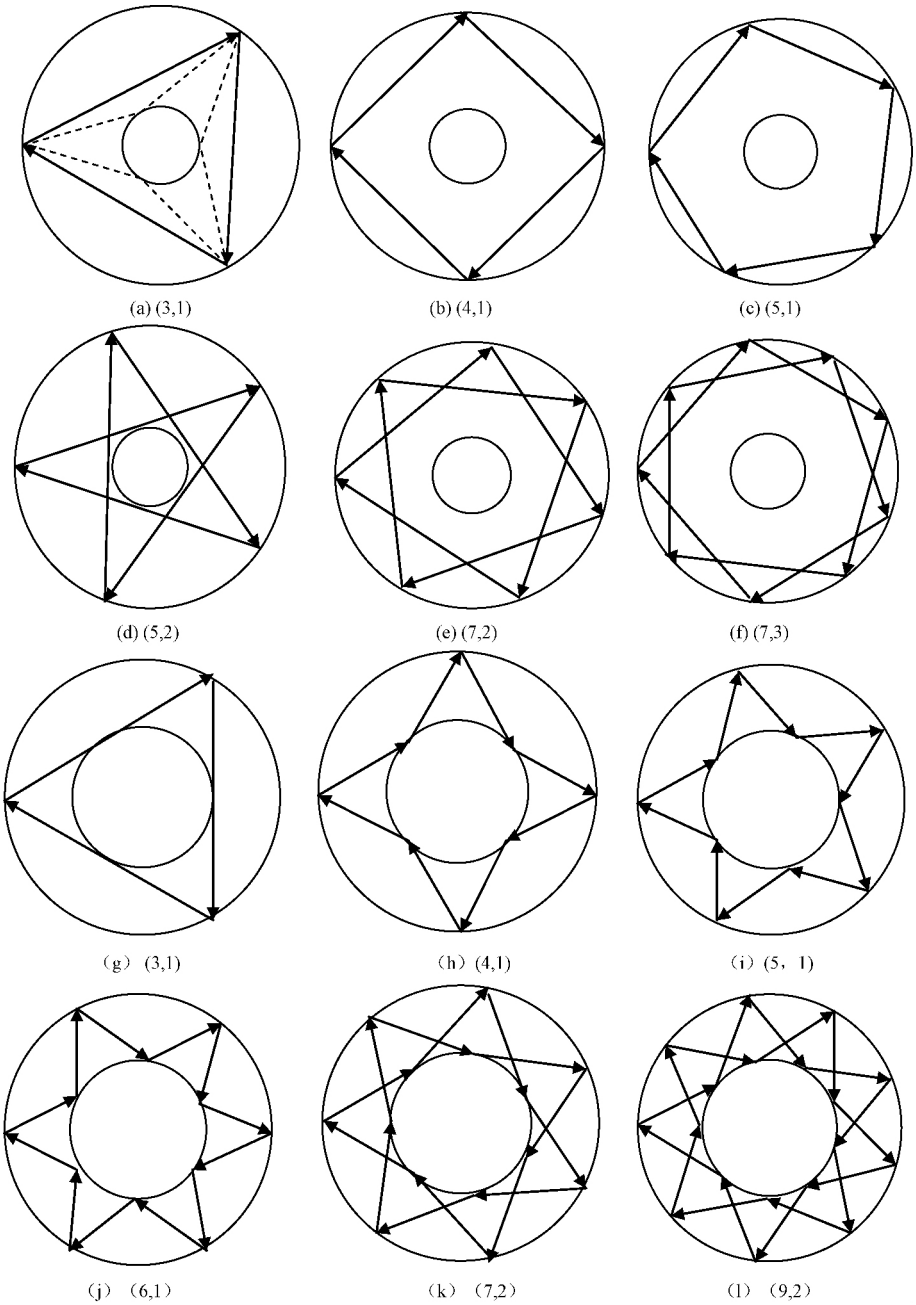


图 7　粒子在环形体系中运动轨迹的模拟

f、φ_{out}来表示.

观察图 7,给出了在环形体系中我们假设外圆半径 R = 100a. u. . 在表 2 到表 4 中,针对不同的内圆半径,分别列出了三种不同类型的轨迹的各个参数值,碰撞系数 p 和旋转系数 q 以及轨道长度 L≤1400a. u. ≈74. 2nm. 根据(9)和(12)式,我们总结的所有轨迹数值都是满足条件: $2 \leqslant p \leqslant 10$, $1 \leqslant q \leqslant 3$, $0° \leqslant \varphi_{out} \leqslant 90°$.

3　其它类型体系中闭合轨迹的模拟

图 8(a) ~(g)是粒子在半圆体系中运动形成多种运动轨迹,(h)是粒子在 1/4 圆体系中,(i)是粒子在正三角形体系中,(j)是粒子在矩形体系中. 图中粒子运动的各个轨迹全部是参照圆形体系中粒子的运动轨迹模拟出的. 例如在图 8(b)中,(3,1)表示是参考圆形体系中图 4(b) (3,1) 轨迹模拟出来的,即粒子的出射角 $\varphi_{out} = 30°$,与半圆壁发生一次碰撞,再与直径发生一次碰撞,之后按原路径返回出

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 环形弹子球体系经典运动轨迹参数表
($R_{in}=0.1R$, $R=100$a. u.)

n	$L^{(1)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(2)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(3)}$(a. u.)
1	180	(3,1)	519.62	(3,1)	572.36
2	360	(4,1)	565.68	(4,1)	745.58
3	540	(5,1)	587.78	(5,1)	920.97
4	720	(6,1)	600.00	(6,1)	1 097.71
5	900	(7,1)	607.43	(7,1)	1 275.31
6	1 080	(8,1)	612.29	(5,2)	973.75
7	1 260	(9,1)	615.63	(6,2)	1 144.72
		(10,1)	618.03	(7,2)	1 317.26
		(5,2)	951.05	(7,3)	1 375.63
		(6,2)	1 039.23		
		(7,2)	1 094.56		
		(8,2)	1 131.37		
		(9,2)	1 157.01		
		(10,2)	1 175.57		
		(7,3)	1 364.90		

表 3 环形弹子球体系经典运动轨迹参数表
($R_{in}=0.3R$, $R=100$a. u.)

n	$L^{(1)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(2)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(3)}$(a. u.)
1	140	(3,1)	519.62	(3,1)	533.29
2	280	(4,1)	565.68	(4,1)	652.74
3	420	(5,1)	587.78	(5,1)	777.55
4	560	(6,1)	600.00	(6,1)	906.28
5	700	(7,1)	607.43	(7,1)	1 037.71
6	840	(8,1)	612.29	(8,1)	1 171.03
7	980	(9,1)	615.63	(9,1)	1 305.69
8	1 120	(10,1)	618.03	(5,2)	951.10
9	1 260	(5,2)	951.05	(6,2)	1 066.58
10	1 400	(6,2)	1 039.23	(7,2)	1 184.55
		(7,2)	1 094.56	(8,2)	1 305.48
		(8,2)	1 131.37		
		(9,2)	1 157.01		
		(10,2)	1 175.57		

表 4 环形弹子球体系经典运动轨迹参数表
($R_{in}=0.5R$, $R=100$a. u.)

n	$L^{(1)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(2)}$(a. u.)	(p,q)	$L^{(3)}$(a. u.)
1	100	(3,1)	519.62	(3,1)	519.62
2	200	(4,1)	565.68	(4,1)	589.45
3	300	(5,1)	587.78	(5,1)	664.06
4	400	(6,1)	600.00	(6,1)	743.58
5	500	(7,1)	607.43	(7,1)	827.10
6	600	(8,1)	612.29	(8,1)	913.71
7	700	(9,1)	615.63	(9,1)	1 002.69
8	800	(10,1)	618.03	(10,1)	1 093.51
9	900	(6,2)	1 039.23	(6,2)	1 039.23
10	1 000	(7,2)	1 094.56	(7,2)	1 108.13
11	1 100	(8,2)	1 131.37	(8,2)	1 178.90
12	1 200	(9,2)	1 157.01	(9,2)	1 252.20
13	1 300	(10,2)	1 175.57	(10,2)	1 328.13

发点,由此形成闭合轨迹. 粒子在其它体系中的运动轨迹同样可以参照圆形体系中粒子的运动轨迹给以相似的描述.

4 结 论

激光理论和技术的发展极大的改变了原子、分子物理学的面貌,人们研究介观物理领域的焦点由侧重体系能级向相关动力学性质的研究转变. 近年来,纳米器件、微腔结构及其输运问题已经成为人们研究的前沿课题,用半经典的方法来研究粒子的经典运动已成为处理某些量子问题必不可少的工具. 量子弹子球作为这些研究的理论模型和应用半经典方法研究规则和混沌行为的典型例子一直是人们感兴趣的问题[6].

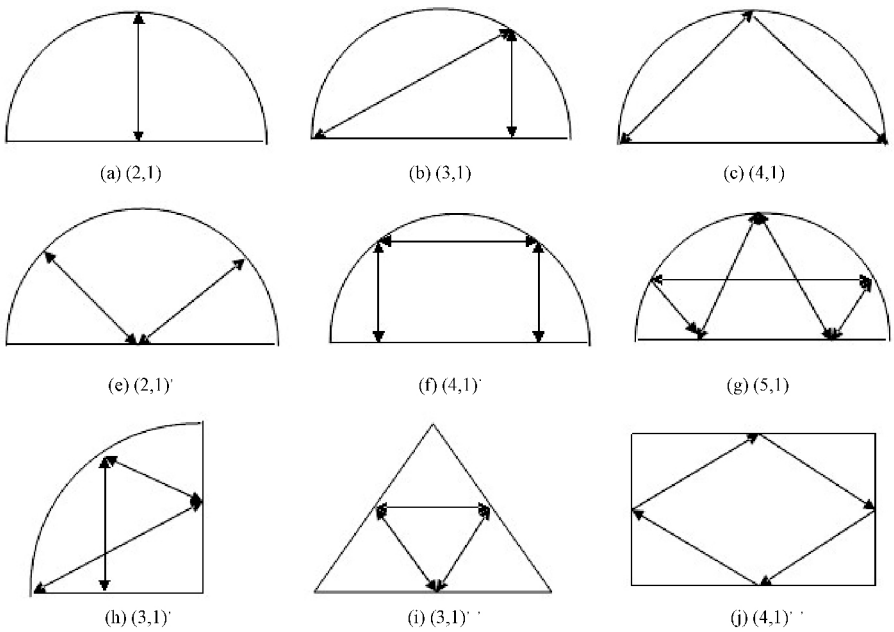


图 8 粒子在其它体系中运动轨迹的模拟

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本文应用几何方法,建立经典运动模型,通过分析得出粒子在圆形和环形弹子球体系运动过程中要形成闭合轨迹所满足的条件. 根据不同的情况,分别给出了圆形和环形经典轨道的信息,包括轨迹形状和轨道长度,并且画出了多种经典运动的轨迹图像为进一步研究弹子球体系做了很好的准备工作. 进一步研究可以应用周期轨道理论,专门研究圆形和环形弹子球体系的运动,寻求它们的经典描述和量子描述之间对应关系,并把所得到的结果进行比较,可以发现量子谱峰的位置与经典轨道的长度在误差允许的范围内符合得很好.

近年来随着实验技术的提高,量子——经典相互作用的研究逐渐成为一个重要的课题. 在纳米器件中,通过控制门电压可以控制电子的运动,这就是量子弹子球体系在实验中的实现. 晶体生长技术和光刻技术的发展,使得纳米器件的生产成为可能. 由于半导体器件中电子的输运性质、微腔输运中的相关技术、半导体微结构设计的连接依赖于腔体的形状,圆形和环形弹子球体系的动力学性质的研究中在来有较高的应用价值.

参 考 文 献

[1] Gutzeiller M C. Periodic Orbits and Classical Quantization Conditions [J]. Math Phys, 1971,12(3):343 - 349.

[2] Blomquist. Time-dynamics of electron wave packets in chaotic and regular quantum billiards with leads [J]. Phys Rev, 2002, E66:026217.

[3] Buot F A. Mesoscopic Physics and Nanoelectronics: Nanoscience and Nanotechnology [J]. Phys Rep,1993,234(2): 73 - 78.

[4] Stockman, Stein J. Quantum Chaos in Billiards Studied by Microwave Absorption [J]. Phys Rev Lett,1990,64(2):2215 - 2218.

[5] Gutzwiller M C. Chaos in Classical and Quantum Mechanics [M]. Springer,New York,1990.

[6] Marcus C M, Kaplan A, et. al. Observation of Chaotic and Regular Dynamics Atom-Optics Billiards [J]. Rhys Rev Lett, 2001,86(3):1518.

Simulation of Particles of Closed Trajectories in the Billiard

Tang Tiantian

(Department of Mathematical Physics Education of Yantai Nanshan University, Yantai 265713)

Abstract

In recent years,the study of "artificial atoms" (quantum well) has been of great interest in the relatively new field, this study of microjunctions would become useful in future generations of computer. We plot some closed orbits by studying the classical trajectory of the system in circular and annular billiard. In order to calculate the outgoing angle and the perimeter of the trajectories,we find out the conditions of the closed orbits in two billiards. The results in this paper may give some reference value to further study the relationship between the behavior of classical and quantum mechanics.

Key words: billiard, classical trajectory, closed orbit.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net