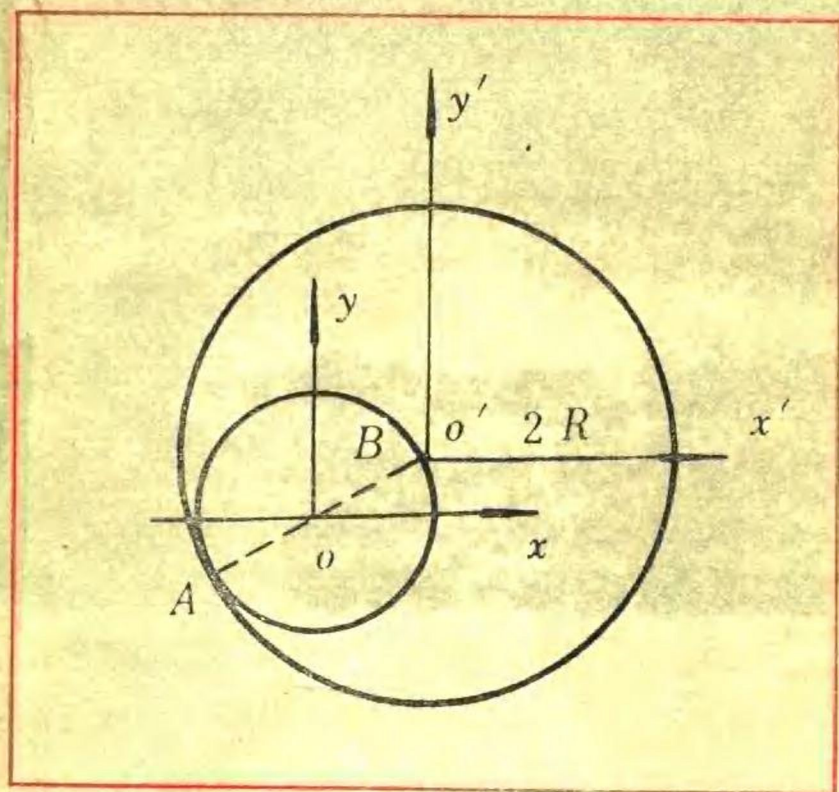


# 大学基础物理 教学研究

韩绍先等 编著



南开大学出版社

# 大学基础物理 教学研究

韩绍先等 编著

南开大学出版社

## 内 容 提 要

本书结合教学对大学基础物理各门课程中的一些问题进行了比较深入的讨论。全书共分五章，即力学、热学、电磁学、光学、原子物理与原子核物理。本书可供大专院校从事基础物理教学工作的教师参考，也可供进一步钻研基础物理的广大读者和学生阅读。

## 大学基础物理教学研究

韩绍先等 编著

---

南开大学出版社出版

(天津南开大学校内)

新华书店天津发行所发行

河北新华印刷一厂排版

天津宝坻县印刷厂印刷

---

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:11.625

字数:290千 印数:1—3,000

统一书号:13301·26 定价:2.05元

# 前 言

大学基础物理是物理系的重要基础课程。一个学生对基础物理中的基本概念和基本规律理解、掌握的程度及运用的能力，不仅在他的后继课程学习中起着重要的作用，而且在他毕业以后的全部物理生涯中，也有着深远的影响。从这个意义上讲，基础物理教学在整个物理教学中，占有重要的地位。

从事基础物理教学工作的教师，应该对课程内容有比较全面的掌握和比较深入的理解。这就要求教师具备超出教学大纲足够深度和足够广度的理论与实际知识，要求教师对教学内容进行深入研究，并及时了解学科前沿的发展。

尽管基础物理的基本内容在科学上已很成熟，但从教学角度考虑，还是有许多问题值得进一步探讨。教学研究，对提高教师的业务能力和教学水平，对充实和更新教学内容，都是一项很有意义、十分必要的工作，应该予以充分重视。

有鉴于此，我们物理系基础教研室近几年来大力开展了教学研究工作，结合教学对基础物理各门课程中的一些问题进行了比较深入的探讨，综合部分教学研究成果，编写成这本《大学基础物理教学研究》，算是这项工作的一个阶段性小结，并与兄弟院校的同行们交流。

全书共分五章。第一章力学，由李子元、马根源编写；第二章热学，由常树人编写；第三章电磁学，由翁心光编写；第四章光学，由潘维济编写；第五章原子物理与原子核物理，由韩绍先编写。全书最后由韩绍先统一整理。编写所依据原文的作者，列在各节之后。本书大部分课题，曾在教研室内讨论过，许多同志

都贡献了宝贵的意见。

本书可供大专院校从事基础物理教学工作的教师参考，也可供进一步钻研基础物理的广大读者和物理系学生阅读。

我们诚恳欢迎广大读者对本书提出批评指正。

编者谨识

1984年11月

于南开大学

# 目 录

## 第 1 章 力学

§ 1-1	质点运动与参照系 .....	( 1 )
一	变换参照系是为了处理问题的方便 .....	( 1 )
二	最基本的参照系变换 .....	( 3 )
三	在基础物理中关于参照系变换的 习惯提法——相对运动 .....	( 7 )
四	转动参照系的一个例子 .....	( 9 )
§ 1-2	动量守恒与动量相等 .....	( 13 )
一	动量定理的微分形式和动量守恒 .....	( 13 )
二	动量定理的积分形式和动量相等 .....	( 15 )
三	在碰撞中动量守恒吗 .....	( 17 )
四	变质量问题与质量的流动 .....	( 20 )
§ 1-3	功、能与参照系 .....	( 23 )
一	动能定理与参照系 .....	( 23 )
二	功能原理与参照系 .....	( 25 )
三	关于动能定理的进一步讨论 .....	( 31 )
四	机械能守恒条件 .....	( 40 )
§ 1-4	角动量与定轴转动 .....	( 41 )
一	刚体绕定轴转动的角动量 .....	( 42 )
二	物体 (刚体) 系统的角动量 .....	( 47 )
三	角动量定理和转动定律 .....	( 48 )
四	角动量守恒 .....	( 51 )

§ 1-5	<b>关于流体力学中的几个问题</b> .....	(54)
一	在非密闭容器条件下帕斯卡原理是否适用 .....	(54)
二	连续性方程的物理意义 .....	(57)
三	三个心脏做功公式的物理意义 .....	(61)
§ 1-6	<b>关于振动的几个问题</b> .....	(65)
一	欠阻尼受迫振动的一些性质 .....	(65)
二	关于李萨如图形的一点讨论 .....	(73)
§ 1-7	<b>万有引力定律的发现和应</b> .....	(76)
一	万有引力的发现 .....	(76)
二	万有引力定律的推证 .....	(78)
三	万有引力的实验测定 .....	(82)
四	球体吸引球外物体的引力与质量集中在球心的质点对该 物体的引力相同 .....	(83)
五	海王星的发现 .....	(85)
六	物体间万有引力的计算 .....	(85)

## 第 2 章 热学

§ 2-1	<b>经验温标</b> .....	(87)
一	各种经验温标 .....	(87)
二	理想气体温标的建立 .....	(90)
§ 2-2	<b>有关麦克斯韦速度分布律的几个问题</b> .....	(92)
一	如何引出速率分布函数 .....	(92)
二	重力场中气体分子的热运动 .....	(96)
三	是否有速率为无穷大的分子 .....	(99)
§ 2-3	<b>范德瓦尔斯气体的内部压强及修正系数</b> .....	(102)
一	范德瓦尔斯气体的内部压强 .....	(103)
二	范德瓦尔斯方程的另一种推导方法 .....	(107)
§ 2-4	<b>在气体输运过程中分子的自由程</b> .....	(112)
一	分子在通过指定面后的平均受碰地点 .....	(113)
二	计算通过指定平面的分子之自由程 .....	(115)

三	对其它解释的一些讨论 .....	(118)
四	在球极坐标中的计算 .....	(120)
§ 2-5	关于内能的定义 .....	(122)
一	内能的普遍定义 .....	(123)
二	只能确定两平衡态的内能之差 .....	(123)
三	热学中对内能的定义常常只限于分子这一层次上 .....	(124)
四	对理想气体, 应不计与分子力相关的势能 .....	(125)
五	实际气体内能的变化 .....	(126)
§ 2-6	理想气体的定义与焦耳定律 .....	(126)
§ 2-7	对相变问题的简单补充 .....	(129)
一	相平衡条件 .....	(129)
二	相变的厄仑菲斯特分类法 .....	(129)
三	把相变分成第一类相变和连续相变 .....	(131)
四	相变与对称性突变 .....	(132)
五	相变理论的发展概况 .....	(133)

### 第 3 章 电磁学

§ 3-1	基础物理中静电场唯一性定理的证明 .....	(135)
一	第一类问题的证明 .....	(136)
二	第二类问题的证明 .....	(140)
§ 3-2	基础物理中对静电屏蔽现象的解释 .....	(143)
§ 3-3	基础物理中静电场边界条件的应用 .....	(153)
§ 3-4	关于静电能的各种表达式 .....	(157)
一	点电荷之间的静电相互作用能 .....	(157)
二	电荷连续分布情况 .....	(161)
§ 3-5	应用毕奥-萨伐尔定律时坐标的选择 .....	(165)
§ 3-6	用磁场能量计算磁力 .....	(168)
§ 3-7	基础物理中的趋肤效应问题 .....	(174)



§ 3-8	电感器断电的最高感应电压及其能量关系 .....	(180)
一	电感器断电时的感应电压 .....	(180)
二	能量关系 .....	(186)
§ 3-9	用电磁感应解释抗磁性 .....	(187)
§ 3-10	元电流环与磁偶极子的等效 .....	(191)
一	元电流环与磁偶极子的等效 .....	(191)
二	载流回路与磁偶层的等效 .....	(196)
§ 3-11	电磁学中的场和路 .....	(199)
一	“场量”和“路量”的关系 .....	(199)
二	从场方程到电路方程 .....	(200)
三	似稳条件和电报方程 .....	(203)

## 第 4 章 光学

§ 4-1	光学课程的特点 .....	(211)
一	三百年铁树开了花 .....	(211)
二	近代物理学的先驱 .....	(211)
三	多变的发展过程 .....	(212)
四	复杂的时空图象 .....	(212)
五	薄弱的实践基础 .....	(212)
§ 4-2	普遍联系的教学思想 .....	(212)
一	联系光学领域中的新成就 .....	(213)
二	联系课程中的各个章节 .....	(214)
三	联系光学发展史 .....	(214)
四	加强演示、录象片教学, 密切联系实际 .....	(214)
§ 4-3	重视题例的作用 .....	(215)
一	习题的种类与作用 .....	(215)
二	选题原则 .....	(218)
§ 4-4	从横的方面看光学课程 .....	(221)
一	作图法 .....	(221)

二	反比关系	(233)
三	光学中的测不准关系	(237)
四	sinc 函数	(243)
<b>§ 4-5</b>	<b>光的反射</b>	(250)
一	菲涅耳公式	(252)
二	反射时的半波突变	(255)
三	反射折射时的能流分配	(259)
四	斯托克斯处理反射、折射的方法	(261)
五	单次反射前后的偏振态变化	(263)
<b>§ 4-6</b>	<b>两束光的干涉</b>	(265)
一	光波迭加原理和干涉定义	(265)
二	相干条件和获得干涉的措施	(268)
三	迈克耳逊干涉仪中补偿片 $G_2$ 的作用	(269)
四	洛埃镜干涉条纹的可见度	(272)
五	梅斯林干涉条纹	(276)
<b>§ 4-7</b>	<b>薄膜干涉的定域</b>	(279)
一	点光源照明	(279)
二	扩展光源照明	(280)
三	定域中心及定域深度	(281)
<b>§ 4-8</b>	<b>偏振态变化的分析</b>	(284)

## 第 5 章 原子物理与原子核物理

<b>§ 5-1</b>	<b>氢原子基态的相对论效应</b>	(289)
<b>§ 5-2</b>	<b>关于原子在外磁场中进动的几点讨论</b>	(293)
一	拉莫尔定理的两种表述	(293)
二	当 $\mu_L \parallel B$ 或 $\mu_L = 0$ 时是否还有进动	(295)
三	原子在外磁场中获得的附加能量	(298)
四	原子进动与原子状态的关系	(300)

§ 5-3	塞曼谱线的偏振性 .....	(303)
一	$^1P_1 \rightarrow ^1S_0$ 跃迁 .....	(303)
二	$^2P_{1/2, 2/3} \rightarrow ^2S_{1/2}$ 跃迁 .....	(309)
三	普遍计算公式 .....	(318)
§ 5-4	$ij$ 耦合原子态 .....	(322)
一	非同科电子的原子态 .....	(323)
二	同科电子的原子态 .....	(327)
三	验核方法 .....	(333)
§ 5-5	阈能的计算和应用 .....	(335)
一	阈能的定义 .....	(335)
二	阈能计算公式 .....	(338)
三	阈能公式的应用 .....	(343)
§ 5-6	原子核的结合能及其在一些核现象中的作用 .....	(345)
一	原子核结合能的意义 .....	(345)
二	核结合能与核子壳层 .....	(350)
三	原子核放射衰变中的几个问题 .....	(353)
四	核反应的反应能 .....	(356)
五	裂变与聚变 .....	(359)

# 第1章 力 学

在这一章里，我们着重讨论如何正确理解基础物理力学中的一些基本概念和基本规律。内容包括质点运动与参照系的关系；动量守恒与动量相等的区别；功、能与参照系的关系；角动量与定轴转动；以及流体力学、振动中的一些问题。此外，还介绍了万有引力定律的发现和应⽤。

## § 1-1 质点运动与参照系

我们知道，描述一个质点的运动状态，总是相对于某一特定的参照系而言的，没有参照系这个前提，质点运动状态的描述就失去了实际意义。我们说汽车 A 跑得快时，一般是对地面而言的。如果是坐在另一辆奔驰着的汽车 B 中观察汽车 A，则当两辆汽车同向行驶时，你会觉得 A 并不快；当两辆车反向行驶时，又会觉得 A 开得太快了。在匀速前进着的火车车厢中观察一个落体，当其轨迹是铅直线时，改在地面上观察它，其轨迹却是一条抛物线。那么，选取不同参照系描述质点运动有什么实际意义呢？又如何进行参照系之间的坐标变换呢？

### 一 变换参照系是为了处理问题的方便

从运动学角度来看，选取什么物体系统作为参照系描述质点的运动，仅是为了处理问题的方便。这个看来是很简单的问题，在物理学史上却占有极为重要的地位。在四百多年前，哥白尼提出用日心说代替地心说，就是变换参照系的一个极为典型的问题。这一理论的建立，是天文学史上的一次伟大革命，是自然科学从神学中解放出来的标志，也是科学大踏步前进的开始。下面

我们用两个例子来说明选取适当的参照系，给描述物体运动所带来的方便。

参看图 1-1。在平静湖面上的两个不同点有两只船，各以恒定的速度行驶，如果  $v_1$  和  $v_2$  的大小和方向都不相同，将如何判断这两只船是否会相撞呢？

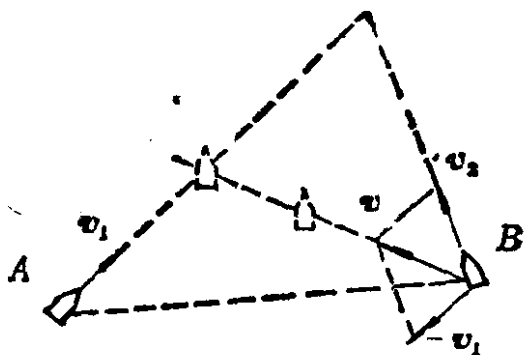


图 1-1

从岸边参照系看，必须经过必要的计算才能搞清楚。可是，若以船 A 为参照系，这时观测者所观察的是船 B 相对于船 A 的运动速度：

$$v = v_2 - v_1.$$

只要速度  $v$  的延长线不通过 A 船，即 B 船不是正向自己驶来，两船就不会相撞。显然，以船为参照系，问题的答案是一目了然的，而且也是船上人实际采用的方法。

又如，有一只运载木料逆水而行的小船，当经过某桥下面时，不慎将一小块木料落入水中，半小时后才觉察到，随即返程追赶。若小船对水的速率不变，木料落入水中是顺流漂去的。试问，小船回程追上木料需要多长时间？

若以地面为参照系，设水流速度是  $v_0$ ，船对水的速度是  $v'$ ，回程小船追赶木料所用的时间为  $t$ ，则从桥下到发现木料丢失时船逆水行驶的路程为

$$S = 0.5(v' - v_0),$$

当小船追上木料，木料已从桥下向下游漂流距离为

$$S' = v_0(t + 0.5),$$

小船从返回点到追上木料，顺水行驶的路程为

$$S + S' = (v' + v_0)t.$$

三式联立即可解得  $t = 0.5$  小时。

如果以流水为参照系，问题就变得异常简单。这时，观测者相对水静止，他所看到的落水木料也是静止不动的。又，船沿河上下行驶时相对水的速率均是  $v'$ ，则船从丢失木料至发觉时行驶的距离，与回程追赶的距离必然完全相同，故回程追赶的时间也一定是 0.5 小时。这就象前进着的火车车厢中的旅客，在某车厢中丢下一件东西，无论这位旅客走出多远，只要没有人将那件东西拿走，他总是要回至那节车厢后才能寻到一样，与火车的行进速度没有关系。显然，这里以船或火车为参照系要比以岸边或路基为参照系简便得多。

可见，变换参照系处理问题，既不是故弄玄虚，更不是玩弄数学游戏，从运动学角度来看，完全是为了方便，描述运动更加简单。

## 二 最基本的参照系变换

由于实际的参照系是多种多样的，同一参照系中的坐标系又可有无穷多个，所以研究参照系间的变换关系（严格来说，是参照系间的坐标变换关系）是个很复杂的问题，这里只作些入门的介绍。

首先考虑两个参照系相互作用匀速直线运动的情况。设  $K$  为地面参照系， $K'$  为另一个运动参照系。为定量描写质点的运动，在  $K$  系和  $K'$  系上各建立一个直角坐标系  $oxyz$  和  $o'x'y'z'$ ，且令  $t = 0$  时两坐标系完全重合， $K'$  系相对  $K$  系沿  $x$  轴的正方向作速度为  $v_0$  的匀速运动。

今有一质点，仅在  $xoy$  平面内运动， $t = 0$  时在  $P_0$  点，坐标为  $(x_0 = x_0, y_0 = 0)$ ，如图 1-2a，尔后沿着  $x = x_0$  的直线运动，速率是  $v$ ，则在  $t$  时刻它到达  $P$  点，坐标为  $(x = x_0, y = vt)$ ，如图 1-2b 所示。也就是说，在  $K$  系中看，质点的轨迹被表示为图中的虚线。

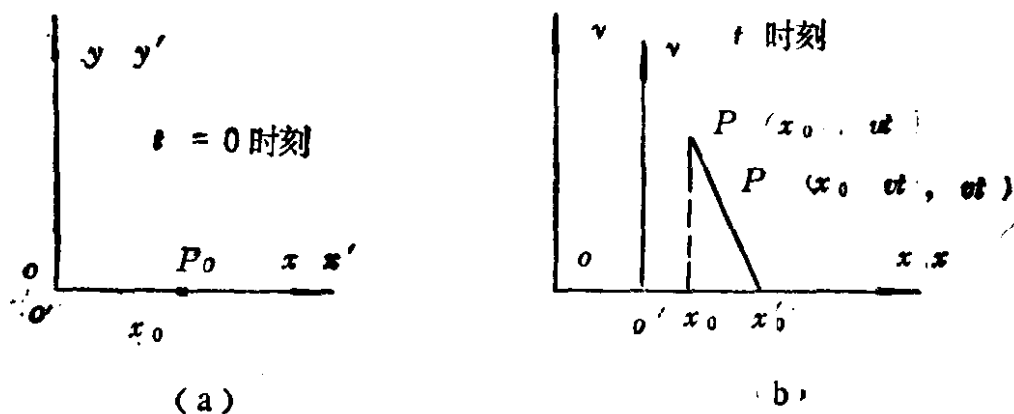


图 1-2

那么，在  $K'$  系中看，质点的运动轨迹又是怎样的呢？由于  $K'$  系的原点  $o'$  相对  $K$  系来说，在  $t=0$  时刻坐标为  $(0,0)$ ，在  $t$  时刻坐标为  $(v_0t, 0)$ 。所以，在  $K'$  系中，质点在  $t=0$  时刻的坐标是  $(x'_0 = x_0 - 0 = x_0, y'_0 = 0 - 0 = 0)$ ，在  $t$  时刻的坐标是  $(x' = x_0 - v_0t, y' = vt - 0 = vt)$ 。消去参数  $t$ ，得轨迹方程为

$$x' = x_0 - \frac{v_0}{v} y',$$

仍为一直线，直线的斜率为  $-v/v_0$ 。

如果在  $K$  系中看，一个质点是在沿  $y$  轴正方向作初速为零的匀加速直线运动，加速度为  $a$ ，它在  $t$  时刻的坐标是  $(x = x_0, y = at^2/2)$ ，其轨迹仍为  $x = x_0$  的直线。若换在  $K'$  系中观察， $t$  时刻的坐标应为  $(x' = x_0 - v_0t, y' = at^2/2)$ ，消去参数  $t$ ，可得轨迹方程为

$$y' = \frac{1}{2} a \left( \frac{x_0 - x'}{v_0} \right)^2,$$

其轨迹是抛物线的左半支，如图 1-3 中实线所示。

下面再考虑稍微复杂些的情况，即  $K'$  系相对  $K$  系不是作匀速直线运动，而是作匀速圆周运动。设一个质点  $A$  在  $K$  系中绕原点  $o$  作半径为  $R$ 、角速度为  $\omega$  的匀速率圆周运动，则其在  $K$  系

中的运动方程为

$$\begin{cases} x_A = R \cos \omega t, \\ y_A = R \sin \omega t, \end{cases}$$

其轨迹方程是

$$x_A^2 + y_A^2 = R^2,$$

如图 1-4 所示。

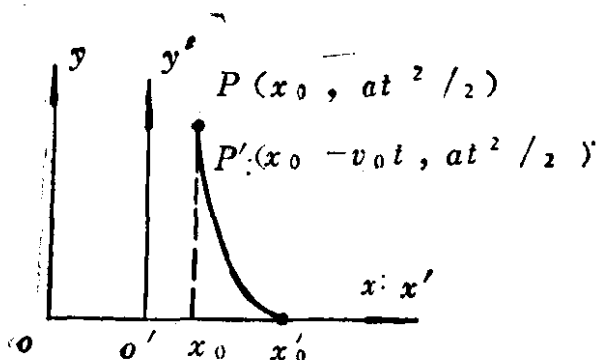


图 1-3

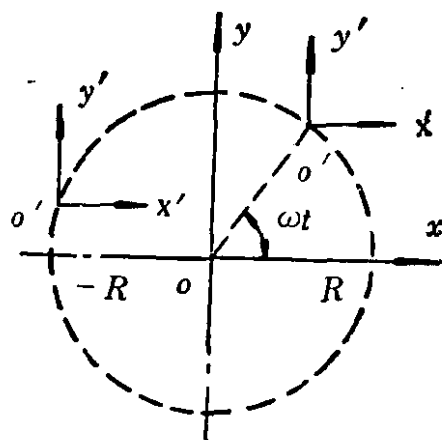


图 1-4

如果以质点 A 本身为参照系  $K'$ , 坐标轴  $o'x'y'$  就建立在质点 A 上, 且坐标轴只作平动, 则从  $K'$  系看, 质点 A 是静止不动的, 它始终在  $x' = 0, y' = 0$  处。所谓平动, 是指质点虽作圆周运动, 但与它相连的坐标轴  $o'x', o'y'$ , 在运动中却始终不改变方向。

如果所选择的  $K'$  系的原点是在另外一个质点 B 上, 它在  $t = 0$  时刻处于  $x_B = -R, y_B = 0$ , 且此质点 B 连同坐标系  $o'x'y'$  也相对 K 系中原点 o 作半径为 R、角速率为  $\omega$  的圆周运动, 如图 1-5 所示。B 点在 K 系中的运动方程是

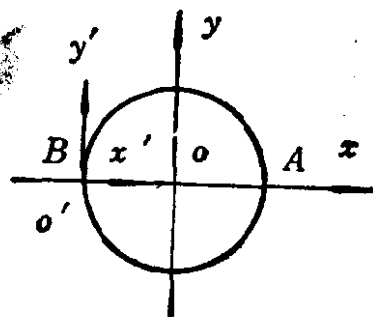


图 1-5



$$\begin{cases} x_B = -R \cos \omega t, \\ y_B = -R \sin \omega t. \end{cases}$$

已知质点  $A$  在  $K$  系中的运动方程是  $x_A = R \cos \omega t, y_A = R \sin \omega t$ , 故从  $K'$  系 (即在质点  $B$  上) 观察, 在  $t$  时刻质点  $A$  的坐标应是

$$\begin{cases} x_{A'} = x_A - x_B = 2R \cos \omega t, \\ y_{A'} = y_A - y_B = 2R \sin \omega t, \end{cases}$$

其轨迹方程为

$$(x_{A'})^2 + (y_{A'})^2 = (2R)^2,$$

如图 1-6 所示, 即质点  $A$  在  $K'$  系中的轨迹是半径为  $2R$  的圆周,  $A$  绕  $B$  转动的角速度仍是  $\omega$ .

以上讨论的只是参照系间相互作用平动时的特殊例子, 即使如此, 若  $K'$  系的原点选在其它任意点上, 坐标变换也会变得更加复杂. 下面我们再讨论一下转动参照系的特殊例子.

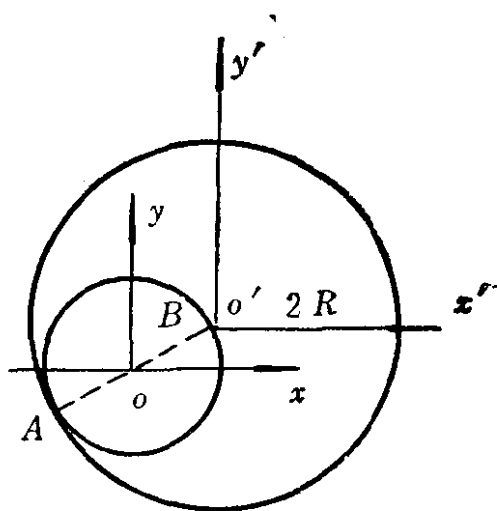


图 1-6

设  $K'$  系是个转动圆盘, 坐标  $o'x'y'$  随盘一起以角速度  $\omega$  逆时针转动. 为简单计, 设  $o'$  与  $K$  系的原点始终重合,  $t=0$  时  $o'x'y'$  与  $oxy$  重合. 因为在  $0$  至  $t$  时间内,  $o'x'y'$  相对  $oxy$  转过了  $\omega t$  的角度, 所以质点在  $K$  系和  $K'$  系中的位置坐标关系是

$$\begin{cases} x' = x \cos \omega t + y \sin \omega t, \\ y' = y \cos \omega t - x \sin \omega t, \end{cases} \quad (1-1)$$

参看图 1-7.

假如有一个质点在  $oxy$  系中固定不动, 其坐标始终是  $x=R$ ,