



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

普通物理学

● 农科各专应用

● 李崇慈 主编

中国农业大学出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教材指导委员会审定

普通物理学

李崇慈 主编
农科各专业用

中国农业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

普通物理学/李崇慈主编. —北京: 中国农业大学出版社, 1999. 1
高等农业院校教材
ISBN 7-81066-076-4

I. 普… II. 李… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 00460 号

出版 北京农业大学出版社
发行 新华书店
经销 新华书店
印刷 星河印刷厂
版次 1993 年 11 月第 1 版
印次 1999 年 1 月第 3 次印刷
开本 16 印张 25.75 千字 649
规格 787×1092
印数 6001~11000
定价: 26.00 元

主 编 李崇慈 (北京农业大学)

参编者 金仲辉 (北京农业大学)

张振瀛 (西北农业大学)

胡贤禹 (南京农业大学)

主 审 李赋稿 (北京农业大学)

前 言

本教材是根据中国物理学会教育委员会农林院校分委员会1988年11月在合肥讨论的《高等农林院校物理学的基本要求》编写的。可供高等农林院校中农科各专业及水产、林业、畜牧、兽医等专业使用。

教材中的热力学和分子物理学部分是由西北农业大学张振瀛副教授执笔的，振动与波一章由北京农业大学李崇慈教授执笔，其余部分都是由北京农业大学金仲辉教授执笔的。南京农业大学胡贤禹副教授参加了电磁学部分的编写工作。全书由李崇慈教授负责定稿。

限于水平，错误疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者
1993.3

目 录

第一篇 力 学

第一章 力学基础知识	2
§ 1—1 质点运动学	2
§ 1—2 牛顿运动定律	5
§ 1—3 力学相对性原理、惯性力	6
§ 1—4 动量定理和动量守恒定律	8
§ 1—5 功、能、机械能守恒定律	10
习题	14
第二章 刚体力学	17
§ 2—1 刚体运动学	17
§ 2—2 转动定律、转动惯量	19
§ 2—3 刚体的动能和动能定理	23
§ 2—4 角动量、角动量守恒	24
习题	26
✓第三章 流体力学	29
§ 3—1 流体静力学	29
§ 3—2 理想流体的稳定流动	32
§ 3—3 粘滞流体的运动	37
§ 3—4 粘滞流体中运动物体受到的阻力	42
习题	43

第二篇 热 学

✓第四章 气体分子运动论	48
§ 4—1 理想气体状态方程	48
§ 4—2 气体分子运动论的压强公式	52
§ 4—3 气体分子平均平动动能与温度的关系	55
§ 4—4 能量按自由度均分原理 理想气体的内能	57
§ 4—5 气体分子速率的统计分布规律	62
§ 4—6 气体分子在重力场中按高度的分布	66
§ 4—7 分子的平均碰撞次数和平均自由程	68
§ 4—8 气体的输运过程	70
§ 4—9 真实气体 范德瓦耳斯方程	74
习题	75
✓第五章 热力学基础	78
§ 5—1 热力学基本概念	78

§ 5—2 热力学第一定律	82
§ 5—3 热力学第一定律对理想气体的应用	83
§ 5—4 循环过程 卡诺循环	95
§ 5—5 热力学第二定律	99
§ 5—6 可逆过程和不可逆过程 卡诺定理	100
§ 5—7 热力学第二定律的统计意义	102
§ 5—8 熵 熵增加原理	104
§ 5—9 自由能 自由焓 水分势	110
§ 5—10 生物体系的热力学问题	113
习题	115

第六章 液体的表面性质	119
§ 6—1 液体分子结构特点 分子势能	119
§ 6—2 液体的表面现象 表面张力	120
§ 6—3 弯曲液面内外的压强差	125
§ 6—4 毛细现象	128
§ 6—5 蒸发与凝结	134
习题	135

第三篇 电磁学

第七章 静电学	140
§ 7—1 电荷 电荷守恒定律 库仑定律	140
§ 7—2 电场 电场强度	142
§ 7—3 高斯定理	147
§ 7—4 电场力的功 电势	152
§ 7—5 场强和电势的关系	156
习题	158

第八章 静电场中的导体和电介质	161
§ 8—1 静电场中的导体 静电屏蔽	161
§ 8—2 电容和电容器	163
§ 8—3 静电场中的电介质	165
§ 8—4 静电场的能量	169
习题	171

第九章 稳恒电流	174
§ 9—1 电流强度和电流密度矢量	174
§ 9—2 一段导体电路的欧姆定律 电阻 电阻率	176
§ 9—3 电功率 焦耳定律	178
§ 9—4 电动势 闭合电路的欧姆定律	179
§ 9—5 基尔霍夫定律	182
§ 9—6 电子逸出功 温差电现象	183

习题	158
✓第十章 稳恒磁场	188
§ 10—1 基本磁现象	188
§ 10—2 磁场 磁感应强度	189
§ 10—3 毕奥—萨伐尔定律及其应用	190
§ 10—4 磁场的高斯定理和安培环路定理	194
§ 10—5 磁场对载流导线的作用	197
§ 10—6 洛伦兹力	200
习题	204
✓第十一章 电磁感应	208
§ 11—1 电磁感应基本定律	208
§ 11—2 动生电动势	210
§ 11—3 感生电动势 感生电场	212
§ 11—4 自感和互感	214
§ 11—5 磁场的能量	218
习题	220
✓第十二章 磁介质	223
§ 12—1 磁介质的磁化	223
§ 12—2 有磁介质存在时磁场的高斯定理和安培环路定理 磁场强度矢量	225
§ 12—3 铁磁质	227
§ 12—4 磁学的应用	230
习题	231
✓第十三章 麦克斯韦方程组和电磁波	232
§ 13—1 麦克斯韦方程组	232
§ 13—2 电磁波	235
习题	239

第四篇 光 学

✓第十四章 振动与波	242
§ 14—1 简谐振动	242
§ 14—2 简谐振动中的速度和加速度	243
§ 14—3 振子	244
§ 14—4 旋转矢量和参考圆	246
§ 14—5 几种常见的振子	247
§ 14—6 简谐振动的能量	249
§ 14—7 阻尼振动	250
§ 14—8 受迫振动与共振	251
§ 14—9 简谐振动的合成	252
§ 14—10 波及其形成	256

§ 14—11	波长、波速、平面波的表达式	257
§ 14—12	平面波和球面波	260
§ 14—13	简谐波的能量密度和能流密度	261
§ 14—14	惠更斯原理	264
§ 14—15	波的干涉	265
§ 14—16	超声波及其应用	266
§ 14—17	多普勒效应	268
习题		270

第十五章 光的干涉和衍射

§ 15—1	杨氏实验	273
§ 15—2	相干光源与非相干光源	278
§ 15—3	薄膜干涉	279
§ 15—4	迈克尔孙干涉仪	286
§ 15—5	惠更斯—菲涅耳衍射原理	288
§ 15—6	单缝夫琅和费衍射	290
§ 15—7	衍射光栅	293
§ 15—8	圆孔夫琅和费衍射	301
习题		302

第十六章 光的偏振、吸收、色散和散射

§ 16—1	自然光和偏振光	306
§ 16—2	线偏振光的获得、马吕定律和布儒斯特定律	308
§ 16—3	晶体双折射	310
§ 16—4	旋光性	315
§ 16—5	光的吸收	317
§ 16—6	光的色散	319
§ 16—7	光的散射	320
习题		322

第十七章 光度学和色度学基本概念

§ 17—1	光度学基本概念	325
§ 17—2	色度学基本概念	330
习题		335

第五篇 量子物理学的基础

第十八章 光的量子性

§ 18—1	热辐射	338
§ 18—2	光的粒子性和实物粒子的波动性	343
习题		348

第十九章 原子的量子理论

§ 19—1	测不准关系	350
--------	-------------	-----

§ 19—2	波函数、薛定谔方程	352
§ 19—3	氢原子	358
§ 19—4	原子的发射光谱和吸收光谱	364
§ 19—5	分子光谱	365
§ 19—6	激光	377
习题		378
✓ 第二十章	原子核和基本粒子简介	378
§ 20—1	原子核的某些基本知识	384
§ 20—2	原子核的放射衰变	390
§ 20—3	放射线的探测	390
§ 20—4	放射性同位素的应用	391
§ 20—5	基本粒子简介	393
习题		399

第一篇 力 学

宇宙的最突出的特征之一是运动，而在物质的各种各样、千变万化的运动中，最简单的一类是物体间或物体各部分间相对位置的变动，例如天体的运动、机器的运转、大气和河水的流动等等。这类运动形态称为机械运动。力学研究的对象就是机械运动的规律。

通常把力学分为运动学、动力学和静力学三部分。运动学研究物体在运动过程中位置和时间关系，动力学研究物体的运动与物体间相互作用的内在联系，静力学研究物体在相互作用下的平衡问题，也可以把它看作是动力学的一部分。

本篇讨论的力学属于经典力学，它有一定的适用范围，那就是讨论的客体都是由大量原子构成的宏观物体，且其速度比光速（约 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）要小得多，图0—1非常定性地指出了经典力学在空间尺度、速率方面的有效范围和局限性。但是，值得指出的是，量子力学理论可以证明，对那些能量比较大且处于比较缓慢变化力场中的微观粒子，仍然可运用经典力学描述它们的运动。所以，笼统地说“经典力学不适用于微观粒子”是不妥的。还有，经典力学所涉及的时间尺度大约为 $10^{-8} \sim 10^{15} \text{ s}$ ，这对应着从声振动的周期到太阳绕银河系中心转动的周期。

本篇共三章，其中第一章力学基础知识，多半为中学已学过的内容，由于这部分内容涉及到物理学中许多重要的概念，掌握它对学习好物理学其它部分是至关重要的。所以，现在将它们的主要内容列出来，并且在推导公式中尽量运用一些浅近的高等数学知识，这样就可以起到复习和承上启下的作用。

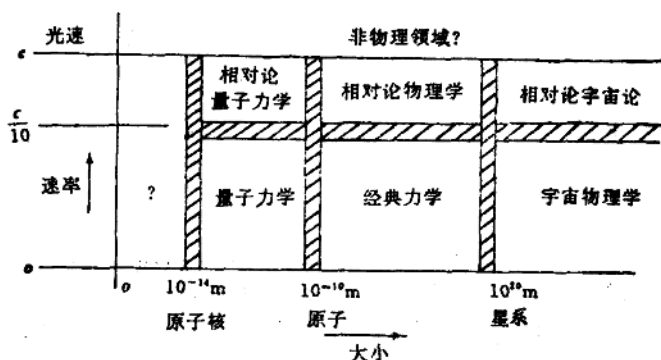


图0—1 经典力学的有效范围和局限性

第一章 力学基础知识

§1—1 质点运动学

一、时间和长度的量度、参照系和坐标系、质点

描写物体的运动，要用时间和空间这两个概念。在日常生活中，我们虽然很熟悉这两个概念，但对它们很难给出严格的定义。好在物理学是一门基于实验的科学，对于它们来说首要的问题似不是去追究它们的纯粹的定义，而是应当了解它们是怎样量度的。

自然界中许多重复性的过程都可以作为量度时间的标准。例如，太阳的升没表示天，四季的循环称作年，月亮的盈亏是农历的月等等。现代的精密计时是采用性能极为稳定的原子钟。在国际单位制中，时间的单位为秒。1967年10月在第十三届国际度量衡会议上，对一秒的时间作如下的规定：位于海平面上的 ^{133}Cs 原子的基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁辐射的周期 T 与一秒的关系为：

$$1\text{秒} = 9\,192\,631\,770T.$$

根据秒规定的一些其它的时间单位见表1—1。

表1—1

名 称	时间(s)	国际代号
小 时	3600	h
分	60	min
秒	1	s
毫 秒	10^{-3}	ms
微 秒	10^{-6}	μs
纳 秒	10^{-9}	ns

长度是空间的一个基本性质。在国际单位制中，长度的单位为米。1983年10月在第十七届国际度量衡会上，对一米作了新的规定：米是光在真空中在 $1/299\,792\,458\text{s}$ 的时间间隔内所传播的路程长度。按这种定义，光速 c 是一固定的常数，即

$$c = 299\,792\,458\text{m/s}.$$

根据米规定的其它一些长度单位见表1—2。

若用数学方法准确地描述一物体的运动，除了要确定时间和空间的量度外，还必须选择另一物体作为对照，来判断该物体的位置有无变化。所选定的这个物体称为参照系。由此可见，对一物体运动状况的描述具有相对性，随选择不同的参照系而异。在分析一个具体的问题时，究竟选择怎样的参照系，没有任何限制，完全由分析问题的需要而定。

表1-2

名 称	长度 (m)	国际代号
千 米	10^3	km
米	10^0	m
厘 米	10^{-1}	cm
毫 米	10^{-3}	mm
微 米	10^{-6}	μm
纳 米	10^{-9}	nm

为了从数量上确定物体相对于参照系的位置,需要在参照系上选用一个固定的坐标系,并在参照系上选定坐标系的原点和坐标轴。常用的三维坐标系有直角坐标系(x, y, z)、球面坐标系(r, θ, φ)和圆柱面坐标系(r, φ, z)等。

任何物体都有一定的大小和形状。若物体在运动过程中,其上各点的运动情况都相同或差异很小,在研究的现象中所起的作用可忽略不计。这样一来,物体的形状和大小与研究的问题无关,这样的物体称为质点,即只有质量而无形状和大小的几何点。显见,质点是物体在一定条件下,经抽象化、理想化的模型。

二、位置矢量、位移

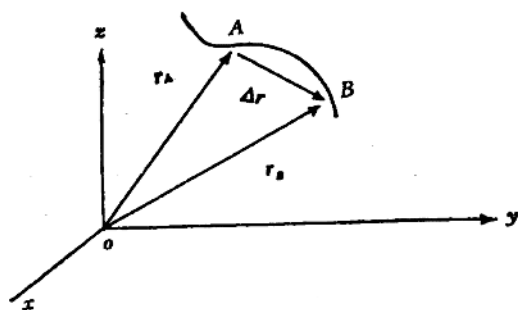


图1-1 位置矢量和位移

设一质点在时刻 t 位于 A 处,在时刻 $t + \Delta t$ 位于 B 处,如图1-1所示。图中弧长 $\widehat{AB}$ 表示质点运动轨道的一部分, r_A 和 r_B 称为质点的位置矢量,在 Δt 时间间隔内质点的位置变化

$$\Delta r = r_B - r_A \quad (1-1)$$

称为质点的位移。位移是个矢量,它除了表明 A, B 两点之间的距离外,还表明它们之间的方位。

一般情况下,有限位移的数值并不代表质点运动的路程,只有当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,位移的数值才与质点运动路程相同。

三、速度、加速度

速度 v 是描述质点运动快慢和运动方向的物理量,它定义为质点在 t 至 $t + \Delta t$ 时间内的位移 Δr 与时间间隔 Δt 之比的极限,即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-2)$$

速度是矢量,速度的方向是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 的极限方向,如在图1-2中,质点经过 A 点

时的 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限方向也就是曲线在 A 点的切线方向。

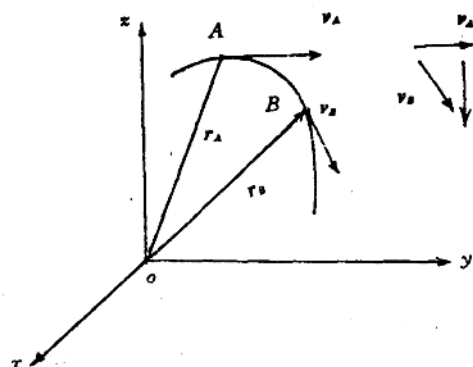


图1—2 速度和加速度

速度的大小称为速率，用符号 v 表示。在极限情形下， $|d\mathbf{r}|$ 和弧长 ds 相等，因而有：

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt}. \quad (1-3)$$

质点运动经过的路程 s ，可通过速率对时间的积分得到，即

$$s = \int_0^t v dt. \quad (1-4)$$

在一般情形下，质点的速度随时间变化，图1—2示出了在 Δt 时间间隔内质点速度的改变量 $\Delta \mathbf{v}$ 。速度随时间的变化率定义为加速度 $\mathbf{a}$ ，即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}. \quad (1-5)$$

加速度是矢量，它的方向为 $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 的极限方向。在一般情形下，加速度的方向不如速度方向那样容易判断。在讨论质点的曲线运动时，我们常将 $\mathbf{a}$ 分解成切向加速度 $\mathbf{a}_t$ 和法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 两个分量，即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n, \quad (1-6)$$

其中 $\mathbf{a}_t$ 的方向和 $\mathbf{v}$ 的方向一致， $\mathbf{a}_n$ 的方向垂直于 $\mathbf{v}$ 的方向。 $\mathbf{a}_t$ 的作用是改变速度的大小，而 $\mathbf{a}_n$ 的作用是改变速度的方向。显见，在 $\mathbf{a}_n = 0$ ，而 $\mathbf{a}_t \neq 0$ 时，质点作变速直线运动，在 $\mathbf{a}_t = 0$ 而 $\mathbf{a}_n \neq 0$ 时，质点作匀速率曲线运动。

可以证明， $\mathbf{a}_n$ 和 $\mathbf{a}_t$ 的数值为

$$\left. \begin{aligned} a_n &= v^2 / \rho, \\ a_t &= \frac{dv}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中的 ρ 为质点所在点的曲线的曲率半径。

速度单位为 m/s ，加速度单位为 m/s^2 。

如果质点作匀速直线运动，质点速率 v 为常数，则由 (1—4) 式可得

$$s = vt. \quad (1-8)$$

如果质点作匀变速直线运动，质点加速度 $\mathbf{a}$ 为常数，则对 (1—5) 式积分可得

$$v = v_0 + at, \quad (1-9)$$

将上式代入 (1—4) 式，积分得

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2. \quad (1-10)$$

由上二式消去参数 t ，可得

$$v^2 - v_0^2 = 2as. \quad (1-11)$$

§1—2 牛顿运动定律

一、牛顿第一定律、惯性系

牛顿第一定律可表述如下：每个物体继续保持其静止或沿一直线作等速运动的状态，除非有力加于其上迫使它改变这种状态。

牛顿第一定律正确说明了力和运动的关系，物体的运动并不要力去维持，只有当物体的运动状态（速度）发生变化时，才需要力的作用。牛顿第一定律还揭示出，任何物体都具有一种保持其原来运动状态的特性，我们称这种特性为物体的惯性。因此，牛顿第一定律也常称为惯性定律。

我们前面已提到，运动是具有相对性的。对参照系 s 为匀速运动的物体，在参照系 s' 中可能成为非匀速的。然而，惯性定律的意义是在于断言：一定存在着这样的参照系，相对于它，所有不受外力作用的物体都保持自己原有的速度。这类特殊的参照系，称为惯性参照系或惯性系；反之，称为非惯性系。

一个参照系是不是惯性系要根据观测和实验来判断。太阳参照系是一个很精确的惯性系。根据对光谱线多普勒效应的研究，可以认为太阳相对于银河系中心的速度约为 3×10^5 m/s，如果太阳是在绕着银河系中心的圆轨道上运动，而银河系中心距太阳约为 10^{19} m左右，那么太阳绕银河系中心转动的加速度为

$$a = \frac{v^2}{R} \approx 3 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2,$$

这个值是很小的，所以太阳是一个很好的惯性系。在分析地面上物体的运动时，如果地球的自转效应在分析的问题中可忽略不计，则可认为地球是一个足够精确的惯性系。

二、牛顿第二定律

牛顿第二定律表述如下：物体在外力作用下获得的加速度的大小与外力的大小成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与外力方向相同，即为

$$a \propto F/m,$$

写成等式，则为

$$F = kma,$$

式中 k 为比例系数，它由力、质量和加速度单位决定。适当选择单位，可令 $k=1$ 。于是，上式可表示成

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}. \quad (1-12)$$

上式即为牛顿第二定律的数学表示式，它是质点动力学的基本方程。

(1-12)式中的力是一个矢量，它和速度、加速度一样，它的合成、分解遵守矢量代数运算法则。质量是一个标量。

在国际单位制中，质量的单位是千克(kg)，千克的标准是保存在国际计量局中的一个铂铱圆柱体。力的单位是牛顿(N)，1N力使质量为1kg的物体产生 1m/s^2 的加速度。

三、牛顿第三定律

牛顿第三定律的表述如下：当物体A以力F作用在物体B上时，物体B也必定同时以力F'作用在物体A上，F和F'在一条直线上，大小相等而方向相反，即

$$F = -F' \quad (1-13)$$

对于这样一对相互作用力，我们常称其中一个为作用力，另一个为反作用力（图1-3）。

一般说来，牛顿第三定律的陈述只对接触物体之间相互作用力和万有引力成立。对于相隔一定距离的两个物体之间的电磁作用，由于相互作用通过场以有限速度传播，要考虑推迟效应。对于这类情况，研究表明包括电磁场动量在内的动量守恒定律则是更为普遍的规律，它适用于从低速到高速、从宏观到微观的各种相互作用，也包括了牛顿第三定律。不过，在本书中，我们只分析接触物体之间的相互作用力和万有引力。

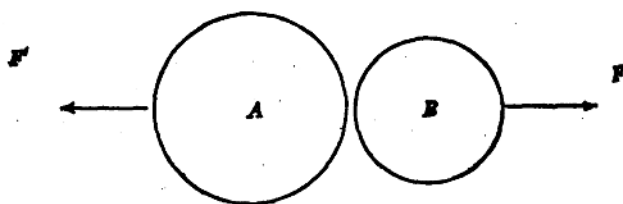


图1-3 作用力和反作用力

§1-3 力学相对性原理、惯性力

一、力学相对性原理、伽利略变换

力学相对性原理告诉我们，在彼此作匀速直线运动的所有惯性系中进行力学实验，所得出的力学规律都是相同的，即对于描述力学规律来说，一切惯性系都是等价的。

质点一定的运动过程总是和一定的空间和时间相联系的，当从一个惯性系变换到另一个惯性系时，必然存在着一个坐标与时间的变换关系，通过这样的变换，保证质点动力学方程的形式不变。

图1-4表示惯性系s'相对于惯性系s作匀速直线运动，速度为v，r为质点P在s系中的位置矢量，r'为质点P在s'系中的位置矢量，用t和t'分别表示自s系和s'系观察同一事件发生的时刻，我们选择s和s'系重合时作为计时的起点。如果质点P的运动速度远小于真空中的光速，那么两参照系之间的时空变换为

$$\left. \begin{aligned} r' &= r - vt \\ t' &= t \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

这一时空变换关系称为伽利略变换。伽利略变换最大特点是时间t（或t'）与空间二点之间的长度没有联系，且和运动状态无关，所以它们在所有参照系中是不变的。

由（1-14）式不难证明，在s'和s系中质点P具有相同的加速度，即

$$a' = \frac{d^2 r'}{dt'^2} = \frac{d^2 r}{dt^2} = a.$$

若再考虑到质点P的速度远小于真空中光速，则其质量在s'和s系中也具有相同的数值

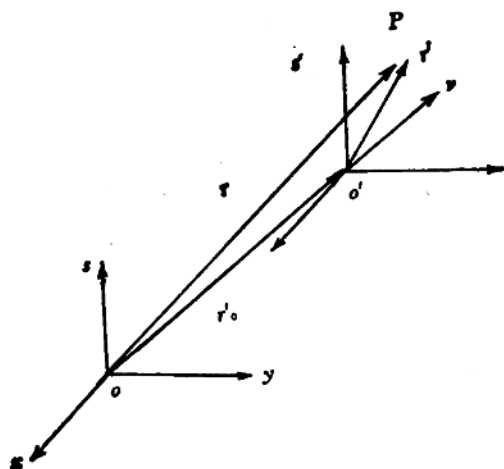


图1—4 两个惯性系 s 和 s'

($m' = m$)。上述说明了在不同惯性系下, 质量和加速度具有相同的数值, 从而保证了牛顿第二定律形式不变, 所以对于描述力学规律来说, 一切惯性系都是等价的。

爱因斯坦进一步发展了力学相对性原理, 他认为: 对于描述一切物理过程(包括力学的、电磁的、原子的等)的规律, 所有的惯性系都是等价的。经过推广了的相对性原理称爱因斯坦相对性原理, 它是狭义相对论两条基本原理之一。

二、惯性力

若在非惯性系中讨论质点动力学问题而又要采用牛顿第二定律的形式, 我们必须引入一个虚设的力, 这个力称为惯性力 f^* 。

图1—5中的车厢相对于地面作直线加速运动, 加速度为 a , 所以它是一个非惯性系。若以车厢为参照系观察, 小球 m 在水平方向上虽受到弹簧的拉力 F 的作用却处于静止, 不符合牛顿第二定律。为保持牛顿第二定律形式不变, 我们假想小球受到一惯性力 f^* , 方向与 a 相反, 大小等于 ma , 即

$$f^* = -ma \quad (1-15)$$

这个虚设的惯性力与弹簧拉力 F 平衡。

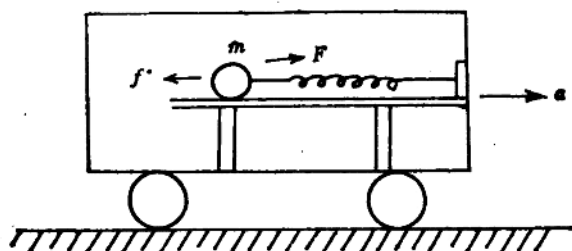


图1—5 车厢是非惯性系