

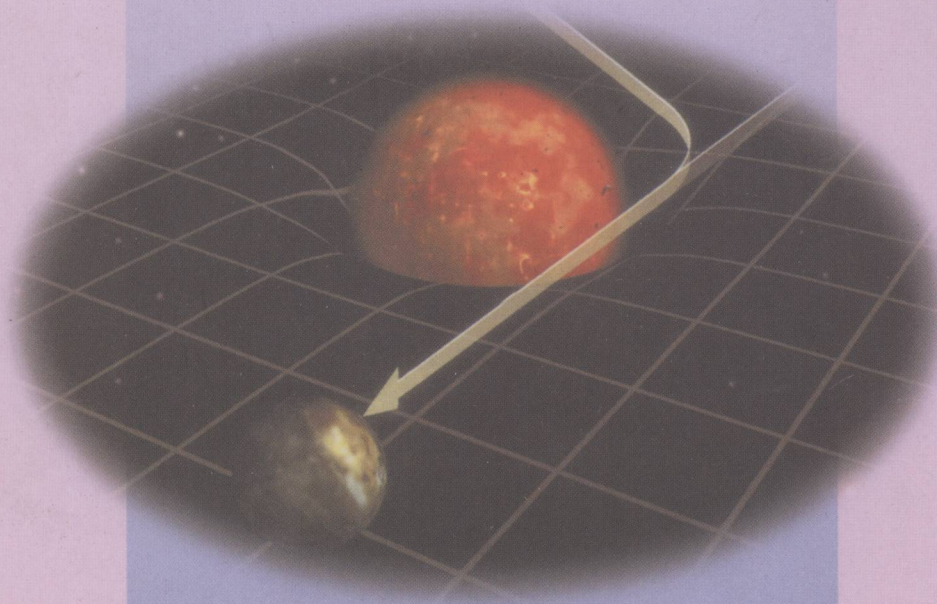


全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

导学式教材

物理学基础

蔡小秋 编著



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

物 理 学 基 础

蔡小秋 编著

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理学基础/蔡小秋编著. —北京: 中国农业出版社,
2003.7
全国高等农业院校教材
ISBN 7-109-08389-6

I. 物... II. 蔡... III. 物理学 - 高等学校 - 教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052945 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
出版人: 傅玉祥
责任编辑 薛 波

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 20

字数: 352 千字

定价: 26.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

物理学是一门基础科学,也可以说物理学是整个自然科学的基础.因为,现代物理学的一些基本概念、理论、思想方法与实验手段,已成为包括天文学、地质学、化学、生命科学、环境科学等众多学科的重要组成部分;物理学的一些概念(如场、熵、混沌等)甚至被社会科学所引用;物理学还为马克思主义哲学概括总结自然科学技术理论成果提供了丰富的、鲜活的思想材料.所以,1999年3月第23届国际纯粹物理与应用物理(IUPAP)代表大会决议指出:“物理学——研究物质能量和它们相互作用的科学——是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用.”“物理学是教育体制和每个进步社会的一个重要组成部分.”

在改革开放的历史进程中,为了适应市场经济对创造性、普适性人才的需求,我国教育界正在进行着一场面向世界、面向未来、面向现代化的深刻变革.这场变革的一个重要内容就是全面推进素质教育.就物理教育而言,就是要有有效地培养学生的科学精神、科学思想和科学方法,以便增强他们将来适应社会竞争的能力与服务社会、造福人类的品质.为了适应这种教育变革的需求,笔者作为大学非物理专业基础物理课教师,想通过教材这一媒体,发挥物理学的素质教育功能.通过教材,让学生感受到学习物理是一种享受.在享受物理的过程中养成不断发现问题,解决问题的习惯,领会创新求异、严谨求实的意义.

基于上述想法,笔者尝试用追踪物理观念发展的方法来编写物理教材,把现代物理和经典物理有机地结合起来,大胆地拆除了经典物理学和现代物理学之间以及物理学传统分支之间的藩篱,将教材分为14个专题(章),即:描述运动,坐标变换,理解运动,运动定律,动量守恒定律,能量守恒和转换定律,角动量守恒定律,广义相对论简介,从力到场、波,波粒二象性,量子力学初步,混沌现象,巨系统 熵.

在教育思想上,笔者希冀这部教材能挣脱单纯传授知识的惯性的束缚,把学生引导到“探索、发现、成功”的自主性学习的道路上来,让他们在亲身的经历中,领略到探索的艰辛、发现的激动和成功的喜悦,从而逐步培养他们发现问题和解决问题的能力.

在编写体例结构上,笔者采用夹叙夹议形式,版面左栏叙述课程主题内容,右栏则针对学生的知识基础、生活经验和心理状态等,提出问题,创设悬念,把学

生带入一个充满矛盾困惑、不断发展、生机勃勃地物理学中去,把学生引导到讨论问题、发现规律和应用知识的轨道上来,从而达到掌握知识,培养能力、提高素质的目的。

教材中还有一些带*号的章节、题目、问题,它们难度较大,只提供有兴趣、不怕困难的学生,作为选学、选做、选答的内容。

学生是我编写本教材的动力和思想的源泉,在本教材的课堂试用中他们提供了许多反馈意见被我采纳。

厦门大学物理系张志鹏教授最早仔细阅读了我的教材初稿,给我许多建议和帮助;福建农业大学原基础部主任、物理教研室老教师余代发副教授对本教材进行了三次课堂试用,试用本教材的教师还有魏金奎、陈小明老师,他们提出的许多宝贵意见被我采纳;物理和电子科学系主任刘银春副教授仔细评阅了全部书稿,给我很大的帮助和鼓励。在此,我向他们表示深深的感谢。

本书的插图由蔡胜完成,他的工作很合我的心意。在此,我向他表示感谢。

本书在编写过程中,吸收了近年来国内外学者关于大学物理现代化研究的成果,已经列入参考文献,在此我对它们的作者表示深深的谢意;如有遗漏之处,在此我对它们的作者表示深深的歉意。

本教材是一种教改的尝试,还很粗糙,有待在教学实践中充实完善。囿于笔者的学术水平,书中外误疏失一定不少,当你们使用这本教材时,肯定会有一些评论、建议、批评或指正,我非常欢迎,我的 Email:caixiao@163.com。

最后,我希望使用这本教材或教或学的人,能够感受到我写这本教材和讲授这个课程时所感受的那种乐趣。

作者:蔡小秋

2003.3 于福州

目 录

前言

绪论	1
概念与术语: 科学 学习物理学的意义	
第一章 描述运动	3
1-1 位置矢量 位移矢量	3
概念与术语: 参照系 相对 绝对 质点 矢量 单位矢量 位置矢量 位移矢量 矢量的加减运算 增量算符 Δ 运动方程 轨道方程	
1-2 地心说和日心说	5
概念与术语: 惯性系 非惯性系	
1-3 速度矢量	7
概念与术语: 平均速度矢量 瞬时速度矢量 平均速率标量 瞬时速率标量 瞬时速度矢量与瞬时速率标量之间的关系 微分算符 d 相空间 相点 相轨迹	
1-4 加速度矢量	10
概念与术语: 平均加速度矢量 瞬时加速度矢量 匀速率圆周运动 向心加速度 匀加速运动 匀加速直线运动	
1-5 矢量的分解和合成	12
概念与术语: 位移、速度、加速度矢量在直角坐标系中的分解 矢量的微分 矢量的导数 极坐标系 径向速度 横向速度 自然坐标系 曲率 曲率半径 切向加速度 法向加速度	
练习 1.1	16
1-6 角位移 角速度 角加速度	17
概念与术语: 转动 角量和线量 角位移 角速度矢量 角加速度矢量 圆周运动中速度矢量与角速度矢量的关系 矢量积	
1-7 振幅 周期 相位	20
概念与术语: 振幅 周期(频率、角频率) 相位(初相位) 相位差	

	简谐振动的特征方程及其解 相量图 相量	
	简谐振动的复数描述简谐振动的叠加(同方向同频率 同方向不同频率	
	相互正交同频率	
	相互正交不同频率)	
练习 1.2	.....	27
1-8 矢量 矢量场的通量和环量	.....	27
	概念与术语: 矢量的运算法则(加减法 标量积 矢量积) 矢量场	
	流线 流管 流线密度 面的方向表示 闭曲面 闭曲线	
	通量 环量	
练习 1.3	.....	32
	概念与术语: 矢量的运算的一些常用公式	
第二章 坐标变换	.....	36
2-1 伽利略变换	.....	36
	概念与术语: 惯性参照系 伽利略坐标变换 伽利略速度变换	
	伽利略加速度变换 相对性原理	
	(狭义相对论假说之一)	
练习 2.1	.....	40
2-2 洛伦兹变换	.....	40
	概念与术语: 真空中的光速与光源运动速度无关(狭义相对论假说之二)	
	洛伦兹坐标变换及其含义 洛伦兹变换与伽利略变换之间的	
	关系 四维世界	
	狭义相对论的时空观: 同时的相对性 因果关系的绝对性	
	运动的尺子收缩 运动的时间膨胀	
	狭义相对论的速度变换	
练习 2.2	.....	51
2-3 物质世界的层次 数量级	.....	52
	概念与术语: 数量级 宏观 微观 介观系统 时空尺度	
第三章 理解运动	.....	57
3-1 亚里士多德的错误理解	.....	57
3-2 落体实验和伽利略的科学方法	.....	57
	概念与术语: 假说—实验 假说—数学演绎—实验 演绎法 简明性标准	
	实验的作用 实验与推广	
3-3 惯性定律的发现	.....	59
	概念与术语: 理想实验	

第四章 运动定律	61
4-1 牛顿运动定律	61
概念与术语: 惯性定律 惯性质量 动量 牛顿第二定律 牛顿第三定律 质点 质点系 隔离体法 外力 内力 力的独立性原理和 叠加原理	
4-2 万有引力	65
概念与术语: 引力相互作用 引力质量与惯性质量 等价原理(广义相对 论假说之一) 地面参照系 地心参照系 太阳参照系	
4-3 电磁力	67
概念与术语: 库仑定律 库仑力与万有引力的比较 强相互作用力 电场力 洛伦兹力 洛伦兹力公式 安培力 弹力 弹性限度 虎克定律 波动方程	
4-4 强力和弱力 四种相互作用	73
概念与术语: 强力 弱力 四种相互作用比较 四种相互作用的统一 大统一理论 超弦理论	
4-5 牛顿定律的应用	75
概念与术语: 电子示波器原理 磁约束 回旋加速器 卢瑟福实验与原子 结构模型 速度选择器 质谱仪 磁聚焦 霍尔效应 磁电式电流计	
练习 4	86
第五章 动量守恒定律	88
5-1 质点的动量定理	88
概念与术语: 动量 冲量 质点的动量定理	
5-2 质点系动量守恒定律	90
概念与术语: 质点系动量定理 质点系的质心	
练习 5	94
* 5-3 质量—速度关系	95
概念与术语: 动量的定义 质量和速度的关系	
第六章 能量守恒和转换定律	99
6-1 功	99
概念与术语: 变力功的计算 矢量的标量积	
6-2 用势能减量表示保守力做功	102

概念与术语: 保守力 非保守力 势函数 零势点 重力势能 弹力势能 引力势能	
6-3 质量—能量关系	103
概念与术语: 质点的总能 质点的静能 质量—能量关系 质点的动能 质点的动能定理	
6-4 质点系能量守恒定律	105
概念与术语: 质点系总能量守恒定律 质点系总能的含义 静止物体的内能 质量亏损	
6-5 能量—动量关系	107
概念与术语: 能量—动量关系 光子的静止质量 动量能量变换	
练习 6	109
6-6 粒子与反粒子	110
概念与术语: 负能态 真空态 “狄拉克海”反物质 反粒子 正电子 负质子 粒子的产生与湮灭	
第七章 角动量守恒定律	114
7-1 质点的角动量定理	114
概念与术语: 力矩矢量 矢量积 动量矩(角动量)矢量 质点的角动量定理 质点的角动量守恒定律	
7-2 质点系角动量守恒定律	116
概念与术语: 质点系角动量定理 质点系角动量守恒定律	
7-3 刚体的定轴转动定律	117
概念与术语: 刚体的转动惯量 刚体定轴转动定律 刚体的动能 力矩的功	
练习 7	121
*7-4 守恒定律与对称性	122
概念与术语: 对称性 动量守恒与空间平移不变性 能量守恒与时间平移不变性 角动量守恒与空间旋转不变性	
*第八章 广义相对论简介	126
8-1 非惯性系 惯性力	126
概念与术语: 非惯性系平动加速系 惯性力 转动加速系 惯性离心力 切向惯性力 科里奥利力	
8-2 广义相对论的两个基本假设	127
概念与术语: 广义相对性原理 等效原理 弯曲时空	

第九章 从力到场	132
9-1 从力到场	132
概念与术语: 检验体 场 力线(密度、方向) 场强矢量(g, E, H) 场强的叠加原理 电偶极子	
9-2 等效磁荷观点	140
概念与术语: 类比的方法 磁偶极子的场	
练习 9.1	141
9-3 电场与磁场 麦克斯韦方程组	142
概念与术语: 变化的电场与磁场相伴随 变化的磁场与电场相伴随 法拉第电磁感应定律 电势 感生电动势 动生电动势 自感 高斯定理 麦克斯韦方程组 电磁波 电磁波谱 汉弥尔登算符	
练习 9.2	153
9-4 电流的磁场 毕奥—萨伐尔定律	153
概念与术语: 安培定律 毕奥—萨伐尔定律	
9-5 安培环路定理	159
概念与术语: 磁场是有旋场(涡旋场) 安培环路定理	
练习 9.3	162
9-6 电磁场的标势和矢势	163
概念与术语: 电势 电势的叠加原理 场强与电势的关系 矢势 标势矢势的变换 $A-B$ 效应	
练习 9.4	170
9-7 电磁场中的导体、介质	171
概念与术语: 导体 静电平衡条件 导体内外场强、电势分布的特点 尖端放电 静电屏蔽 高频感应电炉 磁阻尼 磁驱动 趋肤效应 电介质 束缚电荷 相对介电常数 分子磁矩 抗磁质 顺磁质 铁磁质 相对磁导率	
练习 9.5	174
概念与术语: 电容器 电容	
第十章 波	177
10-1 弹性介质 机械波	177
概念与术语: 脉冲波 横波 纵波 波速 波函数 行波 左行波 右行波	
10-2 简谐波	178

	概念与术语: 简谐波的振幅、周期、频率 波长(波峰 波谷) 简谐波的相位同相面(波面) 波线 各种平面简谐波的表达式 波数 波矢 波动方程 波速与介质的关系	
10-3	波的能量	182
	概念与术语: 波动中能量传播的特点 能量密度 w 能流 P 能流密度 波强 I 声强与声强级	
10-4	惠更斯原理与波的传播	184
	概念与术语: 惠更斯原理 波的直线传播 波的衍射 波的反射和折射	
10-5	无线电波的传播	187
	概念与术语: 无线电波的范围及用途 无线电波的传播(天波、地波、 空间波) 卫星通讯	
10-6	波的叠加	193
	概念与术语: 波的叠加原理 波的干涉 相干条件 驻波 声驻波(本征频率、基频、谐频、简正模式)	
练习 10	.....	198
10-7	横波 偏振光	200
	概念与术语: 横波与偏振 自然光 线偏振光 马吕斯定律 布儒斯特角 双折射现象(寻常光 o 、非常光 e) 圆偏振光 椭圆偏振光	
10-8	多普勒效应	206
	概念与术语: 波源 接收器 红移 冲击波 声爆	
第十一章	波粒二象性	210
11-1	光的波动性	210
	概念与术语: 杨氏双缝干涉 夫琅禾费单缝衍射 惠更斯—菲涅耳原理 半波带法 光栅衍射	
* 11-2	全息照相简介	214
	概念与术语: 全息照相的记录 全息照相的再现 全息照相原理	
11-3	光的粒子性	216
	概念与术语: 光子 普朗克常数	
11-4	光子的波粒二象性	218
	概念与术语: 光的波粒二象性 单光子干涉	
11-5	实物粒子的波粒二象性	220
	概念与术语: 物质波 德布罗意公式	
11-6	不确定关系	221
	概念与术语: 波粒二象性与测不准 坐标和动量的不确定关系 能量和时间的不确定关系	

第十二章 量子力学初步	224
12-1 波函数假设	224
概念与术语: 量子态与波函数 量子态的叠加原理	
12-2 概率波假设	225
概念与术语: 波函数=概率幅 波函数的归一化条件	
波函数满足有限、单值和连续的条件	
12-3 波函数的演化 薛定谔方程	226
概念与术语: 薛定谔方程 定态薛定谔方程 拉普拉斯算符 ∇^2	
哈密顿算符 \hat{H}	
12-4 无限深势阱中的粒子	228
概念与术语: 应用薛定谔方程解题的一般方法及其结果的一般特征	
12-5 隧道效应	232
概念与术语: 隧道效应 扫描隧道显微镜	
12-6 力学量算符 本征函数 本征值	234
概念与术语: 本征方程 本征函数 本征值 简并 简并度	
波函数的一些重要性质 正交归一条件$|c_n|^2$ 的意义	
期望值力学量算符假设 动量算符 \hat{p} 位置算符 \hat{x}	
算符的构造	
12-7 谐振子	237
概念与术语: 谐振子的能量也是量子化的	
12-8 氢原子	238
概念与术语: 主量子数 n 角量子数 l 磁量子数 m 电子云	
电子自旋量子数 电子自旋磁量子数 m_s	
12-9 原子壳层结构与元素周期表	242
概念与术语: 泡利不相容原理 能量最小原理 洪特规则 原子的	
壳层结构 元素周期表	
第十三章 混沌现象	246
概念与术语: 确定论系统 随机系统 混沌现象	
13-1 线性和非线性	247
概念与术语: 线性和非线性 线性和非线性的特点	
13-2 混沌运动的基本特征	249
概念与术语: 初值敏感性 李雅普诺夫指数	
13-3 通向混沌的道路	252

	概念与术语: 周期分岔走向混沌 周期三	
13-4	混沌相图 奇怪吸引子	254
	概念与术语: 极限环 不动点吸引子 极限环吸引子 奇怪吸引子 奇怪吸引子的特点	
13-5	混沌利用和控制	257
第十四章	巨系统 熵	259
	概念与术语: 巨系统 热力学系统 外界 孤立系 封闭系 开放系 绝热系	
14-1	巨系统的描述	259
	概念与术语: 相空间 相体积元(相格子) 系统相空间(Γ 空间) 微观态 等几率假说 宏观态 热力学几率 平衡态(压强 P 、体积 V 、温度 T) 理想气体 理想气体状态方程 气体普适常数 玻耳兹曼常数 阿伏加德罗常数	
14-2	理想气体在平衡态情况下宏观量与微观量之间的关系	263
	概念与术语: 理想气体的微观模型 压强是大量分子对器壁碰撞的结果 温度是大量分子无规则运动的宏观表现	
14-3	平衡态统计物理	265
	概念与术语: 分布函数 麦克斯韦—玻耳兹曼分布 麦克斯韦速度分布 函数 麦克斯韦速率分布函数 最概然速率 平均速率 速度平方的平均值 平均碰撞次数 平均自由程	
14-4	平衡态热力学	271
	概念与术语: 气体在准静态过程中做功 A 平衡过程(准静态过程) 热传递 Q 热是运动的一种方式 热力学第一定律 内能	
14-5	热力学第一定律在平衡态过程中的应用	274
	概念与术语: 等容过程 等容热容 等压过程 等压热容 等温过程 绝热过程 绝热方程 比热容 γ	
14-6	循环过程 热机效率	279
	概念与术语: 热机循环 致冷循环 热机效率 第二类永动机 卡诺循环 卡诺机 卡诺循环的效率 卡诺定理 可逆热机 不可逆热机	
14-7	热力学第二定律 熵增原理	283
	概念与术语: 可逆过程 不可逆过程 热力学第二定律熵 熵增原理 宏观熵与热力学几率 熵与自然现象的时间箭头	

14-8 非平衡态中的内迁移现象	287
概念与术语: 内迁移(内摩擦现象 热传导现象 扩散现象)	
流速梯度 温度梯度 密度梯度	
黏度(黏滞系数) 热导率(导热系数) 扩散系数	
练习 14	290
附录一 诺贝尔物理学奖获得者名录	294
附录二 常用的物理常量	300
附录三 侦探故事的启示——导学式教材编写的思路与教学体会	301
主要参考文献	305

绪 论

一、什么是科学

今天的人类,一方面在尽量享受着科学技术的成果,一方面却常常不由自主地做些不科学的事.比如,在解释某些问题时,抛弃了理性,而求助于迷信.在文章《为什么我们相信地球是圆的?》^①一文中有这么一句话:“今天的我们比中世纪时更加轻信,更加迷信.”这也难怪,在知识大爆炸的今天,一般人都只能掌握知识的一小部分,其他只能听信别人的了.

什么是科学?爱因斯坦是这样描述科学的:科学仅仅是日常思想的精炼而已.从这个意义上讲,科学是一种寻求,是一种为达到理解而进行的探索过程.这种探索靠的是实验手段和逻辑方法(而迷信、幻术靠什么?).科学寻求各事实之间的联系,事物发展的规律,从而获得预测自然现象,以及控制这些自然现象的本领.例如,英国首相在法拉第那里看到了许多导线、线圈和磁铁并了解到电磁感应现象时问:“法拉第先生,这很有意思!可它的应用前景如何呢?”法拉第回答道:“这个,首相先生,总有一天你会从它获得税收的.”试想想发电机、电动机、无线电通讯、计算机等等,我们不难理解:理解并能控制电磁感应现象的伟大.

科学有一个头等重要的东西,就是对经验的事件进行度量.对此,物理学家开尔文说了这样的话:“如果你能对你提到的事物进行度量,并用数据表示出来,那么,你对它就有所了解.如果你不能进行度量,不能用数据表示出来,你的知识就是贫乏的,不能令人满意的.”

科学这种寻求,闪烁着真理的光辉,令人心悦诚服.科学为人们表现自己的创造力、想象力和处理问题的才能提供了非同寻常的机遇.科学这种追求会给人带来激动和力量,这种幸福是其他幸福无法比拟的.

我们特别仰慕哥白尼、伽利略、牛顿、爱因斯坦等这些伟大的科学家.那么,他们与我们有多大的差别呢?《物理科学及其现代应用》中有这样一段话:科学家在本质上是和普通人一样的,他们具有与普通人一样的品格和缺点.看来,在

^① 亚里士多德树立的球形地球观念,打破了空间上、下的绝对性.我们看地球另一边的人头朝下,地球另一边的人看我们也是头朝下,“上”和“下”两个方向是相对的.也就是说空间各个方向是等价的.这就是空间方向上的相对性,或者我们说空间是各向同性的.

造就一个科学家的条件中,似乎并没有人品、智力、背景或培养方面的特殊条件.

二、为什么要学习物理学

物理求的是物之道理,它是科学的一个重要分支.要学习物理学的理由起码有三:

1. 物理学是自然科学的基础.物理定律不但适用于物理,也适用于其他学科,其他学科决不会出现与物理定律相冲突的现象.

2. 物理学家在创立和发展物理学的过程中,探索、创造了一整套物理学的科学方法值得我们借鉴.通过物理学的学习,将对我们观察力、想像力、创造力、抽象思维、逻辑推理能力的培养起到事半功倍的效果.物理是素质教育的载体.

3. 通过学习物理,我们将学到科学家对未知事物不懈探索和实事求是的精神.

第一章 描述运动

自然界中,大到星系,小到原子、电子,无一不在运动.运动有快的,有慢的;有稳定的,有飘忽的;有简单的,有复杂的.翱翔、飞行、跳跃、驰骋,这些活生生的描述运动的词汇告诉我们:人类对各种各样的运动是心中有数的.但是,科学需要的是定量的描述,表 1.1 列出了部分物体运动的大致速度.

表 1.1 几种速度大小的估计值 (单位:m/s)

运动物质	速度	运动物质	速度
光(在真空中)	3×10^8	赛车	180
地球(绕太阳)	3×10^4	飞鸟	27~82
太阳(在银河系内)	25×10^4	自行车	5
远程炮弹	2×10^3	急行的人	1.4~1.8
超音速飞机	900	奔跑的人	2.7~6.8
步枪子弹	900	蜗牛爬行	0.0011

运动这个课题使人类着迷了许多个世纪.历史上许多杰出的人物都被这个题目所吸引.十六、十七世纪运动定律的发展,使人类获得了了解自然的信心,既然宇宙看来是条条有理的,人类就着手用科学的方法研究问题.下面我们就先从机械运动讲起.

1-1 位置矢量 位移矢量

运动涉及位置变化.假如你乘汽车从家 H 出发到学校 C 去.你所走过的实际路程可以从汽车里程表上起、终两点的读数差求出来.不过,可能有长短不同的几个路程 s_1 、 s_2 、 s_3 ...对应着相同的位置变化,从 H 到

注意: 运动的描述都是相对参照系而言的.

问题 1.1 什么叫参照系?

问题 1.2 试说明表 1.1 中那些运动物质的速度各是相对什么参照系而言的?

问题 1.3 什么叫“相对”?什么叫“绝对”?如果有人说“时间的长度是相对的,真空中的光速是绝对的”,他表达了一种什么样的意思?(见 2-2 节)

问题 1.4 什么叫机械运动?

注意: 在这个问题的描述中,我们实际上

(1) 取地面作参照系;

(2) 把汽车看作一个质点.