

PHYSICS

基础物理 简明教程

李文博 编著

(上册)

清华大学出版社 • 北京交通大学出版社

内容简介

本书共分12章，第1章介绍物理学的发展概况，第2章介绍力学，第3章介绍热学，第4章介绍电磁学，第5章介绍光学，第6章介绍原子物理学，第7章介绍相对论，第8章介绍量子力学，第9章介绍固体物理学，第10章介绍流体力学，第11章介绍宇宙学，第12章介绍现代物理学的发展概况。本书可作为高等院校物理专业及相关专业的教材，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

基础物理简明教程

上册

李文博 编著

图书在版编目(CIP)数据

基础物理简明教程/李文博编著. —北京:清华大学出版社, 2008.6

ISBN 978-7-302-18113-0

I. 基… II. 李… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第083082号

责任编辑: 杨正华

出版发行: 清华大学出版社 地址: 北京清华大学学研大厦A座 邮编: 100084 电话: (010) 62770175

社址: 北京交通大学出版社 地址: 北京交通大学校内 邮编: 100044 电话: (010) 51686114

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

印 数: 1~3 000册 定价: 60.00元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社发行部联系。地址: 北京交通大学校内, 邮编: 100044。电话: (010) 51686114。E-mail: press@bjtu.edu.cn。

内 容 简 介

本教材分为6篇,共22章。这6篇依次是:相对论(4章)、牛顿力学(2章)、电磁学(4章)、热物理学(4章)、波动和光学(4章)、量子力学(4章)。

前10章以狭义相对论为主线,电磁学采用相对论的表述形式。后12章以量子力学为主干;热物理学中设置量子统计大意,同时着重展开热力学第二定律及其统计意义、熵的概念及熵变计算,波动和光学中设置了“光与物质相互作用”,进一步为量子力学做准备。本教材主要目标是培养学生物理素质,为工科大学生奠定了科学素质的基石。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

基础物理简明教程/李文博编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2008.6
ISBN 978-7-81123-310-0

I. 基… II. 李… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第063089号

责任编辑:杨正泽

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:36.5 字数:932千字

版 次:2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-310-0/O·54

印 数:1~2 000册 定价:50.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn.

前 言

1995年,国家教委工科物理课程指导委员会以立项的形式组织研究了工科物理教学的基础及应用部分的内容和体系改革,共分10个子课题,本教程是其中一个子课题的成果形式。按照课题的要求,本教程着力于工科基础物理学的体系和内容的现代化尝试,对工科物理类专业基础物理课的框架作了较大变动,在课程内容的现代化方向上作了较大幅度的改革。具体安排如下:本教材分为6篇,共22章。上册3篇10章,下册3篇12章。依次是:相对论(4章)、牛顿力学(2章)、电磁学(4章);热物理学(4章)、波动和光学(4章)、量子力学(4章)。

前10章以狭义相对论为主线,电磁学采用相对论的表述形式。后12章以量子力学为主干;热物理学中设置量子统计大意,同时着重展开热力学第二定律及其统计意义、熵的概念及熵变计算,波动和光学中设置了“光与物质相互作用”,进一步为量子力学做准备。本教材主要目标是培养学生物理素质,为工科大学生奠定了科学素质的基石。

本书具有以下特点。

一、与中学衔接问题。首先提高起点,一开始就注意使内容不与中学重复,甚至连习题也避免出现中学层次的题目。这样既可以压缩经典内容,为近代内容让路,又可以加强“改变低年级学生的中学学习方式”的力度。将这个思想贯彻到底,保证了不降低经典内容的要求,相反地,力争有所提高。

二、经典与现代的关系。经典内容要压缩,为近代让路,也要为近代铺路,要体现为近代而经典的特点。

三、与数学的关系。显然本教材对数学的要求不低。高等数学,线性代数,概率论几乎都要涉及到;有的内容数学课刚学过,这边就用,这样一来对两边都有好处。原则是充分利用学生学过的数学工具,尽量不超过他们所学的数学,我们在篇章次序、讲述方式上都考虑到了这个教学环节衔接的问题。

四、与专业课的关系。长期以来,一直强调工科的物理课是为专业应用服务的。仔细研究一下工科的课程结构,发现这种直接应用的思想是错误的。工科的课程分三部分:科学基础课,技术理论课和实用性的专业课。事实上技术理论课包含着应用物理,也就是应用性的问题应该由各专业技术理论课去解决,不应推给基础物理,我们基础物理也不应承担这个应用性的任务。我们的任务实际上很单纯,就是要达到培养学生物理素质的目标,为工科大学生奠定这第一块科学素质的基石。这个目标实现得好,应用性的问题学生甚至自己就能解决(可惜我们的课时太少),因此本教材不涉及应用性问题。本教材力图简明,立足基本,给任课教师留下很大余地。原则是基本内容展开,非基本内容可以专题讲座,也可留给学生自己阅读,把诸如内容取舍、进一步展开等,完全交由任课教师根据具体情况处理。

本教程是按128~144学时编写的。

1998年修改的大纲是经过1997年在北京印刷学院教改试点班的基础上制定的。1998—

2006 年, 经本人和多位教师在北京印刷学院和北京交通大学先后使用。

本教材受北京交通大学教材出版基金资助。

感谢皮名嘉教授和王殖东教授的指导和鼓励，感谢我的朋友关洪教授的支持和帮助。

诚挚欢迎同行的斧正。

李文博

2007年2月于北京交通大学

目 录

第1篇 相 对 论

第1章 狭义相对论的时空观	3
1.1 时间 空间 物质 运动 物理定律	3
1.2 惯性参考系及其时空坐标系	4
1.2.1 惯性定律和惯性参考系	4
1.2.2 惯性系中的钟尺布置 校钟手续	5
1.3 狭义相对论的基本假设	6
1.4 洛伦兹变换	7
1.4.1 从两个惯性系对一个事件的测量	7
1.4.2 对洛伦兹变换的讨论	9
*1.4.3 洛伦兹变换的矢量形式	11
1.5 时空的测量特性	12
1.5.1 事件对的洛伦兹变换和时空不变量	12
1.5.2 动钟变慢	13
1.5.3 异地同时的相对性	15
1.5.4 动杆变短	15
1.6 间隔不变量和不变式	17
1.6.1 间隔不变量和因果关系	17
1.6.2 不变量和不变式	19
◇ 习题1	23
第2章 狭义相对论运动学应用举例	26
2.1 遥看动杆和动钟	26
2.1.1 遥看动杆 高速运动物体的视觉形象	26
2.1.2 遥看动钟和多普勒效应	29
2.2 行看远星和光行差角	30
◇ 习题2	31
第3章 狭义相对论动力学	32
3.1 动力学基本量的定义及其关系	32
3.1.1 质量 动量	32
3.1.2 力 动能 能量 功率	33
3.2 动力学中的洛伦兹变换	38
3.2.1 动量-能量的洛伦兹变换	38

3.2.2	力和功率的洛伦兹变换	38
3.2.3	不变量和守恒量	39
3.3	狭义相对论动力学的应用举例	41
3.3.1	从动力学角度讨论多普勒效应	41
3.3.2	康普顿效应	42
3.3.3	完全非弹性碰撞	43
3.3.4	原子发射光子和原子吸收光子	44
3.3.5	运动原子发光的多普勒效应	45
3.3.6	关于作用力和反作用力	46
◇	习题 3	49
第 4 章	广义相对论	51
4.1	等效原理和广义相对性原理	51
4.1.1	广义相对论的基本假设	51
4.1.2	非惯性系和局部惯性系	51
4.2	时空的几何描述	52
4.3	广义相对论的时空特性	54
4.3.1	时间坐标和空间坐标	54
4.3.2	不均匀(弯曲)的时间	54
4.3.3	不均匀(弯曲)的空间	54
4.3.4	引力场中的光速	55
4.3.5	引力场中自由质点的固有时间	55
4.4	广义相对论的实验验证	56
4.4.1	光谱线的引力红移	56
4.4.2	水星近日点的进动	56
4.4.3	光线在引力场中的偏转	58
4.4.4	雷达回波的延迟	58
4.5	恒星的演化和宇宙论	59
4.5.1	黑洞	59
4.5.2	白矮星和中子星	61
4.5.3	宇宙学原理和标准模型	62
4.5.4	宇宙的演化	63
4.5.5	标准模型的实验支持	63
◇	习题 4	64
第 2 篇 牛 顿 力 学		
第 5 章	质点运动学和动力学	67
5.1	质点运动学	67
5.1.1	参考系和直角坐标系	67
5.1.2	空间和时间的伽利略变换	70

5.1.3	平面极坐标系和空间球坐标系	71
5.1.4	自然坐标系	73
5.2	牛顿运动定律和守恒定律	75
5.2.1	牛顿定律综述	75
5.2.2	万有引力	77
5.2.3	质点的角动量	80
5.3	质点力学应用举例	82
5.3.1	振动	82
5.3.2	有心力场中质点的运动	84
5.4	阻尼问题	87
5.4.1	有阻力情况的抛体运动	88
5.4.2	阻尼振荡	88
5.4.3	受迫振动	89
5.5	质点运动的相对论修正举例 托玛斯旋进	90
5.5.1	托玛斯旋进	90
5.5.2	玻尔氢原子中电子轨道角动量与自旋角动量相互作用能	92
◇	习题 5	93
第 6 章	质点组和连续体	97
6.1	质点组的动量中心 质心 守恒定律	97
6.1.1	动量中心系和质心	97
6.1.2	质点组的动量和动量守恒定律	98
6.1.3	质点组的角动量和角动量守恒	99
6.1.4	质点组的能量守恒	99
6.1.5	质心参考系	100
6.2	二体问题	101
6.2.1	孤立二体系统的能量和角动量	101
6.2.2	非惯性系 惯性力	102
6.2.3	孤立二体系统的机械能守恒问题	104
6.3	刚体的基本概念	106
6.3.1	刚体的自由度	106
6.3.2	刚体的定轴转动和转动惯量	107
6.4	刚体运动的动力学规律	111
6.4.1	刚体定轴转动的动力学规律	111
6.4.2	刚体的平面运动	112
6.5	刚体的任意运动	116
6.5.1	角动量 L 和角速度 ω 方向不同的情况	116
6.5.2	高速自旋的重陀螺的运动	120
6.5.3	拉莫尔进动	122
6.6	体系内质量流动问题和变质量	122

6.6.1 火箭问题	123
6.6.2 落链问题	123
6.6.3 雨滴下落	124
6.7 阿基米德定律	125
◇ 习题 6	127

第3篇 电 磁 学

第7章 电磁学的理论体系	133
*7.1 狭义相对论的时空及其变换	133
7.2 电荷不变性和库仑定律	134
7.2.1 电荷不变性	134
7.2.2 库仑定律	135
7.3 电磁场的四度矢量表示麦克斯韦方程组	136
7.3.1 电磁场的四度矢量表示	136
7.3.2 从电磁场的四度矢量到麦克斯韦方程组	139
7.4 运动点电荷之间的作用力	140
7.5 用张量表述的麦克斯韦方程组	142
7.6 用张量表述电磁场的动力学方程	143
◇ 习题 7	144
第8章 静电场	146
8.1 电荷不变性 电荷量子化 电荷守恒 库仑定律	146
8.1.1 电荷不变性和电荷守恒	146
8.1.2 电荷的量子化	146
8.1.3 库仑定律	147
8.2 静电场的场强和高斯定理	148
8.3 静电场的环路定理 电势 电势能	154
8.3.1 静电场的无旋性	154
8.3.2 静电场的有势性和静电场的环路定理	155
8.4 静电场中的导体 电容	158
8.4.1 导体的静电平衡	158
8.4.2 导体静电平衡时的电荷分布	159
8.4.3 两导体间的电容量	160
8.5 静电场中的电介质	161
8.5.1 电介质的极化和极化强度 P	161
8.5.2 电位移矢量 D	162
8.6 静电场的能量	165
8.7 静电场的边值关系	166
◇ 习题 8	167
第9章 电流和磁场	170

9.1 电流	170
9.1.1 电流密度矢量 J 和电荷密度 ρ	170
9.1.2 电流强度 连续性方程 稳恒电流场	172
9.1.3 欧姆定律	173
9.1.4 稳恒电流的电源和电源电动势	174
9.2 运动电荷的场 四度势	175
9.2.1 四度势 (V, A)	175
9.2.2 四度势 (V, A) 与电场强度磁感强度 (E, B) 的关系	176
9.2.3 关于推迟势的概念和运动电荷激发的场	178
9.3 运动点电荷之间的作用力以及毕-萨定律	182
9.3.1 运动点电荷之间的作用力 洛伦兹力公式	182
9.3.2 毕奥-萨伐尔定律	188
9.4 磁感应强度 B 的高斯定理和安培环路定理	191
9.4.1 磁感应强度 B 的散度和高斯定理	191
9.4.2 磁感应强度 B 环流定理与旋度	192
9.4.3 磁矩	194
9.5 物质的磁化	195
9.5.1 物质的磁化和磁性	195
9.5.2 磁场强度 H	196
9.5.3 磁场的边值关系	197
9.6 电磁场的洛伦兹变换	198
9.6.1 E 和 B 的变换	198
9.6.2 电磁场的不变量	199
9.6.3 电磁场的张量特性	200
◇ 习题 9	201
第 10 章 随时间变化的电磁场	205
10.1 电磁感应	205
10.1.1 感生电动势	205
10.1.2 动生电动势	207
10.1.3 感生电动势与动生电动势之间的关系	209
10.1.4 动生电动势与感生电动势的相对性	210
10.2 互感和自感	210
10.2.1 两个回路的互感	210
10.2.2 自感	212
10.2.3 磁场的能量	212
10.3 随时间变化的电磁场和麦克斯韦方程组	213
10.4 真空中的电磁场	215
10.4.1 电磁波	215
10.4.2 电磁场的能量密度和能流密度矢量	217

10.4.3 电磁场的动量流矢量	221
10.5 加速运动电荷的场 电磁辐射	222
10.5.1 匀速运动电荷的场分布	222
10.5.2 加速运动电荷的场分布 辐射	223
10.5.3 谐振电偶极子的辐射	226
10.6 叠加场的平均能流密度	227
◇ 习题 10	229

第 1 篇

相 对 论

本篇分 4 章，第 1 章介绍了狭义相对论的时空观，主要惯性坐标系及洛伦兹变换，第 2 章给出狭义相对论运动学应用举例，第 3 章介绍狭义相对论动力学，第 4 章介绍广义相对论知识，主要非惯性参考系和弯曲空间及引力理论。

相对论是现代自然科学关于时间和空间的理论，是爱因斯坦在 20 世纪初建立的。它是科学史上一次具有划时代意义的革命，是物理学上最重大的成就之一，它包括狭义相对论和广义相对论两部分。

狭义相对论建立于 1905 年。狭义相对论作为物理学的高级、完美的表述形式，同时揭示了时空本质、时空结构的基础上，对经典力学和电磁学的一次大综合，是一次统一的总结。这是对 19 世纪以前的物理学做了最全面、最精辟的概括和总结，在微观世界中狭义相对论是正确的，可以说它总结以往，指导未来。狭义相对论为原子能的利用奠定了理论基础。

广义相对论建立于 1916 年。广义相对论比狭义相对论更进一步揭示了时间、空间和物质、运动相互联系，它是一种关于时间、空间和物质、运动相互联系的物理理论，广义相对论在宇宙学领域中有重要的作用。

第1章

狭义相对论的时空观

物理学的研究对象是物质世界最普遍、最一般、最基本的规律. 那么就不可避免地首先涉及几个最基本、最普遍、最一般的概念: 时间、空间、物质、运动、物理定律, 这样的大概念被哲学家称之为范畴. 对这些基本概念的认识, 人类经历过两次综合: 第一次是由伽利略(G. Galileo)^①和牛顿(I. Newton)^②完成的, 人们称之为伽利略-牛顿时空观, 或称伽利略-牛顿相对性原理; 第二次是由爱因斯坦(A. Einstein)^③最后完成的, 普朗克(M. Planck)^④把它命名为相对论, 后来人们把它称为狭义相对论, 即狭义相对论的时空观. 下面我们分别陈述这两套命题, 从中理解人类对上述基本范畴的认识里程.

1.1 时间 空间 物质 运动 物理定律

我们首先把伽利略-牛顿相对性原理和狭义相对论的基本内容分别罗列出来, 然后加以比较. 伽利略-牛顿相对性原理的全部内容可综述为如下三条陈述:

- ① 无论何时做力学实验, 力学定律的形式都是不变的;
- ② 无论在何处, 也无论朝向何方做力学实验, 力学定律的形式都是不变的;
- ③ 无论在哪个惯性系中做力学实验, 力学定律的形式都是不变的.

狭义相对论的全部内容可综述为如下三条陈述:

① 伽利略(G. Galileo, 1564—1642)意大利物理学家和天文学家. 提出相对性原理和重力加速度、惯性定律(1609)、斜面(1604—1609)、摆的等时性(1583), 动力学起源于伽利略. 发明并组织制造天文望远镜和显微镜(1610—1614), 发现金星圆缺变化、太阳黑子等. 认为光速是有限的并进行实验测量(1607).

② 牛顿(I. Newton, 1643—1722)伟大的英国物理学家和数学家. 1687年发表《自然哲学的数学原理》, 提出牛顿三定律和万有引力定律以及一系列基本概念: 质量、动量、力、加速度、向心力、惯性系. 研究了光通过棱镜分解、光的干涉和反射, 牛顿把光看作粒子流, 也研究了波动性, 1675年试图建立光的微粒、波动说. 研究了行星运动、潮汐, 研制人造卫星的可能性, 气体扩散和流体中的阻尼现象.

③ 爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)杰出的理论物理学家, 现代物理学的创始人之一. 创立了狭义相对论(1905)和广义相对论(1916), 1906年引入光量子概念. 提出光的量子理论, 为此获1912诺贝尔物理学奖. 1907年提出固体热容的第一个量子理论. 1912确定了光化学定律(爱因斯坦定律), 1916年提出激光理论. 1924—1925年建立玻色-爱因斯坦统计.

④ 普朗克(M. Planck, 1858—1947)德国理论物理学家, 量子理论的奠基人之一. 1900—1214发表黑体辐射定律的理论推导, 提出著名的Planck常数, 为此获1918年诺贝尔物理学奖. 他是首先理解并支持相对论的人, 首先导出相对论的动力学方程, 得出电子能量动量关系式, 他为“相对论”命名(1906). 1907把狭义相对论推广到热力学, Planck还涉及了大量物理学史、方法论等科学哲学方面的研究.

- ① 无论何时做物理实验, 物理定律的形式都是不变的;
- ② 无论在何处, 也无论朝向何方做物理实验, 物理定律的形式都是不变的;
- ③ 无论在哪个惯性系中做物理实验, 物理定律的形式都是不变的.

这两套陈述的差别是一目了然的, 只要把前三条中的“力学”二字换成“物理”二字就成了后三条, 但这并不是一个简单推广. 我们首先说明, 这里的“力学定律”是指牛顿三定律和万有引力定律; 而“物理定律”则是指相对论力学和电磁学. 首先我们看看上述两套陈述中所包含的对时间空间的认识.

① 通过牛顿力学定律和力学实验不能区分不同时刻, 不能区分不同地点(空间), 不能区分空间的不同方向; 也不能区分不同惯性系. 这就意味着: 时间均匀地单向流逝, 空间是均匀的且各向同性的(后面的学习将告诉我们: 时间是一维的, 空间是三维的, 时间和空间不相关); 所有的惯性系都是等价的.

② 通过物理定律和物理实验不能区分不同时刻, 不能区分不同地点(空间), 不能区分空间的不同方向, 也不能区分不同惯性系. 这就意味着: 时间均匀地单向流逝, 空间是均匀的且各向同性的(后面的学习将告诉我们: 时间空间是相关的, 构成一个四维的抽象的线性空间, 以下简称时空); 所有的惯性系都是等价的.

我们把时空的这些特性总称为时空的对称性. 如果仔细地看看上面①和②中的结论, 发现括号中的两段是不同的, 这个差别将在后续课程中逐渐展开讨论, 我们这里先给出一个较为粗略的认识.

时间和空间并不独立于物质存在, 没有脱离物质的时空, 时空是物质存在的形式; 运动一般来说用时间和空间的关系(如速度)来描述; 这就是说没有离开运动的物质, 也没有离开物质的运动. 可以说时空和运动都是物质的固有属性. 物质世界的千差万别的存在形式和运动形式是有一定之规的, 这就是规律, 或称定律, 这些规律常常与上述的时空观和物质观有密切的内在联系. 至于惯性系, 将在 1.2 节详细讨论.

1.2 惯性参考系及其时空坐标系

1.2.1 惯性定律和惯性参考系

参考系是物质的, 一个参考系就是一个物体系统, 并不是虚空的; 一个参考系内的所有物质是相对静止的, 而且是一个无限伸展的物体系统. 这显然是想像的, 是一个理想的模型, 是空间的物质化身, 参考系是作为描述研究对象(如一个质点)的一个物质的空间“背景”.

狭义相对论把惯性定律和惯性系从伽利略、牛顿那里继承下来. 惯性定律可表示为: 不受任何外界作用的物体作惯性运动. 有时称之为自由物体作自由运动. 这个定律与时空均匀性有内在的联系. 值得注意的是: 这个定律是理想化的, 因为不受任何外来作用, 完全孤立的物体是不存在的. 我们把作惯性运动的参考系称为惯性参考系(简称惯性系). 这是一个理想模型, 实际上并不存在, 它是时空概念的一个体现、一个化身、一个实现、一个载体. 惯

性系是最方便的参考系,平时人们所选用的惯性系都是近似的,或者是局域的。

1.2.2 惯性系中的钟尺布置 校钟手续

把一个惯性系中的各点构成的集合与一个三维数组的集合,例如 (x, y, z) ,建立起一一对应,就构造了一个空间坐标系。最简单的坐标系是直角坐标系。参考系是客观的,但建立坐标系却是人为的,按照人们的主观兴趣或者为了解决某些具体问题的方便,可以建立各种各样的坐标系,如球坐标系 (r, θ, ϕ) 、斜坐标系,以及各种曲线坐标系等。为一个惯性系所建的各种坐标系之间都是相互等价的,都能代表这个惯性系。人们自然要择其方便者而用之。我们把最简单的坐标系记为S。标系如图1-2-1所示,其中我们标示了时间 t 。其中A表示我们研究的对象(可能是一个质点,也可能是个光子),S作为描述(度量)A运动的时空背景。我们指出,S与A无相互作用,也就是说,惯性系与研究对象之间无相互作用。由于必须考虑到时间 t ,那么建立坐标系就意味着把S中的各时空点与数组 (x, y, z, t) 建立起一一对应。我们把每一个确定的数组称为一个事件。直角坐标系也称为笛卡儿(R. Descartes)^①坐标系。

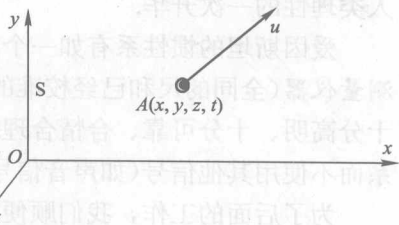


图1-2-1

如何建立这个一一对应,有时候人们会理解成一个抽象的思维问题,即理解成一个理论问题。实际上,这是一个实验问题。是在惯性系中安排测量长度的仪器(尺)和测量时间的仪器(钟)的问题。安排这些仪器的工作,爱因斯坦比他的前人做得更好。他做得很具体,很细致,很讲究,考虑得十分周到。他没有简单从事,是脚踏实地地做的。他把S中布满了全同的尺,静止在各处,使你无论走到哪里,都能就地读出相应的当地的空间坐标数据;而不是用一把尺子反复地测量,因为移动可能影响尺子的长度。使用全同的尺,其依据是空间的均匀性和各向同性;或者说,在惯性系的各处布满了全同的尺乃是空间的均匀性和各向同性的具体体现。这些全同的尺子静止于惯性系S中,意味着任何一个惯性系都有专门属于该惯性系的全同的尺;这些尺不能运动,一旦运动将被开除而变成其他惯性系中的尺了。

时间的测量怎么办呢?爱因斯坦认为,只有那些可以测量得到的(或者说,可观测得到的)东西才是物理的,才有资格进入物理理论,才有资格作为物理量。我们指出,这是爱因斯坦科学哲学的重要组成部分,它对于近代物理的发展起了重大的指导作用。按照爱因斯坦的这一物理思想,这样一个物理原则,如何处理时间问题呢?爱因斯坦独具慧眼地注意到:对于时间来说,只有时钟的读数才是可以测量得到的,才有资格作为物理量进入物理理论。于是,他在惯性参考系中布满了全同的钟静止在各处,这样操作显然是依据时间的均匀流逝。也可以说,选择全同的钟静止在惯性参考系的各处具体地体现了时间的均匀流逝。这些

^① 笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650)法国哲学家,物理学家,数学家和生理学家。研究力学、光学和宇宙结构。首先引入动量 $p=mu$,但没注意到动量是矢量,他表述了动量守恒定律(1644);研究了碰撞的规律;最先清楚地表述了惯性定律(1644);提出大气压随高度增加而减小。1637年出版《屈光学》奠定了光学作为科学的基础(包括光的传播、反射和折射定律,虹的解释等),最先在数学上导出了折射定律。在数学方面首先引入变量和函数的概念,奠定了解析几何的基础。

全同的钟静止于惯性系 S 中, 意味着任何一个惯性系都有专门属于该惯性系的全同的钟; 这些钟不能运动, 一旦运动将被开除而变成其他惯性系中的钟了。

作为全同的钟肯定是“同步走”的, 但是至少在同一个惯性系中这些全同钟必须是“齐步走”的。怎么办呢? 一种方法是把这些钟对成“齐步走”再移到各处。但爱因斯坦认为这样做不可靠, “移动”可能会改变钟的快慢。他小心翼翼地把这些全同钟先在各处布满, 静止在各处, 然后一对一对地校准。这种校准首先必须具有可传递性; 其次必须找到一种可靠的、通用的联系信号, 来实现“异地同时”的校钟工作。爱因斯坦使用了光信号来联络异地全同钟的校准工作, 这就是著名的“校钟手续”。

我们指出, 这一“校钟手续”是爱因斯坦对异地同时的操作定义, 也是爱因斯坦对时间本质的揭示, 是爱因斯坦时空观的核心; 也标志着人类时空观念的升华; 甚至也可以说, 是人类理性的一次升华。

爱因斯坦的惯性系有如一个巨大的实验室, 在这个巨大的实验室中布满了静止于其中的测量仪器(全同的尺和已经校准的全同钟)。他把一件伟大的事做得十分平凡、十分通俗、也十分高明、十分可靠、合情合理。我们不禁要问, 校准异地全同钟, 为什么要使用光信号联系而不使用其他信号(如声音信号)呢? 1.3 节将回答这个问题。

为了后面的工作, 我们顺便在此定义一下在 S 系中如何描述研究对象 A 的速度。我们采用一种大家最熟悉最简单速度定义

$$\mathbf{u} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = (u_1, u_2, u_3) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) \quad (1-2-1)$$

我们强调一下: 这里的任何一组 (x, y, z, t) 值都是对于全同的钟和全同的尺的读数所做的记录值; 这些全同的尺和全同的钟静止在所选定的惯性系 S 中, 对于发生于当地当时的事件给出地点和时刻的读数; 对于研究对象, 例如, 运动的粒子 A 来说, 粒子 A 的一个事件 (x, y, z, t) 表示 t 时刻经过 (x, y, z) 处; 同时, A 还具有运动速度, 这速度也是通过在这时空点附近的时空数据记录计算出来的。由于运动和静止的相对性, 就必须考虑粒子 A 相对于这个惯性系的运动速度, 这就迫使我们必须定义 A 的速度。

1.3 狭义相对论的基本假设

1905 年爱因斯坦发表了他的划时代的伟大论文《论动体的电动力学》^①, 它标志着狭义相对论的诞生。这里的“动体”即指运动惯性系。这篇论文中提出了两条基本假设:

- ① 相对性原理: 对于所有的惯性系, 物理定律的形式是不变的。
- ② 光速不变原理: 对于所有的惯性系, 虚空中的光速率是不变的、各向同性的, 与光源的运动无关。

基本假设即为公设或公理。这里没有明显地提到时空对称性, 事实上, 爱因斯坦把全同尺和全同钟布置在惯性系中, 就已经包含了这种对称性。这里的假设①包含着: 对于物理定

① 爱因斯坦文集。范岱年, 赵中立, 许良英, 译。商务印书馆, 1997。