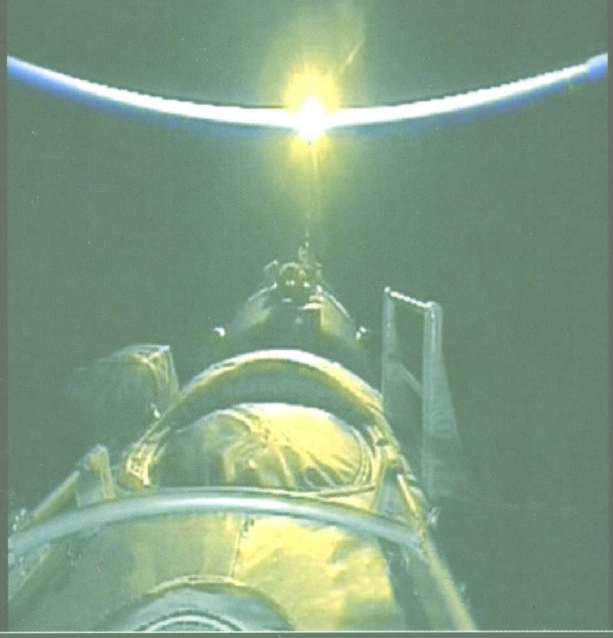

物理学概论

刘凤英　主编

清华大学出版社

物理学概论

主编 刘凤英
编者 刘凤英 郭继华 陈惟蓉
主校 戴松涛

清华大学出版社
北京

内容简介

作者在多年的教学试点和文科类教学的实践基础上编写了本教材。作者认为，不论授课对象是何专业的学生，教材都必须展示物理学的体系和内容，即物理学揭示的物质世界的基本规律、分析问题的基本思路、解决问题的基本方法，必须使学生体会物理学的全貌和体系。物理课必须诠释物理，只不过授课对象不同，教学要求不同而已。本书按运动形式分类安排内容，包括概述篇、力学篇、波动篇、电磁篇和统计量子篇5篇共10章。

由于本教材包括了大学物理中的基本内容，故也可作为非物理类的其他学科的物理教材或参考书，也可供教师参考。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989　13701121933

图书在版编目（CIP）数据

物理学概论 / 刘凤英主编．--北京：清华大学出版社，2010.1
ISBN 978-7-302-21480-9

Ⅰ．①物…　Ⅱ．①刘…　Ⅲ．①物理学—高等学校—教材　Ⅳ．①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 214026 号

责任编辑：朱红莲
封面设计：刘玉霞
责任印制：李红英

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
http://www.tup.com.cn　　**邮　编**：100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：北京市人民文学印刷厂
装 订 者：三河市兴旺装订有限公司
经　销：全国新华书店
开　本：185×260　　**印　张**：19.25　　**字　数**：465 千字
版　次：2010 年 1 月第 1 版　　**印　次**：2010 年 1 月第 1 次印刷
印　数：1～3000
定　价：29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题，请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话：010-62770177 转 3103　　产品编号：032539-01

前 言

Foreword

本教材是在作者编写的校内试用讲义的基础上，结合文科类物理教学的实践编写而成的。本书力图用优化的教学体系、精练的语言、较短的篇幅向学生展示物理学的精髓。

本教材的概述篇为读者展示物理学的全貌及物理学研究问题的共同思路，力图激发学生的兴趣，提高学生的视点，使其感觉到物理学的脉络，纵览物理学。

力学篇以运动和时空关系为线索展开运动学；动力学则以对称性与守恒定律的关系展开。波动篇以机械波为切入点阐明波的普遍性质；以应用说明光的波动性。电磁篇以静电场为例说明研究场的一般方法，通过相对论关系完整地展示电磁学的美。统计量子篇中以气体分子动理论为载体介绍统计物理的基本思想，从经典物理学遇到的困难引入量子概念，以量子力学的几个重要假设为基础介绍量子力学的基本原理和处理问题的基本思路，并给出量子力学的重要结果。最后，我们首次尝试在大学物理教程中探讨实现自然科学和人文科学统一的途径。本书加 * 部分为选讲内容。

本教材具有以下特点：第一，结构紧凑，用较少的篇幅展示了物理学的核心内容。第二，针对文科类学生的基础和专业需要，在习题的选取上以基本概念题目为主，辅以少许灵活应用的题目；并推荐一些课外读物，以扩大学生的视野，同时也可检验文科学生阅读科技书籍的能力。第三，本教材在耗散结构的基础上，提出若以耗散结构为基本物理模型，可以探讨实现自然科学和人文科学统一的途径。这一章是郭继华教授近 10 年的研究结果，首次引入物理教材，以期逐渐发展和完善。

第 1～7 章是在刘凤英、陈惟蓉编写的力学、波动和电磁学讲义的基础上由刘凤英执笔修改，第 8、9 章由刘凤英执笔，第 10 章由郭继华执笔。清华大学物理系 2006 博士生潘江陵给出了部分习题解答。该教材 2009 年 2—6 月在清华大学经管 7、社科 8、新闻 8、法律 8 大班(134 人)运用，效果良好，并听取他们的意见做了补充和修改。全书由刘凤英统稿，由戴松涛进行了总校对。由于编者学识有限，不当之处和错误恳请读者指正。

编　者

2009 年 7 月

于清华园

目 录

Contents

概 述 篇

第 0 章 概述物理学 …… 3

0.1 物理学和物质世界 …… 3

0.1.1 物质世界 …… 3

0.1.2 关于两个前沿的基本理论 …… 3

0.1.3 物理学使人们深刻认识物质世界 …… 4

0.2 物理学与科学思维 …… 5

0.2.1 物理学的研究方法 …… 5

0.2.2 物理学家的科学态度 …… 6

0.3 物理学与其他的学科发展 …… 6

0.3.1 物理学为其他学科创立原理和技术 …… 6

0.3.2 物理学为一切学科提供了基本的实验手段和基本研究方法 …… 6

0.3.3 物理知识是促进各学科发展的重要基础知识 …… 6

0.4 物理学中的基本研究思路 …… 7

0.4.1 物理学的分支 …… 7

0.4.2 物理学研究问题的共同思路 …… 7

力 学 篇

第 1 章 牛顿运动定律 …… 11

1.1 理想模型 自由度 …… 11

1.1.1 质点 刚体 …… 11

1.1.2 机械运动的基本形式 自由度 …… 11

1.2 质点运动的描述 …… 12

1.2.1 描述质点运动的物理量 …… 12

1.2.2 运动的坐标表述 …… 13

1.3 质点运动学问题举例 …… 15

1.3.1 直线运动 …… 15

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

1.3.2 抛体运动 …… 16
1.3.3 圆周运动 …… 16
1.4 牛顿运动定律 …… 17
1.4.1 牛顿运动定律 …… 17
1.4.2 牛顿运动定律与惯性参考系 …… 18
1.5 牛顿运动定律的应用举例 …… 18
*1.6 非惯性系中的惯性力 …… 20
1.6.1 加速平动参考系中的惯性力 …… 20
1.6.2 均匀转动参考系中的惯性力——惯性离心力、科里奥利力 …… 20
1.6.3 地球因公转、自转引起的力学现象 …… 21
习题 …… 23
教学参考 1-1 矢量的基本运算和单位矢量的变化率 …… 24
教学参考 1-2 常见力 …… 26
教学参考 1-3 科里奥利力 …… 27

第 2 章 运动与时空 …… 31

2.1 相对性原理和变换 …… 31
2.1.1 力学相对性原理和伽利略变换 …… 31
2.1.2 狭义相对论的基本原理 …… 32
2.1.3 爱因斯坦-洛伦兹变换 …… 34
2.2 狭义相对论的运动学效应 …… 36
2.2.1 时间膨胀(运动时钟变慢) …… 36
2.2.2 长度缩短(运动尺度收缩) …… 37
2.2.3 时空不变量 …… 37
2.3 相对论速度变换 …… 38
2.4 狭义相对论质量和动量 …… 39
2.4.1 相对论性质量和动量 …… 39
*2.4.2 狭义相对论运动方程 …… 39
2.4.3 相对论性动能和能量 …… 40
2.4.4 相对论动量能量关系 …… 41
2.5 广义相对论简介 …… 42
2.5.1 等效原理 …… 42
2.5.2 广义相对性原理 …… 43
*2.5.3 史瓦西场中固有时与真实距离 …… 43
*2.5.4 史瓦西半径和黑洞 …… 45
*2.5.5 广义相对论的可观测效应 …… 45
习题 …… 46
教学参考 2-1 洛伦兹变换的导出 …… 47

第 3 章　对称性与守恒定律 …… **50**

3.1　动量定理和动量守恒定律 …… 50
3.1.1　质点的动量定理 …… 50
3.1.2　质点系的动量定理 …… 51
3.1.3　动量守恒定律 …… 52
3.2　角动量定理和角动量守恒定律 …… 54
3.2.1　质点对定点的角动量 …… 54
3.2.2　质点的角动量定理和质点的角动量守恒 …… 54
3.2.3　质点系的角动量定理和角动量守恒定律 …… 55
3.3　动能定理和机械能守恒定律 …… 56
3.3.1　功和功率 …… 56
3.3.2　质点的动能定理 …… 57
3.3.3　质点系的动能定理 …… 58
3.3.4　一对内力的功 …… 58
3.3.5　保守力 …… 58
3.3.6　势能 …… 60
3.3.7　机械能守恒定律 …… 61
3.4　对称性与守恒定律 …… 63
3.4.1　对称性和对称操作(变换) …… 64
3.4.2　对称性和因果律——对称性原理 …… 64
3.4.3　对称性与守恒定律 …… 65
*3.5　质心和质心运动定理 …… 65
3.5.1　质心 …… 65
3.5.2　质心的速度 …… 66
3.5.3　质心运动定理 …… 67
*3.6　质心参考系 …… 67
3.6.1　质心参考系 …… 67
3.6.2　质心系中的动力学规律 …… 68
*3.7　刚体的定轴转动 …… 69
3.7.1　刚体的定轴转动 …… 69
3.7.2　定轴转动的基本方程 …… 69
3.7.3　转动惯量及其计算 …… 70
3.7.4　转动动能和力矩的功 …… 72
3.7.5　刚体定轴转动的角动量守恒 …… 73
3.8　牛顿力学的内在随机性 …… 74
习题 …… 75
教学参考 3-1　定轴转动定律和力矩的功 …… 77
教学参考 3-2　旋进 …… 78

波 动 篇

第 4 章 振动 …… 85

4.1 简谐振动的描述 …… 85

4.1.1 简谐振动的特征 …… 85

4.1.2 谐振动的旋转矢量图示 …… 86

4.1.3 谐振动的运动微分方程 …… 87

4.1.4 谐振动的能量 …… 90

4.2 同方向简谐振动的合成 …… 90

4.3 垂直方向谐振动的合成 …… 93

习题 …… 94

教学参考 4-1 阻尼振动 …… 96

教学参考 4-2 受迫振动 …… 96

第 5 章 波动 …… 99

5.1 平面简谐波的描述 …… 99

5.1.1 波的产生 …… 100

5.1.2 平面简谐波的传播 …… 100

5.1.3 平面简谐波的余弦表达式(波函数) …… 101

*5.1.4 简谐波的复数表示 复振幅 …… 103

5.1.5 波的能量 …… 103

5.2 波的衍射 …… 106

5.2.1 惠更斯原理 …… 106

5.2.2 惠更斯原理给出所有波都具有衍射现象 …… 107

5.2.3 惠更斯作图法的应用举例 …… 107

5.3 波的干涉 …… 108

5.3.1 波的叠加原理和线性方程 …… 108

5.3.2 波的干涉现象 …… 109

5.3.3 驻波 …… 110

5.4 多普勒效应 …… 113

5.4.1 机械波的多普勒效应 …… 113

5.4.2 光波的多普勒效应 …… 116

5.5 光的横波性与偏振现象 …… 117

5.5.1 平面电磁波的波动方程和表达式 …… 117

5.5.2 基本偏振态 …… 118

5.5.3 光在各向同性介质表面反射折射时的偏振现象 …… 120

5.5.4 散射光的偏振现象 …… 120

5.5.5 光在各向异性晶体中的双折射现象 …… 121
5.6 光的干涉 …… 123
5.6.1 获得相干光的基本原则 …… 123
5.6.2 光程 …… 124
5.6.3 典型干涉实验 …… 124
5.6.4 椭圆偏振光 圆偏振光 …… 134
5.7 光的衍射 …… 135
5.7.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理 …… 135
5.7.2 单缝的夫琅禾费衍射 …… 136
5.7.3 光栅的夫琅禾费衍射 …… 139
5.7.4 圆孔的夫琅禾费衍射 …… 140
5.7.5 X射线的衍射 …… 142
习题 …… 143

电 磁 篇

第6章 恒定电场和恒定磁场 …… 147

6.1 真空中的静电场 …… 147
6.1.1 电荷量守恒定律和库仑定律 …… 147
6.1.2 电场和电场强度 …… 148
6.1.3 电场强度的计算 …… 149
6.1.4 静电场的性质方程之一——高斯定理 …… 150
6.1.5 静电场的性质方程之二——环路定理 …… 155
6.1.6 电势的计算 …… 156
6.1.7 等势面与电力线 …… 157
6.2 导体存在时的静电场 …… 157
6.2.1 金属导体的静电平衡 …… 158
6.2.2 导体的应用之一——静电屏蔽 …… 161
6.2.3 导体的应用之二——电容器的电容 …… 162
6.3 有电介质时的静电场 …… 164
6.3.1 电介质的极化可改变场的分布 …… 164
6.3.2 自由电荷和极化电荷共同产生电场 …… 165
6.3.3 电介质存在时的高斯定理 …… 168
6.3.4 电场能量密度 …… 169
6.4 恒定电流的电场 …… 171
6.4.1 电流 电流的连续性方程 …… 171
6.4.2 恒定电流的电场性质 …… 172
6.4.3 恒定电场和恒定电流的关系 …… 172
6.4.4 电动势 电源的作用 …… 174

6.5 真空中的稳恒磁场 …… 175
6.5.1 基本磁现象 磁性的起源 …… 175
6.5.2 磁场 磁感应强度 …… 176
6.5.3 磁感强度的计算 …… 176
6.5.4 稳恒磁场的性质方程 …… 178
6.5.5 应用安培环路定理求典型电流的磁场 …… 179
6.5.6 洛伦兹(磁)力的应用 …… 182
6.5.7 载流导线在磁场中受力 安培力 …… 184
6.6 磁介质 …… 185
6.6.1 磁介质对磁场的影响 …… 185
6.6.2 有介质时的磁场性质方程 …… 186
习题 …… 187

第7章 电磁场的统一性和相对性 …… 193

7.1 感生电场 …… 193
7.1.1 法拉第电磁感应定律 …… 193
7.1.2 感生电动势和感生电场 …… 195
7.1.3 实际电路中的感生电场 …… 196
7.1.4 磁场能量 …… 197
7.2 感生磁场 …… 198
7.2.1 电流概念的推广 全电流定理 …… 198
7.2.2 感生磁场 …… 200
7.3 麦克斯韦电磁场方程组 …… 201
7.3.1 麦克斯韦电磁场方程组的积分形式 …… 201
*7.3.2 麦克斯韦电磁场方程组的微分形式 …… 202
7.3.3 麦克斯韦方程组与宏观电磁理论 …… 202
7.4 电磁场的物质性 统一性 相对性 …… 203
7.4.1 电磁场的物质性 …… 203
7.4.2 电磁场的统一性和相对性 …… 204
7.4.3 电磁场量的相对论变换 …… 204
习题 …… 205

统计量子篇

第8章 热学基础概念 …… 209

8.1 概述 …… 209
8.1.1 热学的研究对象 …… 209
8.1.2 热力学和统计物理 …… 209
8.1.3 系统的理想特征 …… 210

8.1.4 理想气体状态方程 …… 210
8.2 分子动理论的理想气体压强公式 …… 211
8.2.1 平衡态下气体分子微观量分布的等概率假设 …… 211
8.2.2 理想气体的微观图像 …… 211
8.2.3 气体分子动理论的压强公式 …… 211
8.2.4 温度的本质 …… 212
8.2.5 理想气体分子运动的方均根速率 …… 213
8.3 能量均分定理 理想气体的内能 …… 213
8.3.1 能量按自由度均分定理 …… 213
8.3.2 分子的平均动能 …… 214
8.3.3 理想气体的内能 …… 214
8.4 分布函数 麦克斯韦速率分布率 …… 215
8.4.1 分布函数 …… 215
8.4.2 麦克斯韦速率分布函数 …… 216
8.4.3 平均速率(速率的算术平均值)和方均根速率 …… 216
8.4.4 玻耳兹曼粒子密度分布律 …… 217
8.5 平均自由程和平均碰撞次数 …… 218
8.6 范德瓦耳斯气体方程 …… 220
8.7 热力学第一定律 …… 221
8.7.1 热力学第一定律 …… 221
8.7.2 热力学第一定律对理想气体准静态过程的应用 …… 222
8.7.3 自由膨胀 …… 223
8.7.4 循环过程 卡诺循环 …… 223
8.8 热力学第二定律 …… 225
8.8.1 自然过程的不可逆性 …… 225
8.8.2 热力学第二定律的宏观表述 …… 225
8.8.3 热力学第二定律的微观解释 …… 225
8.8.4 熵增加原理 …… 226
8.8.5 克劳修斯熵公式 …… 226
习题 …… 227

第 9 章 量子物理基础 …… 229

9.1 量子概念的形成 …… 229
9.1.1 黑体辐射 普朗克的能量子假说 …… 229
9.1.2 光电效应 爱因斯坦的光量子假说 …… 231
9.1.3 氢光谱 玻尔的量子论 …… 232
9.2 量子力学的基本原理 …… 233
9.2.1 德布罗意波 实物粒子的波粒二象性 …… 233
9.2.2 玻恩的统计假设 概率波 …… 234

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

9.2.3 不确定关系 力学量的统计不确定性…… 235
9.2.4 薛定谔方程…… 236
9.2.5 定态薛定谔方程…… 237
9.3 量子力学重要结果举例 …… 238
9.3.1 体会量子力学解题过程 一维无限深方势阱中的粒子…… 239
9.3.2 隧道效应 扫描隧道显微镜…… 240
9.3.3 氢原子的量子力学结果…… 242
9.3.4 电子自旋角动量 四个量子数…… 243
9.3.5 原子核外电子的排布…… 243
9.4 量子力学仍在发展 …… 244
习题…… 244

***第 10 章 耗散结构和社会科学 …… 245**

10.1 耗散结构及其意义…… 246
10.1.1 自组织现象…… 246
10.1.2 开放系统的熵变…… 246
10.1.3 研究耗散结构的意义…… 246
10.1.4 西方和东方文化传统…… 247
10.2 耗散结构的基元…… 248
10.3 耗散结构的结构特征…… 250
10.3.1 结构的层次性和自相似性…… 250
10.3.2 耗散结构的开放特性…… 250
10.3.3 耗散结构基元间的相互作用…… 251
10.3.4 耗散结构和超循环…… 251
10.3.5 耗散结构的时间响应特征…… 252
10.4 耗散结构的状态特征…… 253
10.4.1 耗散结构状态分类…… 253
10.4.2 耗散结构稳态的特征…… 254
10.4.3 耗散结构的混沌状态特征…… 255
10.4.4 位垒和位垒参数…… 256
10.4.5 耗散结构的稳定度…… 256
10.4.6 混沌边缘状态…… 256
10.5 耗散结构的演化特性…… 257
10.5.1 量子跃迁…… 257
10.5.2 耗散结构的突变…… 257
10.5.3 耗散结构的渐变…… 258
10.5.4 小结构突变对结构的影响…… 258
10.5.5 耗散结构突变对内部结构和环境的影响…… 259
10.5.6 渐变的积累导致突变的发生…… 260

10.5.7 耗散结构演化的结构性、层次性、自相似性…… 260
10.5.8 耗散结构演化的可预测性…… 261
10.6 耗散结构的生成、变异和解体 …… 261
10.6.1 耗散结构形成的过程…… 262
10.6.2 耗散结构生成过程的结构性、层次性、自相似性…… 262
10.6.3 涌现性及耗散结构特征的结构性、层次性、自相似性…… 263
10.6.4 耗散结构的变异…… 263
10.6.5 耗散结构的解体…… 264
10.6.6 创生的宇宙、创生的规律、没有终极意义的科学探索…… 265
10.7 类比分析当今经济学…… 266
10.7.1 经济学基元分析…… 266
10.7.2 广义帕累托均衡…… 267
10.7.3 新的人性…… 269
10.7.4 有形手无形手…… 272
10.7.5 做事方法，做人道理 …… 273
习题…… 276

附录Ⅰ 数值表…… 277

附录Ⅱ 部分题解…… 279

概 述 篇

第0章 Chapter

概述物理学

0.1 物理学和物质世界

物理学揭示了物质世界最本质、最深层的规律，是探讨物质结构和运动基本规律的学科。

0.1.1 物质世界

物理学使我们懂得我们生活的时空跨度 最大的空间尺度是宇宙，大约是 10^{26} m(约150亿光年)；最小的空间尺度是夸克，大约是 10^{-20} m。最长的时间是宇宙的年龄，大约是 10^{18} s(约150亿年)；最小的时间是硬 γ 射线的周期，大约 10^{-27} s。时空尺度的跨度均达46个量级。最高的速率是光在真空中的速率 $c=3\times10^{8}$ m/s。物理学按照空间的尺度把物质世界分为宇观、宏观、介观和微观体系；按光在真空中的速率将运动分为低速和高速；按研究对象的运动特征将物质运动分为机械运动、电磁运动、热运动、波动等类型。

物理学为我们描绘出物质世界的总图像 人们从自己所处的空间尺度向小尺度追问以探讨物质的组成，相应的物理学是“粒子物理学”；同时，人们又向大尺度追问以探索宇宙的奥秘，相应的物理学是“天体物理学”。这是当前人们最关心的两个课题，也是物理学的前沿。“粒子物理学”为我们揭示出物质组成的信息是：组成物质的最小单元是夸克(quark)；物质之间基本的相互作用是电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用和引力作用。“天体物理学”对宇宙的奥秘揭示到的程度是：第一，宇宙起源于一次大爆炸，然后就不断地进行绝热膨胀，致使宇宙半径不断增大，宇宙密度不断下降，进而使宇宙的温度不断降低，直到目前的“宇宙背景温度”2.7 K。在这个过程中，粒子、原子、分子、星球、星系渐次产生和形成。第二，宇宙有限而无边，宇宙有中心又无中心！基本图像如图0.1.1所示。某时刻，宇宙上的两个人处于A状态，随着时间的流逝，宇宙上的两人则处于B状态。人们就好像坐在一个逐渐膨胀的气球的表面，相互远离。

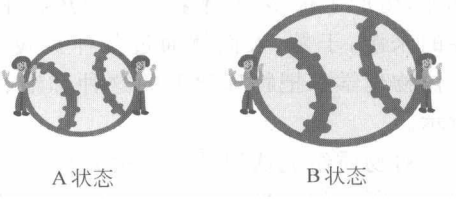

图 0.1.1

0.1.2 关于两个前沿的基本理论

粒子物理学(微观理论) 是探索物质组成的基本学科。粒子物理的标准模型是：组成

物质的基本组元有三族，即夸克、轻子和规范玻色子。其基本相互作用有四种，即电磁、引力、弱、强相互作用。人们通过高能物理实验的手段将物质击碎，取得物质组成成分的实验数据来验证理论。

天体物理学（宇观理论） 宇宙是物理学的最大研究对象。科学家探索宇宙的起源和发展，提出了标准宇宙模型，该模型的核心思想就是所谓的“大爆炸理论”。这个理论为我们勾画出一副用温度计作计时器的宇宙演化图像。如表 0.1.1 左箭头所示的宇宙演化时间表。

表 0.1.1 宇宙演化时间表（摘自：《科学家谈物理》，陆埮）

温度/K	能量/eV	时间	物 理 过 程
10^{32}	10^{28}	10^{-44} s	普朗克时代 粒子产生
10^{28}	10^{24}	10^{-36} s	大统一时代 重子不对称性产生
10^{13}	10^{9}	10^{-6} s	强子时代 大量强子产生
10^{11}	10^{7}	10^{-2} s	轻子时代 轻子过程
5×10^{9}	5×10^{5}	5 s	e^- e^+湮灭 中子自由衰变
10^{9}	10^{5}	3 min	核合成时代 ^{4}He 等生成
4×10^{3}	0.4	4×10^{5} a	复合时代 中性原子生成…… 太阳系形成
2.7	3×10^{-4}	$\sim10^{10}$ a	现在 人类进行科学实验

如果我们在表 0.1.1 的右侧往上画一个箭头，可以清晰地展示出粒子物理在研究宇宙演化中的重要作用。右箭头说明人类利用加速器探索物质组成的历程和目前达到的水平。想把这个箭头继续往上延伸，则有赖于科学技术的发展。这左右两个箭头说明了这两个物理学的前沿理论从两个极端探索物质世界的奥秘，得到的结论是一致的。从而充分地体现了物理学的和谐、完美和对称。标准宇宙模型告诉我们：在遥远的过去宇宙产生于一次大爆炸，生产了很多“基本粒子”，绝热膨胀至今。我们生活在这样的世界中，总想知道这个世界的来源，于是，人们就通过各种实验手段（比如加速器）把物质打开，探索其深奥的内部。一位物理学家把物理学上的这种和谐、统一用一条小龙清晰完美地展现出来，如图 0.1.2 所示。

对物质组成认识的深度很大程度上取决于加速器的发展。试想，当加速器达到物理学的绿洲所需的能量 10^{15} GeV 的能量水平后，展现在我们面前的将是宇宙的起始状态。

0.1.3 物理学使人们深刻认识物质世界

物质存在的基本形式 *物质存在的基本形式有两种，即场和粒子。*

最新理论指出，每种粒子都对应着一种场。例如，与光子相对应有电磁场、与电子相对

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com