普通高等教育基础课规划教材

大学物理教程

——实物与场

刘银春　编著

机械工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

大学物理教程由实物与场、波与粒子两部分组成，各部分单独成册。本书为实物与场分册，它以实物与场为主线分两篇展开。第 员篇为时空与实物运动，内容有时空、对称性及质点机械运动的描述，守恒定律与时空对称性，相对论基础；第 圆篇为电磁场，内容包括静电场、电磁相互作用、电磁感应与电磁场。每篇各章之后有本章提要和习题。习题分 粤 月 悦 阅四类，粤 月两类属难度不同的两部分，书后附有参考答案，悦类为多项选择题，阅类为英文题，以适应教学的需要和 圆员世纪对高校学生英文水平不断提高的要求。

本书为工科大学物理教材，也可作为其他高等院校师生的教学或自学参考书。

图书在版编目 (悦陨孕) 数据

大学物理教程：实物与场/刘银春编著 圆版-北京：机械工业出版社，圆员员员.员

普通高等教育基础课规划教材

陈永星 苏州科技学院教材建设基金资助

Ⅰ.大… Ⅱ.刘… Ⅲ.物理学-高等学校-教材 Ⅳ.员员员

中国版本图书馆 悦陨孕数据核字 (圆员员员) 第 员员员员员员号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 员员号 邮政编码 员员员员员员)

责任编辑：李永联 版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

封面设计： 责任印制：

印刷厂印刷

圆员员员年 员月第 员版第 员次印刷

员员员×员员员 毫米 员/员远 印张·员员员千字

定价：员员.员元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (员员员) 员员员员员员员员

封面无防伪标均为盗版

前　言

物理学是一切自然科学的基础，其基本概念和方法以及相应的物理技术已经渗透到化学、生物学、工程技术等各个方面。物理学以其独特的魅力，成为一门培养和提高学生科学素质、科学思维方法和科学研究能力的重要基础学科。

随着科学技术的迅速发展，物理学不断地揭示出许多新的现象和规律。可以说，物理学是一门充满活力、蓬勃发展的学科，是新技术发展的不竭源泉。

由于物理学自身的不断发展，许多新的现象和规律不断地被揭示出来，物理教材的更新已成为物理教学改革的永恒主题。大学物理教材的现代化，已成为世界各国教育家和物理教育工作者的共识。所谓现代化就是要充分反映时代的特征，更准确地把握物理学的基本概念。因为随着物理学的发展，物理学的基本概念也在发生变化。大学物理教材的现代化，就是要充分反映出这个时代的特征，适应时代的要求。

《大学物理新教程》自 [illegible] 年出版以来，得到许多同行的认可和好评，并在部分高校使用。然而，当前高校的扩招和高等教育由精英教育向大众教育的转变，对物理教材的发展提出了新的要求。本教材就是为适应这一形势的要求，并根据教育部高等学校非物理专业物理基础课程教学指导分委员会 [illegible] 年 [illegible] 月定稿的“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求”，结合高校扩招后的学生实际情况而编写的。

本教材保留了《大学物理新教程》的结构体系，即：按工科物理教材“现代化、工程化和素质教育”的要求，以现代物理思想、概念、研究方法和现代教育思想、教学方法为依据，构筑一个比较完整的现代化的概念结构体系。其具体表现为：以 [illegible] 世纪物理学的两大理论支柱——相对论和量子力学的概念为主线，贯穿于物理概念的现代化（即更准确地把握物理学的基本概念）之中，以时空、对称性概念为起点，以物质与运动为核心，构筑以实物与场、波与粒子为结构特征的概念体系，力争建立一个现代化的、完整的、统一的物理图像。

大学物理教材的现代化还应反映在内容上。[illegible] 世纪后半叶，物理学有许多重大发现。诺贝尔物理学奖的获奖项目代表了物理学的发展方向。本书尽可能多地将一些获得了诺贝尔物理学奖项目的内容和反映现代物理发展的新内容（如激光冷却与原子捕获技术、量子霍耳效应、分数量子霍耳效应、隧道现象和约瑟夫森效应、高温超导电性……）以及反映现代物理发展的新内容（如玻色—爱因斯坦凝聚、电流变液、多光子光电效应、X 射线激光、物质与反物质、磁电子学、生物电磁学……）吸收进来，按大学物理的水平来讲授。

全书由实物与场、波与粒子两部分组成，构成了一个完整的物理理论体系，每部分单独成册。由于各校各专业的教学学时不尽相同，教师可以根据教学的需要选用。

为了便于学生学习，本书在每章之后有本章提要和习题，习题分 粤、月、悦、阅四类。粤类习题较浅，适合于 [illegible] 学时左右的专业选用；月类习题有一定的难度，供 [illegible] 学时左右的专业选用；悦类是不定项选择题，该部分是为了帮助学生加深对物理概念的理解而设置的，读者可以在平时的学习中选用；阅类是英文题，它是针对英文基础较好的学生进行训练而设

置的，目的是为了适应 21 世纪对高校学生英文水平不断提高的要求和双语教学作准备。每章习题附有参考答案。

书中的物理名词以 2009 年全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词》为准。

福建农林大学教务处领导将大学物理课程作为精品课程立项建设并给予了大力支持，在此向他们表示衷心的感谢和敬意。

刘家冈教授主审了本书，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示由衷的敬意和衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了福建农林大学机电工程学院物理与电子科学系全体同仁的大力支持，林仁荣副教授、王苏潭副教授、陈执平副教授、曾曦萍、吴义炳、许济金等老师提出了许多很好的建议和意见；全书的插图由尤华明、曾曦萍两位老师绘制，在此表示深深的谢意。

在本书的编写过程中，吸收了近年来国内学者关于大学物理教材现代化研究的部分成果，这些成果主要来源于书中所列的参考文献，在此向他们表示衷心的感谢！

由于水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

刘银春

2011 年 3 月

目　　录

前言
绪论…… 1

第 1篇　时空与实物运动

第 1章　时空、对称性及质点机械运动的描述 …… 3
1.1　物质　运动　时间　空间 …… 3
1.1.1　物质与运动 …… 3
1.1.2　时间与空间 …… 3
1.2　对称性 …… 4
1.2.1　对称性的概念 …… 4
1.2.2　时空对称性 …… 5
1.2.3　对称性的分类 …… 5
1.3　质点运动的描述 …… 5
1.3.1　质点的机械运动 …… 5
1.3.2　位移矢量 …… 6
1.3.3　速度矢量 …… 6
1.4　质点运动变化的描述 …… 9
1.4.1　加速度矢量 …… 9
1.4.2　加速度矢量在直角坐标系中的表述 …… 10
1.4.3　加速度矢量在自然坐标系中的表述 …… 11
1.4.4　圆周运动的角量描述 …… 12
1.4.5　角量与线量的关系 …… 13
本章提要 …… 15
习题 …… 16
第 2章　守恒定律与时空对称性 …… 19
2.1　动量守恒定律 …… 19
2.1.1　质量 …… 19
2.1.2　动量、动量守恒定律 …… 20
2.1.3　实物相互作用的基本规律 …… 20
2.1.4　动量守恒定律的应用 …… 21
2.1.5　冲量、动量定理 …… 22
2.2　角动量守恒定律 …… 23
2.2.1　角动量 …… 23
2.2.2　刚体转动惯量的计算 …… 24
2.2.3　力矩 …… 25
2.2.4　角动量定理 …… 26
2.2.5　冲量矩定理 …… 26
2.2.6　角动量定恒定律 …… 27
2.3　能量守恒定律 …… 28
2.3.1　能量守恒定律的描述 …… 28
2.3.2　功 …… 28
2.3.3　势能 …… 29
2.3.4　动能定理、功能原理 …… 30
2.3.5　刚体转动的动能定理 …… 31
2.4　对称性与守恒定律 …… 32
2.4.1　守恒定律 …… 32
2.4.2　内特尔定理 …… 32
2.4.3　时空对称性与三大守恒定律 …… 33
本章提要 …… 34
习题 …… 34
第 3章　相对论基础 …… 36
3.1　伽利略相对性原理　经典力学的时空观 …… 36
3.1.1　伽利略相对性原理 …… 36
3.1.2　伽利略变换 …… 37
3.1.3　经典力学的时空观 …… 38
3.2　狭义相对论基本原理　洛仑兹变换 …… 38
3.2.1　狭义相对论基本原理 …… 38
3.2.2　洛仑兹坐标变换式 …… 39
3.2.3　相对论速度变换公式 …… 40
3.3　狭义相对论时空观 …… 41
3.3.1　“同时”的相对性 …… 41
3.3.2　时间膨胀（或动钟变慢） …… 41
3.3.3　长度收缩 …… 42
3.4　狭义相对论动力学基础 …… 43

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1.3.1 相对论质量 …… 16
1.3.2 质量和能量的关系 …… 16
1.3.3 动量和能量的关系 …… 17
1.4 广义相对论简介 …… 18
1.4.1 非惯性系与惯性力 …… 18
1.4.2 等效原理 …… 19
* 1.5 物质与反物质简介 …… 19
1.5.1 正、反粒子 …… 19
1.5.2 物质与反物质 …… 20
本章提要 …… 20
习题 …… 21

第二篇 电 磁 场

第2章 静电场 …… 25
2.1 电相互作用 …… 25
2.1.1 两种电荷、电相互作用规律 …… 25
2.1.2 电荷守恒定律 …… 26
2.1.3 电量的相对论不变性 …… 26
2.1.4 电荷量子化 …… 27
2.1.5 库仑定律、静电力的叠加原理 …… 27
2.2 电场和电场强度 …… 28
2.2.1 电场 …… 28
2.2.2 电场强度 …… 28
2.2.3 电场强度的叠加原理 …… 29
2.2.4 电场强度的计算 …… 29
2.3 高斯定理及其应用 …… 30
2.3.1 电场线 …… 30
2.3.2 电场强度通量 …… 30
2.3.3 静电场的高斯定理 …… 31
2.3.4 高斯定理的应用 …… 31
2.4 静电场的环路定理 电势 …… 32
2.4.1 静电场的环路定理 …… 32
2.4.2 电势 …… 33
2.4.3 电势的计算 …… 33
2.5 等势面 电场强度与电势梯度的关系 …… 34
2.5.1 等势面 …… 34
2.5.2 电场强度与电势梯度的关系 …… 35
2.6 电介质中的静电场 电位移矢量 …… 35
2.6.1 电介质及其极化 …… 35
2.6.2 电极化强度 …… 36
2.6.3 电介质中的静电场 …… 36
2.6.4 有电介质时的高斯定理 电位移 …… 37
2.7 电容 电场的能量 …… 38
2.7.1 导体的静电平衡 …… 38
2.7.2 电容 …… 38
2.7.3 电容器电容的计算 …… 39
2.7.4 电场的能量 …… 40
* 2.8 电流变液简介 …… 40
2.8.1 电流变液效应 …… 40
2.8.2 电流变液的理论模型 …… 41
2.8.3 影响电流变强度的主要物理参数 …… 41
本章提要 …… 42
习题 …… 43
第3章 电磁相互作用 …… 46
3.1 基本磁现象 …… 46
3.1.1 人类对磁现象的认识和应用 …… 46
3.1.2 电流磁效应 …… 47
3.2 磁场和磁感应强度 …… 47
3.2.1 磁场 …… 47
3.2.2 磁感应强度 …… 47
3.2.3 带电粒子在磁场中的运动 …… 48
3.2.4 霍耳效应 …… 49
3.3 电流磁场 …… 49
3.3.1 恒定电流 …… 49
3.3.2 毕奥—萨伐尔定律 …… 50
3.3.3 毕奥—萨伐尔定律的应用 …… 50
3.4 磁场的高斯定理 …… 52
3.4.1 磁感线 …… 52
3.4.2 磁通量 …… 52
3.4.3 磁场中的高斯定理 …… 52
3.5 安培环路定理及其应用 …… 53
3.5.1 安培环路定理 …… 53
3.5.2 安培环路定理的应用 …… 54
3.6 磁场对电流的作用 …… 55
3.6.1 安培定律 …… 55
3.6.2 磁场对载流线圈的作用 …… 56
3.6.3 安培力的功 …… 57
3.7 磁介质中的高斯定理和安培环路

定理 …… 9-12
8.4.1 磁介质及其磁化机理 …… 9-12
8.4.2 有磁介质时的高斯定理 …… 9-15
8.4.3 有磁介质时的安培环路定理 …… 9-15
8.4.4 铁磁质的磁化规律及磁化机制 …… 9-16
* 8.5 生物电磁学简介 …… 9-19
8.5.1 静电生物效应 …… 9-19
8.5.2 生物磁场 …… 9-20
8.5.3 磁生物效应 …… 9-21
8.5.4 电磁生物效应 …… 9-22
本章提要 …… 9-22
习题 …… 9-23
第 9 章　电磁感应与电磁场 …… 9-26
9.1 电磁感应定律 …… 9-26
9.1.1 电磁感应现象 …… 9-26
9.1.2 法拉第电磁感应定律 …… 9-27
9.2 动生电动势与感生电动势 …… 9-29
9.2.1 电动势 …… 9-29
9.2.2 动生电动势 …… 9-29
9.2.3 感生电动势　有旋电场 …… 9-31
9.2.4 感生电场的应用 …… 9-32
9.3 自感和互感 …… 9-34
9.3.1 自感 …… 9-34
9.3.2 互感 …… 9-36
9.4 磁场的能量 …… 9-38
9.4.1 自感磁能 …… 9-38
9.4.2 互感磁能 …… 9-39
9.4.3 磁场的能量 …… 9-39
9.5 麦克斯韦电磁场理论 …… 9-41
9.5.1 两个基本假设和基本方程 …… 9-41
9.5.2 麦克斯韦方程组 …… 9-43
9.6 超导 …… 9-46
9.6.1 超导体的基本性质之一：零电阻效应 …… 9-46
9.6.2 超导体的基本性质之二：迈斯纳效应 …… 9-48
9.6.3 两类超导体和磁通量子化 …… 9-49
9.6.4 约瑟夫森效应 …… 9-51
9.6.5 超导理论简介 …… 9-52
9.6.6 高温超导 …… 9-53
9.6.7 超导的应用 …… 9-54
9.7 磁电子学简介 …… 9-55
9.7.1 磁电阻效应 …… 9-55
9.7.2 巨磁电阻效应 …… 9-56
9.7.3 巨磁阻抗效应 …… 9-57
本章提要 …… 9-58
习题 …… 10-1
习题参考答案 …… 10-5
附录 …… 10-13
附录 A　矢量及其运算 …… 10-13
附录 B　常用物理常数表 …… 10-16
参考文献 …… 10-17

实 物 与 场

物质存在两种形式：实物与场。

实物与场都是真空的激发态，它们的区别在于能量密度不同。实物通过场以三种基本相互作用构成了我们看不见摸不着的微观世界，进而形成我们 看得见摸得着、大小不一、五彩缤纷的宏观世界以及看得见摸不着的浩瀚无垠的宇宙……

实物与场的运动构成了物质运动的全部内容。物质运动与时空存在紧密相连，自然界没有脱离时 空而存在的运动物质，也没有脱离运动物质而存在的时间和空间。

物质告诉时空如何弯曲，时空告诉物质如何运动。

绪　论

一、物理学的含义

世界是由物质构成的，物质在永不停息地运动。

物理学是一门以实验为基础，研究物质结构和相互作用及其基本运动规律的学科。从空间尺度看，人类的研究是从人类本身相同的数量级开始的，然后向两端发展：向宏观方向发展即是天体物理学，向微观方向发展则形成高能或粒子物理学。前者在最大的尺度上探寻宇宙的演化与起源，后者在最小的尺度上探寻物质的更深层次的结构，这样，物理学研究的领域从质子的半径（10^{-15} m）到目前已观测到的宇宙深处（10^{26} m），空间跨度达 10^{41} 个数量级；在时间尺度上，从微观粒子的平均寿命（10^{-24} s）到宇宙的年龄（约 10^{17} s），时间跨度达 10^{41} 个数量级。物理研究表明，空间长度和时间间隔都有下限，它们分别是普朗克长度（10^{-35} m）和普朗克时间（10^{-43} s）。当小于普朗克时空间隔时，现有的时空概念就可能不再适用了。考虑到普朗克时空间隔，那么时间和空间的跨度均为 10^{60} 个数量级。就是这样两个极端的研究竟奇妙地衔接起来，形成了一门粒子天体物理学。在如此广阔的时空上创立起来的物理学的基本原理和定律具有普遍意义。因此物理学成为一切自然科学的基础。

物理学的起源可追溯到 2000 多年前的古希腊自然哲学（古希腊人把所有对自然界的观察和思考笼统地包含在一门学科里，称为自然哲学），而现代意义上的物理学则是从 1687 年牛顿在伽利略和开普勒工作的基础上，发表了《自然哲学的数学原理》才开始的。从 17 世纪到 19 世纪，卡诺、焦耳、开尔文、克劳修斯、麦克斯韦、玻耳兹曼建立了宏观的热力学理论；克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼等建立了气体动理论；库仑、奥斯特、法拉第、麦克斯韦等建立了电磁学理论（尽管过去光学与电磁学是独立发展的，但后来发现光是电磁波，故用电磁理论来阐明光学原理）。人们把 19 世纪以前完成的力学、热学、电磁学等理论称为经典物理学理论。正当经典物理学获得巨大成功之际，一系列与经典物理的预言极不相容的实验事实相继出现，这些实验可归结为两个谜：一是无绝对惯性系（迈克耳孙—莫雷实验的零结果），二是波粒两重性（黑体辐射实验、光电效应实验等）。这两个谜的前者导致了爱因斯坦相对论的创立，后者导致了量子论和量子力学的创立。相对论和量子力学是 20 世纪物理学理论的两大支柱，是现代物理学的理论基础。从物理中不断分化出来的新分支（如原子物理、核物理、粒子物理、原子分子物理、凝聚态物理、激光物理、电子物理、等离子体物理），以及许多交叉学科（如天体物理、地球物理、化学物理、生物物理）等学科的创立都与 19 世纪末两个谜的破解有密切的关系；现代科学技术无不与这两大理论的建立有关，如以原子能、激光、半导体和计算机技术等为标志的第三次技术革命，就是以相对论和量子力学两大理论为基础而发展起来的。

李政道认为，20 世纪末物理学又留下两个谜：一个是夸克囚禁，一个是对称性自发破缺（即一个原来具有较高对称性的体系，在没有被施加任何不对称因素的情况下，对称性突然明显下降的现象，称为对称性的自发破缺）。这两个谜是当今物理学所面临的挑战，同时也预示着一个新兴的天地正期待人们施展才华去创新开拓。如果这两个谜得以破解，那么这

将是物理学发展的重大突破，也会给科学和技术的发展带来一次革命，人类将再一次享受到物理学带来的文明硕果。

圆.物质及其相互作用

自然界的物质千差万别、丰富多彩，这些物质到底是由什么构成的，它们之间是通过什么方式得以结合而组成这个浩瀚无穷的世界的？这是物理学研究的基本问题之一。这就涉及到基本相互作用和宇宙的起源与演化问题。

(员) 基本相互作用　圆园世纪物理学对物质空间尺度的思维逻辑是，大物质由小物质组成，小物质由更小的物质组成，找到最基本的粒子就可以知道最大物质的结构。那么在各层次上的物质如何构成，或者说小的物质是通过什么组合成大物质的呢？我们把物质间的相互作用称为力，到目前为止，我们认识了自然界中的基本相互作用有四种，它们分别是：引力相互作用 (万有引力相互作用)、电磁相互作用 (库仑力相互作用)、弱相互作用 (衰变相互作用)、强相互作用 (核力相互作用)，如表 圆.员所示。

表 圆.员　四种相互作用

类型	媒介粒子	强度	作用距离/m
强相互作用	胶子	员	短 (~ 10^{-15})
电磁相互作用	光子	10^{-2}	长
弱相互作用	中间玻色子	10^{-13} ~ 10^{-11}	短 (~ 10^{-18})
引力相互作用	引力子	10^{-42} ~ 10^{-41}	长

引力相互作用和电磁相互作用都是长程相互作用，最早被人们所认识；而弱相互作用和强相互作用是短程相互作用，基本上是在原子核的尺度上表现出来。

四种基本相互作用在强度上的差异很大，如果以强相互作用的强度为 员的话，那么电磁相互作用为 10^{-2}，弱相互作用为 10^{-13} ~ 10^{-11}，引力相互作用最弱，为 10^{-42} ~ 10^{-41}。

物理学家一直企图将四种相互作用统一起来。爱因斯坦后半生花了大量的时间，试图将电磁相互作用与引力相互作用统一起来，但没有取得实质性的成果。在微观世界里，能够正确描述粒子相互作用的理论是量子场论。该理论给出的基本物理图像是：每种粒子对应一种场，对应于各种不同粒子的场互相重叠地充满整个空间；所有的场都处于基态时为物理真空；场的激发态表现为出现相应的粒子，互为复共轭的两种激发状态表现为粒子和反粒子互换的两种物理状态；粒子间的相互作用来自场之间的相互作用。

量子场论的观点认为，基本相互作用是通过相互作用着的粒子之间交换某种粒子来传递的。杨振宁认为，相互作用的形式应满足局域规范不变性，传递相互作用的粒子统称为规范玻色子 (规范粒子)。例如，光子 (规范粒子) 是传递电磁相互作用的媒介粒子，员怨远苑年发现的 宰垣、宰原和 在中间玻色子 (规范粒子) 是传递弱相互作用的媒介粒子。

员怨苑员年，温伯格 (物理学家) 和萨拉姆 (物理学家，员怨缘园年诺贝尔物理学奖获得者) 在格拉肖 (物理学家，员怨远源年诺贝尔物理学奖获得者) 理论的基础上，先后提出了电磁相互作用和弱相互作用统一的规范理论，并被随后的一系列实验所证实 (故可把基本相互作用归为三种，即：引力相互作用、电弱相互作用、强相互作用)。电弱相互作用的统一，说明电磁相互作用和弱相互作用是一种相互作用——电弱相互作用的两种表现形式，这一成果为各种相互作用统一理论奠定迈出

了成功的第一步。随后有人希望把强相互作用与电弱相互作用统一起来，并称之为大统一理论。而将四种相互作用统一起来的理论，称为超大统一理论。

(圆) 宇宙大爆炸理论　目前流行的宇宙大爆炸理论可用图 圆猿来表示。这一理论是这样来描述宇宙的起源与演化的：宇宙起源于一次宇宙大爆炸，此后的 员园原源 ~ 员园苑泽之间宇宙内充满夸克、轻子物质 (夸克是组成质子、中子的更深层次的物质；轻子则是不参与强相互作用的一类粒子，如电子、μ 子等)，跟着时间 贼轴向右走，紧接着演化形成强子 [参与强相互作用的一类粒子，包括重子，如质子、中子、介子 (如 π、Λ 等)]，然后形成核、原子、直至当今的现状。从温度轴我们可以看出，大爆炸时的温度非常之高，例如在 员园员源泽时温度达到 员园员缘运　随着时间的推移，温度不断下降，直到当今测到的微波背景所对应的温度 圆援苑运　它是宇宙大爆炸理论的一个很好的证明，使这一理论有了一个强有力的实验基础。

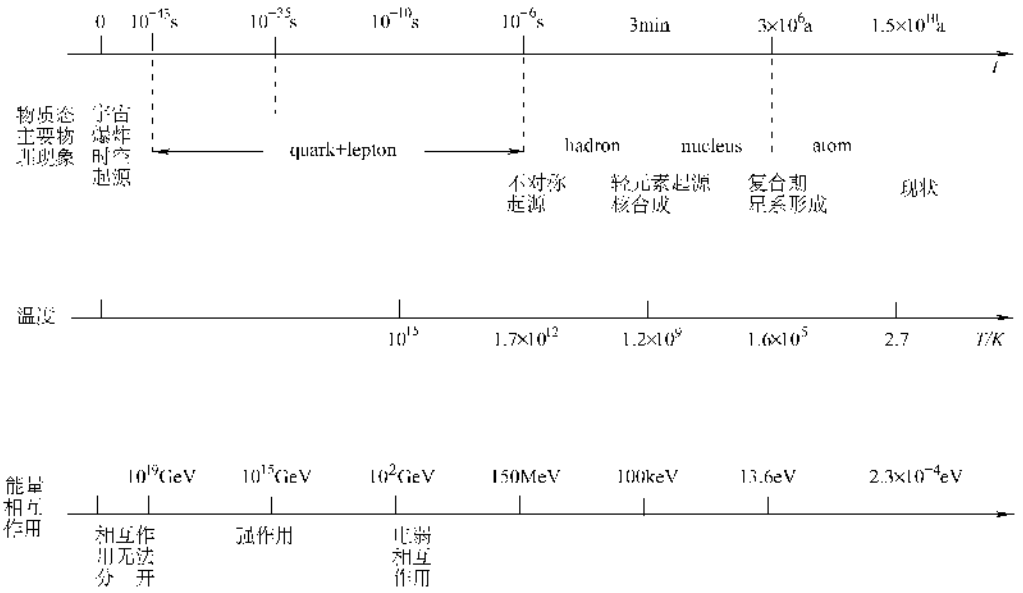


图 圆猿　宇宙起源与演化示意图

根据宇宙大爆炸理论，大爆炸的瞬间是能量最高的瞬间。由图 圆猿可知其能量大约为 员园员怨郧藻灾，则缘援　从理论上估计，大约在大爆炸后 员园原源泽时出现普朗克尺度 (员园原源皂)，在这个瞬间，四种相互作用都统一在一起，是超大统一的情形，随后 (员园原源泽 强相互作用也分离出去，大统一也解体了。到大爆炸后的 员园苑泽 电弱相互作用分离，不对称由此开始，大爆炸后的 猿猿园泽左右，轻元素开始出现，进而形成原子核。

人类对自然界的认识与宇宙的演化正好相反，在时间轴上从右向左走，人们认识的规律是从当今的世界开始，由简到繁，由看得见摸得着的物质世界 (如日常生活、生产活动中的现象) 到看得见摸不着的物质现象 (如天体现象)，再到看不见摸不着的物质现象 (如原子、原子核、电子等)。我们从图 圆猿可以看到，随着物质尺度的减小，能量越来越高。用人工的方法获得高能来研究更深层次的物质，就要求加速器的能量要随着物质尺度的减小而增加。这也是探测越小层次的物质越困难的原因所在。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

猿 物质的态　宏观物体由大量的分子、原子等微观粒子组成。不同物体的微观构成及环境（如温度）的差异，表现出其宏观特性迥然不同。就物质的状态而言，可分为固态、液态、气态、等离子态、中子态（超核态）、玻色—爱因斯坦凝聚态等。

固态物体中的分子有相对固定的位置，因而整个物体有固定的形状，其中有一定规律排列者称为晶体；没有一定规律排列者称为非晶体。

液态物质中的分子没有固定的位置，可以相对移动，所以液体没有一定的形状。但是液体分子之间的距离仍较近，分子间的作用力使得液体总是凝聚在一起，形成一定的表面。

气态物质分子间的距离很大，分子间的作用力极弱，分子可以自由运动。因此，气体总是充满整个容器。

在一定条件下，气体中的部分中性原子将离解为正离子和电子，这种由正离子、电子和中性粒子组成的气体称为等离子体，物质的此种状态称为等离子态。例如在太阳和恒星的内部，温度达到几百万甚至上千万开尔文，其中的物质就处于等离子体状态。极高的温度给不间断的热核反应创造了极好的条件，太阳及其他恒星正是依靠连续的热核反应维持极高的温度，并向外辐射能量。

有趣的是，还存在着质子态和中子态的物质。晚期的恒星在耗掉大量能量之后，星体的巨大质量引起的万有引力把全部核子（质子和中子）集中在一起，相当于一个巨大的原子核。星体被压缩成密度极大的天体，原子的结构被破坏，众多的电子包围着这种天体，天文学家称之为白矮星。质量更大的晚期恒星的巨大压力甚至可将电子压入原子核，与核中的质子结合成中子，整个星体主要是由中子构成，这种天体称为中子星。

玻色—爱因斯坦凝聚态。[illegible]年 远月 缘日，美国国家标准与技术研究所和科拉多大学物理系联合研究所的物理学家维曼（[illegible] 和康奈尔（[illegible] 等人，采用朱棣文（[illegible]）、科思—塔诺季（[illegible]）和菲利普斯（[illegible]）等人开发的激光冷却和原子捕获的方法，应用激光冷却和蒸发冷却的联合技术，首先在原子铷（[illegible] 的蒸气中产生玻色原爱因斯坦凝聚（[illegible]，使成千上万个原子进入同一个量子态。这一发现立即轰动了整个物理界。而早在[illegible]年，爱因斯坦在印度物理学家玻色（[illegible] 的工作基础上，首次预言了这个新物态的存在，人们称之为玻色原爱因斯坦凝聚。这一新物态是这样的：无相互作用的玻色原子气体在一定温度（[illegible]运数量级的低温）下，将突然宏观布局在最低的量子态上，在同一最低的量子态上能聚集尽可能多的玻色子。

猿[illegible]物理学与技术革命

历史表明，物理学的重大突破都会带来社会的进步，并深刻地影响着人类的生产和生活，可以说物理学已经成为人类社会文明的重要源泉。历史上的三次技术革命都与物理学的重大突破密切相关。以蒸汽机的广泛应用为主要标志的第一次技术革命，是牛顿力学和热力学发展的结果；以电力的广泛应用和无线电通信的实现为主要标志的第二次技术革命，是电磁学发展的结果；[illegible]世纪[illegible]年代以来，以原子能、激光、半导体和计算机技术等为标志的第三次技术革命，是以相对论和量子力学两大理论为基础的物理理论发展的结果。

物理学的理论并不等于物理技术，物理科学解决理论问题，物理技术解决实际问题，物理学与技术是相互促进的，技术的发展向物理提出问题，促进物理的发展，反过来，物理理论的发展又为技术的发展指明了方向，从而形成了技术[illegible]物理[illegible]技术或物理[illegible]技术[illegible]物理这样两

种发展模式。

在第一次技术革命中，瓦特完善了蒸汽机以后，蒸汽机开始广泛应用于纺织、轮船、火车等，但其机械效率很低，只有 缘豫～愿豫。如何提高热机的效率呢？卡诺提出了著名的卡诺定理，为提高热机的效率指明了方向，使得内燃机的效率提高到 源园豫，燃汽涡轮机效率达到 缘园豫，这是按技术→物理→技术模式发展起来的。第二次技术革命则是在经过库仑、伏打、奥斯特、安培、法拉第、麦克斯韦等人经历近百年的努力建立了电磁场理论，以及后来赫兹用实验证实了电磁波的存在以后，才导致了电力的应用和无线通信的发明。这些技术的应用反过来推动了物理学的发展。很明显，这是按物理→技术→物理的模式发展起来的。圆园世纪以来，物理和技术的关系主要是按物理→技术→物理的模式发展的。例如，在原子能应用之前就有了爱因斯坦的相对论、卢瑟福的 α 粒子散射实验和居里夫人的镭、钋和钍放射性实验等理论和实验的知识积累。而激光技术的应用，也是因为有了爱因斯坦受激发射的理论指导才得以实现。以量子力学为代表的物理理论为 员怨源愿年晶体管的发明、员怨缘怨年集成电路的发明乃至 苑园年代后期超大规模集成电路的发明作了理论准备。这些技术的发明和应用又为物理理论的发展作了技术上的支持。比如，由于激光冷却技术的发展，实现了玻色→爱因斯坦凝聚，而这一新物态的实现，为物理学的研究打开了一个崭新的领域。同样，介观物理（纳米科学）的发展，离不开电子显微技术的发展和应用。

源．物理学的发展趋势与展望

员怨世纪末物理学留下的两个谜导致了相对论和量子力学的创立，带来了 圆园世纪以原子能、激光、半导体和计算机技术等为标志的第三次技术革命，使人类进入了信息时代。

圆园世纪末物理学又留下两个谜，它们是：夸克的囚禁和对称性的自发破缺，这两个谜如果得到解决，必将带来物理理论的重大突破。

按照李政道的观点，上述两个谜与“真空”有关。“真空”是没有实物的态，但有能量的涨落，“真空”是物理的相对论性的凝聚态，是可能被激发的。基于这种认识，他把上述两个谜与“真空”能量的涨落联系起来，在真空能量的涨落中，很可能有色磁单极子和反色磁单极子存在，它们能抵抗色的量子场的传播，阻止夸克单独自由运动（即是夸克的囚禁）。同样，“真空”能量的涨落导致了对称性被破坏，这就是对称性的自发破缺。因此，对真空的研究和对“磁单极子”的探索，都是今后的研究课题，这些课题的研究又与大型对撞机的建设联系在一起，只有实验证实了理论的预言，理论才能得到承认。因此，物理和技术的关系更加密切。

纵观物理学的发展可以看出，整个 圆园世纪物理思维的逻辑就是物质层次结构的逻辑，为寻找最基本的粒子而步步逼向普朗克长度，从而构成了不同层次物质结构的研究。这种思维逻辑，不仅影响到物理学，也影响到生命科学，引导了生命科学的研究方向，并在基因领域的研究中获得了成功。

物理学的这种思维逻辑是十全十美的吗？显然不是。由于理想模型的建立，物质与外界物质的联系被忽略了，把复杂的问题简单化，以致许多问题得不到解决。比如，应用牛顿力学解决一体问题很简单，二体问题也不复杂，但到了三体问题，就没有解析解。再如，知道了基因并不等于了解了生命。由此可见，物理的思维逻辑应该有所转变，物理研究方法也有待于创新。物理科学中，小粒子总是在广泛的“真空”中，而“真空”是个凝聚态，它有自己复杂的构造、能量和作用规律。孤立地研究粒子会产生局限性，片面地认为知道了粒子就

知道了“真空”是不正确的，应该把微观的粒子和宏观的“真空”结合起来全面地观察分析，才能更全面地认识物质，获得物质存在的更真实的信息。

如果说 20 世纪的科学思维注重微观研究的话，那么 21 世纪的科学思维的主流应该是微观与宏观相结合的新思维逻辑，创造出解决复杂物理问题的方法，只有这样，我们才能够在软物质、凝聚态物理、玻色-爱因斯坦凝聚（BEC）、介观物理（纳米科学）等重大的物理课题上有所作为。

第 1篇　时空与实物运动

第 1章　时空、对称性及质点机械运动的描述

1.1 物质　运动　时间　空间

1.1.1 物质与运动

世界是由物质构成的，物质在永不停息地运动。

什么是物质？物质就是客观存在。这种客观存在就是能量的表达。什么叫运动？运动是物质的固有属性，它是由能量的涨落引起的。

物质有两种基本形式：实物与场。现代物理研究的结果表明：真空是一切场的基态，实物与场都是真空的激发态。实物与场的主要区别在于实物的能量密度远大于场的能量密度。场的激发状态表现为出现相应的粒子（[illegible]）。粒子以一定的方式聚集起来就构成实物，从这个意义上讲，在物质存在的两种基本形式中，场是更基本的。每一种场对应于一种粒子，对应于不同粒子的各种场相互重叠地充满整个空间。

空间反映了物质的广延性，空间这一概念是与实物的体积及其位置的变化联系在一起的。时间所反映的则是物理事件的顺序性和物质运动的持续性。

由此，我们可以看出，物质、运动、时间、空间是不可分离的。自然界没有脱离了时间和空间而存在的运动物质，也没有脱离了运动物质的时间和空间。运动的物质与时空之间还存在着密切的相互作用，即运动的物质的存在决定了时空的性质，时空的性质反过来决定了物质运动的规律。

1.1.2 时间与空间

1. 时间及其计量

时间表征物理事件的顺序性和物质运动的持续性。物质运动持续性的长短用时间间隔来计量，这样就必须有一个计量的基准。[illegible]年第三届国际计量大会决定采用铯原子钟作为新的时间计量基准，并给时间的基本单位——秒（[illegible]）下了这样的定义：[illegible]的长度等于铯[illegible]原子基态两个超精细能级之间跃迁相对应的辐射周期的[illegible]。有了时间的基准以后，一些典型物理现象的时间尺度就可以量化地表示了，人类研究时间的跨度从光穿越[illegible]核的时间或某些粒子的平均寿命[illegible]到宇宙的年龄[illegible]达[illegible]个数量级，如图[illegible]所示。

2. 空间及其计量

空间反映物质的广延性。空间中两点间的距离称为长度，长度计量的基本单位为米（[illegible]）。

员怨愿员年 员员月第 员怨届国际计量大会通过了“米”的定义：员米是光在真空中 员怨愿员缘怨圆源圆源缘分之一秒的时间间隔内运行路程的长度。这个定义利用了自然界的一个普适常数：真空中的光速 糟

糟域圆怨怨愿圆源缘愿皂蝉

人类研究空间领域的跨度达 源员个数量级，图 员源员中列出了一些典型物理现象的空间尺度。

空间尺度 L/m		时间尺度 t/s
已观测到的宇宙范围	-10^{26}	10^{26} –
星系团半径	-10^{23}	10^{21} – 宇宙年龄
		– 太阳系年龄 (1.4×10^{17})
银河系半径 (7.6×10^{22})	-10^{22}	10^{18}
		– 原始人
	-10^{20}	10^{15} – 最早文字记录
	-10^{18}	10^{12} – 人的平均寿命
太阳到最近恒星的距离	-10^{15}	10^{9} 地球公转(1a)
		地球自转(1d)
太阳到冥王星的距离	-10^{12}	10^{6} – 太阳光到地球的传播时间
日地距离		
太阳的半径	-10^{9}	10^{3} – 人心脏跳动周期
	10^{8}	1 – 中波声波周期
地球的半径	-10^{6}	10^{-3} – 中频无线电波周期
无线电中波波长	-10^{3}	10^{-5} – 氢分子的平均寿命
核动力航空母舰长		
小孩高度	-1	10^{-9} – 分子转动周期
牛眼	-10^{-3}	10^{-12} –
人类红白球细胞直径	-10^{-5}	10^{-15} – 原子振动周期(光波周期)
细菌线度		
原子线度	-10^{-9}	10^{-18} – 光穿越原子的时间
电子的康普顿波长	-10^{-12}	10^{-21} – 核振动周期
原子核	-10^{-15}	10^{-24} – 光穿越核的时间
核子		
普朗克空间	10^{-35}	10^{-43} 普朗克时间

图 员源员 一些典型物理现象的时空尺度

在大尺度的空间里我们常常见到以下几个单位：

员 天文单位 （粤耘 ：即日地距离，是太阳系内表示天体距离的专用单位，其精确值为

员粤耘缘员源愿缘怨苑缘缘圆员缘缘怨圆月缘源 皂

太阳系的直径约 愿园粤耘， 即 员园员皂数量级。

圆 光年 （造赠藏赠则 用 造赠藏表示）：表示光在一年里通过的距离。

员遭糟陆越员粤钱越员粤钱[元蛐(员遭园再遭园再园)]　越圆糟圆园越圆糟圆园再员园　粤钱

越圆糟圆园越圆糟圆园再员园　伊员遭糟缘怨越怨圆再员园　阜越遭糟圆家越遭糟圆再员园　阜越遭糟圆员越遭糟圆园再遭糟

在实际工作中，为了方便起见，常用基本单位的倍数或分数作单位来表示物理量的大小，这些单位叫倍数单位。它们的名称都由基本单位加上一个表示倍数或分数的词头构成。各种词头如表 员遭员所示。

表 员遭员　各种词头

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
员园[员源]	糟糟葬	尧［它］	再
员园[员缘]	糟糟葬	泽［它］	在
员园[员远]	糟糟葬	艾［阿萨］	耘
员园[员愿]	糟糟葬	拍［它］	孕
员园[员苑]	糟糟葬	太［拉］	栽
员园[员园]	糟糟葬	吉［咖］	郧
员园[怨]	阜糟葬	兆	酝
员园[愿]	噪糟糟	千	噪
员园[苑]	澡糟糟	百	澡
员园[员]	凿糟葬	十	凿葬
员园[员原]	凿糟蚤	分	凿
员园[员圆]	糟糟蚤	厘	糟
员园[员猿]	阜糟蚤	毫	阜
员园[员远]	阜糟凋	微	μ
员园[员怨]	灶糟燥	纳［诺］	灶
员园[员员]	责糟燥	皮［可］	责
员园[员员猿]	枣糟燥	飞［母托］	枣
员园[员员缘]	葬糟燥	阿［托］	葬
员园[员员愿]	扎糟燥	仄［普托］	扎
员园[员员苑]	赠糟燥	幺［科托］	赠
员园[员员源]			

员遭圆　对称性

员遭圆员　对称性的概念

人类和自然界都很喜欢对称，对称能使人产生美感，自然界的对称现象随处可见。如植物的叶子几乎都是左右对称的形状；蝴蝶的美丽与它的体态花样的左右对称分不开；雪花的六角形花样也是对称的（见图 员遭圆）。那么，什么叫对称性（糟葬凿糟糟）呢？员怨缘员年德国数学家魏尔（匀藻糟葬）给对称性下了一个普遍的严格定义：对一个事物进行一次变动或操作；如果经此操作后，该事物完全复原，则称该事物对所经历的操作是对称的，该操作就叫做对称操作。由于操作方式的不同会有若干种不同的对称性，下面分别予以介绍。

需要全本请访问 www.ertongbook.com