

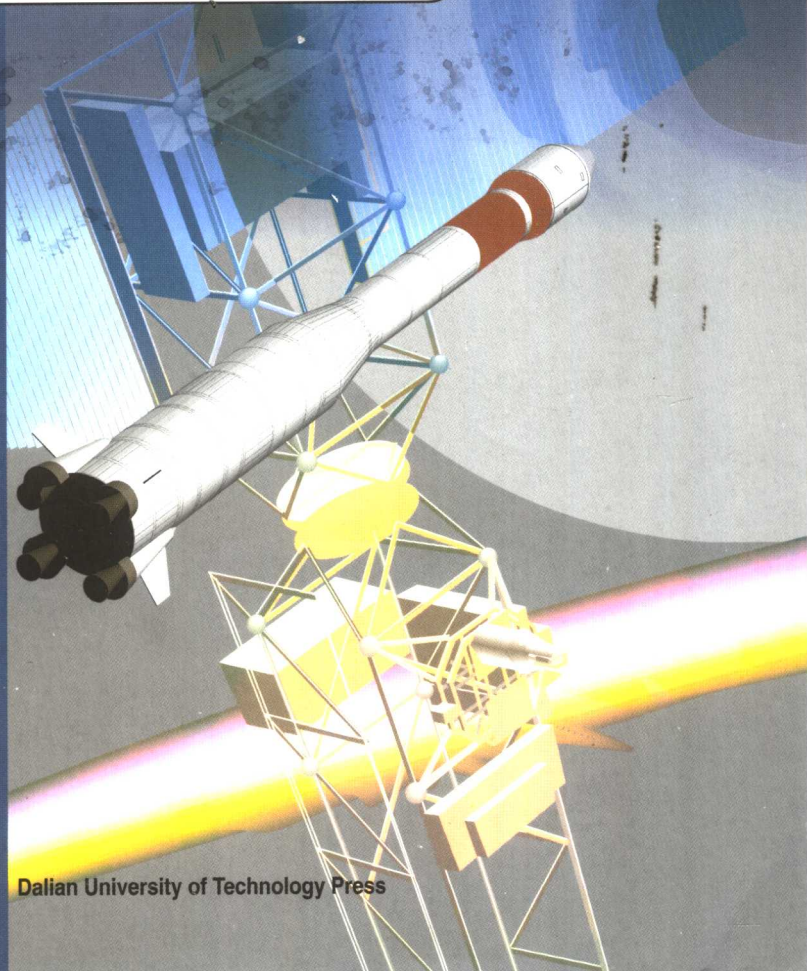


‘九五’军队级重点教材  
军队院校统编教材

# 大学物理 第一册

基础物理 (上)

周茂堂 / 主编



大连理工大学出版社

Dalian University of Technology Press

‘九五’军队级重点教材  
军队院校统编教材

# 大学物理

第一册

## 基础物理(上)

主编 周茂堂教授

编委 (以姓氏笔画为序)

|        |            |
|--------|------------|
| 邓鸿模教授  | 昆明陆军学院     |
| 卢国生教授  | 郑州防空兵学院    |
| 左武魁教授  | 空军长春飞行学院分院 |
| 任文辉副教授 | 西安通信学院     |
| 陈心中教授  | 汽车管理学院     |
| 杜国樑教授  | 防化指挥工程学院   |
| 周茂堂教授  | 海军大连舰艇学院   |
| 赵洪先副教授 | 徐州工程兵指挥学院  |
| 赖思平副教授 | 海军舰艇学院     |

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理(第一册)/周茂堂主编. —大连:大连理工大学出版社, 2001. 1 (2002. 1 重印)

‘九五’军队级重点教材 军队院校统编教材

ISBN 7-5611-1865-1

I. 大… II. 周… III. 物理学-军事院校-教材 N. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 57450 号

大连理工大学出版社出版发行  
大连市凌水河 邮政编码 116024  
电话:0411-4708842 传真:0411-4701466  
E-mail: dulp@mail. dlptt. ln. cn  
URL: http://www. dulp. com. cn  
大连业发印刷有限公司印刷

开本: 787 毫米×960 毫米 1/16 字数: 293 千字 印张: 15.5  
印数: 6001—10000 册

2001 年 1 月第 1 版

2002 年 1 月第 2 次印刷

责任编辑: 赵 静

责任校对: 佚 君

封面设计: 王福刚

定价: 40.00 元(本册 15.00 元)

## 前 言

本书被中国人民解放军总参军训部定为‘九五’军队级重点教材和军队院校统编教材。在总参军训部的具体指导和大力支持下,由物理课程教学指导专家组的来自九所院校的教授历时三年编著而成。

在编著过程中,始终遵循国家教育部对精品教材的质量要求和总参军训部关于教材质量要注重“思想性、先进性、针对性、科学性、实践性”的指示。在内容选择上是依据教育部和总参军训部关于工科大学物理教学基本要求进行的,同时考虑到现代军事高科技条件下军事人才对某些物理知识的特殊需求;在注意到与中学内容相衔接的前提下,提高了教学起点;与以往教材相比,在继承其优秀成果的基础上,按照循序渐进的原则,根据物理学的发展与中央军委对新时期军事人才培养目标的要求而将教材体系和内容作了必要的调整;在经典物理与近代物理的关系上,沿着精讲经典、加强近代、紧密联系军事高科技前沿的写作思路选择题材。全书共十八章,前十二章为基础物理,后六章为军事物理。这样,便通过军事物理把包含许多物理学最新进展在内的近代物理教学直接延伸到了军事高科技领域,使教材内容充满了现代感,从而解决了物理教学内容现代化与学时不足的矛盾。本书很重视让读者在学习知识的同时去领悟科学家们在科学方法论方面表现出来的创造精神和思维方式。这十八章中有十章属于经典物理,有八章属于近代物理。编著者希望这部教材能够有助于提高读者知识结构中的理性深度和培育先进的科学理念,从而有利于素质教育这一根本目标。

这套教材既适用于全军院校各生长军官专业本科,也适用于大学专科,二者有共同的内容,有些章节大专可以不讲,或讲得少一点(将另文说明)。基础物理部分应当多于100学时,130至140学时更好一些,各院校可根据本单位物理学时的多少灵活掌握。军事物理中大部分内容达到定性理解就可以了,主要是扩大知识面,为学员从物理学原理的高度去理解和掌握军事高科技奠定基础。可以采取讲授、学员自己阅读与课堂集体答疑、讨论相结合等作法,大约需要30至40学时。

本书由清华大学陈信义教授和国防科技大学李承祖教授联合主审,并有空军长春飞行学院宋庆峰教授、海军广州舰艇学院林励平副教授,大连陆军学院于华大副教授、大连理工大学唐福深教授参加了审定。专家们对本书首次将介观物理引入普通物理教学及首次提出并设立了军事物理、全书内容编排及教材的科学性、严密性、先进性、教学适用性等方面都给予了很高的评价。编著者十分感谢评委们对本

书的评价和所提出的宝贵建议。北京大学阎守胜教授对第十四章“介观物理基础”书稿提出了若干宝贵的意见,编著者在此深表谢意。

编著者特别要感谢总参军训部、海军院校部、作为负责院校的海军大连舰艇学院以及各位编著者所在单位的各级首长与教研室的领导和同志们给予的关心和支持;杨秀庭、李军、孙光明、樊玉伟、邹来智、于龙成、申岳国等同志在书稿录入计算机和绘制插图过程中付出了大量艰苦的劳动;刘波、张树昆、吴秀芹参加了配套使用的若干习题的编写工作,为提高教材的使用效果做了有益的工作。

由于参编人员水平所限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便日后修订时改正,使之日臻完善。

编 者

2000. 10. 20

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 绪论 .....                  | 1  |
| 第一章 质点的运动与牛顿定律 .....      | 10 |
| 1.1 运动的描述 .....           | 10 |
| 一、参照系和坐标系 .....           | 10 |
| 二、运动的矢量描述 .....           | 10 |
| 三、直角坐标系 运动的叠加原理 .....     | 11 |
| 四、自然坐标系 切向加速度和法向加速度 ..... | 13 |
| 1.2 相对运动 .....            | 16 |
| 一、相对运动 .....              | 16 |
| 二、力学的相对性原理 伽利略变换 .....    | 17 |
| 1.3 牛顿运动三定律 .....         | 19 |
| 一、牛顿运动定律的表述 .....         | 19 |
| 二、牛顿运动定律的应用 .....         | 20 |
| 三、牛顿方程的对称性 .....          | 21 |
| 1.4 力学中常见的力 .....         | 23 |
| 一、重力 .....                | 23 |
| 二、弹性力 .....               | 24 |
| 三、摩擦力 .....               | 25 |
| 1.5 非惯性系 .....            | 32 |
| 一、惯性力 .....               | 32 |
| 二、惯性离心力 .....             | 33 |
| 三、科里奥利力 .....             | 35 |
| 习题 .....                  | 36 |
| 第二章 守恒定律 .....            | 39 |
| 2.1 动量守恒定律 .....          | 39 |
| 一、冲量和动量定理 .....           | 39 |
| 二、质心运动定理 .....            | 41 |
| 三、动量守恒定律 .....            | 44 |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 2.2 机械能守恒定律           | 46        |
| 一、功和功率                | 46        |
| 二、势能                  | 49        |
| 三、动能定理                | 50        |
| 四、机械能守恒定律             | 54        |
| 2.3 角动量守恒定律           | 57        |
| 一、角动量和角动量定理           | 57        |
| 二、角动量守恒定律             | 60        |
| 2.4 刚体定轴转动的角动量和动能     | 62        |
| 一、刚体定轴转动的角动量和转动惯量     | 62        |
| 二、刚体定轴转动的角动量定理和转动定理   | 65        |
| 三、刚体定轴转动的动能定理         | 65        |
| 四、陀螺的旋进和陀螺仪           | 66        |
| 2.5 对称性与守恒定律          | 72        |
| 一、对称性                 | 72        |
| 二、内特尔定理               | 73        |
| 三、时空对称性与能量、动量和角动量守恒定律 | 73        |
| 习题                    | 75        |
| <b>第三章 振动和波</b>       | <b>79</b> |
| 3.1 线性振动              | 79        |
| 一、简谐振动                | 79        |
| 二、简谐振动中的能量守恒          | 87        |
| 三、阻尼振动 受迫振动 共振        | 88        |
| 3.2 振动的合成与分解          | 91        |
| 一、一维同频振动的合成           | 92        |
| 二、二维同频振动的合成           | 93        |
| 三、不同频率的振动的合成          | 94        |
| 四、振动的分解               | 95        |
| 3.3 非线性振动             | 97        |
| 一、非线性振动               | 97        |
| 二、混沌                  | 100       |
| 3.4 波                 | 105       |
| 一、机械波产生的条件            | 105       |
| 二、波动的基本概念             | 106       |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 三、平面简谐波 波动方程 .....        | 107 |
| 四、波的能量 .....              | 111 |
| 3.5 波的干涉 驻波 .....         | 114 |
| 一、波的叠加原理 .....            | 114 |
| 二、波的群速 .....              | 114 |
| 三、波的干涉 .....              | 115 |
| 四、驻波 .....                | 117 |
| 五、半波损失 .....              | 119 |
| 3.6 多普勒效应与击波 .....        | 119 |
| 一、机械波的多普勒效应 .....         | 120 |
| 二、击波 .....                | 121 |
| 3.7 声波 .....              | 123 |
| 一、声波 .....                | 123 |
| 二、超声波 .....               | 124 |
| 三、次声波 .....               | 125 |
| 习题 .....                  | 126 |
| <b>第四章 相对论基础</b> .....    | 130 |
| 4.1 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换 ..... | 130 |
| 一、伽利略变换对光速的失败 .....       | 130 |
| 二、爱因斯坦的两个基本假设 .....       | 132 |
| 三、洛伦兹坐标变换式和相对论速度变换 .....  | 132 |
| 4.2 狭义相对论的时空观 .....       | 137 |
| 一、“同时”的相对性 .....          | 137 |
| 二、时间膨胀 .....              | 138 |
| 三、长度收缩 .....              | 139 |
| 4.3 狭义相对论动力学 .....        | 142 |
| 一、相对论力学的基本方程 .....        | 142 |
| 二、质量和能量的关系 .....          | 144 |
| 三、动量和能量的关系 .....          | 146 |
| 4.4 广义相对论简介 .....         | 148 |
| 一、广义相对论的基本原理 .....        | 148 |
| 二、引力场的时空弯曲 .....          | 150 |
| 三、广义相对论的可观测效应 .....       | 152 |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| 习题                   | 154        |
| <b>第五章 热现象与分子动理论</b> | <b>156</b> |
| 5.1 热现象的分子论          | 156        |
| 一、物质结构的原子-分子论        | 156        |
| 二、分子力和分子运动           | 157        |
| 三、物质三态—分子的热运动—分子力    | 158        |
| 5.2 平衡态 温度 理想气体状态方程  | 159        |
| 一、热力学系统的平衡态          | 159        |
| 二、热平衡定律 温度           | 160        |
| 三、温标                 | 160        |
| 四、理想气体的状态方程          | 161        |
| 5.3 理想气体的压强和分子能量     | 162        |
| 一、理想气体的微观模型          | 162        |
| 二、理想气体的压强公式          | 163        |
| 三、理想气体分子能量           | 164        |
| 5.4 分子的平均碰撞次数和平均自由程  | 166        |
| 5.5 能量均分定理           | 168        |
| 一、自由度                | 168        |
| 二、能量均分定理             | 169        |
| 三、理想气体的内能            | 170        |
| 5.6 麦克斯韦分布律与玻耳兹曼分布律  | 171        |
| 一、麦克斯韦速率分布律          | 171        |
| 二、分子速率的三个统计值         | 172        |
| 三、麦克斯韦速度分布律          | 174        |
| 四、玻耳兹曼分布律            | 176        |
| 五、在重力场中微粒按高度的分布      | 177        |
| 5.7 气体内的输运过程         | 179        |
| 一、粘滞现象(内摩擦现象)        | 179        |
| 二、热传导现象              | 182        |
| 三、扩散现象               | 185        |
| 四、低压气体中的输运过程         | 187        |
| 5.8 真实气体的状态方程和物态转化   | 188        |
| 一、真实气体的状态方程          | 188        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 二、各向同性固体和液体的物态方程 .....     | 189        |
| 三、物质聚集态的转化与共存 .....        | 189        |
| 习题 .....                   | 193        |
| <b>第六章 热力学基础 .....</b>     | <b>196</b> |
| 6.1 热力学过程 功 热量 .....       | 196        |
| 一、热力学过程 .....              | 196        |
| 二、功 .....                  | 197        |
| 三、热量与摩尔热容 .....            | 198        |
| 6.2 热力学第一定律 .....          | 199        |
| 6.3 热力学第一定律对于理想气体的应用 ..... | 200        |
| 一、等容过程 .....               | 200        |
| 二、等压过程 焓 .....             | 201        |
| 三、等温过程 .....               | 203        |
| 四、绝热过程 .....               | 204        |
| 五、多方过程 .....               | 207        |
| 6.4 循环过程和卡诺循环 .....        | 209        |
| 一、循环过程 .....               | 209        |
| 二、卡诺循环 .....               | 210        |
| 6.5 热力学第二定律 .....          | 214        |
| 一、热力学第二定律的两种表述 .....       | 214        |
| 二、两种表述的等价性 .....           | 215        |
| 6.6 可逆过程与不可逆过程 卡诺定理 .....  | 216        |
| 一、可逆过程与不可逆过程 .....         | 216        |
| 二、卡诺定理 .....               | 217        |
| 三、熵概念的建立 .....             | 218        |
| 四、熵增加原理 .....              | 220        |
| 五、熵与热力学几率 .....            | 222        |
| 六、热力学第二定律的适用范围 .....       | 224        |
| 七、熵概念的推广与信息熵 .....         | 225        |
| 习题 .....                   | 226        |
| 习题参考答案 .....               | 229        |
| 附录 1 基本物理常数 .....          | 235        |
| 附录 2 中华人民共和国法定计量单位 .....   | 236        |

## 绪 论

### 一、物理学的任务

我们生活在一个不停地运动着的物质世界之中,对物质及其基本运动规律和物质间相互作用及其转化规律的研究便形成了物理学。

从一个侧面来讲,物理学又是关于自然的哲学。因为伴随着人类对自然的认识过程,便形成了关于物质世界的种种观念,加上哲学家的推理和思辨,就形成了关于自然的一种哲理。这种关于自然界的哲学理念在人类哲学中处于核心的地位。正因为如此,物理学作为一个学科在其形成的初期就曾经是哲学的一部分,1687年,牛顿出版的那部阐述力学三定律的不朽名著就叫做《自然哲学的数学原理》。

随着物理学研究成果的膨胀,物理学不仅同哲学分离,而且自身又形成了若干个分支学科。现在,即便是专门研究物理学的人也往往局限于其中某一个或某一些分支而无力顾及整个物理学。但是,物理学对哲学及对人的思维理念的深刻影响却始终存在着。例如,1905年以来的哲学家因为得益于相对论,他们的时空观念肯定不同于牛顿时代的人。现代人由于植根于物理学对自然界的深入了解,看待世界和处置问题会比古人更多一些理性思维。同时,物理学又是一切自然科学的基础,甚至是一些新兴学科的母体,它与化学、生物学、地学、材料科学等学科交叉而形成了许多极具活力的新学科。

人类对自然的认识,常常受到头脑中固有观念的束缚,其中包括宗教观念的束缚。1543年哥白尼提出的日心说就与宗教的地心说发生了猛烈的撞击;1632年伽利略因为出版了论证哥白尼日心说的著作而导致日后被宗教裁判所审判就说明了这一点。今天的人们和伽利略相比是处在一个推崇实验观测的与之不同的另一个世纪,但也常常受到头脑中已经存在的先验的经典观念及社会生产力发展水平的制约,往往会影响到对自然的认识。量子力学的创始人之一海森堡曾经写道:“自然科学不是自然界本身,而是人和自然界关系的一部分,因而就依赖于人”,“物理学是科学的一部分,物理学的目的在于描述并理解自然界”。人们对自然的理解可能存在片面性,这是正常现象,但却要谨忌唯心的、先验的成规,尽可能去逼近真实。回顾自伽利略开始至今三百多年来物理学的发展,会理出一个清晰可见的、逼近真实的认识论线条,同时,也可以看出物理学各主要分支学科之间的联系。

## 二、物理学发展概要

### 1. 牛顿力学

17 世纪后期, 牛顿集伽利略、惠更斯、开普勒等人研究之大成, 建立了我们今天称之为牛顿力学的物理学体系, 该体系以 1687 年发表的牛顿三定律为其核心内容, 力的概念在理论中处于中心地位。1743 年法国的达朗贝尔出版了《动力学理论》, 1788 年拉格朗日出版了《分析力学》, 形成了现今理论力学的框架体系。理论力学使牛顿力学体系更加解析化, 成为一门严密完整的数理科学。拉普拉斯、傅立叶、哈密顿等人都对分析力学做出过卓越的贡献。拉普拉斯是天体力学的创始人, 他认为天体运动的初始条件完全而且永远确定了它的轨道, 他是确定论物理学的代表人物。1846 年 9 月 23 日夜, 德国天文学家伽勒根据法国学者维叶的理论计算发现了海王星, 使牛顿力学及拉普拉斯确定论达到了令人叹服的程度。然而后面会看到, 20 世纪出现的量子论、相对论、混沌学, 重新界定了牛顿力学的适用范围: ①它只适用于宏观物体; ②它只适用于低速运动, 因为牛顿力学持有绝对时空观念; ③牛顿力学具有内在的随机性。当然, 我们知道任何一门学科都有它的近似性和局限性, 牛顿力学也是一样, 但是在它自己适用的范围内又是相当准确的, 因而具有十分重要的实践意义。

### 2. 波动光学

到 19 世纪初期, 1801 年英国的托马斯·杨提出了光波的干涉概念; 1818 年菲涅耳把杨氏干涉原理与惠更斯原理结合起来, 建立了能正确描述光的干涉、衍射、反射和折射的波动理论。今天看来, 尽管当时的物理学家对光的电磁本性和量子本性一无所知, 然而由于他们抓住了光在传播过程中所表现出来的波动特性, 所以, 他们总结出来的规律至今仍旧具有重要的实用价值。

### 3. 电磁学

在 19 世纪中期, 由于奥斯特、安培和法拉第等人的工作创立了电磁学。1864 年麦克斯韦提出了电磁场基本方程组, 并于当年 12 月在英国皇家学会上宣读了他所推导的电磁波波动方程; 推算出电磁波的传播速度和光速相同, 进而指出光属于电磁波。此后逐步建立了以他的方程组为骨架的电动力学。至此, 由于光属于电磁波, 而电磁波即为电磁辐射, 所以, 前面提到的光的波动理论实质上就成为电磁辐射的波动理论的一部分, 历史上关于光的传播特性, 即干涉、衍射、反射、折射、散射和偏振的研究从根本上来讲是从可见光出发揭示了电磁波的共性, 只是因为波长不同会使不同频谱区域的现象之间存在一些具体的差异, 某些公式由于作了与波长有关的近似考虑, 因此, 并不是对于所有的波长都适用。

### 4. 热力学与经典统计物理学

19 世纪末期,由于克劳修斯、开尔文、玻耳兹曼、麦克斯韦和吉布斯等人的研究工作,建立了热力学理论、分子动理论及经典统计物理学。由于对单个分子运动的微观过程的处理是以牛顿力学为基础的,因此这些理论必定带有牛顿力学的局限性。但是对于由大量分子构成的体系而言,无法用确定论的思想跟踪每一个分子的运动,因而采用了统计平均方法来决定体系的宏观性质。统计物理学的出现使得人们逐渐认识到概率论和确定论应当处于同等地位,二者都是描述自然界的一种方式。现在,人们还在探索它们之间的联系。

### 5. 量子物理学与量子力学

1900 年普朗克能量量子化假设是量子物理学的开篇之作,此后历经四分之一世纪于 1925 年至 1926 年间建立了量子物理学的基本数学理论,即量子力学。这 25 年是物理学发展史上最辉煌、最有创造性的时期,普朗克、爱因斯坦、玻尔、海森堡、玻恩、德布罗意、薛定谔、狄拉克等人是这个时期最具代表性的物理学家。量子物理学是描述微观粒子运动的科学,但不能因此就说量子物理与宏观世界没有关系,只是因为对于宏观体系普朗克常数可以忽略不计,所研究的问题可以按照宏观物理学去处理。因此,可以说普朗克常数是联系宏观世界与微观世界的基本物理常数。后面,我们将在介观物理中指出,在介观尺度下微观粒子仍将表现出明显的量子效应。20 世纪 30 年代以后发现的超导体磁通量子化效应和约瑟夫森效应以及液氮的低温超流动性,更是宏观尺度下所表现出来的量子效应。根据量子物理学的新观念,光不仅具有波动性,而且还有粒子性,一束光就是一束光子流,光子的行踪服从统计规律。在玻恩提出的几率波概念下,光的粒子性与波动性在光子这个客体上获得了统一,光波被看做是光子运动的几率波。而且,如果把波动光学中一切关于干涉、衍射的讨论看成是几率波的干涉与衍射,让光的强度正比于光子数,那么,先前讲过的波动光学理论的结果仍然可以继续使用。量子物理学使人们认识到,描述电子、原子、分子这类微观粒子不能用牛顿力学而必须使用量子力学;被束缚在微小空间范围内的粒子的能量是量子化的,而不是连续的;一切实物粒子都具有波粒二象性,粒子的运动服从统计规律而不再遵从确定论的因果关系;原子对电磁辐射的发射与吸收只能是一份一份的,要正确地描述原子与电磁辐射的相互作用应当使用量子电动力学。将量子力学原理应用于原子、分子、固体以后,诞生了原子结构、分子结构和固体结构的量子理论,进而极大地推动了半导体、超导体的研究。半导体物理学的直接成果是晶体管的发明和集成电路的出现,这又进一步引发了计算机的革命,促进了信息业及其他产业的飞速发展。与此同时,20 世纪 60 年代发明了激光器,并将激光应用于众多领域,引起了一系列革命性的变化。例如在军事上,激光成为宇宙中飞行速度最快的“弹头”。

### 6. 狭义相对论

1905 年爱因斯坦提出了狭义相对论,他指出自然规律对于所有的惯性系都有相同的表述。换句话说,相对作匀速直线运动的参照空间(惯性系)在物理上是等效的。他把这个陈述称为狭义相对性原理。狭义相对论对于人类数千年间形成的、被牛顿清楚地加以表述的绝对时空观念进行了彻底的修改。狭义相对论表明当物体的运动速度接近于光速的时候,时间与空间互相联系,彼此并不独立,速度改变着对时间和空间尺度的观测结果。这是狭义相对论的时空观。狭义相对论的出现使得牛顿力学的适用范围进一步缩小了,它只适用于宏观低速物体的运动。用狭义相对论去审视麦克斯韦的电磁理论会发现,它不需要作定量上的修正,因为它已经达到了  $v^2/c^2$  的精确程度。同时还发现磁和电并不是互相独立的东西,磁性实际上是一种相对论效应。此外,相对论与量子力学交叉,诞生了相对论量子力学,前面提到的量子力学实际上是非相对论性质的理论。狭义相对论改变了古典的哲学观念,使之承认了时空特性与物体的运动速度有关,只有低速问题才可以近似地采用绝对时空观念来看待。

光速  $c$  成为高速领域的基本物理常数,在具体问题中是否可以近似地采用绝对时空观念的判据就是看物体的运动速度与  $c$  之比。

### 7. 广义相对论

1915 年爱因斯坦以等效原理为基础提出了广义相对论,而等效原理是根据惯性质量与引力质量相等提出来的。等效原理指出在局部小范围内的引力场等效于被匀加速提升的电梯这样的非惯性参照系,即引力与惯性力等效,因而在地球重力场中作自由落体运动的实验室中引力刚好与惯性力相消,这样的实验室就是一个可以实际获得的局部惯性系。有了等效原理,就把非惯性系和惯性系摆到了同等的地位上,非惯性系等效于存在引力场的参照系,因此,在所有的参照系中自然定律的表述都相同,这就是广义相对性原理。由于惯性力与引力等效,所以,广义相对论实质上就成了关于引力场的理论。把等效原理与狭义相对论相结合,可以得到这样的结论:时钟与标尺会受到引力场的影响,从而使时空性质不仅依赖于参照系的选取,还取决于物质及物质的运动情况,只有当引力场非常微弱时,才能近似地忽略物质对时空性质的影响。这就是广义相对论的时空观。

在 20 世纪的物理学中以相对论和量子力学的基本观念为标准,把物理学划分为经典物理学和近代物理学。经典物理学是以牛顿的绝对时空观念及拉普拉斯确定论因果关系为基础,并且一般而言能够为所描述的物体提供一个直观的运动图像。前面讲的 1~4 都属于经典物理学。经典统计物理学尽管不是确定论的,但它的时空观是绝对的。近代物理学则是要么采用相对论的时空观,要么以量子力学的统计性因果关系为基础,要么兼而有之。应当指出,相对论除了时空观念与经典物理学不同之外,它对宏观物体的描述所给出的图像是经典的,给出的规律是拉普拉

斯确定论型的。当用相对论描述微观粒子的时候就产生了相对论量子力学,其时空观是相对论的,给出的规律是统计性的。

#### 8. 原子核物理与粒子物理

这是研究原子核与基本粒子的性质、运动、相互作用、相互转化及其内部结构的学科,是利用量子力学研究物质微观结构的两个尺度最小的层次。海森堡和伊凡宁柯独立地提出了原子核的质子-中子模型,即原子核是由质子和中子组成的。质子和中子统称为核子,它们之间的相互作用是强相互作用,这种相互作用力称为核力,它是一种短程力,这种短程相互作用是通过交换媒介粒子来实现的。原子核物理的研究导致了核武器的出现及核能的利用,也培育了粒子物理这个分支学科,因为对基本粒子的研究也是从原子核开始的。粒子物理于 20 世纪 50 年代逐渐从原子核物理中分离出来。1897 年 J. J. 汤姆孙发现了电子,电子也就成为第一个被发现的基本粒子。1930 年狄拉克在他的相对论量子力学中首次预言了反粒子的存在,他所预言的电子的反粒子(即正电子)于 1932 年被安德孙在用云室观察宇宙射线时发现了,并由此揭示了正反粒子的对称性,这种对称性也成了日后寻找新的基本粒子、进行粒子物理研究的基本观念和指导原则。1955 年和 1956 年张伯伦等人借助于高能加速器又发现了反质子和反中子。人们已经发现,任何粒子与它的反粒子相遇均会发生湮灭反应,正电子与电子相遇会湮灭为两个  $\gamma$  光子。现在,实验上已经发现的“基本”粒子有四百多个,当然并不都是基本的、没有内部结构的点粒子。1995 年,美国费米国家实验室发现了顶夸克,至此,六种夸克全部找到了,因此也就可以对几百种强子的构成加以解释了。按照现在的认识水平,可以把基本粒子分为夸克、轻子和规范玻色子三个家族。电子是一种轻子,质子和中子是由夸克组成的。由电子、质子和中子可以构成 111 种原子及 1300 多种同位素。现在,粒子物理的研究还在深入之中,它的突破将揭示出微观粒子的内部结构和场的本质,揭示出粒子与场的运动、相互作用和转化。根据迄今为止的研究成果,可以认为自然界存在着四种相互作用,即强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用,传递这四种相互作用的媒介粒子分别是胶子(g)、光子( $\gamma$ )、中间玻色子( $W^\pm, Z^0$ )和引力子(G),引力子在实验上还没有观察到。传递这四种相互作用的媒介粒子统称为规范玻色子。物理学家们正在努力工作,试图把这四种相互作用部分地或全部地统一起来,把它们看做是同一种自然现象的不同表现。现在已经建立了弱相互作用的微观理论,并与电磁相互作用一起纳入了一个统一的理论框架,即电弱统一理论,在这个理论中把电磁相互作用和弱相互作用看做是电弱相互作用的两种表现形式。现在已经发现了强相互作用粒子的内部结构规律,并建立了强相互作用的微观理论,即量子色动力学。1974 年提出的大统一理论把电弱相互作用和强相互作用纳入了统一的理论框架之内,它们的正确性还要等待实验的检验。人们正在期待

着粒子物理的突破,届时将会引发对自然界在认识上的进一步修正。

### 9. 介观物理

它是 20 世纪 80 年代以来,尤其是进入 90 年代以后发展起来的介于宏观和微观之间的介观尺度上的物理学。我们知道,在量子力学中用波函数描述微观粒子及多粒子体系的状态,波函数有几率幅和相位,遵从叠加原理,因此具有干涉、衍射这些与相位有关的波动性质。通常的宏观物体总是由大量的微观粒子所组成的,由于宏观物体的尺度远远大于微观粒子(如金属中的电子)的德布罗意波长,因此,在宏观物体范围内运动的粒子的输运性质未能明显地表现出波函数的量子相干性,这就促使人们往往按照经典或半经典规律来处理这些输运问题。可是由于材料科学技术及半导体微加工技术的飞速发展,微米尺度以下的器件已经很容易制作出来了。微米以下(如纳米)不是一个微观尺度,而是一个介于宏观和微观之间的尺度,在这个尺度以下已经发现载流子及光辐射遵从一些特殊的量子规律,原来的经典、半经典规律受到了破坏。由于人们对这个尺度上载流子运动行为的研究,产生了介观物理这一新的分支学科。介观物理具有重要的基础研究的意义,也为进一步发展固体电子学、制造量子器件提供了新的物理基础,它将对超高速计算机的研制和信息、通讯等领域的科技水平产生十分深远的革命性影响,当然也必将影响 21 世纪的军事。

### 10. 现代宇宙论

我们知道粒子物理研究的对象是尺度小于  $10^{-15}(\text{m})$ 、质量小于  $10^{-26}(\text{kg})$  的粒子,而宇宙学研究的对象则是尺度大于  $10^{17}(\text{m})$ 、质量大于  $10^{26}(\text{kg})$  的星系,前者是微观物理,后者是宇观物理,现代宇宙论则是把这两者结合起来。宇宙起源是现代宇宙论中最核心的问题之一,概括起来可以作下面的描述:根据 1946 年以来伽莫夫、阿尔佛及赫曼提出并发展起来的大爆炸学说,大约在 150 亿年前,“宇宙”凭借真空能量的急剧暴涨而释放出无比巨大的热量,形成了超高温、超高密度的原始火球。这个宇宙之“胎”发生了大爆炸,从爆炸开始算起,在  $t \approx 10^{-43} \text{ s}$  时,  $kT \approx 10^{19} \text{ GeV}$  ( $T \approx 10^{32} \text{ K}$ ),大统一理论对应的时代开始了,夸克与轻子(电子,  $\mu$  介子及其反粒子等属于轻子)不能区分。 $t \approx 10^{-35} \text{ s}$  时,  $kT \approx 10^{14} \text{ GeV}$  ( $T \approx 10^{18} \text{ K}$ ),大统一时代结束,强相互作用与电弱相互作用分离,夸克与轻子相互独立。 $t \approx 10^{-10} \text{ s}$  时,  $kT \approx 300 \text{ GeV}$  ( $T \approx 10^{15} \text{ K}$ ),粒子的碰撞不足以产生自由存在的  $W^\pm$  和  $Z^0$ ,中间玻色子消失,电弱统一结束,弱相互作用与电磁相互作用分离。 $t \approx 10^{-5} \text{ s}$  时,  $kT$  降到  $300 \approx 100 \text{ MeV}$  ( $T \approx 10^{12} \text{ K}$ ),夸克被禁闭(不能把单个夸克从强子中分离出来谓之禁闭),凝聚成重子(自旋为半整数的直接参与强相互作用的粒子,如质子和中子叫重子)和介子,开始了强子(直接参与强相互作用的粒子,如质子和中子等)-轻子时代。接下来当  $kT$  接近于  $0.86 \text{ MeV}$ ,即宇宙温度接近于  $10^{10} \text{ K}$  时,宇宙中存在着  $\gamma$

光子,正、负电子,正、反中微子及质子与中子,此时聚合反应尚不能发生,原因是这个阶段许多光子的能量大于  $2.2 \text{ MeV}$ ,而氘核的结合能恰恰为  $2.2 \text{ MeV}$ ,即使发生了质子和中子的聚合反应,生成的氘核也会被光子离解,也就是说氘核会因为吸收了光子而重新变为质子和中子。因此,这个阶段宇宙中的光子还无法“生存”下来。大约  $t \approx 1 \text{ s}$  时,  $T$  大约为  $10^{10} \sim 10^9 \text{ K}$ ,中微子能量下降到不足以和强子-轻子体系进行作用,退出热平衡。这时质子也不再能通过俘获电子而变成中子,便开始了形成原子核的时代。在这个阶段有一部分光子一直生存下来,随着宇宙膨胀,温度降低,光子波长增加,成为今天我们观测到的微波背景辐射。 $t \approx 3$  分钟,核形成阶段结束。 $t$  从 3 分钟到大约 10 万年,是原子核-电子时代,H 核、He 核、电子与电磁辐射处于热平衡。在此期间,即  $t \approx 10^{12} \text{ s}$  (3 万年左右),  $kT \approx 13.6 \text{ eV}$ ,形成了 H 原子,开始了原子时代,光子能量不足以和原子体系发生作用,有越来越多的光子从粒子间穿出来,使宇宙变得透明。此后实物物质密度超过了电磁辐射的密度,宇宙以实物物质为主、辐射为辅,万有引力开始成为宇宙演化的支配因素。密度涨落使实物相对集中,导致星体和星系的形成,并逐渐演化成我们今天的宇宙。星体与星系在形成与演化中彼此远离而去,这就是我们今天看到的宇宙膨胀(由光的红移推算出来的)。黑洞是宇宙中物质质量密度极其巨大的区域,它或许是在宇宙形成早期,由于密度涨落过于集中而形成的;或许是某些恒星、星系、星团演化到晚期在万有引力作用下塌缩而形成的。上述描绘虽然有些粗糙,但也是依据对宇宙的大量观测,以及现有的粒子物理知识,并求解了爱因斯坦引力场方程而得到的结果,是立足于唯物主义和近代物理学来阐述宇宙的形成过程的。尽管如此,应当承认还有许多严重的问题需要进一步研究。从原始火球往前追溯,科学家们还是面临着物质起源这个根本问题,各种理论之间存在着很大的争议,还有待于深入研究。

### 11. 混沌学

有人批评传统的大学教科书在讲牛顿力学时挂一漏万,没有描述出牛顿力学的真面目。他指的是传统教科书只告诉读者根据牛顿定律列方程,求解之后便可以完全确定物体的运动轨道。可是现代混沌学研究表明,这个物体的运动并不完全确定,仍然可能存在着内在的随机性。混沌学的研究正在深入,它必将革新经典的科学观和方法论,必将突破经典理论所构建的确定论描述框架。不过混沌学现在在许多方面还没有达到十分明朗化与成熟阶段,因此,下面仅仅作一些简单的介绍。

现代混沌学研究从 20 世纪 70 年代才开始变得火热起来,1975 年以后,混沌学(chaos)作为一个科学名词逐渐频繁地出现在科技文献中,1983 年物理学家 M. Berry 首次正式提出了混沌学(chaology)这个名词。如今,对混沌现象的研究已经成为非线性科学领域中最重要成就之一。混沌现象是存在于自然界和人类社会的一种普遍性运动形态,并不完全属于物理现象,但人们主要是从物理现象出发,