



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2009年度普通高等教育精品教材

C1版

张三慧 编著

大学物理学

上册

(第三版)



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
2009年度普通高等教育精品教材

张三慧 编著

C1 版

大学物理学

上册

(第 3 版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是张三慧编著的《大学物理学》(第三版)上册,讲述物理学基础理论的力学和热学部分。其中力学部分包括质点力学、刚体的转动、振动和波,以及狭义相对论;热学部分包括温度和气体动理论,热力学第一和第二定律。书中特别着重于守恒定律的讲解,也特别注意从微观上阐明物理现象及规律的本质。内容的选择上除了包括经典基本内容外,还注意适时插入现代物理概念与物理思想。此外,安排了许多现代的联系各方面的实际的例题和习题。

本书可作为高等院校的物理教材,也可以作为中学物理教师教学或其他读者自学的参考书。

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

未经清华大学出版社授权,请不要专门为本书编写学习辅导材料,如思考题和习题解答等。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学: C1 版. 上册/张三慧编著. --3 版. --北京: 清华大学出版社, 2010. 8
ISBN 978-7-302-23674-0

I. ①大… II. ①张… 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(2010)第 162983 号

责任编辑: 朱红莲

责任印制: 王秀菊

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: 北京密云胶印厂

装 订 者: 三河市漂源装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 21.5

字 数: 493 千字

版 次: 2010 年 8 月第 3 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 29.00 元

产品编号: 039721-01

前言

FOREWORD

这部《大学物理学》(第三版)含力学篇、热学篇、电磁学篇、光学篇和量子物理篇,共5篇。

本书内容完全涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”。书中各篇对物理学的基本概念与规律进行了正确明晰的讲解。讲解基本上都是以最基本的规律和概念为基础,推演出相应的概念与规律。笔者认为,在教学上应用这种演绎逻辑更便于学生从整体上理解和掌握物理课程的内容。

力学篇是以牛顿定律为基础展开的。除了直接应用牛顿定律对问题进行动力学分析外,还引入了动量、角动量、能量等概念,并着重讲解相应的守恒定律及其应用。除惯性系外,还介绍了利用非惯性系解题的基本思路,刚体的转动、振动、波动这三章内容都是上述基本概念和定律对于特殊系统的应用。狭义相对论的讲解以两条基本假设为基础,从同时性的相对性这一“关键的和革命的”(杨振宁语)概念出发,逐渐展开得出各个重要结论。这种讲解可以比较自然地使学生从物理上而不只是从数学上弄懂狭义相对论的基本结论。

热学篇的讲述是以微观的分子运动的无规则性这一基本概念为基础的。除了阐明经典力学对分子运动的应用外,特别引入并加强了统计概念和统计规律,包括麦克斯韦速率分布律的讲解。对热力学第一定律也阐述了其微观意义。对热力学第二定律是从宏观热力学过程的方向性讲起,说明方向性的微观根源,并利用热力学概率定义了玻耳兹曼熵并说明了熵增加原理,然后再进一步导出克劳修斯熵及其计算方法。这种讲法最能揭露熵概念的微观本质,也便于理解熵概念的推广应用。

电磁学篇按照传统讲法,讲述电磁学的基本理论,包括静止和运动电荷的电场,运动电荷和电流的磁场,介质中的电场和磁场,电磁感应,电磁波等。

光学篇以电磁波和振动的叠加的概念为基础,讲述了光电干涉和衍射的规律。第24章光的偏振讲述了电磁波的横波特征。然后,根据光电波动性在特定条件下的近似特征——直线传播,讲述了几何光学的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。

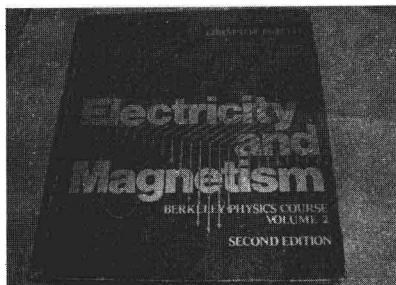
以上力学、热学、电磁学、光学各篇的内容基本上都是经典理论,但也在适当地方穿插了量子理论的概念和结论以便相互比较。

量子物理篇是从波粒二象性出发以定态薛定谔方程为基础讲解的。介绍了原子、分子和固体中电子的运动规律以及核物理的知识。

本书各章均配有思考题和习题,以帮助学生理解和掌握已学的物理概念和定律或扩充一些新的知识。这些题目有易有难,绝大多数是实际现象的分析和计算。题目的数量适当,不以多取胜。也希望学生做题时不要贪多,而要求精,要真正把做过的每一道题从概念原理上搞清楚,并且用尽可能简洁明确的语言、公式、图像表示出来,需知,对一个科技工作者来说,正确地书面表达自己的思维过程与成果也是一项重要的基本功。

本书在保留经典物理精髓的基础上,特别注意加强了现代物理前沿知识和思想的介绍。本书内容取材在注重科学性和系统性的同时,还注重密切联系实际,选用了大量现代科技与我国古代文明的资料,力求达到经典与现代,理论与实际的完美结合。

物理教学除了“授业”外,还有“育人”的任务。为此本书介绍了十几位科学大师的事迹,简要说明了他们的思想境界、治学态度、开创精神和学术成就,以之作为学生为人处事的借鉴。在此我还要介绍一下我和帕塞尔教授的一段交往。帕塞尔教授是哈佛大学教授,1952年因对核磁共振研究的成果荣获诺贝尔物理学奖。我于1977年看到他编写的《电磁学》,深深地为他的新讲法所折服。用他的书讲述两遍后,于1987年冒然写信向他请教,没想到很快就收到他的回信(见附图)和赠送给我的教材(第二版)及习题解答。他这种热心帮助一个素不相识的外国教授的行为使我非常感动。



帕塞尔《电磁学》(第二版)封面



本书作者与帕塞尔教授合影(1993年)

HARVARD UNIVERSITY

DEPARTMENT OF PHYSICS

LYMAN LABORATORY OF PHYSICS
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS 02138

November 30, 1987

Professor Zhang Sanhui
Department of Physics
Tsinghua University
Beijing 100084
The People's Republic of China

Dear Professor Zhang:

Your letter of November 8 pleases me more than I can say, not only for your very kind remarks about my book, but for the welcome news that a growing number of physics teachers in China are finding the approach to magnetism through relativity enlightening and useful. That is surely to be credited to your own teaching, and also, I would surmise, to the high quality of your students. It is gratifying to learn that my book has helped to promote this development.

I don't know whether you have seen the second edition of my book, published about three years ago. A copy is being mailed to you, together with a copy of the Problem Solutions Manual. I shall be eager to hear your opinion of the changes and additions, the motivation for which is explained in the new Preface. May I suggest that you inspect, among other passages you will be curious about, pages 170-171. The footnote about Leigh Page repairs a regrettable omission in my first edition. When I wrote the book in 1963 I was unaware of Page's remarkable paper. I did not think my approach was original — far from it — but I did not take time to trace its history through earlier authors. As you now share my preference for this strategy I hope you will join me in mentioning Page's 1912 paper when suitable opportunities arise.

Your remark about printing errors in your own book evokes my keenly felt sympathy. In the first printing of my second edition we found about 50 errors, some serious! The copy you will receive is from the third printing, which still has a few errors, noted on the Errata list enclosed in the book. There is an International Student Edition in paperback. I'm not sure what printing it duplicates.

The copy of your own book has reached my office just after I began this letter! I hope my shipment will travel as rapidly. It will be some time before I shall be able to study your book with the care it deserves, so I shall not delay sending this letter of grateful acknowledgement.

Sincerely yours,

Edward M. Purcell
Edward M. Purcell

EMP/cad

帕塞尔回信复印件

他在信中写道“本书 170—171 页关于 L. Page 的注解改正了第一版的一个令人遗憾的疏忽。1963 年我写该书时不知道 Page 那篇出色的文章,我并不认为我的讲法是原创的——远不是这样——但当时我没有时间查找早先的作者追溯该讲法的历史。现在既然你也喜欢这种讲法,我希望你和我一道在适当时机宣扬 Page 的 1912 年的文章。”一位物理学大师对自己的成就持如此虚心、谦逊、实事求是的态度使我震撼。另外他对自己书中的疏漏(实际上有些是印刷错误)认真修改,这种严肃认真的态度和科学精神也深深地教育了我。帕塞尔这封信所显示的作为一个科学家的优秀品德,对我以后的为人处事治学等方面都产生了很大影响,始终视之为楷模追随仿效,而且对我教的每一届学生都要展示帕塞尔的这一封信对他们进行教育,收到了很好的效果。

本书的撰写和修订得到了清华大学物理系老师的热情帮助(包括经验与批评),也采纳了其他兄弟院校的教师和同学的建议和意见。此外也从国内外的著名物理教材中吸取了很多新的知识、好的讲法和有价值的素材。这些教材主要有:新概念物理教程(赵凯华等),Feynman Lectures on Physics, Berkeley Physics Course (Purcell E M, Reif F, et al.), The Manchester Physics Series (Mandl F, et al.), Physics (Chianian H C.), Fundamentals of Physics (Resnick R), Physics (Alonso M et al.) 等。

对于所有给予本书帮助的老师和学生以及上述著名教材的作者,本人在此谨致以诚挚的谢意。清华大学出版社诸位编辑对第三版杂乱的原稿进行了认真的审阅和编辑,特在此一并致谢。

张三慧

2008 年 1 月

于清华园

目 录

CONTENTS

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动学	3
1.1 参考系	3
1.2 质点的位矢、位移和速度	7
1.3 加速度	11
1.4 匀加速运动	15
1.5 抛体运动	17
1.6 圆周运动	21
1.7 相对运动	25
提要	27
思考题	28
习题	29
科学家介绍 伽利略	32
第 2 章 运动与力	34
2.1 牛顿运动定律	34
2.2 常见的几种力	38
*2.3 基本的自然力	41
2.4 应用牛顿定律解题	44
*2.5 非惯性系与惯性力	48
提要	52
思考题	52
习题	54
科学家介绍 牛顿	60

第3章 动量与角动量	62
3.1 冲量与动量定理	62
3.2 动量守恒定律	65
*3.3 火箭飞行原理	68
3.4 质点的角动量和角动量定理	70
3.5 角动量守恒定律	72
3.6 质点系的角动量定理	74
提要	76
思考题	76
习题	77
科学家介绍 开普勒	81
第4章 功和能	82
4.1 功	82
4.2 动能定理	85
4.3 势能	89
4.4 引力势能	90
4.5 由势能求保守力	92
4.6 机械能守恒定律	94
4.7 守恒定律的意义	100
4.8 碰撞	101
提要	106
思考题	107
习题	109
第5章 刚体的转动	113
5.1 刚体转动的描述	113
5.2 转动定律	115
5.3 转动惯量的计算	117
5.4 转动定律的应用	120
5.5 角动量守恒	123
5.6 转动中的功和能	126
*5.7 进动	130
提要	132
思考题	133
习题	135

第 6 章 狭义相对论基础	140
6.1 牛顿相对性原理和伽利略变换	140
6.2 爱因斯坦相对性原理和光速不变	143
6.3 同时性的相对性和时间延缓	144
6.4 长度收缩	149
6.5 洛伦兹坐标变换	151
6.6 相对论速度变换	154
6.7 相对论质量	157
6.8 相对论动能	159
6.9 相对论能量	161
6.10 动量和能量的关系	164
提要	167
思考题	168
习题	168
第 7 章 振动	171
7.1 简谐运动的描述	171
7.2 简谐运动的动力学	174
7.3 简谐运动的能量	178
*7.4 阻尼振动	179
*7.5 受迫振动 共振	181
7.6 同一直线上同频率的简谐运动的合成	183
*7.7 同一直线上不同频率的简谐运动的合成	184
提要	186
思考题	187
习题	188
第 8 章 波动	192
8.1 行波	192
8.2 简谐波	193
8.3 物体的弹性形变	198
8.4 弹性介质中的波速	200
8.5 波的能量	202
8.6 惠更斯原理与波的反射和折射	205
8.7 波的叠加 驻波	209
8.8 声波	213

8.9 多普勒效应	215
提要	219
思考题	221
习题	222
科学家介绍 爱因斯坦	227

第 2 篇 热 学

第 9 章 温度和气体动理论	233
9.1 平衡态	233
9.2 温度的概念	234
9.3 理想气体温标	235
9.4 理想气体状态方程	237
9.5 气体分子的无规则运动	240
9.6 理想气体的压强	241
9.7 温度的微观意义	245
9.8 能量均分定理	246
9.9 麦克斯韦速率分布律	249
9.10 麦克斯韦速率分布律的实验验证	255
*9.11 玻耳兹曼分布律	256
提要	258
思考题	259
习题	261
科学家介绍 玻耳兹曼	264
第 10 章 热力学第一定律	67
10.1 功 热量 热力学第一定律	267
10.2 准静态过程	269
10.3 热容	273
10.4 绝热过程	278
10.5 循环过程	281
10.6 卡诺循环	284
10.7 致冷循环	286
提要	288
思考题	289

习题	290
科学家介绍 焦耳	295
第 11 章 热力学第二定律	298
11.1 自然过程的方向	298
11.2 不可逆性的相互依存	300
11.3 热力学第二定律及其微观意义	301
11.4 热力学概率与自然过程的方向	303
11.5 玻耳兹曼熵公式与熵增加原理	306
11.6 可逆过程	309
11.7 克劳修斯熵公式	310
11.8 用克劳修斯熵公式计算熵变	314
提要	317
思考题	318
习题	319
数值表	322
习题答案	324

第

1

篇

力学

力学是一门古老的学问,其渊源在西方可追溯到公元前 4 世纪古希腊学者柏拉图认为圆运动是天体的最完美的运动和亚里士多德关于力产生运动的说教,在中国可以追溯到公元前 5 世纪《墨经》中关于杠杆原理的论述。但力学(以及整个物理学)成为一门科学理论应该说是从 17 世纪伽利略论述惯性运动开始,继而牛顿提出了后来以他的名字命名的三个运动定律。现在以牛顿定律为基础的力学理论叫牛顿力学或经典力学。它曾经被尊为完美普遍的理论而兴盛了约 300 年。在 20 世纪初虽然发现了它的局限性,在高速领域为相对论所取代,在微观领域为量子力学所取代,但在一般的技术领域,包括机械制造、土木建筑,甚至航空航天技术中,经典力学仍保持着充沛的活力而处于基础理论的地位。它的这种实用性是我们要学习经典力学的一个重要原因。

由于经典力学是最早形成的物理理论,后来的许多理论,包括相对论和量子力学的形成都受到它的影响。后者的许多概念和思想都是经典力学概念和思想的发展或改造。经典力学在一定意义上是整个物理学的基础,这是我们要学习经典力学的另一个重要原因。

本篇第 1 章、第 2 章讲述质点力学基础,即牛顿三定律和直接利用它们对力学问题的动力学分析方法。第 4 章、第 5 章引入并着重阐明了动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律及其应用。刚体的转动、振动和波动各章则是阐述前几章力学定律对于特殊系统的应用。狭义相对论的时空观已是当今物理学的基础概念,它和牛顿力学联系紧密,可以归入经典力学的范畴。本篇第 8 章介绍狭义相对论的基本概念和原理。

量子力学是一门全新的理论,不可能归入经典力学,也就不包

括在本篇内。尽管如此,在本篇适当的地方,还是插入了一些量子力学概念以便和经典概念加以比较。

经典力学一向被认为是决定论的。但是,在 20 世纪 60 年代,由于电子计算机的应用,发现了经典力学问题实际上大部分虽是决定论的,但是是不可预测的。为了使同学们了解经典力学的这一新发展,本篇在“今日物理趣闻 B 混沌”中简单介绍了这方面的基本知识。

质点运动学

经典力学是研究物体的机械运动的规律的。为了研究,首先描述。力学中描述物体运动的内容叫做运动学。实际的物体结构复杂,大小各异,为了从最简单的研究开始,引进质点模型,即以具有一定质量的点来代表物体。本章讲解质点运动学。相当一部分概念和公式在中学物理课程中已学习过了,本章将对它们进行更严格、更全面也更系统化的讲解。例如强调了参考系的概念,速度、加速度的定义都用了导数这一数学运算,还普遍加强了矢量概念。又例如圆周运动介绍了切向加速度和法向加速度两个分加速度。最后还介绍了同一物体运动的描述在不同参考系中的变换关系——伽利略变换。

1.1 参考系

现在让我们从一般地描述质点在三维空间中的运动开始。

物体的机械运动是指它的位置随时间的改变。位置总是相对的,这就是说,任何物体的位置总是相对于其他物体或物体系来确定的。这个其他物体或物体系就叫做确定物体位置时用的参考物。例如,确定交通车辆的位置时,我们用固定在地面上的一些物体,如房子或路牌作参考物(图 1.1)。

经验告诉我们,相对于不同的参考物,同一物体的同一运动,会表现为不同的形式。例如,一个自由下落的石块的运动,站在地面上观察,即以地面为参考物,它是直线运动。如果在近旁驰过的车厢内观察,即以行进的车厢为参考物,则石块将作曲线运动。物体运动的形式随参考物的不同而不同,这个事实叫运动的相对性。由于运动的相对性,当我们描述一个物体的运动时,就必须指明是相对于什么参考物来说的。

确定了参考物之后,为了定量地说明一个质点相对于此参考物的空间位置,就在此参考物上建立固定的坐标系。最常用的坐标系是笛卡儿直角坐标系。这个坐标系以参考物上某一固定点为原点 O ,从此原点沿 3 个相互垂直的方向引 3 条固定在参考物上的直线作为坐标轴,通常分别叫做 x, y, z 轴(图 1.2)。在这样的坐标系中,一个质点在任意时刻的空间位置,如 P 点,就可以用 3 个坐标值(x, y, z)来表示。

质点的运动就是它的位置随时间的变化。为了描述质点的运动,需要指出质点到达



图 1.1 汽车行进在“珠峰公路”上(新华社)。在路径已经确定的情况下,汽车的位置可由离一个指定的路牌的路径长度确定

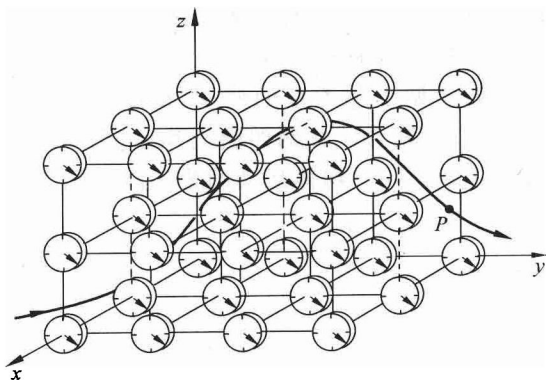


图 1.2 一个坐标系和一套同步的钟构成一个参考系

各个位置 (x, y, z) 的时刻 t 。这时刻 t 是由在坐标系中各处配置的许多同步的钟(如图 1.2, 在任意时刻这些钟的指示都一样)给出的^①。质点在运动中到达各处时, 都有近旁的钟给出它到达该处的时刻 t 。这样, 质点的运动, 亦即它的位置随时间的变化, 就可以完全确定地描述出来了。

一个固定在参考物上的坐标系和相应的一套同步的钟组成一个参考系。参考系通常以所用的参考物命名。例如, 坐标轴固定在地面上(通常一个轴竖直向上)的参考系叫地面参考系(图 1.3 中 $O''x''y''z''$); 坐标原点固定在地心而坐标轴指向空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫地心参考系(图 1.3 中 $O'x'y'z'$); 原点固定在太阳中心而坐标轴指向

① 此处说的“在坐标系中各处配置的许多同步的钟”是一种理论的设计, 实际上当然办不到。实际上是用一个钟随同物体一起运动, 由它指出物体到达各处的时刻。这只运动的钟事前已和静止在参考系中的一只钟对好, 二者同步。这样前者给出的时刻就是本参考系给出的时刻。实际的例子是飞行员的手表就指示他到达空间各处的时刻, 这在地面上控制室的钟给出的时刻是一样的。不过, 这种实际操作在物体运动速度接近光速时将失效, 在这种情况下运动的钟和静止的钟不可能同步, 其原因参见本书 8.3 节。

空间固定方向(以恒星为基准)的参考系叫**太阳参考系**(图 1.3 中 $Oxyz$)。常用的固定在实验室的参考系叫**实验室参考系**。

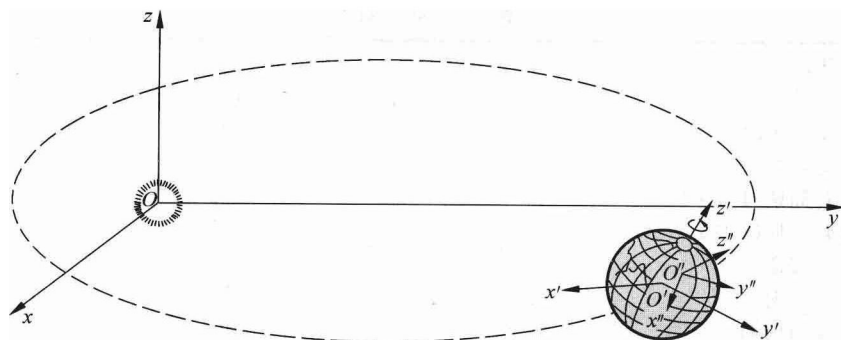


图 1.3 参考系示意图

质点位置的空间坐标值是沿着坐标轴方向从原点开始量起的长度。在国际单位制 SI (其单位也是我国的法定计量单位)中,长度的基本单位是米(符号是 m)。现在国际上采用的米是 1983 年规定的^①: **1 m 是光在真空中在 $(1/299\,792\,458)\text{s}$ 内所经过的距离**。这一规定的基础是激光技术的完善和相对论理论的确立。表 1.1 列出了一些长度的实例。

表 1.1 长度实例

m

目前可观察到的宇宙的半径	约 1×10^{26}
银河系之间的距离	约 2×10^{22}
我们的银河系的直径	7.6×10^{20}
地球到最近的恒星(半人马座比邻星)的距离	4.0×10^{16}
光在一年内走的距离(1 l. y.)	0.95×10^{16}
地球到太阳的距离	1.5×10^{11}
地球的半径	6.4×10^6
珠穆朗玛峰的高度	8.9×10^3
人的身高	约 1.7
无线电广播电磁波波长	约 3×10^2
说话声波波长	约 4×10^{-1}
人的红血球直径	7.5×10^{-6}
可见光波波长	约 6×10^{-7}
原子半径	约 1×10^{-10}
质子半径	1×10^{-15}
电子半径	$< 1 \times 10^{-18}$
夸克半径	1×10^{-20}
“超弦”(理论假设)	1×10^{-35}

质点到达空间某一位置的**时刻**以从某一起始时刻到该时刻所经历的时间标记。时间在 SI 中是以秒(符号是 s)为基本单位计量的。以前曾规定平均太阳日的 $1/86\,400$ 是 1 s。

^① 关于基本单位的规定,请参见:张钟华.基本物理常量与国际单位制基本单位的重新定义.物理通报,2006,2:7~10.

现在 SI 规定: 1 s 是铯的一种同位素 ^{133}Cs 原子发出的一个特征频率的光波周期的 9 192 631 770 倍。表 1.2 列出了一些时间的实例。

表 1.2 时间实例

s

宇宙的年龄	约 4×10^{17}
地球的年龄	1.2×10^{17}
万里长城的年龄	7×10^{10}
人的平均寿命	2.2×10^9
地球公转周期(1 年)	3.2×10^7
地球自转周期(1 日)	8.6×10^4
自由中子寿命	8.9×10^2
人的脉搏周期	约 0.9
说话声波的周期	约 1×10^{-3}
无线电广播电磁波周期	约 1×10^{-6}
π^+ 粒子的寿命	2.6×10^{-8}
可见光波的周期	约 2×10^{-15}
最短的粒子寿命	约 10^{-25}

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,它们的名称都是基本单位加上一个表示倍数或分数的词头构成。SI 词头如表 1.3 所示。

表 1.3 SI 词头

因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文	
10^{24}	yotta	尧[它]	Y
10^{21}	zetta	泽[它]	Z
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	deca	十	da
10^{-1}	deci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^{-15}	femto	飞[母托]	f
10^{-18}	atto	阿[托]	a
10^{-21}	zepto	仄[普托]	z
10^{-24}	yocto	幺[科托]	y