

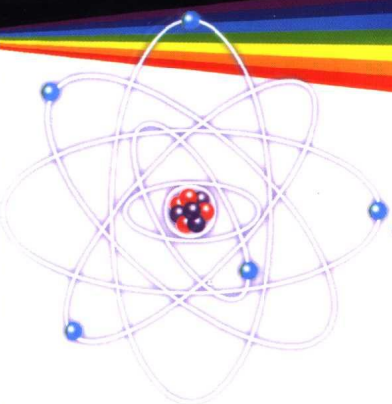
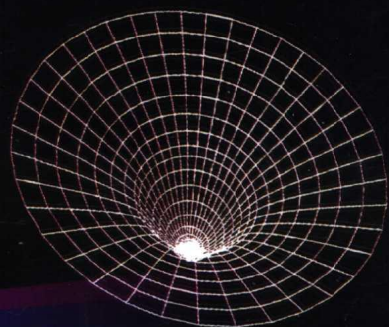
物理学的

100

个基本问题

陈世杰 编著

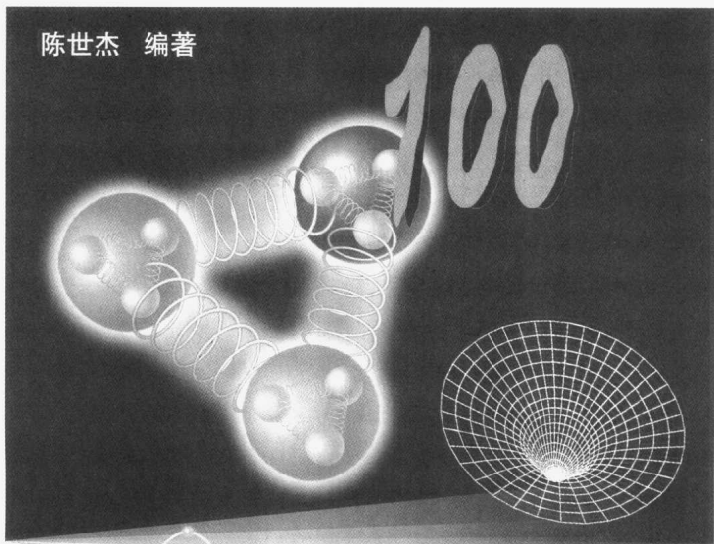
WULIXUEDE100GEJIBENWENTI
WULIXUEDE100GEJIBENWENTI
WULIXUEDE100GEJIBENWENTI



山西科学技术出版社

物理学的 100个基本问题

陈世杰 编著



山西科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学的 100 个基本问题/陈世杰编著. —太原: 山西科学技术出版社, 2004.1

ISBN 7-5377-2172-6

I. 物… II. 陈… III. 物理学 - 普及读物

IV. 04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 067036 号

物理学的 100 个基本问题

陈世杰 编著

*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)

新华书店经销 山西新华印业有限公司人民印刷分公司印刷

*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 9.125 字数: 218 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月山西第 1 次印刷

印数: 1 - 3000 册

*

ISBN 7-5377-2172-6

0·79 定价: 17.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与印厂联系调换。



前 言

已经过去多年，但我依然清晰记得初见大海时感到的那种震撼、压迫、沉醉、迷茫。迫不及待，纵身入水，挥臂远游。海天一色，万里无垠。突然，我深感自己的渺小与无助，急忙返回，只是徜徉在沙滩拣拾些贝壳、海星……

这种感觉，当我接受了山西科学技术出版社之托，准备编写这本《物理学的100个基本问题》时，恍然再现。

物理学是真正的汪洋大海。现代社会中的每个人从小就开始接触涉足。从幼儿启蒙读物，小学自然常识，到初中、高中物理课程，物理学滋养哺育着我们的头脑，让我们对身边世界的本来面目有了逐渐深入的认识，更点燃了多少睁大眼睛又满怀渴望的少年心中求知的明灯。

笔者作为一名多年从事大学基础物理课教学的教师，接受这个向青少年讲所谓“高级科普”读物的任务时，起初摩拳擦掌，觉得有大片天地可任遨游；然而一旦认真下手，顿生海天茫茫之感。正所谓：一部廿四史，不知从何说起！

几经茫然、犹豫，终于确定了以史为纲，以科为目的处理方法。“100个问题”，对于博大精深的物理学海洋，只能是点点滴滴。本书在编写时，尽量使读者既有远观，大致鸟瞰物理学全貌；又加细看，从伽利略、牛顿到爱因斯坦，直至最新诺贝尔物理学奖项；从粒子物理的极细微世界到宇宙物理的极浩渺天穹；从本学科纯粹的理论思辩到与现代高新科技的渗透结合。读者若能在管窥中略见全豹，大致弄清物理科学发生发展的轨迹，追寻



科学大师艰苦前行的身影，甚或因此对物理学产生更加浓厚的兴趣而进一步找书阅读，则本人幸甚矣。

“高级科普”之难，我为一则易偏于重“科”，写成教材论文之改编，诘屈聱牙，味同嚼蜡；再则易偏于重“普”，近乎小说评话之演义，云山雾罩，不知所云。本人努力找寻二者之契合点，争取兼有前者之“真”及后者之“趣”。如果读者能因目录标题之引导连续读几节而不觉其烦，甚或时而会心一笑，则本人又幸甚矣。

先哲杜甫曾咏诗感叹：“细推物理须行乐，何用浮名绊此身。”虽然此“物理”非彼“物理”，但天下万物确有共同之理，于是在“细推”之中悟得真正之“乐”。此“乐”就是追踪大师探寻科学真理，建立科学巨厦艰苦足迹的乐趣；也是欣赏科学殿堂中奇珍瑰宝，寻幽探胜、撷珠拾贝的乐趣。

本书之成，仰仗多位友人催促切磋，提供创意。尤其有同仁挚友王纪龙教授、周希坚教授及杨学军博士热情鼓励始终，广为搜寻资料，聊选题，挑纰漏，所给予的支持笔者实非感激二字所能尽言。

学海无涯，广深莫测；海边拾贝，浅尝应不能止。本人才疏学浅，加以繁忙仓促，是书也，谬误虽不致百出，挂一却何止漏万。求诸读者方家，不吝赐教，则本人更幸甚矣。

陈世杰

于太原理工大学致知斋

目 录

- 一、物理概述大而话之…………… (1)
- 001 物理学的来历——从古希腊哲学说起…………… (1)
- 002 什么是物理学——万物之理…………… (3)
- 003 先来说“宇”——空间尺度的42个台阶…………… (5)
- 004 再来说“宙”——时间尺度的44个数量级…………… (9)
- 005 不要胡子眉毛一把抓——谈建立理想模型…………… (12)
- 006 伟大头脑的天才产物——物理学中的思想实验…………… (15)
- 007 纷纭复杂的统一——基本的自然力…………… (18)
- 008 物理学的宪法——守恒律和对称性…………… (22)
- 二、经典物理走马观花…………… (26)
- 009 优美和谐的数学诗歌——开普勒三大定律的发现…………… (26)
- 010 理论预测和科学必然——万有引力定律和海王星的发现…………… (30)
- 011 物体究竟落在何处——惯性系和非惯性系(一)…………… (33)
- 012 继续深究落体——惯性系和非惯性系(二)…………… (37)
- 013 能量是什么——一个漫长而曲折的认识过程…………… (40)
- 014 最重要的守恒定律——漫谈热力学第一定律…………… (44)
- 015 一切过程都有一定的方向性——漫谈热力学第二定律(一)…………… (49)



016 方向背后的规律——漫谈热力学第二定律 (二)	(52)
017 最冷有多冷——漫谈热力学第三定律	(57)
018 太太和丈夫究竟谁错了——伽伐尼电流的发现	(60)
019 机遇偏爱有准备的头脑——电流磁效应的发现	(63)
020 “初生的婴儿有什么用”——法拉第电磁感应定律	(66)
021 经典物理学的第三次伟大综合——麦克斯韦电磁场理论	(70)
022 光是什么——光的本性认识的争论	(72)
023 继续认识光——波动说的胜利	(75)
024 光是什么波——偏振、横波、电磁波	(77)
三、近代物理曙光微现	(81)
025 即将喷发的火山口——19 与 20 世纪之交的物理学	(81)
026 三大发现的序幕——阴极射线	(83)
027 新时代的曙光——电子的发现	(85)
028 能穿透物体的神光——X 射线的发现	(88)
029 关于 X 射线的更多——诺贝尔奖的摇篮	(90)
030 又有一种新射线——天然放射性的发现	(93)
031 元素也变化——天然放射性的本质	(95)
032 第一朵乌云——迈克尔逊—莫雷实验的“零结果”	(97)
033 第二朵乌云——黑体辐射的“紫外灾难”	(100)
四、现代物理两大支柱	(104)
034 创立过程——狭义相对论漫谈之一	(104)

035 基本公设——狭义相对论漫谈之二	(106)
036 相对的时空——狭义相对论漫谈之三	(109)
037 质量和能量——狭义相对论漫谈之四	(111)
038 崭新的引力理论——广义相对论漫谈之一	(114)
039 说说引力场方程——广义相对论漫谈之二	(116)
040 实验验证 (1) ——广义相对论漫谈之三	(119)
041 实验验证 (2) ——广义相对论漫谈之四	(121)
042 “最少的电”是多少——基本电荷的测定	(123)
043 能量居然不连续——古怪的量子	(125)
044 又问光是什么——波粒二象性	(128)
045 最伟大的物理学家——说说爱因斯坦	(130)
046 原子中别有洞天——玻尔模型 (一)	(133)
047 原子中别有洞天——玻尔模型 (二)	(135)
048 量子力学的精神家园——玻尔研究所	(138)
049 “我们是波!” ——德布罗意的重大发现	(140)
050 电子衍射——物质波实验验证	(143)
051 海森堡与矩阵力学——量子力学走马观 (一)	(145)
052 薛定谔与波动力学——量子力学走马观 (二)	(148)
053 狄拉克方程——量子力学走马观 (三)	(150)
054 物质波, 概率波——量子力学走马观 (四)	(152)
055 不确定原理和互补原理——量子力学走马观 (五)	(154)
056 爱因斯坦“光子箱”和薛定谔“猫”——量子力学 走马观 (六)	(156)
五、粒子物理纷纭天地	(159)



057 当面对不相识——中子的发现	(159)
058 有客自天外来——宇宙线	(161)
059 撒向太空的大网——宇宙线物理的发展	(164)
060 探测粒子的利器——云室	(166)
061 现代炼金术——人工核反应	(169)
062 “秋千越荡越高”——回旋加速器	(171)
063 群星争辉——诺贝尔奖专业户	(173)
064 众说纷纭——原子核模型	(175)
065 原子能时代的开端——重核裂变和链式反应	(178)
066 β 衰变的研究——中微子假说	(180)
067 众里寻她千百度——捕捉中微子	(182)
068 汤川秀树的预言—— μ 子和 π 介子	(184)
069 这一回是真的——捕捉 π 介子	(187)
070 一群怪客的造访——奇异粒子	(189)
071 更吹落，星如雨——共振态粒子	(192)
072 “ $\theta-\tau$ ” 疑难——宇称有时不守恒	(195)
073 庞大的家族——“基本” 粒子分类一览	(198)
074 “基本粒子” 不基本——夸克模型（一）	(201)
075 是大团圆吗——夸克模型（二）	(204)
六、宇宙物理心事浩茫	(207)
076 夜空为什么黑暗——从奥伯斯佯谬谈起	(207)
077 宇宙像膨胀的面包——哈勃红移	(209)
078 辟地开天一瞬间——大爆炸宇宙学	(212)
079 远古的奥秘——三大事实支持	(214)
080 更上一层楼——暴胀宇宙论	(217)
081 看不见的更多——关于暗物质	(220)
082 “白痴问题” 有答案——宇宙有限而无界	(223)



083 杞人忧天现代版——生生灭灭话恒星（一）	(226)
084 杞人忧天现代版——生生灭灭话恒星（二）	(229)
085 吞噬一切的星体——黑洞	(231)
086 微弱的宇宙振荡——引力波	(234)
087 天空实验室——双星引力辐射阻尼	(237)
七、技术物理相映生辉	(241)
088 先有蛋还是先有鸡——谈物理学与技术	(241)
089 电子学的里程碑——晶体管的发明	(243)
090 方寸之间，几乎无限——现代集成电路	(246)
091 “光”是怎样“激”出来的——谈谈激光原理 ..	(249)
092 果然神奇无比——激光及其应用	(252)
093 平面上的立体奇观——全息术	(255)
094 逼近低温极限——激光冷却	(258)
095 超低温的奇迹——超导体的发现	(260)
096 零电阻和磁悬浮——超导体的性质	(264)
097 相对的辉煌——BCS 超导理论	(266)
098 “水”往高处走——神奇莫测话超流	(269)
099 “世界正为之而改变”——纳米科技	(273)
100 又逢山雨欲来时——看 21 世纪物理学	(275)



一、物理概述大而话之

物理学的来历——从古希腊哲学说起

从公元前 8 世纪到公元前 4 世纪，史称“古希腊罗马时代”，包括科学在内的古希腊文化在较短时期里就取得了极其丰富多彩的成就，并且成为人类思想文化史上永恒的奇峰。

物理学 (physics) 这个名词是古希腊思想巨人亚里士多德 (Aristotle, 公元前 384—322) 在公元前 4 世纪根据希腊文 φυσικὸν (意为自然) 创造了 φυσικὰ (意为自然哲学) 的英文音译。

亚里士多德是古希腊最伟大的思想家，也是一位具有多方面成就的集古代希腊知识大成的博学家，他是柏拉图的学生，曾做过亚历山大一世的教师。公元前 335 年，亚里士多德回到雅典创办了吕克昂学园，据说由于他和弟子们常在散步时进行学术讨论，被时人称为“逍遥学派”。他的著作很多，包括著名的《形而上学》、《物理学》、《伦理学》、《工具篇》等，被称为古希腊思想史的“百科全书”。

古希腊人把所有对自然界的观察与思考，都笼统地包含在一门学问里，即自然哲学，物理学是其一部分，是关于自然事物的知识。这种知识一般说来当时还停留在现象的描述、经验的总结和猜测性的思辨上，但从物理学的历史来看却为近代和现代物理学的发展提供了许多生长点。正如恩格斯在《自然辩证法》中所说：“在希腊哲学的多种多样的形式中，差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。因此，如果理论自然科学想要追溯自己今天的一般原理发生和发展的历史，它也不得不回到希腊人那里去。”



科学分为天文学、物理学、化学、生物学和地质学等只是最近几百年的事，牛顿划时代的著作名为《自然哲学的数学原理》，即为明证，物理学最直接地关心自然界最基本的规律，所以牛顿把当时的物理学叫做自然哲学。

中国在汉代就有了“物理”一词，但那时是泛指事物之理。西汉人刘安所编《淮南子》中有“耳目之察，不足以分物理”的深刻见解。明末清初有方以智著《物理小识》一书，含历法、医药、金石、器用及草木等，涉及内容非常广泛，然此“物理”绝非彼“物理”，这是显而易见的。诺贝尔物理学奖得主、物理大师李政道教授在 2001 年的一次讲演中谈中国古代物理发展史时，曾引用唐代大诗人杜甫诗句“细推物理须行乐，何用浮名绊此身”来论证物理学名词起源，我想大师准是玩了一把幽默^①。

自欧洲传来希腊文写作 φυσικα 而英文写作 physics 的学科，系由日本人译作“物理学”而直接传入中国的。在西方发展起来的自然科学作为教学内容在 19 世纪中叶出现于我国课堂，最初，一些私立学校于 1845 年设“格致”课，“格致”一词来自中国古典典籍四书《大学》中“致知在格物，物格而后知致”，意为要获得知识必须穷究事物的原理。该课程最初含数学、物理、化学、动物、植物和矿物。1862 年，公立学校同文馆成立，数学自格致课中分出，独立设课。1899 年，在京师大学堂（北京大学前身），又将化学分出，1902 年，小学设不含数学的“格致”课，相当于今日之“自然”课；中学则分设物理、化学与博物，这里的“物理”已是西方传入的物理学了。

^① 杜甫原诗，曲江二首（其一）：“一片飞花减却春，风飘万点正愁人。且看欲尽花经眼，莫厌伤多酒入唇。江上小堂巢翡翠，苑边高冢卧麒麟。细推物理须行乐，何用浮名绊此身。”一派田园风光，闲适情趣，与物理学似乎没关系。

太原理工大学物理实验中心大楼有两部分，一部挂匾曰“格物斋”，另一部挂匾曰“致知斋”，有古朴典雅之气，我看是很贴切的。

102 什么是物理学——万物之理

这个问题也可以是这样的：物理学是研究什么的？

中国的高中物理教材将物理学分成几大部分：力学、热学、电磁学、光学和原子及核物理学，为什么这样进行分类呢？我曾经多次问过高中毕业生以及大学低年级的同学这个问题。有人答曰由浅入深、由简单到复杂；有人答曰根据物理现象分类等等，往往是语焉不详，未中要害。

要回答这个问题，应该先简单回顾一下物理学发展的历史。

现代意义上的物理学的诞生始于17世纪后半叶。我们熟知的伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）、开普勒（Johannes Kepler, 1571—1630）等科学家为经典力学和天体力学所作的奠基性贡献，揭开了人类对自然界进行科学探索的崭新篇章。正如爱因斯坦在《物理学的进化》中评论说：“伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”牛顿（Issac Newton, 1643—1727）在他们工作的基础上建立了完整的经典力学理论，1666年牛顿建立微积分的基本概念，到后来以他的名字命名的力学三大定律，特别是1687年牛顿发表了《自然哲学的数学原理》，标志着经典力学大厦的建成。在这时期出现的重视观察实验、提供假设和运用逻辑推理的科学研究方法对后世影响极其深远。

18至19世纪是物理学蓬勃发展的时期，卡诺（S.Carnot, 1796—1832）、焦耳（J.P.Joule, 1818—1889）、开尔文（kelvin, 1824—1907）、克劳修斯（R.Clausius, 1822—1888）建立了宏观的热力学理论。玻尔兹曼（L.Boltzmann, 1844—1906）、克劳修斯、吉布斯（J.W.Gibbs, 1809—1903）等建立了说明热现象的气



体分子动力理论即统计物理学。这一时期，库仑（C.Coulomb, 1736—1806）、奥斯特（H.Oersted, 1777—1851）、安培（A.Ampere, 1775—1836）、法拉第（M.Faraday, 1791—1867）等人对电磁学做出了巨大的贡献，后来由麦克斯韦（J.Maxwell, 1831—1879）建立起概括各种电磁现象的麦克斯韦方程组，电磁学理论亦告成功。

至此，以牛顿定律为基础的经典力学、热力学与统计物理、电磁学构成了经典物理学的宏伟大厦，似乎人类对自然的认识已达到完美的境地。但就在 19 世纪和 20 世纪之交，物理学界有三大发现，伦琴（W.Röntgen, 1845—1923）发现 X 射线、汤姆逊（J.Thomson, 1856—1940）发现电子和贝可勒尔（A.Becquerel, 1852—1908）发现放射性；以及著名的两朵乌云：迈克尔逊—莫雷实验的零结果和热辐射实验的“紫外灾难”等一系列与经典物理的预言极不相容的实验事实相继出现，人们发现大厦的基础动摇了。经典物理学在新发现面前遇到了前所未有的困难，有远见的物理学家意识到极其深刻的变革将要发生，正所谓“山雨欲来风满楼”。首先，爱因斯坦（A.Einstein, 1879—1955）于 1905 年提出了狭义相对论，又于 1915 年提出了广义相对论，建立了崭新的时空观和引力理论，将相对性原理及对称性推广于全部基本物理学。物理学另一次大革命是普朗克（M.Planck, 1858—1947）、爱因斯坦、玻尔（N.Bohr, 1885—1962）、薛定谔（E.Schrödinger, 1887—1961）、海森堡（W.Heisenberg, 1901—1976）和狄拉克（P.Dirac, 1902—1984）共同建立了量子力学。相对论、量子力学是支撑 20 世纪现代物理学大厦的两个支柱，在此基础上随着科学的飞速发展，粒子物理学、原子核物理、原子与分子物理、凝聚态物理、等离子体物理等名目繁多的物理学分枝以及天体物理、地球物理、化学物理、生物物理等众多交叉学科都得到迅速的发展。



物理学到底是研究什么的？如果用一句话来概括，可以说：物理学是探求物理结构和运动基本规律的学科。尽管这个含义已经相当宽泛，但还是难以刻画出当代物理学极其丰富的内涵，不过有一点可以肯定，与其它自然科学相比，物理学更着重于对物质世界普遍而基本的规律的追求。

回到本节最初的话题，高中物理教材各部分的分节原则正是沿着物质结构的逐步深入来研究其运动基本规律的。

力学的研究对象是宏观物体的机械运动。热学是研究物质运动规律的，热运动是指组成物体的大量分子（例如 1mol 的气体所含分子数为 6.02×10^{23} 个）、原子的无规则运动，也就是说热学涉及分子层次。电磁学是研究物质电现象、磁现象及二者之间关系的，电磁现象的产生缘于电荷（主要是金属表层自由电子）的运动。光学研究可见光的各种现象，而可见光属于电磁波谱的一小波段。原子物理、核物理逐渐深入到原子及原子核内部去探求。于是我们看到研究对象正是沿着物质的结构一层层地深入探求其运动规律。

这个学科真正是“格物”、“致知”以求“物理”的！



先来说“宇”——空间尺度的 42 个台阶

“宇”，根据《现代汉语词典》的解释，泛指无限空间。空间无限大吗？物质无限可分吗？

如果答案都是肯定的，事情会变得十分简单明了，世界便成为数学的概念： ∞ 以及 $\frac{1}{\infty}$ 。然而认真而严肃的科学思考不应该是这样先验的（即以简单生活经验代替科学），不能这样毫不负责任地信口开河。

当我们抬头看天，天外有天（有吗？），好像没完没了（会吗？），当我们折手中棒，日折其半（能吗？），似乎万世无尽（是



吗?)。如果回答没完和无尽,人们不好和你争论,似乎同意了你的论点,但是如果你回答有完和有尽,人们很容易和你争论,于是你必须拿出证据来,边界在何处,为什么会是这样的等等,很困难,但是一定得有些内容。看来我们应该欢迎这样的理论,即使它可能远不是那样完美!

物理学对世界正是给出了这样的回答。

先谈谈“数量级”的概念。我们熟知:十进位记数系统可以用所谓“科学记数法”来表示,如前所谈到的阿伏加德罗常数指 1mol 物质中约包含六千万亿亿多个分子,究竟多少,我们不容易有明确的概念,用“科学记数法”就好得多,这个数可以记成 6×10^{23} , 后面指数相差 1, 即表示数目大 10 倍或小 10 倍,这就叫做一个数量级。现代科学研究过的空间尺度,大小差不多跨越了 42 个数量级,有人把这称做“宇宙的 42 个台阶”。

人类选择了与自身大小相适应的“米 (m)”作为长度的基本系统。从我们身边开始,先走向小尺度领域。这里首先遇到生物界。最小的哺乳动物和鸟类,体长不过 10cm, 即 10^{-1} m 的数量级。昆虫的典型大小为几厘米或几毫米,即 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ m 的数量级。细菌或典型的真核细胞,直径具有 10^{-5} m 的数量级,细胞的最小直径为 10^{-7} m, 这比原子的尺度 10^{-10} m 还大 3 个数量级。生物细胞不可能再小了吗? 是的,因为细胞内必须包含足够数量的(比如 10^6 个)生物大分子,否则它不可能有较完整的功能。分子的尺度是个比较复杂的问题,因为分子大小悬殊。小分子由几个到十几个原子组成,其尺度比原子略大,大约 10^{-9} m 数量级。大分子(如各种蛋白质)可以由数千个原子组成,有复杂的结构,把最大的分子链拉直了数量级可达 10^{-4} m。

在物理上把原子尺度的客体叫做微观系统,大小在人体尺度上下几个数量级范围内的客体,叫做宏观系统。所以宏观尺度比微观尺度大了 7~8 个数量级,按体积论,则大 $(10^8)^3 = 10^{24}$



个数量级，或者说，宏观系统中包含这么多个微观客体（原子、分子），这正是阿伏加德罗常数的数量级。微观系统与宏观系统最重要的区别，是它们服从的物理规律不同，在微观系统中宏观的规律（如牛顿运动定律）不再适用，那里的问题需要用量子力学来处理。

让我们继续走向物质结构的更深层次。原子是由原子核与核外电子组成的，原子的线度为 10^{-10} m 的数量级，原子核的线度要比这小 4~5 个数量级，即 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ m 的数量级，但是几乎原子的全部质量都集中在原子核内。我们可以这样设想原子内部的图像，在一个标准田径场（跑道一圈 400m）上，原子核位于中心，跑道最外圈有一些直径 1mm 大小的砂粒在飞跑，那是一些电子，此外空空荡荡，这似乎多少有点出乎我们的想像。原子核由质子和中子组成，质子和中子统称核子，核子的半径约为 10^{-15} m。核子以下的再一个层次是夸克，每个核子由 3 个夸克“组成”。我们把组成二字加引号，是因为夸克间的相互作用具有禁闭性质，使我们永远不可能分离出自由

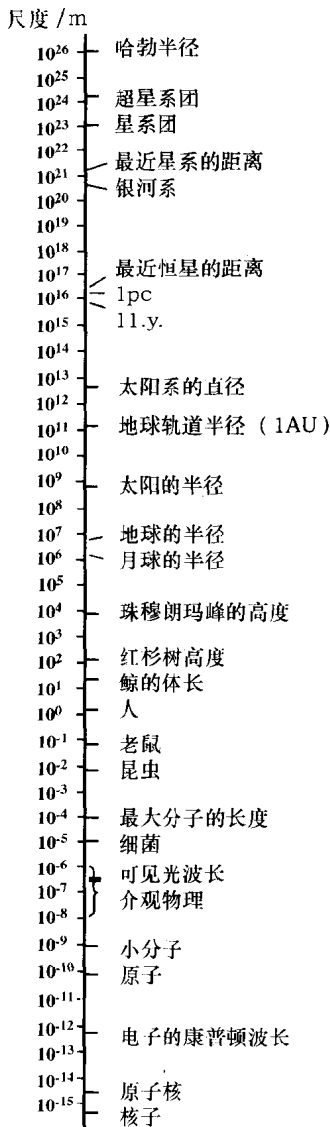


图 003-1 物质世界的空间尺度