

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书

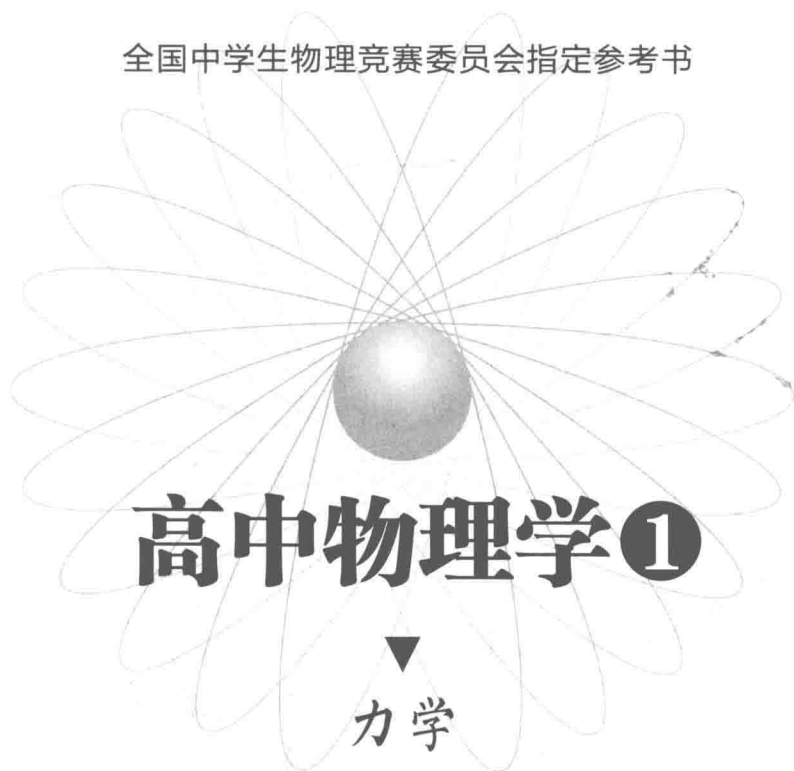
高中物理学①

▼
力学

沈克琦 主编

中国科学技术大学出版社

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书



高中物理学①

▼
力学

主 编 沈克琦
编 委 张继恒 林 婉
张维善

中国科学技术大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高中物理学. 1/沈克琦主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015. 7(2015. 10重印)

ISBN 978-7-312-03683-5

I. 高… II. 沈… III. 中学物理课—高中—教学参考资料 IV. G634. 73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 044308 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编 230026

<http://press.ustc.edu.cn>

<http://shop109383220.taobao.com>

印刷 安徽省瑞隆印务有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 16.75

字数 348 千

版次 2015 年 7 月第 1 版

印次 2015 年 7 月第 1 次印刷 2015 年 10 月第 2 次印刷

印数 5001—15000 册

定价 39.00 元

前 言

这套教材是为学校里学习基础较好且学有余力并对物理学科饶有兴趣、愿意深入钻研的学生编写的,其内容的深度和广度均超出原来的教学大纲和现行课程标准的要求.其目的在于充分开发学生的智力,使学生在高中阶段不仅能学到比较扎实的基础知识,而且在科学思维和科学方法,理论结合实际地进行综合分析的能力,热爱科学、勇于探索创新的精神,严谨的科学态度和科学作风等方面都能得到培养和提高,从而具有较全面的科学文化素质,为今后进一步学习和工作打下良好的基础.

现就编写这套教材的一些考虑和如何使用本教材的建议叙述如下:

1. 教学重点放在基本概念和基本原理上.从伽利略、牛顿时代开始,经过 300 多年无数科学家的努力,物理学已经成为比较成熟、系统性很强的学科.物理学的成果对现代自然科学和工程技术的发展起着巨大的推动作用,每一门新技术的出现都是物理学研究取得突破的结果.说物理学成熟和系统指的是物理学的知识已形成内部结构严密的体系,广泛的实践已经证明物理学的基本原理和规律正确地反映了客观世界的运动、发展和演化.只要能正确地理解和掌握这些概念、原理和规律及研究问题的科学方法,许多看来头绪纷繁的问题都有可能迎刃而解,对不断出现的新知识的理解也将比较容易.所以,高中物理课的首要任务应该是基本物理概念和原理的教与学,力求使学生对它们有比较清楚的理解.因此,在教材中不惜多费笔墨对一些概念和原理作了比较深入的阐述,在教学中也应当在这方面多花一些时间.要做到真正的理解,单

靠讲和听是不行的,必须通过学生独立思考,把教学过程从被动接受转变为主动学习,才能使学习内容成为学生头脑中印象深刻、具有有机联系的知识.这个过程需要多花一些时间.这样,虽然表面上教学进度慢了,但实际上学生真正弄懂了所学内容,就能牢记不忘,而且学会了科学思维的方法,可以举一反三,触类旁通,把知识变活了,将来学习会越来越顺利,总的效果会是快而不是慢,且能学得更好、更扎实.

2. 如前所述,本教材的内容与传统和现行高中教材相比,在深度和广度上均有所超出.对于这部分内容的要求应区别不同情况作不同处理,不要都与基本原理的要求一样.这部分内容大体上可以分为四种情况:

(1) 与基本概念、基本原理密切相关的内容,学生应该掌握,才能达到“真正的理解”.如力学中的矢量、近乎微积分的分析处理方法、简谐振动表达式、振动的合成和波的叠加的推导等均属这一类.这些概念和方法在物理学中使用较多,也有助于学生更好地理解有关内容,高中学生也是能够掌握的.其中一些内容学生开始接触时可能有些困难,不要因此而回避,也不要期望一步到位.经过多次接触,反复运用,最后可以达到预期目的.

(2) 属于物理学基本原理,但在高中阶段只能达到初步理解的内容.如力学中的角动量、刚体定轴转动、流体动力学等均属此类.这些内容涉及的物理现象是生活中经常遇到的,它们又是进一步学习的基础.因此在高中应该教一点初步知识,以拓宽学生的思路,并为进一步学习做点准备.对这部分内容要求要适当,不能要求学生有深入的理解.在课后作业方面只要求做一些有助于理解所讲内容的习题.

(3) 适当增加了一些近代物理方面的内容.面向 21 世纪的中学生应该对 20 世纪初以来的近代物理学有一定的了解,跳出经典物理学的框框,获得比较完整、准确的物理概念.但由于学生数学物理基础的限制,这部分内容只能是初步的.对于书中增加的一些近代物理的基本概念、原理和结论,如相对论、量子论和粒子与宇宙等内容,有的采取渗透的方

法,在讲授经典物理知识时加入有关的内容;有的则比较系统地进行简要介绍,讲解中侧重基本概念、发展脉络和研究方法.近代物理学的发展过程充满了新旧观念的矛盾、理论与实验的矛盾,也正是这些矛盾推动了物理学的发展.这对于启发学生的科学思维和创新精神是十分有利的.这部分内容以及新增加的经典物理学中的统计概念、不可逆过程等,不可能要求学生完全理解,只要求学生知道一些最基本的概念,知道还有不少问题有待进一步学习就行了.这样,学生学到的知识是开放型的,而不是封闭型的,学生的求知欲得到进一步的激发.学到的某些新知识就如一个嫩芽,遇到适宜的环境,它就能够生长起来.每个人的条件不同,今后的发展也会有很大差别.这样安排有利于学有余力的学生通过学习较早地接触到更深一些的内容从而达到更高的水平.教师在讲授这方面内容时可以相机行事,进行适当的增删.学生则要改变老师教多少就学多少的被动学习习惯,采取主动学习、充分发挥自己潜力的学习方法.

(4) 阅读材料.多数是介绍科学家的事迹和扩大知识面的材料.这些材料有利于提高学生的科学素质.阅读这些材料不费多少时间,希望每位学生都能认真阅读、思考并有所体会.

3. 一定要通过各个教学环节加强能力培养,特别是科学思维能力的培养.要结合理论教学和具体事例讲授科学家如何发现问题、如何探索解决问题的途径,他们采用的科学方法,他们具有的严谨的科学作风、兢兢业业的敬业精神和勇于突破的创新精神.讲授原理时要注意讲清思路而不是只讲结论.有的内容可以不讲而要求学生自学,思考题要求学生认真思考并相互讨论,把有关概念和原理真正搞清楚.做习题是教学过程的必要环节,要求学生在认真复习课堂讲授内容基础上独立完成作业.希望学生在解题过程中理清思路,务求做一题就有一题的收获.

4. 实验教学是物理教学的重要环节.实验教学既与理论教学相联系,又有一定的相对独立性.鉴于已有专门的中学物理实验教材出版,本教材未编入具体的实验内容.

在编写这套教材时,曾组织大、中学校老师召开过多次座谈会,他们提出了许多宝贵的意见和建议.这套教材的力学部分先后由张继恒、张维善执笔;热学部分由张维善执笔;电磁学部分由林婉执笔;光学和近代物理部分由张维善执笔.沈克琦主持编写并对全书进行了审阅.

中国科学技术大学出版社为本教材的编写、出版做了大量工作,谨表诚挚的谢意.我们还由衷地希望看过和用过此教材的老师 and 同学提出宝贵的批评和意见,以帮助我们进一步改进,使之日臻完善.谨致谢忱.

沈克琦

2014年9月

目 录

前言	(i)
第 1 章 质点运动学	(1)
1.1 质点 参考系和坐标系	(2)
1.1.1 质点	(2)
1.1.2 参考系和坐标系	(3)
1.1.3 时间 时刻和时间间隔	(5)
1.2 位移和路程 矢量和标量	(6)
1.3 匀速直线运动 速度	(8)
1.3.1 匀速直线运动	(8)
1.3.2 速度	(9)
1.3.3 匀速直线运动的位移图像	(10)
1.3.4 匀速直线运动的速度图像	(12)
1.4 变速直线运动 平均速度和瞬时速度 加速度	(13)
1.4.1 变速直线运动	(13)
1.4.2 平均速度和瞬时速度	(13)
1.4.3 加速度	(16)
1.5 匀变速直线运动	(19)
1.5.1 匀变速直线运动的速度	(19)
1.5.2 匀变速直线运动的位移	(21)
1.6 自由落体运动 重力加速度	(25)
1.6.1 逻辑战胜了常识	(25)
1.6.2 自由落体加速度	(26)
1.7 抛体运动	(29)
1.7.1 运动的合成和分解	(29)
1.7.2 竖直上抛与竖直下抛运动	(30)

1.7.3 平抛运动	(32)
1.7.4 斜抛运动	(35)
1.8 匀速率圆周运动	(38)
1.8.1 曲线运动的速度和加速度	(38)
1.8.2 匀速率圆周运动	(39)
1.9 相对运动	(42)
1.9.1 伽利略变换	(42)
1.9.2 相对速度	(44)
1.9.3 伽利略变换的局限性	(46)
第2章 质点动力学	(51)
2.1 牛顿第一定律	(51)
2.1.1 物理学中的“福尔摩斯”	(51)
2.1.2 牛顿第一定律 惯性参考系	(52)
2.1.3 力的概念	(53)
2.2 牛顿第二定律	(54)
2.2.1 惯性的量度 加速度和质量的关系	(55)
2.2.2 力的量度 加速度和力的关系	(56)
2.2.3 牛顿第二定律	(57)
2.2.4 力的独立作用原理 力的矢量性	(57)
2.2.5 牛顿第二定律的一些推论	(58)
2.3 牛顿第三定律	(60)
2.3.1 牛顿第三定律	(60)
2.3.2 单位制和国际单位制	(62)
2.4 天体运动和万有引力	(64)
2.4.1 “哥白尼拦住了太阳,推动了地球”	(65)
2.4.2 开普勒“冲出圆周,走向椭圆”	(66)
2.4.3 万有引力定律	(67)
2.4.4 惯性质量和引力质量	(69)
2.4.5 物体所受的重力和物体所受地球的引力	(70)
2.5 弹性力	(73)
2.5.1 弹性形变和弹性力	(73)
2.5.2 张力	(74)
2.5.3 正压力	(74)

2.5.4 弹簧的弹性力	(75)
2.6 摩擦力	(76)
2.6.1 静摩擦力	(76)
2.6.2 滑动摩擦力	(77)
2.7 牛顿定律在质点动力学中的应用	(80)
2.8 经典力学的适用范围	(89)
2.8.1 非惯性系 惯性力	(89)
2.8.2 经典力学受到物体运动速率的限制	(91)
2.8.3 经典力学受到量子效应的限制	(91)
第3章 功和能	(98)
3.1 功和功率	(99)
3.1.1 功	(99)
3.1.2 功率	(101)
3.2 动能 动能定理	(103)
3.3 势能	(107)
3.3.1 重力势能	(108)
3.3.2 弹性势能	(109)
3.3.3 引力势能	(110)
3.3.4 势能曲线 保守力和非保守力	(113)
3.4 机械能定理与机械能守恒定律	(115)
3.4.1 物体系的动能定理	(115)
3.4.2 机械能定理	(116)
3.4.3 机械能守恒定律	(117)
3.5 流体的稳定流动	(120)
3.5.1 理想流体 稳定流动	(120)
3.5.2 流线的流管 连续性原理	(121)
3.5.3 伯努利方程	(122)
3.5.4 几个实际应用	(123)
第4章 动量和角动量	(132)
4.1 动量	(133)
4.2 动量定理	(135)
4.3 动量守恒定律	(138)
4.3.1 物体系的动量定理	(138)

4.3.2 动量守恒定律	(140)
4.4 碰撞和反冲	(143)
4.4.1 碰撞	(143)
4.4.2 反冲	(147)
4.5 角动量和角动量守恒定律	(150)
4.5.1 角动量	(150)
4.5.2 力矩 角动量定理	(151)
4.5.3 角动量守恒定律	(152)
第 5 章 刚体的转动与平衡	(159)
5.1 刚体的平动	(160)
5.2 刚体的定轴转动	(161)
5.2.1 刚体定轴转动的描述	(161)
5.2.2 转动定律 转动惯量	(164)
5.2.3 刚体的转动动能	(167)
5.3 绕定轴转动的刚体的角动量	(170)
5.4 刚体的平衡	(172)
5.4.1 刚体的平衡条件	(173)
5.4.2 重心	(173)
第 6 章 机械振动和机械波	(181)
6.1 简谐振动	(182)
6.1.1 机械振动	(182)
6.1.2 简谐振动	(183)
6.1.3 简谐振动的振幅、周期和频率	(185)
6.2 简谐振动的表达式	(186)
6.2.1 简谐振动的位移、速度和加速度跟时间的关系	(186)
6.2.2 简谐振动表达式中的振幅 A 、角频率 ω 和初位相 φ	(188)
6.2.3 简谐振动的图像	(189)
6.2.4 简谐振动的能量	(190)
6.3 单摆	(194)
6.4 阻尼振动 受迫振动和共振	(196)
6.4.1 阻尼振动	(196)
6.4.2 受迫振动 共振	(197)
6.5 振动的合成	(199)

6.6 机械波	(201)
6.6.1 机械波的产生	(201)
6.6.2 横波和纵波	(203)
6.6.3 波长、频率和波速	(205)
6.6.4 波线和波面	(206)
6.7 简谐波的波函数	(207)
6.8 惠更斯原理 波的衍射	(211)
6.9 叠加原理 波的干涉	(213)
6.10 驻波	(215)
总复习题	(223)
部分习题答案	(243)
附录	(249)
索引	(252)

第1章 质点运动学

我们生活在一个永恒地运动着的物质世界中,放眼望去,一切物质都在运动,一切运动又都离不开物质.因此,正像从亚里士多德时代流传下来的一句格言所说的那样:“不了解运动,就不了解自然.”

物质运动的形态是多种多样的.物理学所研究的是包括机械运动、热运动、电磁运动、原子、原子核和核内粒子运动等在内的物质运动的规律以及它们之间相互转化的规律.这些运动形态是一切物质运动中最基本的形态,因而物理学在自然科学中占有特殊的地位.

在物理学中,研究宏观物体低速机械运动规律的部分叫作力学(Mechanics).所谓机械运动,就是一个物体相对于另一物体的空间位置或物体各部分之间相对位置随时间的变化,它是自然界中最简单、最基本的运动形态.

人们从对力学的研究中提炼出了物理学研究的基本方法,形成了对整个物理学具有重要价值的基本概念.著名物理科学史家和物理教育家霍尔顿(G. Holton)曾说:“无论从逻辑上还是从历史上讲,力学都是物理学的基础,也是物理科学其他研究的典范……力学之于物理学如同骨骼之于人体.”

所以,我们把力学作为高中物理课程的开篇,而把力学的主要而且又是基本的课题——物体做较简单的直线运动和曲线运动所遵从的规律,作为它的第一乐章.

顺便说一句,“乐章”一词在这里并非纯属借用.如果通过学习,你能体会到物理学对物质运动的描述和研究所具有的那种简洁而准确的美感,那么你将会领悟得更多、更深,以至神往于不停地探索自然奥秘的物理科学的未来.

1.1 质点 参考系和坐标系

1.1.1 质点

要科学地研究运动,首先要解决的问题是如何描述物体的运动.

任何物体都具有质量、大小和形状.当物体运动时,物体中各点的位置随时间变化的情况一般说来是各不相同的.可见,要准确地描述物体的运动,并不是一件容易的、简单的事情.

但是,在某些情况下,根据所要研究的问题的性质,我们可以不考虑物体的大小和形状,或者是物体的大小和形状可以忽略,这时就可以突出物体质量这一主要因素,把物体简化为一个与物体具有同等质量的点,我们称它为质点(Particle).这样,就可以把对一个实际物体的运动的描述转化为对一个质点的运动的描述,自然就简单多了.

物理学对实际问题的简化,也叫科学抽象.但这种抽象并不是随心所欲的,而是有条件的,那么,在实际问题中,一个物体在什么条件下才可以当作一个质点呢? 让我们考察如下两种情况:

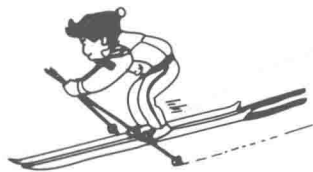


图 1.1 雪橇沿直线运动

我们考察如下两种情况:

第一,当物体运动时,如果物体上面所有各点都做相同的运动,例如雪橇沿直线滑动(图 1.1),只要研究了物体上任一点的运动情况,就可以了解物体整体的运动情况.在这种情况下,把物体视为质点,就能够把握物体的全部运动情况了.

第二,当运动物体的形状和大小(线度)对所研究的问题的影响很小时,则把物体当成质点,研究后所获得的质点运动情况能够充分近似地反映物体的运动情况.例如,在描述和研究地球在太阳引力作用下绕太阳公转的运动时(图 1.2),尽管地球本身直径约为 $1.3 \times 10^7 \text{ m}$,而且本身在自转着,但地球到太阳的平均距离约为 $1.49 \times 10^{11} \text{ m}$,比地球直

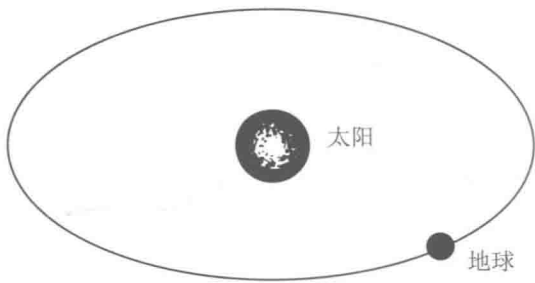


图 1.2 地球绕太阳的公转

在研究地球相对于太阳的公转运动时,可以把地球看作一个质点

径大 10^4 倍,因而相对于太阳的运动来说,地球的线度及自转而引起的地球上各点运动的差异就可以忽略不计,这时我们可以把地球抽象为一个质点.显然,在研究地球的自转情况时,若再把地球当作质点,那就荒唐可笑了.

由上述可见,一个物体是否可以当作质点,就看它的大小和形状在所研究的问题中是否可以不予考虑,或者是否可以忽略,而并不是单纯地考虑它的实际大小和形状.也就是说,一个物体能否看成质点是由研究的问题的性质决定的.

在物理学中,突出所研究问题的主要方面,忽略次要因素,建立理想化模型并将此作为研究对象这一方法,是经常采用的一种重要的、行之有效的研究方法.质点就是这种理想化模型之一,它们虽然不完全等同于实际的研究对象,但离开它们,直接面对包括许多次要因素在内的复杂现象,就会使我们的研究不得要领,甚至茫然不知所措.奥地利物理学家韦斯科夫(V. F. Weisskopf)曾经说道:“什么叫模型?模型就是奥地利的火车时刻表,奥地利的火车经常晚点,乘客问列车员:‘你们干吗还要时刻表?’”列车员回答:“有了时刻表你才知道火车的晚点呀!”

还应该指出的是,当一个物体不能被看作质点时,我们在原则上却可以把物体看作是由若干运动情况互不相同的微小部分组成的系统,而这些微小部分在所研究的问题中又都符合质点的条件,因而都可以当作质点对待.所以,只要弄清质点的运动规律,我们就可以研究每一个微小部分(质点)的运动,把这些研究结果合在一起,就能进一步解决整个物体的复杂的运动问题.所以,质点力学在整个力学中具有特别重要的地位.

1.1.2 参考系和坐标系

力学所研究的运动是指物体的位置随时间的变动.宇宙中的一切物体都处于永恒的运动中,绝对静止的物体是不存在的.就此意义而言,我们说运动是绝对的.但是,对于一个物体的位置及其变动的描述,却又总是相对于其他物体而言的,这便是运动的相对性.

每个乘过火车的人大概都会有这样的经验:火车半夜停在一个黑暗的车站里,你看一本杂志入了迷,没有注意到火车是否已经开动,当你抬头向窗外望去,看到旁边的一列火车正在缓缓滑行.在没有由于车厢运动引起的振动时,你能否判断是旁边那列火车在运动,还是你所乘的这列火车在运动?通常所说的火车开动是相对于地面来说的,因此要回答这个问题,你只能去找一个建筑物,或者一位站立在站台上的服务员,观察一下你自己相对于它或她的位置是否在变动.在其他一些场合也会有类似的经验,如坐在正在跑道上滑行的飞机上,或乘上顺着小溪徐徐漂流的小船,等等.

可见,要描述一个物体的运动,首先要选定某个其他物体(或彼此保持相对静止

的物体群)作为参照物,然后观测物体相对于参照物的位置是否随时间而变动,以及怎样随时间变动.这种被选择用来作为观测参照物的物体或物体群称为**参考系**(Frame of Reference).

在运动学中,参考系的选取原则上是任意的.由上述已知,同一物体是静止还是运动与参考系的选取有关,而且对于同一物体的运动,在不同参考系中的描述也是不同的.例如,一个自由下落的小球,若以地面为参考系观察,它是做直线运动;如果在近旁驶过的车厢内观察,即以行进着的车厢为参考系,则小球做曲线运动.在不同参考系中,对同一物体的运动得出不同的描述,这就是运动相对性的内涵.由于运动描述的相对性,凡是提到运动,都应该弄清它是对哪个参考系而言的.研究运动时,参考系的选择是个重要的问题,选取得当与否,对研究运动的方便与否有很大关系.例如,若以地球为参考系,则对木星等行星的运动的描述就非常复杂,而若选择太阳为参考系,则木星的轨道就是一个椭圆,十分简单.这也是哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543)提出日心说的一个重要理由.

为了定量地描述物体相对于参考系的位置变化,还需要在参考系上建立适当的**坐标系**(Coordinate System).

如果对于选定的参考系,物体是沿一条直线运动的,那么可以该直线作为坐标系的 x 轴,以直线上相对于参考系为静止的某一点作为坐标系的原点(Origin) O . 一般规定,位于原点 O 右方的点的坐标取正值,位于 O 点左方的点的坐标取负值,即以向右作为 x 轴的正向.坐标的长度单位则视需要而定,可取米(m)、千米(km)等等.这就是一维直线坐标系(图 1.3).若物体运动到 A 点,则它的位置坐标 $x_A = 2 \text{ m}$,若物体运动到 B 点,则它的位置坐标 $x_B = -1 \text{ m}$.

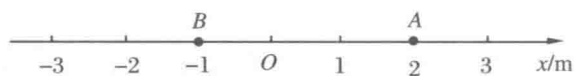


图 1.3 一维直线坐标系

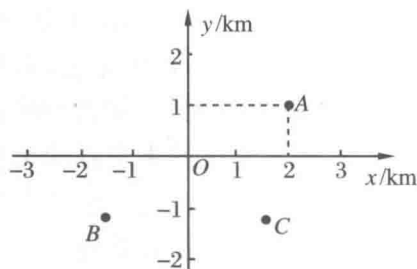


图 1.4 二维平面直角坐标系

如果物体在某一平面上运动,例如小船在湖面上航行,要定量描述船的位置,则可选择作为参考系的岸上的某点为坐标原点 O ,过 O 点引两个互相垂直的**坐标轴**(Coordinate Axis) Ox 和 Oy (图 1.4), Ox 和 Oy 的正方向如图所示,坐标的长度单位仍视需要而定,图 1.4 中选择了千米.这种坐标系叫作**二维平面直角坐标系**.若小船运动到 A 点,则小船的位置坐标为: $x_A = 2 \text{ km}$, $y_A = 1 \text{ km}$; B 、 C 点的位置坐标可用

同样的方法确定.

如果物体的运动不局限在直线或平面上,例如做飞行表演的飞机的运动,要确定它的位置,则需通过参考系上选定的原点 O 引三个互相垂直的坐标轴 Ox 、 Oy 和 Oz ,它们的正方向如图 1.5 所示.坐标的长度单位视需要选定,这种坐标系叫作三维直角坐标系.若飞机飞行到 A 点,则它的位置将需要 x_A 、 y_A 、 z_A 三个坐标值来表示.

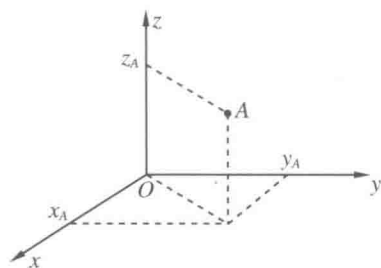


图 1.5 三维直角坐标系

1.1.3 时间 时刻和时间间隔

运动是物体位置随时间的变化,所以仅仅能定量地描述物体的位置是不够的,我们还要了解和描述时间.所谓时间,就是物体运动过程的持续性和顺序性,因此它具有单向性,可以用一条有向直线来表示,称为时间轴,如图 1.6 所示.时间轴上每一个点表示一个时刻.时刻只有先后,没有长短,在时间轴上它是一个个有序的数.先后两个时刻的间隔表示某一物体运动所经历的时间,称为时间间隔.在图 1.6 中,先后两时刻 t_1 和 t_2 的时间间隔为 $\Delta t = t_2 - t_1$,它总是大于零.时间间隔通常也简称为时间.时间轴的长度单位视需要而定,如秒(s)、分(min)、小时(h)等.在国际单位制中,时间的单位是秒.

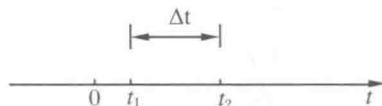


图 1.6 时刻与时间间隔



思考题

1. 在什么条件下可把运动着的汽车视为质点? 乒乓球运动员在分析乒乓球的运动规律时,是否可以把乒乓球当作质点?
2. 平常说的“一江春水向东流”、“飞机的飞行”、“地球的公转”、“钟表的时、分、秒针都在转动”等等是什么物体相对什么参考系的运动? 有时提到物体在运动,但没有指明参考系,是否因为描述这些物体的运动不需要参考系? 举例说明.
3. 公路上有两辆汽车,以相同速度沿着相同的方向行驶.用什么物体作参考系时,它们相对于参考系都是静止的? 用什么物体作参考系时,它们又都是运动着的?
4. “三秒内”、“第三秒末”、“第三秒”的意义各是什么?