

第1章 运动的描述

“段子老师”问答

如果老师说,他略施魔法就可以让全班同学跑到他的身后,你信吗?答案就在这一章。

亚里士多德说:“不了解运动就不了解自然。”什么是运动?怎样定量、准确地描述物体的运动?下面就让我们一起来解决这些问题。

课堂观察

上物理课,首先,要习惯准确地回答“什么是”的问题。什么是运动?不是举例、不是描述,而是要“定义”。

其次,要想一下,从哪里开始思考。

如果我们没有教材、没有参考书,只有老师和学生,老师站在黑板前,会从哪里开始讨论“运动”呢?

这个问题没有标准答案,只要你思考后再去听课,不管老师是否如你所想的那样去展开这节课,对你的听课都会有帮助。

人们常说好老师成就好学生,其实好学生也成就好老师。能默契地忽略老师讲课过程中个别的失误,并始终关注这节课的构思脉络,你会发现大多数老师讲得真的很好。老百姓讲大火里没湿柴,好胃口

没有饭不香,会听课的你会发现你遇到的都是好老师。因此,会听课是一种非常重要的能力。

这一章的思路是:确定物体的位置—度量位置的变化—描述位置变化的快慢—描述“位置变化快慢”这个物理量的变化快慢。

这一章以理解方法、体系、概念为主,有时还插入一些教学感悟,习题不多。

1.1 位置的确定

物理老师上课,通常会举很多例子、看一些视频,然后进行概括。概念、概念,概而念之,概之念也。那么太阳东升西落、坐看云卷云舒,鹰击长空、鱼翔浅底,望穿秋水、静待花开——究竟什么是运动?

普遍地说,一切事物的发展变化都叫运动。力学中所说的运动专指“物体空间位置随时间的变化”,又叫机械运动。我们要注意区别“机械”和“机械运动”,二者没有必然的联系。有生命的一定不是机械,没有生命的也不一定是机械,但它们都可以做“机械运动”。“机械运动”只是一个翻

译问题,原文叫 mechanical motion。它是定义,不是生活俗语,不能那么“机械地”理解机械运动,要注意把物理概念从生活用语中升华出来,转化为专业术语。

1.1.1 谁? 在哪里

要研究物体的运动,首先要确定物体的位置。想象一下,一只小蜜蜂落在黑板上,那你如何告诉我它在哪儿?

如果你的答案是“在黑板上”,那你只答对了三分之一。

黑板是你确定蜜蜂位置的参照物。我们学习物理,一提到运动就要讲参照物。初中讲“没有参照物不能研究物体的运动”;选取不同的参照物,物体的运动情况可能不同。现在我们看到,没有参照物,我们连物体的位置也确定不了,还怎么谈运动?

电影《地心引力》(图 1-1)中讲宇航员从空间站上脱落出去,喃喃自语:“上帝啊,救我。”可是,“我”在哪里呢?



图 1-1

想一想,在浩瀚的宇宙里、在茫茫的大海上、在一望无垠的沙漠中,确定位置是多么重要的一件事。

有同学发现,初中讲参照物,高中讲参考系,有何不同?

初中讲的参照物需要有显著的大小,从而不仅能够判断研究对象离参照物多远,而且能够判断在参照物的哪个方位。并且,这个参照物是不发生形变的物体,从而能够在参照物上建立坐标系。像火星探测器在太空中飞行,简单地说以太阳或者某恒星为参照,那就只能判断探测器距离参照物的远近,而不能判定其在参照物的哪一个方向,这时通常会选择一组恒星建立坐标系来确定探测器的位置。

现在回到开头的问题。老师并没有什么魔法让同学们跑起来,但老师只要一转身,大家是不是就到了老师身后了?

以老师为参考系!

1.1.2 坐标系

那么,蜜蜂在黑板上的哪儿呢? 偏左? 偏上? 要准确描述,可以说它距黑板左边框 $\times\times$ 米,距离黑板下边框 $\times\times$ 米,对吗? 这是什么? 是数学,是坐标系。

建立了坐标系,我们就确定了这只蜜蜂的准确位置。比如,距离黑板左边框 0.3m、距离黑板下边框 0.5m。或者如图 1-2 所示建立坐标系,然后说蜜蜂在 (0.3m, 0.5m) 这一点上。

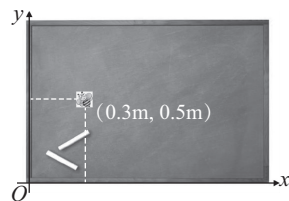


图 1-2

学习感悟

马克思说：“一门学科只有在成功运用数学时，才真正发展并走向成熟。”这是科学与民科非常大的区别。

相对论不是段子里的“相对”，量子纠缠不是两个小玻璃球的纠缠。打比方只能让已经懂了的人听得更明白，不能准确表达全部内涵。所以我们需要数学，实验不光定性，还需要定量。不仅是自然科学，社会科学也在大量运用数学。

“数学是物理学的自然语言”^①，全国高考大纲(2019)对物理能力的要求中就有“应用数学解决物理问题的能力”。与数学紧密结合是物理学科的一个非常鲜明的特点，也是“物理难学”的一个原因。数学与物理真的分不开。

学数学与学物理的人也有互相调侃的许多段子。“段子老师”也加了一个段子：“数学问题的前半部分是物理，物理问题的后半部分是数学。”当然，这只是大概，是浅见。

1.1.3 质点

可是，“到底是这只蜜蜂的前腿在这一点，还是后腿在这一点呢？”大家为什么笑？

再比如我的车坏在半路上了，请求救援。对方问我在哪儿，我该怎么说？在距离××号公路入口30km处。可对方若问我，是你的车前轮在那里，还是后轮在那

里？我生气不？为什么生气？

如图1-3所示，脱离了空间站在太空飘荡的宇航员被地面观测站发现，他在哪里？会不会有人关心，他的胳膊在哪里？腿在哪里？



图 1-3

其实这些就是课本中所说的：“物体的形状大小对所研究问题的影响很小。”这个时候，不论是蜜蜂、汽车，还是宇航员，我们都可以把他们当作一个有质量的点，即“质点”。

但如果我们研究的问题是那只蜜蜂的形态、结构、动作，或者是汽车的外观、性能、是否宽敞、故障所在等，就不能把它们看作一个点了。

质点是一个“具有质量的点”，点多大？它没有大小、没有体积，但竟然有质量。微观世界小小的电子、原子并不是质点，因为没有谁真的没有大小。地球、太阳如此庞大，但我们在研究它们的位置、公转问题时，也可把它们看作质点。

可是，为什么还要保留“质量”这一要素呢？因为我们讨论运动，必然涉及运动状态改变的问题。而运动状态如何改变由

^① 漆安慎，杜婵英.力学[M].北京：高等教育出版社，2005.

力和惯性大小共同决定。受越大的力,物体就越是强烈地要被改变运动状态;惯性越大,物体就越是强烈地想维持现状。而质量是惯性的唯一量度。不谈质量,即使是一个简化到极致的几何点,我们也无法研究怎么改变它的运动。

那么,究竟什么时候可以把物体看作“质点”呢?

课本上说“一个物体能否被看成质点是由问题的性质决定的”。我们可以设置一个“可以看作质点”的默认模式,直到在所研究的问题里,物体的形状、大小无论如何不能不考虑时,再改弦更张。

质点是本章第一个关键概念。

小练习:随手举起身边一件物品,说说什么情况下可以把它看作质点,什么情况下不能把它看作质点。

学习感悟

中学物理学科的概念规律真的很少、也很简单,但“难”在判断什么条件下成立,什么条件下可用。所以同学们需要通过练习去试着做出判断,在“做对”与“做错”的反馈中不断使自己的认识变得清晰准确,达到所谓的“理解”。

质点究竟是怎样一种神奇的存在?它其实只是一个概念上的存在,实际上并不存在。因为它只是个理想化的模型,是为便于问题研究而突出问题的主要方面、忽略次要因素的高度抽象的理想客体。

咬文嚼字

我突然对“物体”这个词产生了兴趣。

依稀记得化学老师谆谆教导过我们区分“物质”“元素”“原子”等概念,区分“物理变化”和“化学变化”,那我们这儿的“物体”和谁做区别呢?要和生活中所说的“物体”区别。

“物体”和“物质”不同,这是显然的,但力学中的物体和生活中的物体一样吗?比如,力学中最常见的说法是“物块”“小球”,而我要把一个人看作物体是否感觉非常冷血?不管你是否漂亮帅气,是否才思敏捷、头脑活跃,甚至不考虑你的呼吸、心跳,你的怒发冲冠、手舞足蹈,你只是一个物体。

当我坐在巨大的鸟巢看台上,关注那个运动员冲在最前面时;当我在警察局巨大的监控屏幕前,看一个嫌犯坐车逃窜时,他们只是质点。我内心对他们的敬佩或仇恨,都不是物理问题。而当我研究那个运动员以什么样的动作最大限度地提高成绩,或者逃犯的身高、体重如何时,他们虽不是质点,但仍然只是个“物体”。“天地不仁,以万物为刍狗”,“段子老师”冷血,视万物为物体。

1.1.4 理想化模型

其实像质点这样的理想化模型初中也学过很多,比如不可伸长、不计质量的轻绳,质量不计的滑轮,不计电阻的导线。再比如“光滑”和“非常光滑”,哪个更光滑?物理概念下的“光滑”是指没有摩擦,“非常光滑”是生活中的表述,实际不可能没有摩擦。从思维方法的角度看,质点是高中物理的第一个关键概念,代表了“理想化模

型”这种思维方法。

所以我觉得,其实物理老师讲的都是现实中不存在的,都是抽象的,凡是用公式算出的都是假的。那我们还有必要学吗?

小明骑自行车去上学,速度为 10km/h ,出发半小时后妈妈发现他的书包忘带了,开车去追,速度为 30km/h ,多长时间能追上?有同学会问:妈妈既然闲着为什么不直接开车送小明上学?车子启动并驶出地库不可能达到 30km/h ;路上有红绿灯吗?堵车吗?追尾了吗?如果总是这种思维方法,世界上就没有可以预测和计算的问题了。

但如果没有“估计”,我们人类还怎么号称万物之灵?地图软件上的导航时间是怎么估算的?物理学首先要做的就是用模型简化实际问题,让它变得“可估计”。

有一个著名的段子调侃书呆子,说一堆人在讨论水滴从 2km 高空落下来会不会砸死人。这时一个“智者”问了句:“孩子们,你们都没淋过雨吗?”非常犀利、非常尖刻、非常讽刺。

但会思考的人如果再细想一下呢?假如不考虑阻力,假如阻力与速度成正比,如果是石块从这么高落下来会怎样?降落伞落下来会怎样?导弹垂直砸下来又会怎样?当我们有了模型,有了分析工具,变了条件,变了对象,我们都可以通过“估算”获得大致的结果。而刚才那位有生活经验的“智者”,只知道雨滴不会砸死人罢了。

科学方法

理想化处理,实际上是忽略自然现象或实验中的次要因素,从而进一步靠近事

物的客观本质。伽利略特别指出:“在科学研究中懂得忽略什么,有时与懂得重视什么同等重要。”科学虽说反映的是客观规律,但其自身必然具有主观性,因为它是自然界的客观事实与人的主观意识相融合的产物,所以科学的最终形式会受认识主体的认知范围、经验和能力所限制。

例如,我们看图 1-4。

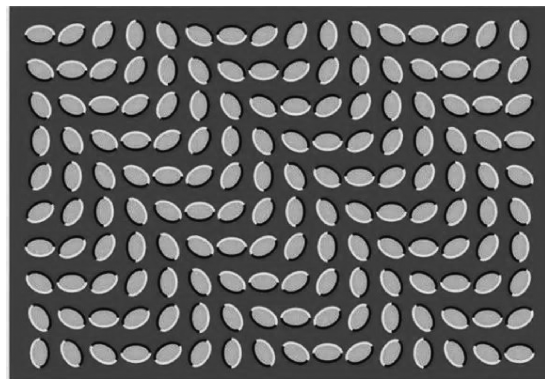


图 1-4

你可能感觉这是一张动图,实际并非如此,试着盯住一片树叶看看。你会发现什么?

诚如珀尔曼(芝加哥大学教授)所言:“主观的、人的成分存在于相互作用过程的较广阔的实在中,确实形成所看的和所想的东西。”马斯洛也英雄所见略同:“科学过去不是、现在不是,并且也不可能是绝对客观的,科学不可能完全独立于人类的价值。而且,科学是否应该努力做到绝对客观而不是人类可能达到的客观,甚至也很值得讨论。”正因如此,一切科学理论都有其局限性、阶段性和适用条件。

物理需要钻研,但不意味着要钻牛角尖。科学无非是在人类之镜中的自然映像,我们可以无限地改善这面镜子,我们可

以消灭自己相继发生错误的原因,但是无论怎样,却永远抹不掉科学的人类属性。从这个角度看,科学始终是人类认识中的自然事实,永远不能等同于真正的自然事实。相反,一味地追求绝对的客观事实很有可能让我们故步自封、寸步难行,反而离事实越来越远。

说了这么多,其实就是想告诉大家一句话:学会“理想化处理”是做物理和学物理的第一步。

在高中物理阶段,对于自然事实的理想化处理通常有对象模型、条件模型、过程模型。大家可以在今后的学习中慢慢体会。

典型问题分析

问题 1-1 研究()时,可以把物体看成质点。

- A. 地球的公转
- B. 蜜蜂翅膀的振动
- C. 人在汽车上的位置
- D. 马拉松运动中的运动员
- E. 在轨道上运动的人造卫星
- F. 火车通过黄河铁路大桥所用的时间

【分析】 这是一个有问题的问题!这些话都不像“话”。

也许对 A、B 选项,我们尚可心领神会,地球可被看作质点,而蜜蜂不能被看作质点。那么 C 选项涉及“人”和“车”两个物体,到底把谁看作质点? D 选项研究的问题是什么? 哪位运动员领先? 还是教练在看动作是否规范? 同理,对于 E 选项,是研究卫星轨道的高低和周期大小,还是研究卫星的工作姿态? F 选项的问题在于火车、大

桥与运动距离相比并不是很小。但此时,火车上各点的运动情况完全相同,所以我们可以忽略火车上各部分的运动差异,而用一个点(如车前端)的运动代替整列列车的运动,只不过为了计算时间,这个点运动的距离应该是车长加桥长,如图 1-5 所示。

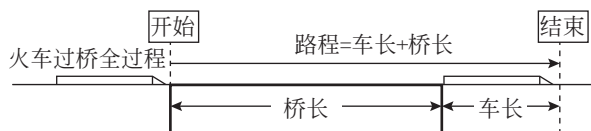


图 1-5

以此题为例,有时候大家在争论一个问题时,分歧常来自问题的描述不是很清楚准确,这时首先要形成的共识是“我们在争论的问题是什么”,而不是加大音量重复自己对问题的理解。相应地,当我们遇到学习困难时,也要顺着“问题是什么、卡点在哪里”思考,明白了哪里不会,其实离“会”也就不远了。而有些问题,可能确实是题目的表述含糊,那也就不用纠结了。

老师命题需要注意尽量避免歧义,咱们做题时遇到也不必太纠结,高考题从来没出过这样含糊不清的考题。解决问题的第一步应该是准确理解问题。如果问题的描述不清楚,就无法作答。比如课本上第一节练习的第一题,问法就比较科学:“两个运动的物体:一个是被球拍击出的乒乓球,另一个是正在飞行的歼 20 隐形战斗机。

请你为乒乓球和战斗机各创设两个问题,一个问题中可以把它(乒乓球或战斗机)看成质点;另一个问题中不能把它看成质点。”

问题 1-2 一条小船在河水中逆流而上。某时刻,船上的一个游泳圈掉落在水

中,10 分钟后船上的人才发现,便立刻调头返回寻找。问:需要多长时间才能找到?为解决此问题需做哪些理想化的假设?

【分析】 下面先采用一个“标准方法”。设水速是恒定的,为 v_1 ,船相对水的速度为 v_2 (即静水速度),这个 10 分钟记为 t 。

逆流而上的 t 时间内,相对地面参考系,船向上游逆水运动的实际速度为 $v_2 - v_1$,船相对地面向上游运动的距离为 $(v_2 - v_1)t$,游泳圈顺水向下游运动的距离为 $v_1 t$,于是船对相对游泳圈运动的距离 $s_1 = (v_2 - v_1)t + v_1 t = v_2 t$ 。

设船从调头至找到游泳圈的时间为 t_1 。此时间内,相对地面参考系,船向下游顺水运动的速度为 $v_2 + v_1$, t_1 时间内船向下游运动的距离为 $(v_2 + v_1)t_1$,游泳圈向下游运动的距离为 $v_1 t_1$,船相对游泳圈运动的距离 $s_2 = (v_2 + v_1)t_1 - v_1 t_1 = v_2 t_1$,如图 1-6 所示。

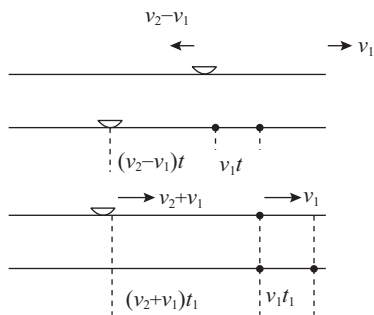


图 1-6

s_1 必然等于 s_2 ,所以找到游泳圈的时间 $t_1 = t = 10$ 分钟,竟然与水流速度无关!

这个巧合的背后有什么道理吗? 如果以河水为参考系,那游泳圈相对河水是静止不动的,而相对河水,船向上游运动和向下游运动的距离是一样的,且船的静水速

度大小不变,所以一去一回的时间当然一样啊!

许多同学很难想象以水为参考系。那我们换一个场景。设一个人在高铁上向车尾运动,某时刻钥匙掉在车厢地板上了,10 分钟后他发现钥匙不见了,然后立即调头以原速往回走,多长时间能找到钥匙?答案当然也是 10 分钟,与车速快慢没有关系。

现在我们来看看求解这个题目时在哪儿做了理想化的处理。

为什么出题人让游泳圈(还有的题目中是草帽)落水而不是宝剑呢? 游泳圈和草帽的共性是能浮在水面上,并且落水后可默认它将立即与水流具有相同的速度。

此外,游泳圈或草帽的尺寸显然远小于船在 10 分钟内的行程,所以可将其当作质点。

解题过程中我们默认小船始终匀速运动,因此它减速、调头、再加速的时间浪费被忽略了。我们也没有考虑河道宽窄的问题,默认小船始终走直线而不会迂回。

再进一步,其实这个题目的题干并没有提到水流速度不变,我们之前为了方便计算强行将水流简化为匀速运动。而如果直接采取“更换参考系”的思路,我们会立刻发现,河水是否匀速流动对问题的答案是没有影响的。

中学习题中遇到的大多数河水都是以这样一种时时、处处速度一样的方式流动,没有旋涡、没有浪花。我们可以把河水看作一块长长的匀速滑动的冰、一条玻璃的传送带,或者一辆列车的透明地板。

1.2 位置的变化

我们经常在影视剧中看到,主人公在昏迷很久后醒来,首先想到的是“我在哪里,我睡了多久,现在什么时间”。

确定时间与位置,对研究物体的运动非常重要。

什么是时间呢?当我们深刻地想下去,会发现这很难定义。同学们暂时不要纠结“时间的概念到底是什么”。

1.2.1 时间(间隔)与时刻

“段子老师”问答

2005年和2006年出生的同学,可能差几岁?

记录时间首先要找到一个周期性事件,比如古代历法家观察月相变化,或者利用沙漏、滴水、单摆等。现在我们普遍采用钟表计时。石英钟内部的计时周期是压电石英晶片的振荡周期,它每秒振荡14 318 180次。

“天地四方曰宇,古往今来曰宙。”斗转星移,日月轮回,都是稳定的周期性自然现象,据此我们可以规定年、月、日、时辰等。现在国际社会采用严谨的规定:1秒为“铯-133原子基态的两个超精细能级间跃迁对应辐射的9 192 631 770个周期的持续时间”。

我们不妨先搁置对“秒的定义”的求索,用别人已经规定好的由过去指向未来均匀流淌的时间轴来标志时间。

但仍有问题。

比如考场上有学生忘了戴表,问监考老师“麻烦看一下时间”。老师是回答几点几分,还是直接告诉学生,距离考试结束还有多久呢?这两个“时间”显然不一样,前者在时间轴上是一个点,称为“时刻”;后者是一段间隔,简称时间。

在实际语言环境中,我们经常要结合上下文才能准确理解。“火车时刻表”用词就非常准确,而“作息时间表”就有点不妥。6:30起床、7:00早饭,不可能是起床用了六个半小时,也不可能在那一刻完成起床的所有步骤,那这里的数字是什么?是从6:30那一刻开始进行睁眼、坐起、穿衣、洗漱等一系列行为,并在7:00这一时刻前完成。

误会、吵架甚至打官司,争论往往就在于对某一词、某一句话理解的不一致。比如诸葛亮把铜雀台赋中的“连二桥(两座桥)于东南兮”改成“揽二乔(大小乔,分别是孙策和周瑜的老婆)于东南兮”,以此来激怒周瑜。可见表述清晰在生活中多么重要。回头看,“现在什么时间”问的是时刻,而“睡了多久”问的是时间。

至于前几秒、第几秒、几秒初、几秒末的问题,试试把“秒”换成“天”就不容易混淆了。比如,星期二晚上十二点到星期三早上零点,你干什么了?这就是同一时刻啊!

所以,2006年生的孩子和2007年生的孩子,最多相差730天(一位2006年1月1日0:00出生,一位2007年12月31日24:00出生),最少相差无几,差不多同时出生。

到目前为止,我们已经解决了描述“何时”“何地”的问题,位置是三维空间中的一组坐标,时刻是时间轴上的一个点。

1.2.2 位置变化的定量描述: 位移与路程

“段子老师”问答

一个人听说某海岛上的人都有三只眼睛,于是想去抓一些人回来供人们参观,最可能发生什么结果?

现在人们已经习惯用地图导航,大家有没有注意到,搜索一个地方时显示的距离和开始导航后显示的距离不一样?如图1-7(a)是在地图上搜索从“我的位置”到“人民英雄纪念碑”的结果,显示距离为10.5公里,而图1-7(b)是导航显示的车程。



图 1-7

图1-8所示是天安门广场附近的地图。假如我是个“路盲”,看完升国旗之后打车到国家大剧院,司机沿图示线路走,到达目

的地后让我“携带好随身物品按计价器显示金额付费30元”,而我抬头一看,从上车到下车的直线距离仅500米,我当然不满意,于是一场争吵不可避免,所以我和出租车司机各自都“据理”力争。



图 1-8

课本上举的例子是北京到重庆。不同的交通方式,甚至同一种交通方式选择不同的路线,所走的距离是不一样的。但这个“距离”的含义相当含糊。直线距离和实际运动的距离并不一样。

大家已经知道我在说什么了,是位移和路程的区别。

位移的定义是什么呢?是“从初位置指向末位置的有向线段”。

“位移”是高中物理的第二个关键概念,是一个开辟性的“另类”概念:不是直线,不是射线,是线段。但“有向线段”是什么?这个物理量是有方向的。

如果你想买1千克苹果,“1千克”朝什么方向?今天天气很热,“37摄氏度”朝什么方向?扯了2尺红头绳,“2尺”朝什么方向?但位移为什么是有方向的?因为方向不同的两个位移就算远近相同,也是绝对不一样的。比如我们想给足球机器人下“移动5m”的指令,它该怎么执行?

物理老师非常客观理性,所谓另类,其实只是“另一类”。所以别人说我另类,我也觉得没关系,因为他们是“另一类”。但

另一类也得“成类”“类聚”。那么,谁会 and 位移属于一类? 关键看它有什么特点。

位移这个物理量的特点就是不仅有大小,而且有方向。力有这样的特点,速度有这样的特点,以后还会发现更多的物理量也有这样的特点。这类物理量叫作“矢量”,是有方向的量。“矢”这个字用得非常好,矢指的是“箭簇”,就是箭的头。用箭头表示方向非常贴切。相应地,只有大小没有方向的质量、温度、路程、面积、体积、密度等物理量叫作“标量”。

在我的课堂上,常有学生问,电流强度也有大小、有方向,那“电流强度”是不是矢量。关于这个问题,我们先邀请“矢量社团”现有的基本成员“力”“位移”“速度”来讨论一下。

如图 1-9 所示,在一个平面上,物体从

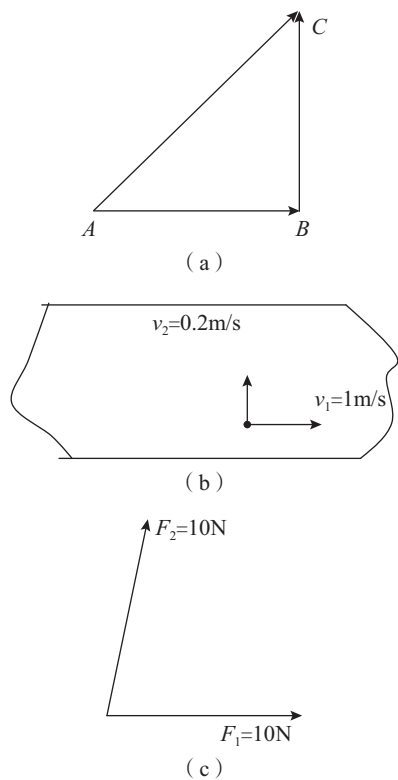


图 1-9

A 运动到 B 的位移是 5m,方向从 A 到 B,记为 AB,接着发生位移 BC,也是 5m,方向从 B 指向 C,那么总位移 AC 多大? 反正不是 10m。桌子上有一张纸,纸沿 x 轴向正方向以 1m/s 的速度运动,一个小虫子在纸上沿 y 轴以 0.2m/s 的速度爬行,虫子对桌子的速度为多大? 反正也不是 1.2m/s 。光滑水平面上有一个物体,受一个水平力 10N ,又受另一个水平力 10N ,总效果相当于受 20N 的力吗? 未必。把两个矢量“加”在一起的操作叫作矢量合成,具体的规律大家可以慢慢感悟,但绝不会是简单的数量相加。

电流是什么情况呢? 如图 1-10 所示,两个支路分别有 $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = 2\text{A}$,无论这两线夹角如何, $I_{\text{总}}$ 必然是 3A ,可以设计一个简单电路测量一下电流。

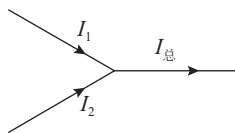


图 1-10

再比如有人认为时间也是矢量,因为它“从过去指向未来”。试试一天加一天竟然不等于两天?

可见,“矢量”这一类物理量的基本特征除有大小、有方向外,其相加、相减的规则也与标量不同。

在一些参考书中还会出现“位矢”,即“位置矢量”,指的是从坐标原点到物体所在的点的矢量,这个问题只需想想下面的例子即可明白。

有一特战队员潜伏在丛林中,突然其战友发现他附近有敌人狙击手,怎么告诉