

第二章 如何描述运动

学习要点及目录

1. 了解亚里士多德物理学关于运动的常识性看法。
2. 了解和掌握惯性定律的物理意义。
3. 掌握描述运动的物理量及具体应用。
4. 了解如何描述两种常见的运动：落体运动和抛体运动。

核心概念

亚里士多德物理学 速率 速度 加速度 惯性 合力 落体运动 抛体运动



引导案例

百米赛跑

百米赛跑是田径体育运动中最古老的运动之一，生理学、生物化学的理论认为百米赛跑是由无氧代谢方式提供能量的高强度工作项目。短跑要求全身配合，灵活性高和反应快。历届奥运会百米赛跑成绩都是在 10 秒左右的时间里完成。比赛开始时，参赛选手蹲在同一条起跑线前，直到选手冲过终点线结束，比赛成绩由计时员的计时器记录。在比赛过程中参赛选手的运动状态都是什么样的？能够预测每位参赛选手的比赛成绩吗？选手应该采取的策略是什么？哪些因素起决定性作用？通过对运动的描述可以回答上述一系列问题。



案例导学

当你是孩童时，可曾松开手，让玩具一次次掉下，并观察它的下落？在身边找一些小东西，比如一支圆珠笔和一张纸，把它们放在离地面同一高度后同时松手。那么，如何描述这些物体的运动呢？要想了解自然界，首先必须细心地观察它。如果控制了观察的条件，那么接下来所做的就是设计一个实验，通过实验来验证各种想法并进而解释自然界的运动。

一旦利用上述步骤，其实就是在使用科学方法。首先通过观察提出问题，然后设计实验以检查提出的假说。接着对现实条件设计模型，突出主要因素，忽略次要因素，一次只考虑一个变量来限制研究范围，这也是伽利略最早提出的科学认知实践过程。日常生活中人们也是在向经验和理性思维学习，这可使科学本身强劲有力，并经得起时间的考验。



第一节 亚里士多德论运动

一、对运动常识性的看法

公元前 3 世纪，古希腊最杰出的哲学家和科学家亚里士多德试图通过分类来弄清运动到底是什么规律。他认为世界本源由两种不同的实体组成，其一是地球上的物体，由土、木、气、火四种元素所组成，有重量且会腐朽，并有各自天然的位置。其二是天上的东西，由没有重量、不会腐朽、透明的以太所组成。据此他提出地球上物体的运动可以分为两类：一类是自然运动。物体向上或向下运动时无须借助其他帮助即可维持，为了达到自己的正常静止状态而做自然运动。例如，松开手向下落的一块石头，在没有明显其他帮助的情况下向地面落下。水向低处流、火苗上飘等都属于自然运动。另一类是强迫运动，物体在水平方向运动时必须借助外力的推动才能运动。例如水平抛出的石头和马拉车等，必须有外力推或拉才可以运动，否则会继续保持静止。天上物体的运动不同于地上物体的运动，属于天体运动。

亚里士多德的物理学符合人们的直觉，他的运动理论确实能解释相当大范围的观察结果，得到了广泛的认可。人们的确看到，石头自然下落，水平运动的小车需要外力推动，天上的运动和地上的运动大不相同。亚里士多德从对经验的考察中试图找出运动的本性和原因。上述观念也称为亚里士多德物理学。

小贴士

亚里士多德

在公元前 6 世纪到公元前 5 世纪是世界文明史上思辨的黄金时代，古希腊诞生了三位伟大的思想家：苏格拉底、柏拉图和亚里士多德，被称为希腊三圣，相当于东方的孔子。亚里士多德(公元前 384—公元前 322)是古希腊哲学家、科学家和教育学家，亚里士多德生活的年代相当于中国春秋战国时代的末期。他的父亲是一名医生，服务于马其顿国王。17 岁时，他进入柏拉图学院，在那里工作了 20 年，直至柏拉图去世。后来他成为年轻的亚历山大大帝的导师，再之后他建立了自己的学校，首次将哲学和科学区别开来。在名画《雅典学院》中，亚里士多德右手掌向下，表示他研究现实世界。柏拉图右手手指向上，表示世间一切都来源于上苍的指令。这两个对立的手势表达了他们思想上的分歧。亚里士多德最重要的思想成就之一，是提出关于天、地运动的理论，这一理论影响了后世长达两千年之久。

亚里士多德抛开单纯的抽象思维的哲学方法，开始以观察实验为依据，总结科学规律。有人曾经质问亚里士多德：“你与平庸的人的区别在哪里？”亚里士多德巧妙地回答：“庸人活着是为了吃饭，我吃饭是为了活着。”他活着并不是为了物质口福之愉，而是为了探索自然，发展物理学，以穷世间万物之理。

二、亚里士多德物理学的局限性

亚里士多德关于运动的陈述是科学思想的开端，在之后的 2000 年里人们都默认物体的正常状态是静止。伽利略是第一个通过观察和实验提供有力的反证来驳斥亚里士多德的落体假说的科学家。其实你自己现在就可以用一个简单的实验来证明是否可以用亚里士多德理论来解释。扔一张纸到地上，然后把同一张纸揉成一团再以同一力度扔到地上，哪种情况下纸落得更快呢？肯定是后者。但按照亚里士多德理论，两者重量相等，下落速度应该相同才是。再来回顾一下亚里士多德对地上物体强迫运动的概念，例如弯弓射出一支箭，箭在弓弦的作用下离开弓弦，在这之后，箭要在空中平行飞行一段时间后停止。在箭离开弓弦飞行的这段时间里，是什么在强迫箭运动呢？亚里士多德理论很难解释这个事实。

现在知道，是由于空气阻力，使一张纸下落得比较慢。运动总是包含有阻力的介质，比如空气或水，但由于当时生产力水平低下，没有适当的仪器设备可以认识和排除摩擦和空气阻力等无处不在的干扰。亚里士多德关于运动的论点，看起来与经验没有明显的矛盾，因此长期以来没有人怀疑。之后在欧洲文艺复兴运动的冲击下，思想得到解放，伽利略和其他科学家开始发现，若没有外力，物体将一直保持直线匀速运动或者静止状态，即运动惯性。



引导案例

克山病

1935 年，在我国黑龙江省克山县首先发现一种心肌病变，命名为克山病。之后发现这种病主要发生在我国从东北到西南的狭长地带内。克山病有流行病特点，即地区、集结及人群发病，没有人知道真正的病因到底是什么。到了 20 世纪 80 年代初期，联合国发展署为了帮助中国攻克克山病，送给中国政府一种能够分析环境中微量元素的仪器。科学家分析结果表明，克山病高发区的土壤中硒的含量很低。于是中国政府开始对这些克山病高发区的老百姓补硒，直到 1986 年，克山病几乎全部消失了。病因找到了，原来是由于病区水土中微量元素硒缺失引起代谢紊乱，而导致心肌损伤。

但是，又有科学家去了大理和楚雄作调研，发现那里的土壤和水系中含硒量很高，但当年那两个地区照样有克山病。原来，当年云南很穷，得病的人是因为营养不良，之后生活条件好了，当地的人们可以吃饱饭了，克山病也就自然消失了。

从上述事件中可以总结出以下三点。第一，相关性研究有很多陷阱，直觉会引导人们朝着错误的方向前进。第二，新发现来自新技术的应用。例如联合国提供的环境微量元素测量设备，有了这个新技术就发现了硒理论。第三，相关性研究若采样范围广泛、数据足够大，则也会转变为因果关系。克山病与硒有关的结论是因为采样范围不够广泛造成。因此科学思维只有和实验研究精密结合，才能为认识自然找到一条正确的道路。



第二节 惯性定律

一、中世纪的认识

在中国古代，人们虽然对惯性的概念认识得不太深刻，但对于物体具有惯性并表现出来的一些现象，却早有了解。先秦时期，人们从生活经验得知，静止的物体不会无缘无故地动起来，《吕氏春秋·论威》中说：“物莫之能动。”人们还注意到，“马力既竭，辀犹能一取焉”（出自《考工记·辀》），即马拉着车前进，马累得不走了停下来了，车还能继续前进一段距离。这些记载是关于惯性现象的描述，尽管离总结出惯性定律还十分遥远，但在距今约 2500 年前的春秋战国时期，能够观察并记载惯性现象，是件很不容易的事。

亚里士多德认为，物体只有在外力作用下，才会保持运动，一旦外力停止，物体就会停下来。对于射出去的箭，之所以箭在离开弓弦后还会继续运动，亚里士多德解释说，是因为弓弦在对箭用力的同时也使靠近箭附近的空气运动，在空中，空气继续对箭作用使箭继续飞行。既然如此，人们不禁要问，空气对运动的物体也会有阻力作用，那么为什么有时推力大于阻力，有时阻力大于推力呢？

公元 6 世纪希腊学者菲洛彭诺斯(J. Philoponus) 曾经对亚里士多德的运动说提出了怀疑。他认为抛体本身具有某种动力，推动自身前进，直到耗尽才停止运动。这种观点由英国牛津大学的威廉(William Ockham)继续深入研究，他提出物体的运动并不需要外来推力，一旦运动就会永远运动下去。

巴黎大学校长布里丹(F. Buridan) 也反对亚里士多德的运动说。对于抛体运动中亚里士多德的解释，他反问道，空气又是受什么东西推动的呢？他又举出标枪的例子，假设有两支标枪，一支两头都是尖的，另一支一头是尖的，一头是钝的。但在投掷过程中并没有发现两头尖的标枪比一头尖一头钝的标枪运动得更快。这些都说明亚里士多德对于“空气持续推动抛体”的理论无法解释事实。他提出“冲力理论”，即推动者在推动一个物体运动时，会对它施加某种冲力。这些关于运动的早期工作为伽利略和牛顿的研究开辟了新的道路。

伽利略提出如果运动物体不受干扰，则不需要任何形式的外力，都会一直保持直线运动。他用各种物体在多种不同倾角的斜面上运动的实验来验证他的假说。他注意到，球在向下倾斜的斜面上运动速度增加，在向上倾斜的斜面上运动速度减小。由此推断，球在水平面滚动，若没有导致减速的外力作用(比如摩擦力)，则速度不变。物体具有这种抗拒变化的属性叫作运动惯性。伽利略认为，与逻辑推理相比，动手实验是检验知识的最好方法。但是伽利略的直线运动仅限于水平运动，并没有全面表述惯性定理。

二、笛卡儿的认识

伽利略上述的想法其实包含一个极端理想化的假设，假设你能摆脱摩擦和空气阻力以

及重力的影响。这种情况其实是不容易想象的,因为阻力和重力无处不在。法国哲学家和科学家笛卡儿是最早想象摩擦阻力及重力不存在并理解其后果的人。笛卡儿认为,若没有重力和摩擦力及空气阻力,物体将保持其运动状态而无须外界帮助。也就是说,原来静止的物体仍然会保持静止。例如一个悬在半空的球,把绳子剪断,若没有重力,则球会悬浮在半空,这是一个奇怪且有悖于直觉的想法。人们的直觉是,要让物体保持运动,就必须有外力作用在上面。科学家用惯性这个专有名词来表示物体保持其运动状态的倾向。1644年,笛卡儿在《哲学原理》中明确提出物体将永远保持其静止或直线运动状态,直到有外力的作用才改变。笛卡儿虽然是最早完整表达惯性原理的科学前辈,但他也有不足之处,他完全从哲学的角度来考虑这个问题,且把这一切归因于上帝的安排。

小贴士

笛 卡 儿

勒内·笛卡儿(Rene Descartes, 1596–1650)是法国哲学家、物理学家、数学家和神学家。他出生在一个贵族家庭,小的时候体弱多病,允许在床上读书,他从小养成了喜欢安静、善于思考的习惯。1616年他遵从父亲对他的期望,进入普瓦捷大学学习法律和医学,获得了学士学位。毕业后笛卡儿一直对职业选择不定,游历各地以求世界这本大书中的智慧。笛卡儿被广泛认为是西方现代哲学的奠基人,他第一个创立了一套完整的哲学体系。“我思故我在”,是笛卡儿的名言。笛卡儿依靠天才的直觉和严密的数学推理,在物理学方面作出很多贡献。他发展了伽利略的运动相对性原理,第一次明确提出动量守恒定律。

笛卡儿有一段爱情故事,他在瑞典时认识一个小公国18岁的小公主克里斯蒂娜,并成为她的数学老师,彼此日久生情。但公主的父亲国王不同意,把笛卡儿流放回法国。笛卡儿坚持给公主写信,总是被国王拦截,第十三封信里只有一个公式,国王觉得这不是情书就把信转交给公主,公主看后,立即把方程的图形画出来,是一个心形,这就是著名的心形线,她非常高兴,知道笛卡儿仍然爱着她。

三、惯性定律的概述

惯性定律也常常被称为牛顿第一定律,虽然发现它是笛卡儿。这是因为牛顿把惯性定律列为他关于运动的基本原理中的第一个。真正明确提出惯性定律的是牛顿,经过一番曲折,牛顿在1686年撰写《自然哲学的数学原理》时,将惯性定律作为第一原理正式提出,称为牛顿第一定律。

不受外界影响(也叫外力)作用的物体,若本来静止则将继续保持静止,若本来运动将继续保持匀速直线运动。一切物体都有惯性。

惯性不是某一种力,它是所有物体抵抗运动变化的性质,也可以将惯性想象为另一个词——惰性(或抗拒变化)。如果观察在气垫上沿水平方向滑动的物体,就可以对惯性定律有非常直观的感受。选择水平方向是为了消除竖直方向上地球对物体的重力影响,气垫上



滑行是为了消除摩擦因素。如果用高速照相机拍摄等时间间隔时物体的运动,对照气垫边的尺子,可以发现,物体在每两次拍照的时间间隔中移动了相同的距离,也即物体以不变的速率做直线运动。若是再仔细并精确地测量,会发现物体的运动速率会稍微变慢,但也足够接近伽利略所述的理想状态。

如何来证明惯性定律呢?地球以外的外层空间可以提供很好的例子。外层空间中大气层非常稀薄,可以近似忽略空气阻力,当宇航员飞向月球时,飞船的发动机先把他们向上推入环绕地球的轨道,再推动他们离开环绕地球的轨道并飞向月球,在外层空间中关闭发动机,靠惯性滑行到达月球。

生活中也有很多类似的例子,比如玻璃杯上面放一个光滑的平板,平板上放一个鸡蛋,当把平板迅速弹出时,静止的鸡蛋保持静止状态,自然会掉入杯中。用温度计测完体温后,一般管内的液体不会自动流回,要用很大的力气去甩温度计,液体才会因惯性下降。有时走在路上,脚不小心被凸起的东西绊了一下,身体由于惯性前倾并摔倒,也是惯性定律的表现。



案例导学

魔术师会用桌布来变各种戏法,桌子上放满了陶瓷餐具以及一杯盛满酒的酒杯。魔术师说完托词后,把桌布从桌子上迅速撤掉,桌上的餐具及酒杯纹丝不动。但是你在家试图做同样的事情时,得到的结果却截然不同。为什么呢?

分析:这个戏法在物理课上可以作为演示惯性的演示实验。道具和演示手法是关键。表演者一定要非常快速地拉动这块布。如果慢慢拉,桌布的摩擦力会让桌上的餐具和杯子随桌布一起运动。惯性是一个物体(与其质量有关)抵抗改变其运动状态的一种倾向。当物体静止时,不受外力作用下仍然静止。如果把桌布拉得非常快,摩擦力只在很短的时间内对餐具起作用,一旦桌布离开餐具,摩擦力对餐具的作用可使餐具的速度下降,这样餐具基本留在原处不动。

结论:慢慢拉动桌布,餐具将和桌布一起运动,快速拉桌布,物体的惯性可使其保持原地不动。因此适当地练习是必不可少的,魔术师玩的大部分把戏都需要道具及手法的配合才能成功。

你也可以做一个简单的练习,在桌子上放一张光滑的 A4 纸,纸上放一支钢笔,轻轻将 A4 纸的一端拉到桌子边,并猛地把纸拉出来,你会发现,由于惯性钢笔没跟着纸一起运动,而是几乎留在原处。

第三节 描述运动的物理量

一、位置

飞机在高空航行时,地面监测中心会实时监测它在每一时刻的空间位置、运动快慢和

方向以及运动快慢的变化程度。这样就能全面掌握飞机在航行中的整个运动状况,确保飞机安全、准时地完成飞行任务。因此要描述物体的运动,也应该从运动的这三个方面来引入相应的物理量。

每年的夏末秋初,我国一些沿海城市就会经常在电视、广播及网络上收到气象部门对台风的预报消息。比如,有一则台风过境的预报是这样说的:台风“天鸽”于今天上午 10 点登陆,其中心位置位于广东省珠海市东南方向大约 620 公里的南海东北部海面上。这则消息给出有关台风的两条信息:第一,以珠海市为参考点的东南方向;第二,距离珠海市 620 公里。据此就可以知道台风在当时的位置。

这样看来,选定了参考系之后(一般选地面),以参考点为坐标原点,画一条有向线段来表示运动物体在空间的位置(如图 2.1 所示)。这条有向线段称为位置矢量(用 $\vec{r}$ 表示),其大小就是有向线段的长度,方向是从参考点出发,指向物体所在位置有向线段的方向。物体在运动时,其位置是随时间的变化而变化的,任意时刻有唯一的位置矢量与其一一对应。物体的位置矢量随时间变化的数学表达式称为物体的运动方程。显然,运动方程 $\vec{r}(t)$ 中的时间 t 是参数,从运动方程中消去时间参数 t 即可得到运动的轨迹方程。知道了物体的运动方程,就可以确定物体在任一时刻的位置,自然也就知道了物体运动的轨迹。

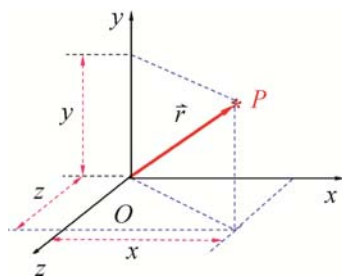


图 2.1 位置矢量示意

小贴士

参 考 系

物体的机械运动是指它的位置随时间的改变而改变的运动。但是,位置总是相对的,或者说,任何物体的位置总是相对于其他物体来确定的。这个其他物体就叫作确定物体位置时用的参考系。比如确定一辆汽车的位置时,总是用固定在地面上的一些物体,如路牌或者房子来作参考系。

经验告诉我们,相对于不同的参考系,同一物体的同一运动会表现为不同的形式。例如站在公共汽车上的乘客,相对汽车来说,或者说以汽车为参考系,他是静止的。但是如果以地面作为参考系,他是跟着汽车一起运动的。这种物体的运动形式会随着参考系的不同而不同,称为运动的相对性。由于运动的相对性,当描述一个物体的运动状态时,就必须指明是相对于什么参考系的。

一般来说,要研究物体在地面上的运动,可选择地面或地面上静止的物体作为参考系。要研究宇宙飞船的运动,当运载火箭刚刚发射时,一般选地面作为参考系。当宇宙飞船绕太阳运动时,常选太阳作为参考系。从运动的描述来说,参考系的选择可以是任意的,主要视问题的性质和研究的方便而定。

确定了参考系之后,为了定量地说明一个物体相对于此参考系的空间位置,就必须在此参考系上建立固定的坐标系。最常用的参考系是直角坐标系,也被称为笛卡儿坐标



系。这种坐标系是以参考系上一点为坐标系的坐标原点，从原点沿三个相互垂直的方向引三条固定在参考系上的直线作为坐标轴。在这样的坐标系中，一个质点在任意时刻的空间位置，就可以用三个坐标值来表示。

要了解物体的运动，不仅要知道任一时刻物体所在的位置，还需知道位置随时间变化的情况。假设在 t 时刻，物体位于 A 点，其位置矢量为 $\vec{r}_A$ ，经过一段时间后，物体位于 B 点，其位置矢量为 $\vec{r}_B$ 。在这个过程中物体位置的变化量 $\Delta \vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ ，称为位移矢量，简称位移(如图 2.2 所示)。如果所选取的参考点不同，则位置矢量也不同，但位移不会变。值得注意的是，物体的位移和路程是两个不同的概念，路程指物体实际所经过的路径长度。例如，一个物体沿直线从 A 点运动到了 B 点又按原路返回 A 点，在这个过程中，物体走过的路程等于 A、B 之间距离的两倍，而物体位置没有变化，因此位移为零。

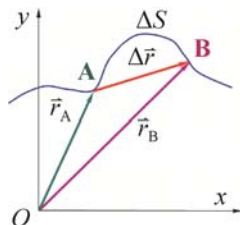


图 2.2 位移矢量示意

矢量是既有大小又有方向的量，用矢量来表示位置的优点是，给定了参考系后，矢量与选择的坐标系的形式无关，便于作一般性的定义陈述和关系式推导。在具体计算时，可以根据问题的特点选取合适的坐标系以方便计算。

小贴士

空间和时间

要在一定的参考系中定量地描述物体的运动，需要空间和时间两个物理量。人们对于空间和时间概念的形成，起源于自己对周围物质世界和物质运动的直觉。空间反映了物质的广延性，是与物体的体积及其变化联系在一起。时间反映物质运动的持续性和顺序性，持续性是指物质运动经历的或长或短的过程，顺序性是指物质运动过程中的不同事物或现象出现的先后顺序，时间是不可逆的，一维的。早在我国春秋战国时代，由墨翟(即墨子)创立的墨家学派就对空间和时间的概念有过深刻而明确的阐释。《墨经》中说：“宇，弥异所也。”“久，弥异时也。”此处的“宇”即空间，“久”即时间。大意是说，空间是一切不同位置的概括和抽象；时间是一切不同时刻的概括和抽象。在现代自然科学形成之前 2000 多年，有这样深刻的见解，是很了不起的。

在自然科学的创始和形成时代，关于空间和时间有两种代表性的看法，莱布尼茨(G. W. Leibniz)认为空间和时间是物质上下左右的排列形式和先后久暂的持续形式，没有具体的物质和物质的运动就没有空间和时间。和莱布尼茨的观点不同，牛顿认为空间和时间是不依赖于物质的独立而客观存在的。莱布尼茨强调空间和时间与物质运动的联系而忽视了其客观性，牛顿认可空间和时间的客观性却忽视了两者与物质运动之间的联系。随着科学的进步，人类的时空观经历了从牛顿绝对时空观到爱因斯坦相对论时空观的转变，从时空有限与无限的哲学思辨到可以用科学的方法来探索的阶段。现今更多的人已经意识到，在地面上描述宏观低速物体的运动时，空间和时间独立于物质和物质运动的

客观存在是近似精确的，但在描述高速运动的物体时，会发现空间和时间以及物质与物质的运动是密切相关的。

就目前所知，在人类已研究的领域里，宇宙各种事物的空间尺度和时间尺度都是跨越了 43 个数量级。人类选择了与自身大小相适应的“米(m)”作为长度的基本单位。从这里出发推到大尺度的领域里去看看。最大的动物也就是鲸鱼体长数十米，最大的植物(红杉树)高达百米以上，最高的珠穆朗玛峰高 8.84 千米，最深的马里亚纳海沟深 11.022 千米，地球半径 6371 千米，再往远处看银河系以及宇宙，则能够观测的极限是 10^{27} 米。现在向小尺寸的领域里进军，首先遇到的是生物界，最小的哺乳动物和鸟类，体长不到 10 厘米，细菌的直径约 10^{-5} 米。继续向物质结构的深层次去看，原子的线度为 10^{-10} 米，直到最小的微观尺度为 10^{-28} 米。

现代的标准宇宙模型告诉我们，宇宙是大约在 10^{10} 年前的一次大爆炸中诞生的，若用秒来表示，宇宙的年龄具有 10^{18} 秒，地球的年龄是 4.6×10^9 年，即 10^{17} 秒，人类文明的历史只有 5000 年，即 10^{11} 秒，人的寿命通常不到 100 年，即 10^{10} 秒，百米赛跑的世界纪录约 10 秒，微观粒子 Z0 的寿命最短，是 10^{-25} 秒。根据已知的物理理论，极端的空间和时间间隔为普朗克长度 10^{-35} 米和普朗克时间 10^{-43} 秒，也就是说，小于普朗克时空间隔时，空间和时间的概念就不再适用了。

二、速度

在伽利略之前的时代，人们只用简单的“快”或“慢”来描述物体的运动。为了清楚地理解运动的概念，既需要定性的思考也需要定量的数值方法。要描述运动，只需要两个量：距离和时间。例如，从你开始步行时计时，30 分钟后走了 1500 米。那么，怎么用这些数据来描述你运动得多快呢？可以用速率来表示。伽利略被认为是第一个用物体经过的距离除以花费的时间来测量速率的人，他定义速率为单位时间内走过的距离。

中国古人对运动现象也进行了长期的观察和探讨。《墨经》给出了运动的一般定义：“动，或徙也。”其中的“或”，是域的意思。墨家很早就知道，运动是物体位置的迁移。《墨经》还写道：“行修以久，说在先后……行者必先近而后远。远近，修也；先后，久也。民行修必以久也。”其中的“远近”指的就是空间距离，“先后”指的是时间的长短。说明运动的距离长，则所需的时间也会久一些。还有一些算题比如：“今有恒高九尺，瓜生其上，蔓日长七寸；瓠生其下，蔓日长一尺。问几何相逢？瓜、瓠各长几何？”这些都是关于运动现象的认识。中国古代在计算路程时会用速度和时间相乘的方法，但并没有提出速度的概念。

你在 30 分钟内走了 1500 米，按这个定义，你步行的速率为 1500 米除以 $(30 \times 60 = 1800 \text{ 秒}) = 0.83$ 米每秒。然而有个问题，在这段时间内你不可能每一秒都保持这个速率。因此，把它叫作这段路程的平均速率。

$$\text{平均速率} = \frac{\text{走过的距离}}{\text{所用的时间}} \quad (2-1)$$



用符号可以使上述式子更简练。用 $\bar{v}$ 表示平均速率，用 s 表示走过的距离，用 t 表示所用的时间。上述公式可写成

$$\bar{v} = \frac{s}{t} \quad (2-2)$$

别被公式所吓倒，一个公式其实是话语的缩写，其本质是基本的定义和概念。许多重要的定理、原理等，能用言语表述出来是最好的。如果想用一个公式，那首先得保证能用自己的语言把公式的物理意义说出来，否则，误以为已经理解了这个公式，其实只是记住了一些符号而已。例如，平均速率公式里的分母 t ，并不是指任意时刻的时间，而是指一段时间间隔。公式中的分子 s 表示在这段时间间隔内所走过的距离。

物体运动时速率会经常变化，可以从汽车上的车速表来知道任意时刻时汽车运动的速率。但是，汽车上的车速表在每个瞬间都会给出一个读数，这个读数是什么意思呢？如果仔细观察，其实这个读数是某个时间间隔内的平均速率，只是这个时间间隔非常短，短到在这个时间间隔内速率几乎不变。换句话说，这个读数是极短时间间隔内的平均速率，把它称为瞬时速率，简称速率。

瞬时速率和平均速率有什么区别吗？简而言之，瞬时速率指出在给定时刻物体运动有多快，而平均速率指出走完一段路程需要多长时间，但不会显示在这段路程中速率变化的信息。



案例导学

交通流量的变化。国庆等一些法定节假日高速路通行免费，为什么高速公路入口还是只允许车辆每杆一车地通过呢？试分析一下，高速公路入口处附近车辆的平均速率会小于 15 千米每小时，而在高速路上的车速会在 60 至 80 千米每小时，这样在高速公路入口附近的车辆密度会加大，在该处的平均车速突然下降，车辆的密度继续增大后，为了保持安全车距，有些车会停下来，进一步减慢了平均车速。但在这一段拥堵路段再往前一些的路段，车速约 40 千米每小时，每辆车都以趋于一致的速率行驶，车流将均衡不断，可以安全地增大车辆密度。因此，高速公路入口处允许车辆间隔放行，有助于越来越多的车辆平稳地汇入车流，使车流密度增大。一旦车流密度超过某个临界值，迫使某些车停下来，从低车流密度高速率车流，变为高车流密度低速率车流，交通就会堵塞。

如果能够控制并协调公路上所有车辆的速率，调节速率以适应车流密度的变化，使所有车辆都能同步运动，在较高速率下保持较小的安全车距，就可以在均衡的流速下承载更大的交通流量。相信未来的无人驾驶汽车及大数据时代会实现这一功能。

当别人帮你指路时，朝哪个方向走是很关键的。步行向东走 500 米和向西走 500 米，会使你到达不同的地方。因此，运动的速率和方向在物理学中经常结合在一起出现，用一个专门的术语“速度”来表示速率加方向。在日常生活中，速率和速度常常不加区分也不影响结果。但在物理学中，这两者不能互换。

速度也即瞬时速度，其大小等于给定时刻的瞬时速率，而方向则对应于该时刻物体的运动方向。

匀速意味着速度不变,即速度的大小速率不变以及运动的方向不变。方向不变指物体的路径是直线而不是曲线。变速意味着速度发生了变化,其有两个来源,一是速率发生变化,二是运动方向发生了变化。只要这两者中任意一个发生了变化,或者两者都变化,就说物体做的是变速运动。例如一辆在弯曲的轨道上行驶的火车,它做的运动就是变速运动。

举个具体的例子来检查对速率和速度的理解。比如在一条自行车专用道上,两个骑自行车的人都以 10 千米每小时的速率骑行,两人擦肩而过,一个继续向东驶去,另一个向西骑去。那么,他俩运动的速度和速率相同吗?速率是速度的大小,他俩都是 10 千米每小时,因此,两者的速率是相同的。速度既包括大小又包括方向,两者的运动方向不同,因此速度不同。

武器并不只是刀枪或手枪炮弹之类,一旦物体在抛出时达到一定的速度,就算扔出去的是苹果、瓜子等,也能产生一定的杀伤力。据记载在 1924 年的赛车比赛中,许多赛车手都被沿途观众丢出去的西瓜、甜瓜和苹果等礼物砸伤。为什么呢?这是因为赛车本身的速度再加上迎面扑来的西瓜、苹果的速度,一下子就变成了伤人利器。举个例子,抛向 120 千米每小时飞驰赛车的 4 千克重的西瓜,和 10 克重的子弹,在这一瞬间,具有相同的运动能量,只不过由于物体形状和硬度的因素,西瓜的穿透力和抗压力不能和特制的子弹相提并论而已。

上述事件如果发生在大气层中,产生的效应又不一样了。例如当飞机以 3000 千米每小时的速度在空中飞行,哪怕是不小心丢出的物品,都足以让附近的另一架飞机毁灭。与之恰恰相反的是,如果物体跟随在同样速度的飞机后面,即使两者相碰也没有什么杀伤力。1935 年,一个火车司机就因为了解这样的原理从而避免了一场铁路灾难。有一列火车由于蒸气不足就停在了铁轨上,只带了几节车厢先去前方车站补充燃料。没想到他留下的 36 节车厢却顺着滑坡以大概 15 千米每小时的速度向着铁轨后面行驶的列车撞去,后面这位司机看到这个险情后,灵机一动,立即让自己的列车以相同的速度向后滑行,成功地避免了两车相撞的惨案。因此,这一原理不仅体现在生活的细节里,也可以在关键时刻救人。

小贴士

质点

任何物体都有一定的体积、形状、质量和内部结构。一般地说,物体运动时,其内部各点的位置变化常常是各不相同的,而且物体的体积和形状也可能发生变化。但是,如果在研究的问题中,物体的体积和形状不会对结果产生任何影响,或者所起的作用不显著且可以忽略不计时,就可以近似地把该物体看作一个具有质量而没有体积和形状的理想物体,即一个有质量的几何点,称为质点。在物理学中,为了突出研究对象的主要性质,暂不考虑一些次要的因素,经常引入一些理想化的模型来代替实际的物体。质点是一个理想化的模型。

一个物体能否抽象为质点,取决于所研究问题的性质。例如,研究地球绕太阳的公转时,由于地球的平均半径(约为 6.4×10^3 千米)比地球与太阳间的距离(约为 1.5×10^8 千米)小得多,地球上各点相对于太阳的运动就可以看作相同的。这时可以忽略地球的体积



和形状，把地球当作一个质点。几百年来，人们对天体运动的研究证明，把天体看成质点能够正确地解决很多问题。所以，质点是一个恰当的物理模型，根据具体问题，提出相应的物理模型，这种方法是有实际意义的。

但是，地球在绕太阳公转的同时，还要绕地轴自转，因此在研究地球的自转问题时，就不能把地球看成一个质点了。当研究的实际物体不能视为质点时，可以把整个物体看成由许多质点组成。例如研究旋转的乒乓球的运动时，一般来说不能把乒乓球看作质点，但是可以把它看作由大量质点组成的质点系。

总之，从理论上来说，研究质点的运动规律，是研究物体运动的基础。可以把整个物体看作由无数个质点所组成。从分析这些质点的运动入手，就有可能了解整个物体的运动规律。

三、加速度

惯性定律指一个不受外力作用的物体将保持静止或匀速率直线运动状态。静止是速率不变(速率保持为零)的一种特殊情况，速率不变的直线运动就是速度不变。因此，惯性定律可以表述为更简单的形式：不受外力作用的物体一定保持速度不变。

如果有外力作用在物体上，比如用力推原本在地面上静止的箱子，箱子会发生什么变化呢？箱子会开始运动，它在外力的作用下速度发生了变化，换句话说，箱子加速了。加速是熟悉的概念，比如，高铁从 80 千米每小时加速到 200 千米每小时，乘客能感受到列车速度明显增加。当物体的速度发生变化时，也即瞬时速率或运动方向发生变化时，就说物体做的是加速运动。

我们已经知道如何定量地描述速度，那么如何来描述加速呢？想象你坐在公交车内，公交车的速度从 50 千米每小时缓缓地停了下来，几乎没有感觉到有什么明显的不舒服，倘若突然前面有紧急情况，司机急踩刹车，1 秒内停了下来，车内有些站不稳的乘客会立即被甩到车前面去！尽管车速的变化都是从 50 千米每小时到零，但由于这个过程发生的时间间隔不同，结果也就不同。所以更感兴趣的是速度变化的快慢，即速度的每秒变化量，这个量称为加速度。

运动物体的平均加速度就是速度的变化(包括速度大小即速率的变化及运动方向的变化)除以产生这个变化的时间：

$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度的变化}}{\text{所用的时间}} \quad (2-3)$$

用符号表示，就是

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{t} \quad (2-4)$$

而瞬时加速度，简称加速度，指在很短时间间隔内的平均加速度，是速度在给定时刻的变化率。虽说在日常生活中加速指物体运动得更快，但物理学中加速度的定义却不受此限制。物理学中的加速度不仅指物体运动速率的增加，也包括速率的减小以及速度方向的变化。因此，上述的定义非常有用、方便和广泛。只要知道物体的位置随时间的变化规

律,就可以得出任意时刻物体的速度和加速度。同样,已知物体的加速度或者速度随时间的变化规律,根据初始条件就可以得到物体在任一时刻时的速度及位置随时间的变化。

例如在滑行阶段的飞机,10秒内速率从1000千米每小时加速到了1005千米每小时,而你站在滑板上,1秒内从静止加速到5千米每小时。谁的加速度更大呢?通过简单分析知道,两者的速率都增加了5千米每小时,但是滑板在这个速率变化的过程中所用的时间是飞机有同样速率变化时所用时间的 $\frac{1}{10}$,因此,根据加速度的定义,滑板具有更大的加速度,而且滑板的加速度是飞机加速度的10倍。代入数值到公式中就可以得出定量的数值。滑行速度不快的滑板其加速度为5千米每小时,速度很快的飞机的加速度为0.5千米每小时。因此,速度和加速度是两个描述物体运动时完全不同的物理量,一定要加以区分。再比如,穿过空气高速运动的子弹,和在一条长而平缓的轨道上快速运行的火车,两者的速度都很大,但两者都具有较低的加速度。对子弹来说,速率变化不大,对火车来说,不仅速率变化不大,速度的方向变化也不明显,因此两者的加速度较小。而对于从静止状态启动的赛车和快速运动撞到栏杆上的汽车来说,速度变化较快,因此两者的加速度较大。

加速度是描述物体运动速度变化快慢的物理量,而速度包括速率和方向,因此两者的加速度包括速率和方向的变化。速度和加速度之间的区别很重要,速度指运动本身,物质只要运动就有速度,而加速度指速度的变化。凡是在公交汽车上站立的人都会有速度和加速度之间区别的体验,当汽车匀速运动时,不管速度有多快,你都能稳稳地站在车上。但只要汽车加速、减速、转弯时,就很难站稳。



引导案例

加速度传感器

加速度传感器是一种能够测量加速度的传感器。一般由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和适调电路等部分组成。传感器在加速过程中,通过质量块所受惯性力的测量,利用牛顿第二定律获得加速度的值。全球的传感器市场在不断变化的创新之中呈现出快速增长趋势,各国竞相加快新一代传感器的开发和产业化,加速度传感器作为其中最重要的类型之一,广泛应用于游戏控制、汽车制动启动检测、地震检测、车祸报警、计步器功能、安全保卫振动侦测和各类智能应用之中。

例如,在传统消费和手持电子设备中,3轴加速度传感器实现了革命性的创新空间,被安装在游戏机手柄上,作为用户动作采集器用来感知玩家手臂前后、左右和上下等的移动动作,把过去单纯的手指运动变为真正的肢体运动,并在游戏中转化为虚拟场景中的挥拳、挥球拍、跳跃等动作,实现比以往按键操作所不能实现的临场游戏感和参与感。3轴加速度传感器还可以用于数码相机的防抖动,检测手持设备的振动或晃动幅度,当幅度过大就可以锁住相机快门,使所拍摄的图像永远清晰。

由于目前对海量数据存储方面的需求,硬盘、光驱等元器件被广泛应用到电脑、手



机、数码相机和便携式 DVD 机等设备中。但由于这些设备在应用中多方面的原因，有可能意外跌落或碰撞，对内部元器件产生巨大冲击，尤其是高速旋转期间的硬盘在此类冲击下显得非常脆弱。宝贵的数据有可能被毁坏而读写不出来。因此越来越多的用户对便携式设备的抗压、抗冲击力提出了更高的要求。若在硬盘中装置加速器传感器后，当跌落发生时，加速度传感器就会检测到加速的突然变化，并执行相应的自我保护操作，比如关闭抗震性能差的电子元件或机械器件，让磁头复位，以减少硬盘的受损程度。

作为受市场追捧的新型代步工具，平衡车市场近几年发展火热。站在平衡车上，把身体向前倾斜就可以启动。速度和方向都是靠身体的倾斜程度来控制的，想要加速就向前倾，减速则向后倾。陀螺仪和加速器传感器组成的姿态传感器，是平衡车最重要的平衡感应组件，也是平衡车的核心，它们在很大程度上决定了车的性能。

第四节 落体运动和抛体运动

一、落体运动

你曾经观察过冬天的鹅毛大雪在空中飞舞后下落吗？随着年龄的增长，下落这种经验对人们来说已经习以为常，不会再去思考为什么会下落。但在古代这个问题却困扰了科学家和哲学家几个世纪。现在知道，物体因为地心的引力而下落，当物体不受空气阻力或摩擦力影响，只在重力作用下下落时，称物体处于自由落体状态。



引导案例

用自由落体测试反应时间

反应时间是心理实验中最早使用的反应变量之一，因为反应并不能在给予刺激的同时就发生，反应时间指从刺激的呈现到反应的开始所需要的时间。比如跑步比赛，从听到发令枪响，到开始跑的这段时间就是反应时间。一般人的反应时间为 0.2 秒至 0.25 秒，经过训练的运动员的反应时间也不会低于 0.1 秒。中国运动员短跑健将刘翔的起跑反应时间约为 0.155 秒。现在抢跑不再是指的发令枪响之前起跑，而是指在枪响后 0.1 秒内起跑。

你有没有测试过你的反应时间呢？用简单的自由落体运动就可以完成。让你的同伴拿着一个尺子的上端，你的手在尺子下端等着，当发现同伴松开手，尺子开始往下掉，你就赶紧捏住尺子，测量对尺子的运动作出反应这段时间内尺子走了多远，就可以计算出你的反应时间。

当你在尺子下落过程中发生反应时，尺子下落的视觉图像先传给大脑，大脑再发出信号给手指，手指握住尺子。这些过程属于生物物理学和神经生物学的领域，研究还发现，人类对声音刺激的反应比对光刺激的反应更快。

在日常生活中随处需要用到反应时间，当你以 80 千米每小时开车时，看到前车尾灯亮了时，你还要走 5 米左右才开始刹车，若车闸有问题，可能还会造成追尾。还可以用简单的科学实验来探索什么因素会影响反应时间，比如缺乏睡眠、喝大量咖啡等。

1638 年，意大利物理学家伽利略(Galileo Galilei)在他所写的《关于力学和局部运动的两门新科学的对话和数学证明》(常常也简称为《两门新科学》)一书中，设计了一个落体佯谬的理想实验来推翻亚里士多德关于自然下落的学说。亚里士多德提出，若让两块重量不同的物体同时下落，则较重的石块先落到地上。伽利略认为，如果取两个重量相差比较大的物体，显而易见，若把那两个物体捆在一起，速率较大的那个物体会受到速率小的物体的牵扯，整个体系速率会减慢一些，但是，两个连在一起的物体会比原来的重物还要重，因此，系统速率会更快一些，这就形成了佯谬。伽利略还注意到在实际下落的实验过程中，质量轻的物体确实会比质量重的物体下落慢，但这是由于空气阻力引起的。他又做了一个实验，用铅、金、木做了三个小球，让这三个小球分别在水银、空气和水中下落。结果发现，在空气中，金球和铅球下落速度几乎没有差别，只是木球稍慢一些。而在水银里，只有金球会下落，其他的都不会下落。在水里，金球和铅球往下落，但金球比铅球下落得快，木球不下落。根据上述实验，伽利略作了这样的理论假设，重量不同的物体在媒质中下落时，它们的速度差别随着媒质密度的减小而减小，且媒质越稀薄，这一差别就越小得难以察觉。于是他得出一个重要结论：物体在真空中下落时，所有物体都会下落得同样快。人们称伽利略的这种推理方法为“外推法”。他运用了理想实验的逻辑推理，看到了事物的本质，忽略次要因素，突出主要因素。之后，推论的假设由实验来直接验证。虽然当时的技术水平还不能达到完全真空，但是今天若在抽空了的玻璃管中做铅球和羽毛同时下落的演示实验，确实可以证明，在完全排除空气阻力的情况下，即真空状态下不同物体自由下落的速度都一样。

确立了落地定律之后，伽利略开始研究自由落体运动的规律。他首先假定落体运动是匀加速的，因为自然界总是习惯于运用最简单和最容易的手段来运动，但如何找出一个最符合自然现象的匀加速运动的定义呢？伽利略自由落体定律提出，一切物体以同样的方式下落，因此，可以通过只研究某个特定物体的下落来了解任意物体的下落运动。比如你手拿一本书，松手让它落到地板上，想一想，在松手的瞬间，书下落的速率是多少呢？书开始时静止，松手的瞬间速率应该也为零，接着速率开始增大，因为它往下运动，书在做加速运动。在下落过程中书的速率是持续增大的吗？落到地板之前的瞬间书的速率与什么因素有关呢？仅仅通过细心的观察就能学到很多东西。

下面可以定量地找出自由落体过程中加速度的大小、速度的大小速率和下落距离的规律。假设从释放点开始测量距离，在松手的瞬间开始计时，会发现两个规律。①在每个 1 秒内，即 0 秒至 1 秒，1 秒至 2 秒，物体下落的距离越来越大。②每秒末物体运动得越来越快，即速率越来越大。但是加速度却在整个过程中是相同的，每秒内速率的变化都是 9.8 米每秒，这个数值一般称为重力加速度。

速率的数据显示出一种规律性，为突出数据的总格局，实际实验数据取为整数。在 0



秒、1 秒、2 秒、3 秒这些时刻，对应的速率(单位为米每秒)分别为 0、10、20 和 30，不难猜出下一个在 4 秒时速率的数值应该是 40。之所以能够很容易猜出，是因为数据已呈现某种规律性，规律是科学家在大自然中寻找的东西。描述规律的一种方法是比例关系，可以发现，对自由落体，速率正比于时间，即

$$v \propto t \quad (2-5)$$

位置数据的规律不太容易看出，但可以作适当的变换，把 1 秒时位置 5 米看成是 1 个单位，这样 2 秒时位置是 20 米，即 4 个单位，3 秒时位置是 9 个单位，继而发现，这些数据都是时间的平方数， $1^2, 2^2, 3^2$ 。也能发现之后的规律，对于自由落体，下落距离正比于时间的平方，即

$$d \propto t^2 \quad (2-6)$$

要注意的是，上述实验是在忽略了空气阻力等影响下得到的结果。对于一个只下落几米的固体，空气阻力的影响很小，但若是高空中的跳伞特技员，空气阻力对他的下落将产生巨大的影响。



案例导学

跳高运动员会竖直起跳，在空中停留一段时间再下落到垫子上，请估计一下他们在空中停留的时间。很多人可能会说 2 秒或者 3 秒。下面来具体计算一下正确答案。

从高点下落和从地面向上跳起的高度与所用时间由如下关系式给出

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

竖直跳的世界纪录是 1.25 米，用这个已知高度代入 d ，重力加速度 $g=9.8$ 米/秒²，重新整理上式得到时间的公式为

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}} = 0.5(\text{秒})$$

这是单程在空中的停留时间，加上往返，这个时间值乘以 2，可以发现空中停留时间的最高纪录为 1 秒。因此，普通跳高运动员的空中停留时间肯定是小于 1 秒的！这是人们对大自然的错觉之一。

障碍物的高度和人重心的上升高度是两个不同的概念。很多人可以轻而易举地跨过 1 米的栅栏，但很少有人能把自己的重心提高 1 米。世界篮球明星迈克尔·乔丹在年轻时也无法使身体的重心上升 1.25 米，尽管他能轻松地超过 3 米高的篮筐。

伽利略对落体运动的研究，总结出一套对近代科学发展很有效、很具体的科学流程。首先对现象进行一般性的观察，接着提出理论假设，然后运用数学和逻辑的手段得出进一步的推论，再通过思想实验以及物理实验对提出的推论进行检验，最后对之前提出的理论假设进行修正和推广。伽利略将实验和理论结合起来，有力地推动了人类科学认识活动的进步。他充分认识到科学研究方法的重要价值，在《两门新科学》中写道：“我们可以说，大门已经向新方法打开，这种将带来大量奇妙成果的新方法，在未来的年代里会博得

许多人的重视。”

以前历史上广为流传一种观点是伽利略在比萨斜塔上做的落体实验奠定了运动学的基础,事实表明,在整个研究过程中的逻辑推理、抽象分析、数学演绎、科学假设和理想实验等理性思维方法起了决定性的作用。他用“落体佯谬”的理想实验,从亚里士多德的“重物下落得比轻物快”的理论推出了“重物下落得比轻物慢”的悖论。他还用对接斜面的理想实验反驳了亚里士多德关于“外力是维持物体运动的原因”的谬论,提出了“惯性原理”。这些理性思维方法都是从现象的观察到发现运动规律的途径。对于伽利略所作出的奠基性贡献,霍布斯评价他是第一个打开通向整个物理领域大门的人。爱因斯坦和英费尔德在《物理学的进化》中赞扬伽利略的发现以及他所提倡的科学方法是人类思想史上最伟大的成就之一,标志着物理学的真正开端。

二、抛体运动

如果你不是竖直上跳或者竖直下落,而是从高出地面的某个地方开始水平跳,结果会怎样呢?是像动画片里常见的坏狼冲出悬崖后竖直下落吗?其实不是的。平抛的物体同时参与了两种运动:以近似恒定的速度水平运动和在重力影响下的落体运动。

平抛的物体在空间飞行的时间由什么因素决定呢?直觉认为水平方向走得距离远的物体到达地面所需的时间更长。事实上,物体到达地面所需的时间是由开始时物体所在的高度所决定的,它和竖向运动与水平速度没有关系。将竖向运动和水平运动独立处理,并把二者结合起来求运动的轨迹,是理解抛体运动的关键。水平方向的平动和竖直方向的跳跃相结合,就会产生一条优美的弧线(抛物线)。向下的重力加速度的行为与它在任何落体运动中的行为完全相同,在忽略空气阻力的情况下水平方向没有加速度。因此,抛体在水平方向上以恒定的速度运动,在竖直方向上向下运动。

那么,怎样才能达到最大距离呢?开枪、开炮、掷铅球或掷标枪时,总是希望投掷距离越远越好,在物体初速度确定的情况下,唯一能改变的变量就是发射角。对用某一角度发射的抛体,初速度可以分解为竖直分量和水平分量。竖直分量决定了物体能飞多高以及在空中的持续时间,水平分量决定了在这段时间内它能走多远。抛射角度与初始速率相互作用,决定了这个物体在何处落地。在整个抛体运动过程中,恒定向下的重力加速度一直起作用,但它只改变速度的竖直分量。以中间角度 45 度为分界线来讨论,通过简单计算可以发现,大于 45 度角发射时在空间停留时间更长,上升高度更高。小于 45 度角发射时物体飞不高,由于时间短落地距离也不远。在中间角 45 度附近时,水平分量和竖直分量都比较大,竖直运动将物体保持在空间足够多的时间,让水平速度有效起作用,因此飞的水平距离也最大。

在实际的抛体过程中,空气阻力是不能忽略的。那么这个人一刻也离不开且看不到的空气,对物体到底有多大的阻力呢?举个简单的例子,空气中飞行的子弹,子弹离开枪管的速度约 620 米每秒,且沿着 45 度角的方向画出一条高约 10 千米的巨大弧线。如果忽略空气阻力,计算出子弹可以击毙 40 千米以外的敌人。但是大家都知道实际上子弹射不了



那么远，由于空气阻力，子弹的实际水平飞行距离只有 4 千米！空气的阻力大大减弱了子弹的威力。

空气阻力永远起着消极的作用吗？第一次世界大战快结束时，一个德国炮兵在一次射击中偶然发现，用大口径大炮以大于 45 度的仰角射击时，射程竟然是 40 千米，而不是已知射程 20 千米！原来，以极大的仰角和初速度发射炮弹时，炮弹会直接到达空气稀薄的大气层，那里的空气阻力要比地面上的空气阻力小得多，能够使炮弹飞行相当远的一部分距离。这一意外发现成为德军用来制造轰炸巴黎的远程大炮的设计基础。远程大炮由一根长 34 米、直径 1 米的矩形钢制炮筒为主体，炮身重量为 750 吨，炮弹重 120 千克，长 1 米，直径 21 厘米。在发射之初炮弹能够产生 5000 个大气压，使炮弹发射初始速度可以达到 2 千米每秒。当发射仰角为 52 度时，炮弹的水平距离可以达到 115 千米，用时 3.5 分钟，其中有近 2 分钟的时间里炮弹是在大气平流层里飞行的。这门大炮在当时堪称奇迹，它的发明和应用奠定了现代远程大炮的技术基础。

还有回力镖，别名飞旋镖、回旋镖等，是一种抛出后又可以飞回来的打猎工具，是原始人类智慧的结晶，其中数澳大利亚土著的回力镖最为著名，其复杂奇特的空中轨迹让人惊叹不已。事实上除了澳大利亚，在印度各地、古埃及和努比亚都能发现它遗留的历史遗迹，但只有澳洲的回力镖能在空中划出许多美妙的曲线，且一旦没有击中目标就会自动飞回投掷者手中。抛回力镖时最重要的是最初的一抛时回力镖的旋转及空气的阻力。它不只是用来捕猎，你自己用普通的纸也能做一个回力镖，通过设计合理的尺寸，再加上抛时多次的练习，也可以让你的回力镖在空中划出几道曲线后再回到抛时的起点。

除了人类会借助空气的阻力用于战争、科技和生活外，植物也会借助空气的阻力来为自己的种子找到一个安家之处。例如常见的蒲公英、松树、柏树和桦树等伞形科植物。它们会凭借垂直上升的气流升到高处，利用水平流动的气流再将它们带往世界各处。有的植物还可以携带比自身重量重很多的物体飞上空中，并保持平衡和稳定。现在降落伞和无人机也是借鉴植物和动物的飞行来进行更好的设计。



本章小结

- (1) 惯性：物体阻止其运动状态变化的性质。
- (2) 惯性定律：物体始终保持其静止或匀速直线运动状态，除非受到外力的作用。
- (3) 描述运动的两个物理量：速度表示单位时间内物体运动的距离及方向。速度的变化可能是大小或方向变化，或两者都发生变化。加速度：描述速度变化快慢的物理量，是速度随时间的变化率。
- (4) 两种常见的运动：自由落体，只在重力作用下的落体运动；抛体运动，若水平方向发射一个物体，则它以恒定的水平速度运动的同时，又由于重力而向下加速。这两种运动合起来产生了物体的曲线轨道。



实训案例

基本案情：

篮球投篮，每次在篮球场投篮时，你会试图让球走一条能恰好穿过球篮的路径。

案例点评：这就要用到对抛体运动的理解。首先分析篮筐，篮筐的大小是固定的，如果球在篮筐上空竖直下落，则进球的可能性就会提高，如果是斜入射，就会碰到篮板上弹到别处去。受过训练的篮球运动员会在带球上篮时将篮球向上方抛起。其次是分析离篮筐的水平距离，距离越远，球在空中停留时间越长，越需要球必须飞过一段水平距离精准地到达球篮上方并下落。当然，空气阻力、篮球自身的旋转、球员的身高、弹跳力等都是影响投篮成功率的因素。

思考讨论题：

1. 篮球的运动轨迹由什么因素决定呢？如何练习能使投篮又快又准？
2. 篮球在空中运动时，篮筐也在随着地球自转，会有误差吗？



实训课堂

基本案情：

一辆汽车在弯曲的山路上平稳行驶，其速率为 40 千米每小时。

思考讨论题：

1. 哪些量在行驶过程中是变化的？
2. 上述量是怎么变化的？

分析要点：

1. 了解描述运动的两个物理量。
2. 了解速度的变化包括速率的变化及方向的变化。

复习思考题

一、基本概念

亚里士多德物理学 惯性 惯性定律 平均速率 瞬时速率 速率 速度 平均加速度 瞬时加速度 加速度 自由落体 重力加速度 抛体运动

二、判断题(正确打√，错误打×)

1. 惯性是一种力，作用在物体上使物体抵抗运动变化。 ()
2. 如果你被记录超速，罚单上写的是瞬时速率而不是平均速率。 ()
3. 当物体的运动状态改变时，物体做的就是加速运动。 ()



三、单项选择题

1. 亚里士多德物理学认为,物体下落是()作用在物体上。
A. 摩擦力 B. 空气阻力 C. 重力 D. 没有外力
2. 牛顿认为,物体下落时()作用在物体上。
A. 摩擦力 B. 空气阻力 C. 重力 D. 没有外力
3. 下述哪种情形中,物体具有较大的速度和较小的加速度?()
A. 穿过空气做高速运动的炮弹 B. 一辆刚刚启动的公交车
C. 在蜿蜒的山路上快速行驶的汽车 D. 快速飞行后撞到台案上的乒乓球
E. 被快速运动的球棒击打的那一瞬间的网球

四、简答题

1. 惯性定律如何描述?
2. 速度和速率有何不同?
3. 什么是加速度?速度和加速度有什么区别和联系?

五、论述题

玻璃弹珠在光滑的玻璃桌面上滑动,最终停下来而处于静止状态。亚里士多德会如何解释这一现象呢?伽利略和牛顿会作出什么解释呢?你会怎么解释?

随身课堂

物理学概论

微信扫天下 课程掌中观



本章二维码