

高考物理中的动力学问题类型和解析

程 嗣 程首宪

牛顿运动三定律和万有引力定律,被世人称为经典力学的四大定律。高中物理动力学问题以牛顿定律和万有引力定律为核心(见图1),将物体的受力和对物体运动性质的分析有机地结合在一起,充分体现了知识与技能、过程与方法的融合。牛顿运动定律贯串于整个高中物理教学,它以知识综合性强、能力要求高而一直成为高考命题的热点,是历届高考试题中用来鉴别考生能力的重要内容之一,近10年来再现率为100%。

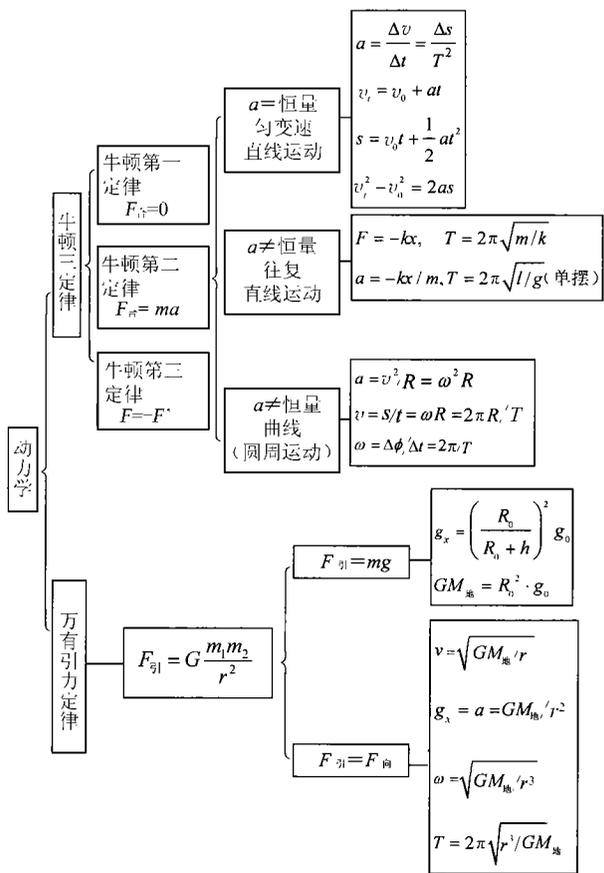


图1 高中物理动力学知识结构

动力学的任务是回答物体做各种不同运动的原因,即解决运动和力的关系。具体来说,需要处理两类基本问题:第一类是已知物体的受力情况,要求确定物体的运动情况。根据牛顿第二定律,已知物体的受力情况可以求出物体的加速度,再知道物体的初始条件(初位置和初速度),根据运动学公式求出物体在任意时刻的位置和速度,也就是确定物体的运动情况;第二类是已知物体的运动情况,由运动学公式求出加速度,再根据牛顿第二定律即可确定物体所受的合外力,从而求出未知力。

解决动力学问题,首先要确定研究对象,做好研究对象的受力和运动情况分析,弄清问题的物理情景,然后再着手计算。

综观历届高考物理试题,不妨将高考物理中的动力学问题分为四类:瞬时问题,单体和多体问题,临界和极值及图像问题,天体问题。

一、瞬时问题

研究某一时刻物体的受力和运动突变的关系,称为动力学的瞬时问题。它常伴随着一些标志性词语,如“瞬时”“突然”“猛地”“刚刚”“剪断”等等。此类问题常见于求解瞬时加速度。事实上,牛顿第二定律本来就是一个瞬时对应的规律,即研究力的瞬时效应——产生加速度。

求解瞬时问题时应注意两点:首先要掌握弹力变化的特点。由于弹力与物体的形变有关,而物体形变的发生或改变又总与一定的时间有关,故根据所研究的过程中物体弹力变化是否发生突变,可将瞬时问题中的弹力分为渐变型弹力和突变型弹力。如弹簧(尤其是软质弹簧)、弹性绳(如橡皮条)等物体,由于其形变发生或改变的过程需要一段时间,则在瞬间内形变量可以认为不变。因此在分析瞬时间

256- | { | a - m [(kb - 256) ln | Ci + 0.0001 |] mod 512 - 256 | } | 是一个可选方案,式中 $k = 1, 2, 3$, 分别对应于 (r, g, b) 各个分量。 m 为 5 以内的整数,取 1 时线稀、取 5 时线密。该方案的优点是,若 a, b, c 均取零值,则颜色是灰度渐变,否则是彩色渐变,选择不同的 a, b, c 值可给出千变万化的色彩。

可以取另外的 n 、不同的 q_i 、以及对称或不对称的位置,用以上方法绘制出更多美丽的图形。这将使学生对物理学产生浓厚的兴趣,心灵也会在自然美和科学美中净化。

(德阳市四川建筑职业技术学院计算机工程系 618000)

题时,可以认为弹力不变,即弹簧的弹力不突变。而非弹性绳、轻杆等物体,由于受到外力作用后产生的弹性形变极其微小,其形变发生或改变的过程所需时间甚短,故从理想化的原则考虑,可忽略形变和弹力的改变时间而认为是瞬时完成的,即弹力在瞬间改变,亦即此类弹力可以突变。其次要学会“瞻前顾后”。例如撤去某个力 F_1 时,若余下的力 F_2 未变化,此时可“瞻前”,即利用撤去某力 F_1 之前的状态求出余下未变的力 F_2 ;若撤去某力 F_1 时,余下的力 F_2 发生变化,此时可“顾后”,即根据物体后来的运动情况求出余下的变力 F_2 。

【例 1】一质量为 m 的物体系于长度分别为 l_1 、 l_2 的两根细线上, l_1 的一端悬挂在天花板上,与竖直方向夹角为 θ , l_2 水平拉直,物体处于平衡状态(如图 2)。现将 l_2 线剪断,求剪断瞬间物体的加速度。

(1) 下面是某同学的一种解法: 设 l_1 线上拉力为 F_1 、 l_2 线上拉力为 F_2 、重力为 mg , 物体在三力作用下保持平衡, 即 $F_1 \cos \theta = mg$ 、 $F_1 \sin \theta = F_2$ 、 $F_2 = mg \tan \theta$ 。剪断线的瞬间, F_2 突然消失, 物体即在 F_2 反方向获得加速度。因为 $mg \tan \theta = ma$, 所以加速度 $a = g \tan \theta$, 方向为 F_2 反方向。你认为这个结果正确吗? 请对该解法做出评价并说明理由。

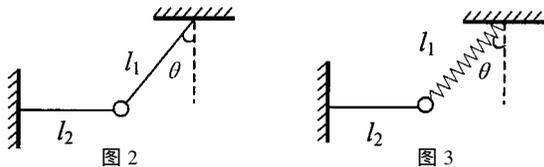


图 2

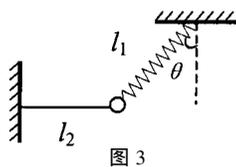


图 3

(2) 若将图 2 中的细线 l_1 改为长度相同、质量不计的轻弹簧(如图 3), 其他条件不变, 求解的步骤和结果与(1) 完全相同, 即 $a = g \tan \theta$, 你认为这个结果正确吗? 请说明理由。

【分析和解】(1) 错。剪断细线之前的受力分析固然不错, 但剪断细线瞬间, F_2 突然消失, 而细线 l_1 的形变也迅速变化, 以致其拉力发生突变, 不再为原来的 F_1 , 故此时不能“瞻前”, 而应“顾后”: 剪断细线后, 物体将做圆周运动, 原来的平衡位置为以后做圆周运动能够达到的最高点。故剪断瞬间物体的加速度 a 为向心加速度 $a_{向}$ 和切向加速度 a_{τ} 的矢量和。设剪断瞬间细线 l_1 的拉力为 F'_1 , 在半径方向上由向心力公式有 $F'_1 - mg \cos \theta = a_{向}$, 由于此时速度为零, 故 $a_{向} = 0$ 、 $F'_1 = mg \cos \theta$ 。在切线方向上有 $mg \sin \theta = ma_{\tau}$, 得 $a_{\tau} = g \sin \theta$ 。故物体的加速度 $a = \sqrt{a_{向}^2 + a_{\tau}^2} = g \sin \theta$, 方向垂直于 l_1 斜向右下方。

(2) 对。因为 l_2 被剪断的瞬间, 细线 l_1 上的张力大小发生了变化。而 l_2 被剪断的瞬间, 弹簧 l_1 的长度来不及发生变化, 所以弹簧弹力的大小和方向都不变。

二、单体和多体问题

单体即为单个物体(质点), 而多体即指几个物体组成的系统, 系统内各物体间可以有相互作用, 如用细绳、轻杆连接在一起的物体组(连接体)。处理方法常用隔离法和整体法。运用牛顿第二定律处理连接体问题, 在不需求系统内各物体间相互作用力时用整体法较为简单。中学阶段对系统使用牛顿运动定律时, 一般要求系统内各物体的加速度矢量相同。系统中各质点的加速度不同时, 如果采用隔离法分别对系统中各质点列牛顿第二定律方程求解, 会造成研究对象多、布列方程多, 增加解题的难度。实际上, 合理采用整体法求解可能会收到事半功倍的效果。但此时应注意牛顿第二定律的表达式与用于质点时有所不同。如果各质点的加速度不相同, 设第 i 个质点的质量为 m_i 、合力为 F_i 、加速度为 a_i , 则其牛顿第二定律表达式为 $F_i = m_i a_i$ 。将各质点的表达式全部相加, 其中左边的所有力中, 凡属于系统内力的, 总是成对出现, 由牛顿第三定律知其矢量和必为零, 所以最后实际得到的是该质点组所受的所有外力之和, 即合外力 $F_{合}$ 。此时, 牛顿第二定律表达式为 $F_{合} = m_1 a_1 + m_2 a_2 + \dots + m_n a_n$, 即系统的合外力等于系统内各质点的质量与加速度矢量乘积的矢量和。在需求系统内物体间的相互作用时, 应采用隔离法。使用隔离法时应注意, 一是应隔离受力较少的物体, 二是即使隔离, 也未必非得一个一个地隔离到底, 也就是说, 可以将系统内某几个物体做为一个小系统隔离出来进行分析。

【例 2】质量 $M = 10\text{kg}$ 的木楔 ABC 静止于粗糙的水平面上, 摩擦系数 $\mu = 0.02$ 。在楔的倾角 $\theta = 30^\circ$ 的斜面上, 有一质量 $m = 1.0\text{kg}$ 的木块从静止开始沿斜面下滑(如图 4), 当滑行路程 $s = 1.4\text{m}$ 时, 其速度 $v = 1.4\text{m/s}$, 在此过程中楔没有动, 求地面对楔摩擦力的大小和方向(重力加速度取 10m/s^2)。

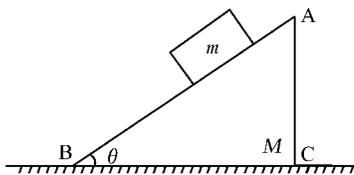


图 4

【分析和解】若采用隔离法,分析楔 M 时,因受力较多,故求解繁琐。本题中,虽然 m 与 M 的加速度不同,但考虑到木楔的加速度为零,因此用整体法求解仍较方便。

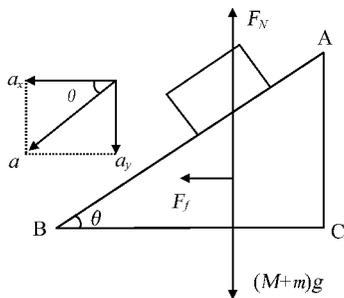


图 5

由匀加速直线运动公式 $v^2 = v_0^2 + 2as$, 得木块沿斜面下滑的加速度 $a = v^2/2s = 0.7\text{m/s}^2$ 。将木块 m 和木楔 M 看作一个整体,在竖直方向受到重力和地面的支持力;在水平方向若受力则只能是摩擦力,暂设其大小为 F_f (如图 5),沿水平方向和竖直方向分解木块加速度 a 。对整体在水平方向上运用牛顿第二定律,得 $F_f = ma_x = macos\theta$,代入数据解得 $F_f = 0.61\text{N}$ 。因为 a_x 应与 F_f 同向,所以木楔受到的摩擦力水平向左。

三、临界和极值及图像问题

临界现象是量变质变规律在物理学上的生动体现。即在一定的条件下,当物质的运动从一种形式或性质转变为另一种形式或性质时,往往存在着一种状态向另一种状态过渡的转折点,这个转折点称为临界点,这种现象也称为临界现象。“恰好”“刚刚”等都是用来表述临界状态的字眼,因而凡涉及临界状态的问题就叫临界问题。

严格地说,函数的极值与函数的最大值或最小值(最值)是有区别的,但高中物理涉及的一般都是最值问题,题目中所要求的物理量应满足的条件,像“至少”“至多”“最大”“最小”,就是与临界问题相关联的极值问题。在解决动力学的临界问题时,确定临界状态是前提,用假设、推理等方法分析在什么条件下达到临界状态是解题的关键。

根据试题提供的物理情境画出相应的 $v-t$ 图像,即把物理现象转化为物理图像。利用物理图像,判断物理状态的变化,增强对物理过程的理解,最后对物理过程进行定量分析,是一种解决动力学问题的简捷方法。

【例 3】一个质量为 0.2kg 的小球,用细绳挂在

倾角为 53° 的光滑斜面顶端,斜面静止时小球紧靠在斜面上,绳与斜面平行(如图 6)。当斜面以 10m/s^2 的加速度水平向左加速运动时,求绳子的拉力及斜面对小球的支持力(重力加速度取 10m/s^2)。

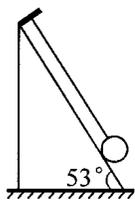


图 6

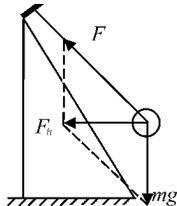


图 7

【分析和解】当加速度较小时,小球将与斜面相靠,当加速度较大时,小球将飞离斜面,这是两种不同状态,故其临界点是小球接触斜面但无相互作用力时,即支持力刚好等于零,据此可求出临界加速度 a_0 ,再作判断。此时,由牛顿第二定律,小球有 $mg \cot 53^\circ = ma_0$,得 $a_0 = g \cot 53^\circ = 5.8\text{m/s}^2$ 。因为 $a = 10\text{m/s}^2 > a_0$,故小球离开斜面向左加速(如图 7)。此时支持力为零,绳子的拉力 $F = \sqrt{(ma)^2 + (mg)^2} = 2.83\text{N}$ 。设绳子与竖直方向的夹角为 α ,则 $\tan \alpha = ma/mg = a/g, \alpha = 45^\circ$ 。

四、天体问题

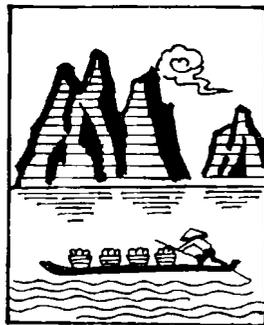
天体运动问题几乎每年高考都有。天体问题虽然在技术上很复杂,但在理论上却是万有引力定律的具体应用。以天体为背景命题,更能体现课本知识与科技结合的高考命题理念。天体问题应明确其运动性质。一般情况下,为简单计,总视其为匀速圆周运动。因此,解题时应注意以下几点。一是注意三力统一,即万有引力充当向心力,亦即天体的合外力。二是注意向心力表达方式的多样性。根据问题的实际情况,可将向心力灵活地表示为如下各种形式: $GMm/r^2 = ma_{\text{向}} = mv^2/r = mr\omega^2 = mr(2\pi/T)^2 = \dots$ 三是注意引力与重力的关系。例如地球表面物体所受引力近似等于重力, $GMm/R^2 = mg$, R 为地球半径, g 为地面处的重力加速度。

【例 4】2000 年 1 月 26 日我国发射了一颗同步卫星,其定点位置与东经 98° 经线在同一平面内,若把甘肃嘉峪关处的经度和纬度近似取为东经 98° 和北纬 $\alpha = 40^\circ$,已知地球半径 R 、地球自转周期 T 、地球表面重力加速度 g (视为常量)和光速 c 。试求该同步卫星发出的微波信号传到嘉峪关处的接收站所需的时间(要求用题目给出的已知量的符号表示)。

【分析和解】同步卫星必定在地球的赤道平面

神奇的虹吸

谢恩东



虽然古人能制造并很好地利用虹吸管,但他们还没有发现虹吸管的入口处(图1中的C点)与虹吸管弯曲顶端(图1中的E点)的竖直高度差不得超过一个大气压的对应水柱高度。

一、简单的虹吸现象

我们先看一个简单的实验,如图1所示,一根软管充满水,B端放入装有水的容器中,这时水能通过导管从液面较高的容器中不断从A端流出,这种现象叫做虹吸现象。

虹吸现象是怎么产生的呢?可以作如下简单分析。在液面上取一点C,在管中取一点与液面等高的D点,设大气压为 P_0 ,由连通器原理可知 $P_D = P_C = P_0$,而 $P_A = P_0$ 。AD段水柱就会在重力的作用下向下运动,由于大气压的影响会导致BD水柱随之运动,这样水流就能不断从A端流出。可见,虹吸现象产生的条件是大气压和重力,在失重或真空状态下虹吸现象是不会出现的。从A端流出的水可认为来自容器的液面处,由于液面高于A端,因此也可以从能量的角度看,水的重力势能转化为动能,正如我们日常生活中所说的水往低处流。

二、我国古代的虹吸

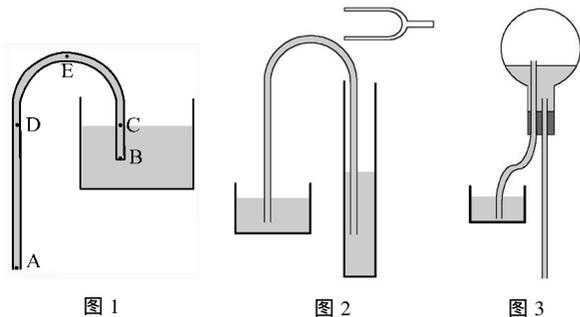
虹吸管在汉代称为渴鸟,东汉末年已出现了灌溉用的渴鸟。到了唐代,虹吸管又被称为“注子”“偏提”。《事物纪原》中记载:“元和初,酌酒用奠杓,安系,茗瓶而小异之,目曰偏提。”北宋曾公亮在《武经总要》中,具体记述了如何用竹筒制成大型虹吸管,把被高山阻隔的泉水引上来的技术。他写道:“凡水泉有峻山阻隔者,取大竹去节,雄雌相合,油灰黄蜡固封,勿令泄气,推竹首入水中五尺,于竹末烧松桦或干草,使火气自竹内潜通水所,则水自中逆上。”所谓“使火气自竹内潜通水所”,就是加热虹吸管空气,使其膨胀而造成局部真空。

三、虹吸现象的应用

课堂演示实验 ①虹吸现象。图1所示的装置简单、易实现,课堂演示能大大激发学生对物理学习的兴趣。②共鸣实验。在做空气柱音叉共鸣的演示实验时,可用虹吸现象改变液面的高度。通过橡皮管缓慢导出容器里的液体,能准确控制液体的高度(如图2)。③虹吸喷泉实验。取烧瓶、橡皮塞、玻璃管、软管和烧杯,并按图3所示组装仪器,当玻璃管出口端低于烧杯液面时,水将流出,烧杯内会形成喷泉,通过改变烧杯的高度即可改变喷泉的高度。

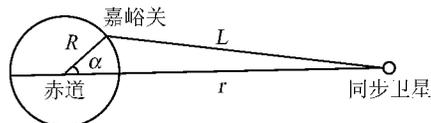
水利工程上的应用 虹吸法简单易行,且操作时不需要外界提供能量,在水利水电工程施工中,虹吸法充水的应用较为常见。

三峡水利枢纽三期工程截流之前,必须拆除二



上,卫星、地球和其上的嘉峪关的相对位置如图8所示。由图8可知,如果能求出同步卫星的轨道半径 r ,那么再利用地球半径 R 和纬度 α 就可以求出卫星与嘉峪关的距离 L ,即可求得信号的传播时间。

设地球质量为 M 、同步卫星质量为 m ,由牛顿第二定律,同步卫星有 $GMm/r^2 = m\omega^2 r$,其中 $\omega = 2\pi/T$;同步卫星在地面上时,由 $GMm/R^2 = mg$ 得 $GM = gR^2$ 。由以上各式解得 $r = (gR^2 T^2 / 4\pi^2)^{1/3}$;由余弦定理得 $L = \sqrt{r^2 + R^2 - 2rR \cos \alpha}$,故微波信



号传到嘉峪关处的接收站所需的时间为 $t = L/c = \sqrt{(R^2 g T^2 / 4\pi^2)^{2/3} + R^2 - 2R(R^2 g T^2 / 4\pi^2)^{1/3} \cos \alpha} / c$ 。

(程嗣,北京市东城区教师研修中心高中物理室 100009;程首宪,湖北省宜昌市三峡高中 443100)