

以“向心加速度”为例谈基于学习进阶的教学设计



教学案例设计与分析

叶海娟 褚云杰

(嘉兴市第五高级中学 浙江 嘉兴 314000)

(收稿日期:2018-09-18)

摘要:基于学习进阶理论,对“向心加速度”的教学进行再设计.在学生原有认知的基础上,遵循学生思维发展的过程,将“向心加速度”的学习过程进行细化,通过进阶起点分析、进阶目标预设、进阶点与进阶层级预设、进阶计划层级策略4个方面重新帮学生构建向心加速度的概念.

关键词:学习进阶 向心加速度 进阶层级

1 问题的提出

众所周知,向心加速度是圆周运动中的重要概念,同时也是高中物理教学中难度较大,教学效果欠佳的棘手内容之一.不同教师对本节内容的处理方法也不尽相同,有的教师先通过研究向心力的大小和方向,再根据牛顿第二定律得出向心加速度,这种方法的优点在于避免了繁杂的数学推导,降低了难度,有利于培养学生实验探究的能力,缺点在于实验只是定性或半定量,严密性不够;还有的教师是先通过定性感知圆周运动加速度的特征,再由加速度的定义,结合数学的推导,得到向心加速度的表达式,这种处理的优点是推导严密,逻辑性强,有利于培养学生理论探究的能力,缺点在于对数学要求过高.笔者倾向于后者的处理,既突显了物理的研究方法,又体现了数学的基础作用,但这种处理对培养学生的逻辑思维能力和推理能力都提出了较高的要求.因此,本文借助学习进阶理论,尝试对本节内容进行再设计,努力让学生对“向心加速度”有更透彻的理解.

2 学习进阶理论

2007年美国国家研究理事会将学习进阶定义为:“随时间不断的增加,学生对某一学习主题的思考和认识不断丰富、精致和深入的一个过程.”由于学习进阶认为学习是一种不断积累,不断发展的过程,所以从专业的角度讲,学习进阶就是在学生学习的起点和终点之间,设立不同的中间水平——称之为“阶”,并由此展开的一系列由简单到复杂、相互关联的教学活动;通俗的讲,就是为学生的学习设置一

条路径,先学什么,后学什么,先学的知识成为日后要学知识的基础.

本文尝试以向心加速度为例,通过进阶的起点分析、目标预设、进阶点与层级预设、进阶路径设计等4个方面,对本节的教学进行再设计.

3 进阶分析

3.1 进阶起点分析

学生已有的事实经验:物体做圆周运动的具体事例.例如,用绳牵引小球在桌面上圆周运动;卫星绕地球做圆周运动;花样滑冰时,女运动员绕着男运动员旋转.

学生已有的知识及知识结构:对描述匀速圆周运动的物理量有了大致的了解;已经知道一条直线上矢量减法的运算规律和作图方法,知道在加速和减速直线运动中如何求解速度的变化量 Δv ,速度 v 和加速度 a .

学生的思维特点:思维正从直观形象向逻辑抽象过渡,但思维还常常与感性经验直接联系,仍需具体形象的材料支持.同时学生也具备一定抽象、归纳、总结、演绎、推理等能力,所以教材在处理上延续从运动学的角度出发,根据加速度的定义来推导向心加速度.

3.2 进阶目标预设

从定性角度理解圆周运动中受力与运动之间的关系,能运用数学的方法,从特殊值出发,推广到一般情况,利用极限的思想,建构并掌握向心加速度的概念及公式,明确向心加速度的方向,并能在实际的情景中运用向心加速度公式进行相关圆周运动的分

析和计算.

3.3 进阶点和进阶层级预设

结合进阶起点和预设目标,分析学生可能存在以下的思维障碍.

(1) 如何把握受力与运动之间的关系? 如何半定量去感知向心加速度的方向?

(2) 怎样理解矢量运算的三角形定则? 如何运用三角形定则去解决不在一条直线上的矢量减法运

算?

(3) 如何利用近似、极限的思想去推导向心加速度的表达式?

(4) 如何理解向心加速度的方向是垂直于速度方向,并指向圆心?

综合上面的分析,我们对进阶点设置了进阶起点和目标,如表1所示

表1 进阶点对应的进阶起点和目标

进阶点	进阶起点	预设目标
力与运动关系的认识	力与运动的关系满足牛顿第二定律,即 $F_{\text{合}} = ma$,即 $F_{\text{合}}$ 的方向决定了 a 的方向	准确对物体进行受力分析,通过对力的处理(正交分解),能初步了解向心加速度的方向是指向圆心的
矢量运算的认识	矢量运算满足平行四边形定则,知道一条直线上矢量相减的方法	能知道不在一条直线上的矢量相减是从初矢量的末端指向末矢量的末端,并能利用数学知识解得结果
极限的认识,以及向心加速度的推导	从平均速度到瞬时速度的极限思想,加速度 a 的定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	向心加速度的大小公式 $a_n = \omega v = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$
向心加速度方向的认识	加速度方向即为速度变化量的方向	$\Delta t \rightarrow 0$ 时,向心加速度的方向与速度方向垂直,并且指向圆心

根据以上的分析,教学中需补充圆周运动的相关情境,并让学生对其受力分析,帮助学生定性了解向心加速度的方向.从复习一条直线上矢量相减的相关计算,引出不在一条直线上的矢量相减的计算方法,从特殊值出发到一般情况,逐步深入,最后利用极限思想,推导出向心加速度的大小及方向.所以我们确立了下列进阶层级.

(1) 对研究对象进行受力分析,明确在圆周运动的平面内有力的存在,有加速度的存在.

(2) 矢量减法的运算,明确作图方法:端点重合从初矢量的末端指向末矢量的末端.

(3) 向心加速度的大小公式: $a_n = \omega v = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$

(4) 向心加速度的方向:与线速度方向垂直,沿着半径指向圆心.

3.4 进阶计划层级策略

层级1:回归所学,创设情境,猜测事实经验

设置目的:学生对已学知识的掌握程度参差不齐,创设情境让学生回忆旧知,尽量让学生站在同一起跑线上.

情境创设:

(1) 回顾什么是匀速圆周运动,“匀速”的含义

是什么.

(2) 展示生活中圆周运动的图片(图1),提出问题:这些物体为什么会做圆周运动?



(a)



(b)

图1 生活中的圆周运动

(3) 圆周运动物体所受的外力沿什么方向? 加速度的方向又怎样?

(4) 该如何对图1中的物体(链球、女运动员)进行受力分析

学生讨论并汇报:

(1) 如果物体沿着圆周运动,并且线速度的大小处处相等,则称之为匀速圆周运动;“匀速”的含义是指“匀速率”,即线速度的大小保持不变,方向时

刻改变(切线方向).

(2) 因为圆周运动是一种变速曲线运动, 物体的运动状态时刻改变, 根据牛顿第二定律可知, 物体一定受到外力的作用, 或者说物体一定存在加速度.

(3) 对链球和女运动员的受力分析如图2所示. 虽然我们无法直接给出合外力(或加速度)的方向, 但利用正交分解, 考虑到物体只在某一个水平面上做圆周运动, 那么在垂直于这个平面的方向上受力平衡, 则合外力(或加速度)应该出现在该平面内.

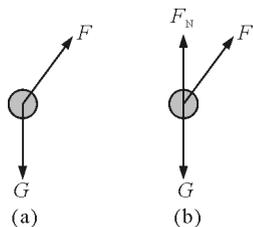


图2 对链球和运动员受力分析

设计说明:通过该层级, 既做好知识储备, 又对力与运动的关系有了更深刻的认识, 同时也定性地探讨了加速度的方向, 为后续向心加速度方向的理解指明了方向.

层级2:复习旧知, 数学先行, 从特殊到一般

设置目的:复习直线运动中的加速度概念, 回顾一条直线上矢量减法的运算, 然后迁移到曲线运动中, 从数学向量的运算规则出发, 通过速度方向成不同的特殊角度的计算, 逐步推广到一般情况.

情境创设:

(1) 物体初速度 $v_1 = 3 \text{ m/s}$, 水平向东; 末速度 $v_2 = 5 \text{ m/s}$, 水平向东, 求 Δv 的大小及方向? 物体初速度 $v_1 = 5 \text{ m/s}$, 水平向东; 末速度 $v_2 = 3 \text{ m/s}$, 水平向东, 求 Δv 的大小及方向?

(2) 若物体的初速度 $v_1 = 3 \text{ m/s}$, 水平向东; 末速度 $v_2 = 4 \text{ m/s}$, 向南, 求 Δv 的大小及方向?

(3) 若平抛的物体某一时刻速度为 v_1 , 过一段时间速度为 v_2 , 则 Δv 的方向怎么表示呢?

(4) 匀速圆周运动中, 若 $v_A = v_B = v$, 当两速度的夹角分别为 $180^\circ, 120^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ 时, 求解 Δv 的数值.

学生交流讨论, 并汇报:

(1) 一条直线上 Δv 的作图与计算如图3所示.

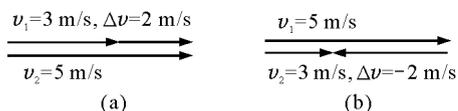


图3 一条直线时的 Δv

(2) 不在一条直线上时 Δv 的作图与计算如图4所示.

(3) 平抛运动中 Δv 的作图与计算如图5所示.

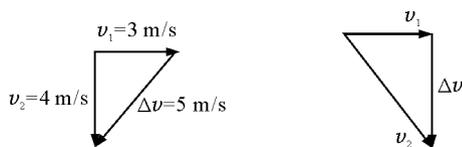


图4 不在一条直线时的 Δv

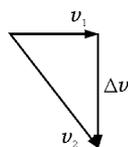


图5 平抛运动的 Δv

(4) 匀速圆周运动中, Δv 的作图如图6所示, 计算结果分别为 $\Delta v = 2v, \Delta v = \sqrt{3}v, \Delta v = \sqrt{2}v, \Delta v = v$.

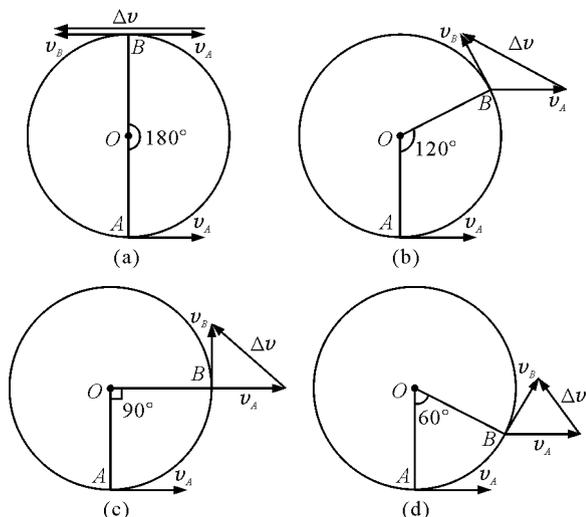


图6 匀速圆周运动中的 Δv

设计说明:通过该层级, 使学生对于矢量减法(无论是直线还是曲线)的运算有了足够清晰的认识, 而且, 通过特殊值的计算, 在两速度夹角不断变小的情况下, Δv 的数值也在不断地变化, 不断地趋近于某一个值, 这就为下一层级当 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时的极限情况下向心加速度 a_n 的推导设下了伏笔.

层级3:运用公式, 极限逼近, 化平均为瞬时

设置目的:在层级2的基础上, 利用极限逼近, 推导出向心加速度的公式 $a_n = \omega v$, 再利用 $v = \omega r$, 得到 $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$.

情境创设:

(1) 在层级2的情景(4)中, 若假设圆周运动的半径为 r , 则分别求解各角度情况下的平均加速度的大小, 并猜测若 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时, 向心加速度 a_n 趋于何值.

(2) 根据极限条件下, 弧长近似等于弦长的特点, 同时利用加速度的定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 来推导向心加

速度 a_n 的公式.

(3) 利用匀速圆周运动角速度、线速度的关系, 推导向心加速度 a_n 的其他表达式.

学生交流讨论并汇报:

(1) 根据加速度的定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{2v}{\pi r} = \frac{2}{\pi} \frac{v^2}{r} = 0.637 \frac{v^2}{r}$$

$$a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = \frac{\sqrt{3}v}{\frac{2}{3}\pi r} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \frac{v^2}{r} = 0.827 \frac{v^2}{r}$$

$$a_3 = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_3} = \frac{\sqrt{2}v}{\frac{1}{2}\pi r} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{v^2}{r} = 0.900 \frac{v^2}{r}$$

$$a_4 = \frac{\Delta v_4}{\Delta t_4} = \frac{v}{\frac{2}{6}\pi r} = \frac{3}{\pi} \frac{v^2}{r} = 0.955 \frac{v^2}{r}$$

通过计算发现当 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时, 向心加速度 a_n 逐渐增大, 并 $a_n \rightarrow \frac{v^2}{r}$.

(2) 首先我们作出速度变化的矢量图解, 如图7所示, 我们发现: 当 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时, Δv 近似等于以 v 为半径 $\Delta\theta$ 所对的弧长, 即 $\Delta v = v\Delta\theta$, 代入加速度的定义式得 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v\Delta\theta}{\Delta t} = v \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = v\omega$.

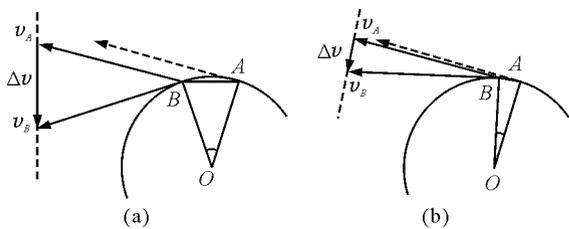


图7 速度变化矢量图

(3) 通过前面的学习我们已经知道 $v = \omega r$, 代入向心加速度 a_n 的公式可得 $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$.

设计说明: 通过该层级, 使学生理解极限思想的应用, 并类比平均速度与瞬时速度的关系, 推出瞬时加速度是 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时平均加速度的极限值, 以此突破进阶的难点.

层级4: 动画展示, 无限逼近, 化猜测为实证

设置目的: 在层级3中只给出了向心加速度 a_n 大小的公式, 作为一个矢量, 必定还有方向, 在层级1的定性分析中, 我们已经猜测到向心加速度 a_n 的

方向指向圆心, 这里通过动画展示, 动态分析, 得到当 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时 Δv 的方向变化情况.

情境创设:

(1) 根据加速度的定义, 向心加速度 a_n 的方向即为速度变化量 Δv 的方向, 即如何确定 Δv 的方向.

(2) 动态展示 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 的全过程, 说明 Δv 的方向变化, 最终确定向心加速度 a_n 的方向.

学生交流讨论并汇报:

设质点沿半径为 r 的圆逆时针做匀速圆周运动, 某时刻位于A点, 速度为 v_A , 经过时间 Δt 后位于B点, 速度为 v_B . 通过动态展示(图8), 发现当 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 时, Δv 的方向与 v_A 的方向相垂直, 由于线速度的方向在圆周的切线方向, 那么 Δv 的方向就是在法线方向上, 并且指向圆心, 所以向心加速度 a_n 的方向就在沿着半径指向圆心的方向上.

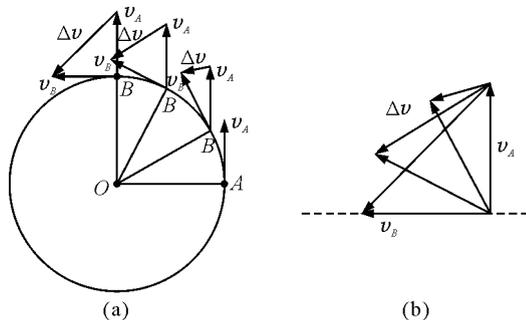


图8 分析向心加速度的方向

设计说明: 利用多媒体技术, 清晰展示出 $\Delta\theta \rightarrow 0$ (或 $\Delta t \rightarrow 0$) 的极限过程, 使学生对向心加速度 a_n 的方向有更深入的理解. 同时与层级1中的定性实验相呼应, 传递给学生研究物理的方法.

4 结束语

在课堂教学中, 根据学生的认知发展规律, 应用学习进阶理论, 将教学内容划分若干个“阶”, 采用针对性的教学策略, 帮助学生登上小“阶”, 再把这部分内容融入到整个高中物理的体系中去, 让其成为大“阶”的一部分. 爬大“阶”, 寻“阶”而上. 最终促成学生核心素养的全面提升.

参考文献

- 何春生, 郭玉英. 基于学习进阶的课堂教学设计与实践. 物理教师, 2016(10): 23 ~ 26, 31
- 潘通. 基于核心素养的“向心加速度”探究式教学设计. 物理教师, 2017(6): 30 ~ 33
- 韩叙虹, 姜连国. 基于学习进阶的翻转课堂教学设计. 教学月刊·中学版(教学参考), 2016(9): 43 ~ 48