

基于学习进阶的以力与运动为主题的物理教学设计——以牛顿第二定律为例

李显鹤^{1*}, 施锦²

1. 江苏师范大学物理与光电工程学院, 江苏徐州, 221116

2. 淮阴师范学院, 江苏淮安, 223300

摘要 | 针对中学生在“力与运动”学习中存在的概念理解模糊、知识联系不足和模型建构困难等问题, 以牛顿第二定律为例, 探讨基于学习进阶的物理教学设计。通过文献分析与教学案例设计, 以经验、映射、关联、系统和整合五个层级组织教学任务, 分析牛顿第二定律与牛顿第一定律、共点力平衡及加速度探究实验之间的联系, 将前置知识的学习成果融入相应教学环节, 形成由经验唤醒、规律概括、模型分析逐步走向系统理解与知识整合的教学方案。在此基础上, 结合圆周运动等后续内容, 阐明牛顿第二定律对知识迁移的支撑作用, 为衔接学生已有认识、促进“力与运动”主题知识的连贯学习提供教学设计参考。

关键词 | 学习进阶; 力与运动; 牛顿第二定律; 知识迁移; 教学设计

Copyright © 2026 by the author(s).

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



0 引言

“力与运动”是中学物理的重要主题, 也是学生建立“运动与相互作用观念”的基础。初中阶段侧重于运动、力、惯性和平衡等内容的定性认识, 高中阶段引入加速度和牛顿运动定律, 要求学生建立受力与运动之间的定量联系。由现象认识走向规律理解和模型应用, 体现了学习内容逐渐深化的过程^{[1][2]}。如何使学生在这一过程中形成连贯的知识结构, 是该主题教学需要关注的问题。

在“力与运动”的学习中, 学生可能将速度与

加速度混淆, 将单个作用力误认为合外力, 或把受力分析与运动分析作为彼此分离的解题步骤。这些表现反映出概念理解及知识联系上的困难。若教学仅按公式讲解和例题训练展开, 学生可能陷入就题论题的境地, 以至于难以解释不同情境中的力与运动关系。

学习进阶为分析这种认知发展提供了视角。相关研究关注学生生活经验与认知发展的联系^[3], 并将核心素养导向的学习进阶用于科学教学设计^[4]。据此, 本文聚焦牛顿第二定律, 梳理其层级要求及与牛顿第一定律、共点力平衡、加速度探究实验的联系, 将前置学习成果组织为支持新规律理解的教

作者简介: 李显鹤, 江苏师范大学研究生, 研究方向为中学物理课程与教学; 施锦, 淮阴师范学院副教授, 研究方向为量子光学和量子信息。

文章引用: 李显鹤, 施锦. 基于学习进阶的以力与运动为主题的物理教学设计——以牛顿第二定律为例[J]. 计算机与智能教育技术, 2026, 1(2): 74-81.

<https://doi.org/10.68070/g53g7y44>

学活动。研究采用文献分析与案例设计方法，重点讨论知识联系、设计思路及实施路径。

围绕“力与运动”，Alonzo和Steedle通过迭代开发进阶与测评任务，考察学生概念理解的发展，并发现其表现受情境与作答形式影响^[5]。Duschl等对学习进阶与教学序列的分析强调了理论建构与经验检验之间的联系^[6]；Jin等则从课程、教学与评价的一致性讨论进阶研究的价值^[7]。这些研究提示，教学任务的排列顺序并不能直接证明学生经历了相应的认知发展。

关于教师使用学习进阶的研究指出，层级模型简化了复杂的学习过程，需要结合具体评价活动理解其作用^[8]。近年研究进一步讨论了依据进阶分析学生回答的自动化工具^[9]，国内也有对中学物理学习进阶研究的系统梳理^[10]。虽然既有工作为层级描述与评价提供了参照，本课设计仍需具体说明前置知识如何参与新规律的建构，以及何种表现能够支持对理解水平的判断。

1 “牛顿第二定律”学习进阶的系统分析

表1 牛顿第二定律的学习进阶层级及教学着力点

层级	主要学习要求	教学着力点
经验	具有相关生活经验，知道运动变化与力、质量有关	回顾牛顿第一定律，以推课本情境引出问题
映射	知道加速度与合外力、质量的定量对应关系	调用加速度探究实验结论，概括规律
关联	能在熟悉情境中分析物体受力和运动	迁移共点力平衡中的受力分析方法
系统	从因果性、矢量性、瞬时性、同体性及独立性理解定律	比较典型模型，明确物理量与研究对象
整合	能由受力推理运动，也能由运动推理受力	梳理动力学分析思路，联系后续学习

1.2 初高中“力与运动”知识结构的衔接

初高中“力与运动”内容具有连续性，也存在学习要求的差异。图1与图2分别呈现两个学段的知

析

1.1 基于认知发展的层级划分

学习进阶关注学生对核心概念及相关方法的理解如何由初步、片面逐步走向深入、连贯。用于教学设计时，需要同时明确学习起点、预期目标和中间发展过程。其意义在于依据学生已有认识安排适当的学习任务，使新知识能够与原有经验和概念发生联系，而非仅将知识点按难易顺序排列^{[3][4]}。

本设计以经验、映射、关联、系统和整合五个层级组织牛顿第二定律的学习任务。经验阶强调感知力、质量与运动变化的联系；映射阶强调建立加速度与合外力、质量之间的对应关系；关联阶强调在熟悉情境中进行定量分析；系统阶强调从多个方面理解定律；整合阶强调综合知识分析受力与运动。参照核心素养学习进阶的教学设计思路，表1归纳本设计的层级要求^{[4][11]}。需要注意的是，这里只是给出了一个基于学习进阶模型的教学框架，在实际教学中所有学生并不会按相同次序发展，也不能仅凭任务完成情况认定其达到了相应层级。

识关系，图中节点用于梳理知识内容，连线用于提示组织关系。结合课程标准及教材中的内容安排，可以从运动描述、力的认识和规律解释三个方面理解这种衔接^{[1][2][12]}。

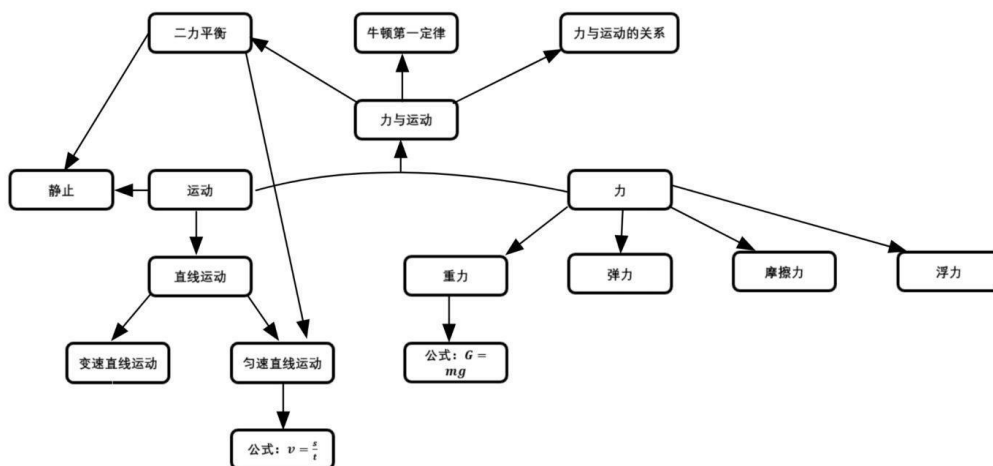


图1 初中“力与运动”的相关内容

其中,图1以运动、力及二者的关系组织初中内容,将二力平衡、牛顿第一定律和常见力等知识连接起来。运动描述主要依托直线运动、匀速运动及速度概念,力的认识主要联系重力、弹力、摩擦力和浮力等现象。这表明牛顿第二定律的学习已有

经验和概念基础,但仍需引入加速度,才能把“运动状态改变”转化为可分析的定量关系。教学应充分调用这些基础,同时诊断学生是否仍将速度大小误认为受力大小。

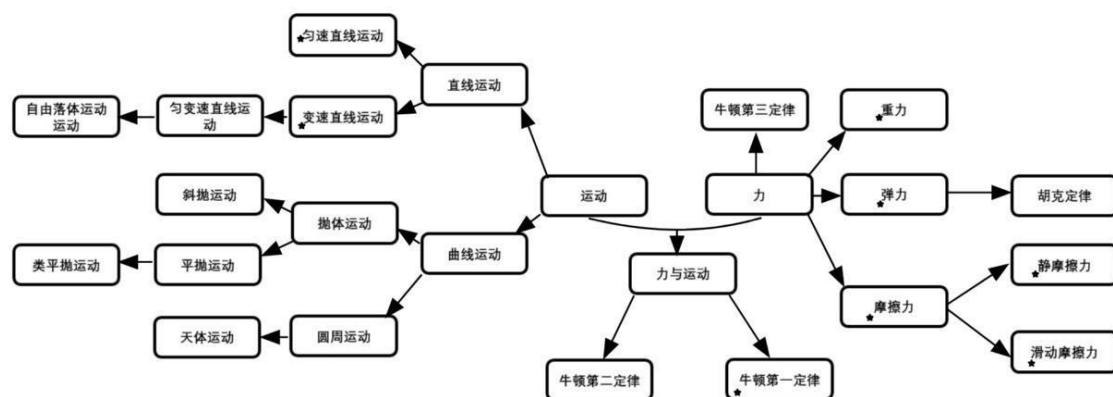


图2呈现出更丰富的运动形式、力的类型与运动定律之间的联系,图中星号用于标识与初中共有的相关内容。由初中对运动现象和力的作用的认识,发展到高中利用定律解释运动,意味着教学需要从分散知识走向相互联系的结构。对本课而言,重点是借助加速度把运动描述与受力分析接通;图中曲线运动等内容主要提示后续应用方向,不必在本课全部展开。两图的比较因此为确定经验阶的起

点与整合阶的延伸方向提供了依据。

1.3 基于前置知识的关联分析

进一步聚焦直线运动,可将牛顿第二定律与实验探究、共点力平衡和运动状态之间的联系表示为图3。图中 $F=ma$ 的 F 应理解为合外力,图示提供的是知识联系框架,具体运用还需要判断研究对象、参考系及运动条件。

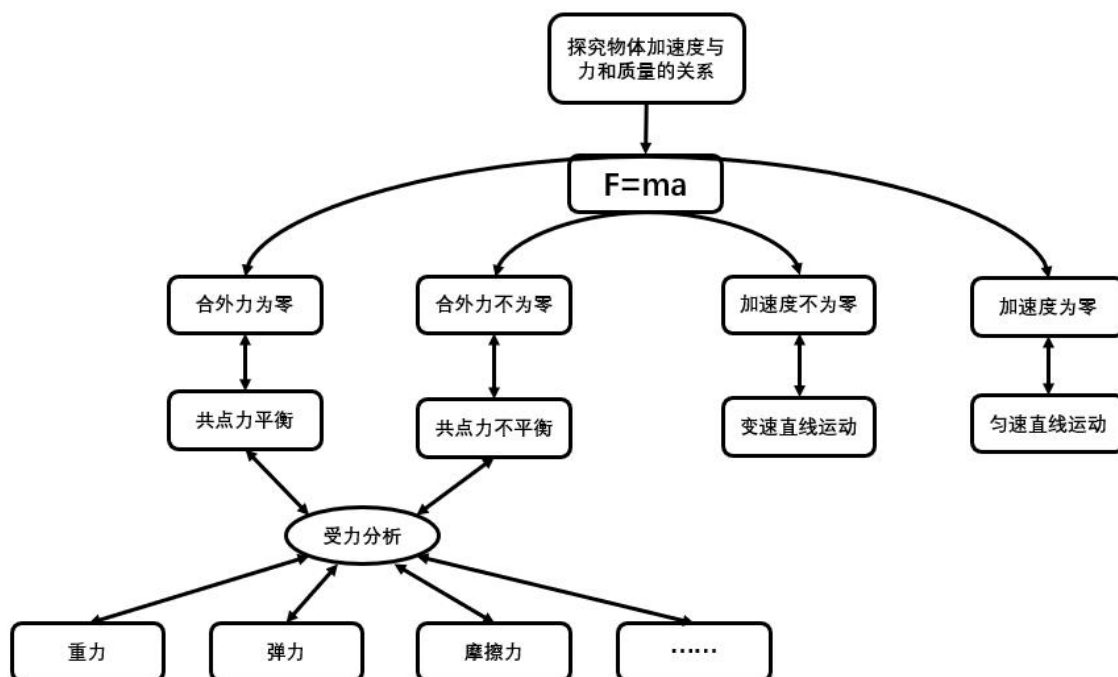


图3上端的加速度探究实验为定量关系的建立提供证据,中部以 $F=ma$ 连接受力与运动,下端则提示合外力的确定依赖重力、弹力和摩擦力等具体外力的分析。合外力为零时,加速度为零,物体可保持静止或匀速直线运动;合外力不为零时,物体具有加速度,在图示限定的直线运动中表现为速度变化。因此,图中的“加速度为零—匀速直线运动”还应包含静止这一情形。这一关系图同时说明:平衡问题中的受力分析方法能够迁移到动力学问题,但原有的合力为零条件不能直接照搬。

牛顿第一定律为经验阶的学习提供概念基础。学生已经知道,运动不需要力来维持,物体具有保持原来运动状态的惯性。在此基础上提出“物体的运动状态如何随受力发生变化”,能够把关于运动和力的定性认识引向加速度的定量研究。这里应区分物体受到外力与合外力不为零:物体受到多个力时,其运动状态是否改变应依据合外力判断。

“探究物体加速度与力和质量的关系”实验为映射阶提供直接支持。通过控制变量,学生分别研究质量一定时加速度与合外力的关系,以及合外力一定时加速度与质量的关系。实验中的数据整理、图像分析和结果归纳,能够转化为概括牛顿第二定律的认知基础。因此,规律课应调用并解释已有实验证据,而非将定律作为与实验相脱离的结论重新记忆。科学探究研究对知识、方法、实验与数学等要素的讨论,为设计这一衔接提供了参考^[13]。

共点力平衡为关联阶和系统阶提供方法基础。在平衡问题中,学生已接触研究对象选择、受力分析、力的合成与分解等知识,并对整体法和隔离法有一定认识。这些方法同样适用于非平衡问题。迁移的关键在于保留分析方法,同时根据运动条件将相应方向上的合力方程由零改为质量与加速度的乘积。牛顿第二定律也包含合外力为零的情形,不能将其适用对象简单限定为非平衡状态。

1.4 基于知识迁移的设计思路

不同知识点的进阶层级之间并非相互封闭。前一知识点在较高层级形成的方法或认识,可以支持后一知识点的初步理解。具体而言,牛顿第一定律关于力与运动关系的认识用于唤醒经验,加速度实验的数据分析成果用于建立映射,共点力平衡中形成的受力分析能力用于推进关联与系统理解。这种对应关系构成教学设计的主线。

但知识迁移并不意味着省略学习过程。教师仍需通过问题和模型变化帮助学生辨别旧知识中哪些方法可以保留、哪些条件需要重新判断。整合阶也不是对前面结论的简单重复,而是将定律与已有知识组织为完整的分析思路,并为后续动力学问题提供基础。

2 基于学习进阶的教学设计与案例构建

2.1 教学方法与模式

本设计面向已学习牛顿第一定律、共点力平衡,并完成加速度与力、质量关系探究实验的高中学生。教学采用情境演示、实验回顾、问题引导和模型分析相结合的方法,按照“经验唤醒—规律概括—关联应用—系统理解—知识整合”展开。重点在于建立合外力与加速度的定量联系,难点在于理解定律的性质,并在不同研究对象和运动条件下正确使用。

教学目标包括:能够结合实验结论表述牛顿第二定律;能够借助受力分析求出合外力和加速度;能够理解因果性、矢量性、瞬时性、同体性及独立性的具体含义;能够把受力与运动联系起来,形成分析动力学问题的基本思路。课堂提问既关注学生是否得到结果,也关注其能否解释所用方法与前置知识之间的关系。评价时可重点检查学生能否说明研究对象、合外力的组成及各方向列式的依据,将其解释与相应层级要求对照。

2.2 教学过程的重构与实施策略

在此部分,将给出相对具体教学设计参考。特别的,2.2.1至2.2.4这四个小节是牛顿第二定律的主体教学内容。在此部分,将具体呈现已有知识在某些学习进阶层级的教学成果在牛顿第二定律教学任务中的应用。考虑到其内容较多,在实际教学过程中可将其划分到多个教学课时中,尤其是牛顿第二定律的一些性质。在本文中虽给出了一些情境,但其仅仅作为示例呈现,不能看作全部的教学过程。2.2.5小节则将对牛顿第二定律的所学内容进行小结,并按照学习进阶层级整合阶的要求,让学生对牛顿第二定律有更加深刻的认识,体会牛顿第二定律在动力学中的基础性地位。但由于此部分对学生的要求较高,因此应着重让学生进行体会,而非具体展开。

2.2.1 课前预习:梳理已有知识

让学生回顾三个问题:牛顿第一定律说明了怎样的力与运动关系;加速度探究实验如何控制变量、得到什么结论;分析共点力平衡问题通常经历哪些步骤。教师根据学生的回答判断其能否区分速度和加速度,能否说明合外力的含义,以及是否掌握基本受力分析方法。这些准备分别对应后续的经验阶、映射阶和关联阶。

2.2.2 新课导入:由经验引出运动变化

教师带领学生回顾牛顿第一定律,并提出“力

在改变物体运动状态的过程中起到怎样的作用”。随后设置推课本的演示情境：以近似相同的推力推动一本课本和叠放的几本课本，再以不同大小的推力推动同一本课本。学生观察运动变化，提出加速度可能与受力、质量有关的猜想。

这一演示用于激活经验和提出问题，不直接承担定量验证的任务。例如课本与桌面间存在摩擦，增加课本数量也会改变接触压力和摩擦力，手施加的推力又难以精确保持不变。因此，教师应引导学生从“似乎变化更快”转向“怎样通过实验比较加速度”，使经验认识与前置实验建立联系。经验阶的学习由此落实为有依据地提出问题。

2.2.3 实验回顾：由映射关系概括定律

教师引导学生回忆已经完成的加速度探究实验。学生分别说明：保持质量不变，改变合外力，分析加速度的变化；保持合外力不变，改变质量，分析加速度与质量倒数的关系。在此基础上，展示已有实验记录与图像，归纳两组对应关系，进而得到加速度与合外力和质量之间的统一联系。

教师将关系概括为 $F_{\text{合}} = kma$ ，并说明采用国际单位制时比例系数 $k=1$ ，于是得到式(1)。物体的加速度方向与合外力方向相同。质量为1 kg的物体产生 1 m/s^2 加速度所需的合外力为1 N，借此说明表达式、物理意义和力的单位之间的联系。

$$F_{\text{合}} = ma \quad (1)$$

式中， $F_{\text{合}}$ 为同一物体所受合外力， m 为该物体的质量， a 为其加速度，式(1)按矢量关系理解。回顾钩码牵引小车的实验时，还需区分钩码重力、绳的拉力和小车合外力，明确原实验使用近似处理的条件。通过这一过程，学生将分散的实验结论转化为对规律的总结与表述，实现由经验阶向映射阶的推进。

2.2.4 模型分析：由关联应用深化系统理解

为将关联阶的模型应用与系统阶的性质辨析联系起来，教师可在本环节选取水平面、斜面、双绳悬球和连接体等情境辅助教学。

首先是粗糙水平面的情境。如图4所示，质量为 m 的物块正沿粗糙水平面向右滑动，物块与水平面间的动摩擦因数为0.1。物块受到两个恒力，其中 F 大小为10 N，方向斜向右上，与水平方向的夹角 $\theta=37^\circ$ ； F' 大小为4 N，方向水平向左。假设物块始终与水平面保持接触，重力加速度为 g 。求该时刻物块加速度的大小和方向，以 m 、 g 表示结果。

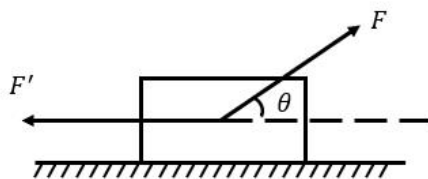


图4 粗糙水平面上的物块

本题延续共点力平衡中的受力分析与正交分解方法，重点在于辨认同一物体在不同方向上的运动条件。教师可追问斜向拉力是否影响支持力与摩擦力，并要求学生说明各方向列式的依据。学生能否完整识别外力、区分平衡条件与加速条件，可作为判断关联阶理解的依据。

之后是斜面的情境，如图5所示，倾角为 θ 的粗糙斜面固定不动，质量为 m 的物块正沿斜面向下滑动，物块与斜面间的动摩擦因数为0.1。水平向左的恒力 F 作用于物块，重力加速度为 g 。分别求 $F=1 \text{ N}$ 和 $F=10 \text{ N}$ 时物块在该时刻的加速度，以 m 、 θ 、 g 表示结果，并说明加速度方向与速度方向是否一定相同。

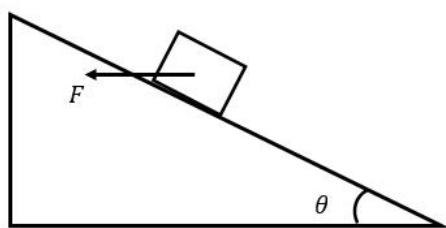


图5 水平拉力作用下的斜面物块

斜面情境用于检查学生能否将熟悉的受力分析方法迁移到新的坐标方向。两种拉力条件的比较突出外力变化与合外力变化之间的关系，也为辨析速度和加速度的方向提供情境。题目明确物块正在下滑，以便确定滑动摩擦力的方向，避免将静止、将要滑动与已经滑动的条件混用。

进入系统阶后，教学围绕定律的五个性质组织讨论。因果性强调合外力与加速度的联系；矢量性强调加速度与合外力同向，而不要求与速度同向；瞬时性要求对应同一时刻的力与加速度；同体性要求方程中的合外力、质量和加速度属于同一研究对象；独立性体现为各外力对应的加速度贡献按矢量叠加，实际加速度由合外力决定。

特别的，瞬时性可先通过撤去光滑水平面上滑动物块所受拉力的情境讨论，比较撤力前后瞬间的速度与加速度。如图6所示，质量为0.6 kg的小球P由轻质、不可伸长的绳AP和BP约束并保持静止，

A、B均为固定点。绳AP与水平方向的夹角 $\theta=53^\circ$ ，绳BP水平。忽略空气阻力，取重力加速度大小为 10 m/s^2 。绳BP突然断裂，求断裂后瞬间小球P加速度的大小和方向，并说明此时能否直接沿用断裂前绳AP的拉力。

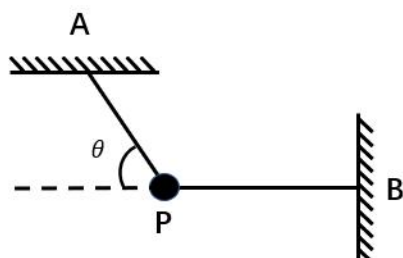


图6 双绳约束下的静止小球

本题将瞬时性与约束条件的变化联系起来，要求学生区分速度、加速度和绳的拉力在瞬间变化中的不同特点。教师应关注学生是否重新审视断绳后的受力与运动条件，而非仅检查数值结果。考虑到题目涉及曲线运动，可作为拓展任务；尚未具备相关运动学基础时，可先用光滑水平面物块撤力的情境讨论瞬时性。

而同体性则可用水平物块与悬挂物块相连的情境。如图7所示，质量为 2 kg 的物块A位于粗糙水平面上，经轻质、不可伸长的绳及理想定滑轮与质量为 4 kg 的物块B相连。A与水平面间的动摩擦因数为 0.5 ，A还受到水平向左、大小为 2 N 的恒力 F 。某时刻A向左滑动、B向下运动，绳保持绷紧。取重力加速度大小为 10 m/s^2 。

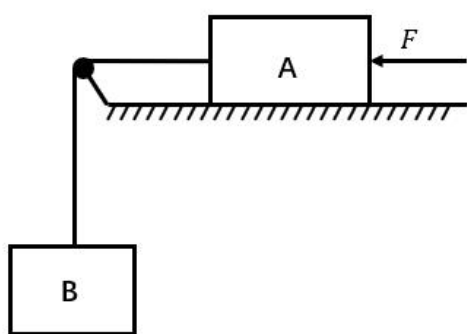


图7 水平物块与悬挂物块组成的连接体

(1) 求该时刻物块A加速度的大小和方向，并说明选择整体或单个物块为研究对象时，方程中的力、质量与加速度应如何对应。

(2) 作为拓展，将A视为质量相同、沿运动方向左右接触的两块A左和A右，轻绳只连接A左，恒力 F 只作用于A右，两块与水平面间的动摩擦因数均

为 0.5 。设两块在该时刻均向左滑动，判断它们能否保持接触并具有共同加速度，说明判断依据；若不能，分别求该瞬间两块加速度的大小和方向。

第一问突出同体性，要求学生保持研究对象与物理量的一致，并辨认张力在整体分析和隔离分析中的不同地位。第二问用于检验学生是否主动审查接触约束，而非直接套用共同加速度的假设。该问作为系统阶向整合阶过渡的可选任务，分析的重点是模型条件及对象选择，不应以计算结果作为判定学习层级的唯一依据。

2.2.5 课堂小结：由系统理解走向知识整合

课堂小结围绕“牛顿第一定律提供什么认识、加速度实验提供什么证据、共点力平衡提供什么方法”展开，帮助学生回顾不同知识点如何共同支持牛顿第二定律。随后梳理动力学分析的一般过程：确定研究对象，分析外力，选取方向，建立合外力与加速度的关系，再联系运动情况进行解释。

整合阶要求学生看到分析可以沿两个方向展开：已知受力时求加速度，进而讨论运动；已知运动变化时先确定加速度，再反推合外力。在这一过程中，牛顿第二定律成为连接运动学与受力分析的纽带，其学习成果也为后续更复杂的动力学问题提供基础。

以圆周运动为例，学生需要将对加速度的理解从速度大小的变化拓展到速度方向的变化：匀速圆周运动虽然速率不变，但速度方向不断改变，因而存在指向圆心的向心加速度。由向心加速度 $a_n = v^2/r$ ，结合牛顿第二定律，可得向心力 $F_n = ma_n = mv^2/r$ ，其中 v 为速率， r 为轨道半径。这一关系体现了从运动学描述获得加速度、再依据动力学确定所需力的分析路径。

向心力的计算尤其依赖本课形成的受力分析与矢量合成能力。向心力不是物体额外受到的一种力，而是沿指向圆心方向的合力，可由重力、弹力、摩擦力等实际力或其分量提供。例如，物块在光滑水平面上由指向固定圆心的水平轻绳牵引，做匀速圆周运动时，重力与支持力平衡，绳的拉力提供向心力，可列 $T = mv^2/r$ 。若情境改变，仍应先分析实际受力，再确定径向合力，而不能在受力图中另外添加“向心力”。对于非匀速圆周运动， mv^2/r 仅对应径向合力，切向合力还决定速率的变化。

这一分析方法也为抛体运动及万有引力作用下的运动奠定基础。在忽略空气阻力的抛体运动中，根据水平方向合力为零、竖直方向只受重力，可分别确定水平加速度为零、竖直加速度为 g ，进而理解运动分解的物理依据；在后续圆轨道天体或卫星运动的简化模型中，则可将万有引力与所需向心力联系起来。课堂小结可通过这些内容提示知识的发展

方向,使学生认识到后续学习是在新的受力和运动情境中运用同一基本规律,并把当前形成的研究对象选择、受力和建模方法迁移到更高层级的学习中。上述内容用于提示后续学习方向,其定量分析需与相应运动学知识的学习配合,不作为本课所有学生的即时达标要求。

2.2.6 课后作业:巩固知识迁移

课后作业围绕课堂模型进行条件变化。学生解释水平面模型中斜向拉力增大为何会同时改变水平方向分力和摩擦力;比较斜面物块加速度方向与速度方向;在拓展任务中说明断绳后保留绳拉力为何需要重新确定;用整体法与隔离法核对连接体的结果。

作业重在呈现推理过程,使学生明确哪些已有方法能够迁移、哪些结论依赖具体条件,避免将整合阶简化为重复记忆性质。

3 学习进阶融入教学实践的尺度把控

学习进阶在教学实践中的运用,应以学生实际表现出的认知水平为依据。教学内容已经讲授,并不意味着学生已经形成相应的概念理解与方法认识。牛顿第二定律的教学需要通过课堂提问、实验回顾和模型分析,考察学生对合外力、加速度及其关系的理解。受力分析存在困难时,应提供研究对象选择与外力识别的支持;实验结论理解不足时,应引导学生重新解释变量关系和图像特征。进阶层级所描述的是认知发展的可能路径,其教学价值在于帮助教师识别学习困难、调整教学支持,不宜作为划分学生能力的固定标签。

知识迁移的有效性取决于学生能否辨别不同情境中的共同结构与适用条件。共点力平衡与非平衡问题共享受力分析、矢量合成等方法,但合外力是否为零需要依据具体运动状态判断。断绳、接触分离等情境改变了物体的受力或约束条件,原有模型中的结论也需要重新审视。教学中应要求学生说明所用方法的依据及结论成立的条件,使知识迁移建立在物理关系的理解之上,避免将其简化为解题步骤的套用。

教学任务的复杂程度应与学生的认知基础相适应。水平面、斜面、断绳和连接体等模型具有不同的教学功能,分别可以突出合外力的确定、运动方向的辨析、瞬时性的理解和研究对象的选择。模型的选取与排列应服务于明确的进阶目标。基本关系尚未建立时,过早引入多物体、多过程或复杂约束,容易使计算与情境分析的负担掩盖概念学习的重点。连接体分离等综合任务适宜作为深化内容,在学生能够协调受力与运动关系的基础上展开。

学习进阶的实现需要连续的学习证据支持。学生能够复述定律或完成熟悉例题,尚不足以说明其已形成系统理解。课堂解释、受力图、实验分析与变式作业可以共同反映学生认识的发展,尤其需要关注其能否在条件变化后修正模型,并在新情境中独立运用已有方法。教学安排应随教学实际持续调整,使进阶目标与学生的实际认知发展保持联系。

4 基于学习进阶组织教学设计的一般性思路

4.1 从单个知识点转向主题内的联系

以“力与运动”为主题组织学习进阶,需要在分析单个知识点层级的基础上,进一步寻找不同知识点之间可以迁移的认识和方法。牛顿第二定律案例中,概念认识、实验结果与受力分析可以分别成为不同阶段的学习支撑。由此,教学既保留规律本身的认知递进,也体现主题内部知识之间的联系。

4.2 从层级分析转向具体教学活动

学习进阶的课堂转化应经历“明确层级要求—寻找前置学习成果—设计问题与模型—引导迁移与整合”的过程。经验阶通过生活情境引出问题,映射阶通过实验证据概括关系,关联阶通过熟悉模型运用规律,系统阶通过条件变化理解性质,整合阶通过总结与应用形成知识联系。这样的设计能够使教学活动与认知目标相对应。

牛顿第二定律教学的重点,不只是让学生掌握一个表达式,而是使其理解力与运动的定量联系,并形成能够延伸到后续内容的分析方法。将不同知识点的学习成果在适当层级上衔接起来,是本设计的主要思路,也为中学物理“力与运动”主题教学提供了可继续探索的方向。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022, 14-15, 19-21.
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020, 12-14.
- [3] 刘晟, 刘恩山. 学习进阶: 关注学生认知发展和生活经验[J]. 教育学报, 2012, 8(2): 81-87.
- [4] 郭玉英, 姚建欣. 基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J]. 课程·教材·教法, 2016, 36(11): 64-70.
- [5] ALONZO A C, STEEDLE J T. Developing and assessing a force and motion learning progression[J].

- Science Education, 2009, 93(3): 389-421.
- [6] DUSCHL R, MAENG S, SEZEN A. Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis[J]. Studies in Science Education, 2011, 47(2): 123-182.
- [7] JIN H, MIKESKA J N, HOKAYEM H, et al. Toward coherence in curriculum, instruction, and assessment: A review of learning progression literature[J]. Science Education, 2019, 103(5): 1206-1234.
- [8] ALONZO A C, WOOTEN M M, CHRISTENSEN J. Learning progressions as a simplified model: Examining teachers' reported uses to inform classroom assessment practices[J]. Science Education, 2022, 106(4): 852-889.
- [9] KALDARAS L, HAUDEK K, KRAJCIK J. Employing automatic analysis tools aligned to learning progressions to assess knowledge application and support learning in STEM[J]. International Journal of STEM Education, 2024, 11: 57.
- [10] 章润秋, 苏航, 张静. 近10年国内中学物理学习进阶的研究现状与展望[J]. 物理教师, 2023, 44(5): 2-5+8.
- [11] 陈为众. 高中物理“相互作用与运动定律”核心概念的学习进阶研究[D]. 漳州: 闽南师范大学, 2024, 85-86.
- [12] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书: 物理: 必修第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019.
- [13] 邢红军, 王宇鹏, 程柏. 论科学探究的构成要素及其对科学教育的启示[J]. 物理教师, 2024, 45(10): 2-8+17.

Learning Progression-Based Instructional Design on Force and Motion: A Case Study of Newton's Second Law

Li Xianhe^{1,2}, Shi Jin²

1. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116

2. Huaiyin Normal University, Huaian 223300

Abstract: Students often find it difficult to understand concepts, connect ideas, and construct physical models when studying force and motion. This study draws on learning progression theory to develop an instructional design for Newton's second law. Literature analysis and instructional case design inform a provisional framework with five levels: experience, mapping, association, systematization, and integration. The design connects Newton's second law with students' prior understanding of Newton's first law, force equilibrium, and experimental investigations of acceleration. These connections shape a teaching sequence in which students revisit familiar experiences, formulate the law from experimental evidence, and analyse physical models before developing a more coherent understanding of force and motion. The discussion extends to subsequent topics, including the calculation of centripetal force in circular motion, to show how the concepts and methods established in this lesson can support further learning and knowledge transfer. The proposed design provides a reference for connecting students' prior understanding with new concepts and supporting coherent learning about force and motion.

Keywords: learning progression; force and motion; Newton's second law; knowledge transfer; instructional design