

“大概念”视域下的“力的分解”教学研究

江心成

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

马亚鹏

(银川市第九中学 宁夏 银川 750011)

(收稿日期:2022-12-26)

摘要:在具体的实践情境中,如何分解一个力更符合教学逻辑,是值得深入研究的问题.通过比较“按效果分解力”和“按需要分解力”两种教学范式的优劣以及5个版本物理教材的分解依据,得出“按需要分解力”更贴合力分解本质,凸显出矢量运算的工具性.以此为基础,在“大概念”视域下,围绕“力是产生加速度的原因”,以学习进阶的方式重新优化设计“力的分解”教学,帮助学生有序建构运动与相互作用观念.

关键词:力的分解;大概念;学习进阶

大概念指处于学科中心地位,能统领诸多基本概念与规律,有助于学科知识结构化,可延伸、可迁移、深层次的概念^[1].围绕大概念组织教学,有利于学生形成物理观念.基于平行四边形定则的“合成与分解”是矢量的基本运算.在高中物理中有着重要应用.“力是使物体产生加速度的原因”是物理学中的一个大概念,具有广泛的适用性.如何从课程视角体现大概念理念,帮助学生搭建起力的分解认知框架,是值得研究的问题.

1 “力的分解”教学的两种范式

1.1 按效果分解力

在力的分解教学中,多数教师采用“按效果分解力”的思路.比如斜面上物体受到重力的分解,教师往往采用精心设计的实验以显示力的作用效果.如图1,将一纸板抬高充当斜面,把物体和海绵置于纸板上.学生可以很明显地观察到,纸板被压弯,海绵也发生了形变,于是,就认为重力产生了两个效果,则可将重力分解为垂直于斜面向下的 G_1 和沿斜面向下的 G_2 ^[2].仔细分析可以发现,该方法存在以下3个问题.

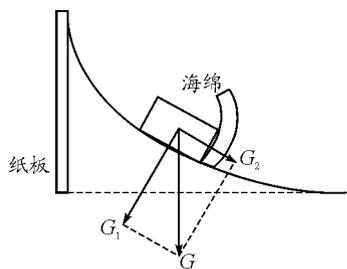


图1 重力按效果分解

1.1.1 这种方法的“可迁移性”弱

图1的实验为何形象直观?这是因为教师特意选取了海绵与纸板作为实验材料,两者只要受到微小的力,就能发生明显的形变.但是一般情况下,力的作用效果并不是显而易见的,学生往往凭直觉判断分力的方向,从而导致错误.因此,这种方法的“可迁移性”较弱,缺乏推广价值.

1.1.2 容易生成错误概念

上述分解,如果教学处理不当,很容易使学生认为,纸板所受到的压力就是物体重力的分力.实际上,压力产生的原因是物体与纸板相互挤压,使两者都发生形变,由于物体的形变,它对纸板产生垂直纸板向下的弹力,即纸板受到的压力.弹力的本质是电

作者简介:江心成(1997-),男,在读硕士研究生,研究方向为中学物理教学.

通讯作者:马亚鹏(1986-),男,中教高级,硕士研究生导师,研究方向为物理教育与科学文化.

磁相互作用,重力的本质是引力相互作用,二者是不同性质的力,不可混淆.

1.1.3 难以凸显力的分解初衷

按照奥卡姆“如无必要,勿增实体”的哲学思想,在科学中引入新的概念、思想,是为了解决已有方法不易解决的问题.例如速度的提出,是为了比较物体空间位置变化的快慢.那为什么要引入力的分解呢?力是一个矢量,力的分解实质上是矢量运算的具体体现,在一些问题中,将一个力按平行四边形定则分解可使问题得以解决,因此,力的分解绝不是“分析物体受力情况的方法”^[3].然而“按效果分解力”对于分解的缘由缺乏说明,学生不明白分解的意义.倘若教学处理不当,有可能走上“为了分解而分解”的歧途.

由上述梳理可知,“按效果分解力”存在诸多不足,不过其在教学中也并非一无是处.在课堂引入部分,该方法从等效替代的角度入手,生动形象,利于学生接受.对于水平面物体拉力等特定案例的分解,该方法亦有一定价值.但诸如斜面重力分解及更复杂的问题,“按效果分解力”局限性明显,需要挖掘

表1 不同版本教材对于“如何分解力”的解释

版本	人教版 ^[4]	鲁科版 ^[5]	沪科教版 ^[6]	教科版 ^[7]	粤教版 ^[8]
分解依据	要根据具体问题来确定	合力的分解方式是多种多样的	必须根据力的作用效果,获得关于分力的一些信息(例如分力方向或分力大小等),才能根据平行四边形定则求出分力	要具体问题具体分析,以方便解决问题为原则	一般先根据力的作用效果来确定分力的方向,再依据平行四边形定则来计算分力的大小

“人教版”提出力的分解概念后,没有列举任何力的分解例子.而是采用“问题后置”的方法在“共点力的平衡”一节中,教材以斜面模型为例,介绍了正交分解法.实际上是采用了“按需要分解力”的思路.

“鲁科版”以斜拉箱子和人沿斜面下滑为例,介绍了正交分解法.并顺带提了两个分力产生的作用效果.教材指出为了计算方便,可把一个力分解为两个相互垂直的分力.

“沪科教版”以斜面上的物体为例,展示了两种分解方法,一种分解到斜面方向,一种分解到水平方向,让学生评价哪种方法更好?教材表示两个分力

新的分解方法予以改进.

1.2 按需要分解力

如何分解一个力往往要根据具体问题来确定.仍以静止在粗糙斜面上的物体为研究对象,物体受到重力、支持力和静摩擦力作用.我们发现,支持力和静摩擦力难以直接计算.为了解决这一问题,可将重力分解到支持力和静摩擦力的反方向,根据二力平衡条件求解.这实际上蕴含了“按需要分解力”的观点,问题中的“需要”就是计算支持力和摩擦力的需要.

可以看出,力的分解从根本上讲是一种矢量运算方法,目的是在解决力与运动问题时分析与计算力.因此“按需要分解力”更贴合力分解的本质.

2 “力的分解”教材对比分析

物理教材是以何种依据分解力的呢?通过选取依据《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》编写的5个版本物理教材为研究对象展开分析.在“如何分解力”这一问题上,各教材使用的方法如表1所示.

相互垂直,从数学角度很容易计算.同时还提出,考虑到斜面上物体重力的作用效果时,正交分解更为合理.

“教科版”以斜面上的物体和倾斜飞行的直升机为例,介绍了正交分解法.教材表示为了能方便地解决问题,将一个力沿着相互垂直的两个方向分解是应用最多的分解方法.

“粤教版”以实验为例,将小车倾斜放置,使垫板弯曲,橡皮筋拉伸.这实际上体现了“按效果分解力”的思想.对于正交分解法,教材提出它适用于各种矢量的运算,在建立直角坐标系后,可将矢量运算转化为代数运算.

综上所述,除了“沪科教版”和“粤教版”以外,其余3个版本的教材均不同程度地摒弃了“按效果分解力”,提出要具体问题具体分析,这背后蕴含着“按需要分解力”的观点,然而“需要”究竟是什么?教材并没有说清,只是粗略地提到“解决问题的需要”“方便计算的需要”,这让学生在分解力时依旧手足无措.

在美国高中物理主流教材《物理原理与问题(上)》^[9]以及我国赵凯华、张维善教授编著的《新概念高中物理读本(第一册)》^[10]中都没有专门对力的分解进行讲解.后者只是在“矢量”一章提到:“一个矢量原则上可以沿任意两个与之共面的方向分解成一对矢量,而最基本的做法是按直角坐标系分解成相互垂直的分量.”综上所述,力的分解教学要突出

矢量运算的工具性,以循序渐进的原则,站在高中物理课程的“大尺度”上,在共点力的平衡、牛顿第二定律、圆周运动的向心力、单摆的回复力等教学中依次展开,深化学生对矢量运算的理解.

为此,应在“大概念”视域下,以学习进阶的方式重新优化设计“力的分解”教学.

3 “力的分解”教学改进

为了促进学科核心素养的落实,2017年版高中物理新课标明确提出:“重视以学科大概念为核心,使课程内容结构化.”^[11]实际上,观念和思维的形成并不是一蹴而就的,力的分解教学可划分为5个学习进阶层级,如表2所示.

表2 “力的分解”学习进阶

进阶点	进阶起点	进阶层级	进阶目标
力的合成与分解	不清楚力能否被分解	了解分力概念;能够用平行四边形定则将一个已知力分解为两个力	经过多种运动模型的学习,认识到力的分解作为矢量运算工具的简便性;能够将力分解到加速度方向上;并以此为基础认识到“力是使物体产生加速度的原因”
共点力的平衡	知道力的分解遵从平行四边形定则;但不清楚具体的分解依据	了解正交分解法;能够根据平衡条件建立未知量和已知量的关系列方程	
牛顿第二定律	初步掌握正交分解法;但没有和动力学公式联系起来	能够将力分解到运动方向上,求出合力,并利用牛顿第二定律 $F = ma$ 求解	
圆周运动	能熟练运用正交分解法;但仅限于直线运动,无法处理运动方向不断改变的圆周运动	能够将力分解到指向圆心方向上,充当向心力,并利用向心力公式 $F = m \frac{v^2}{R}$ 求解	
简谐运动	还不能求出单摆的回复力	能将力分解到运动方向和沿绳方向,运动方向的分力充当回复力	

由表2可知,物体从平衡状态到非平衡状态;从直线运动到曲线运动;从匀变速运动到变加速运动,作为进阶变量的认知复杂度不断提升.倘若缺乏大概念的统领,很容易使学生束缚于琐碎的解题技巧中,难以在不同情境中进行迁移,形成解决问题的大思路.实际上,与其说是物体运动状态不断变化,不如说是加速度情况愈发复杂.而“力是使物体产生加速度的原因”正是统摄这些知识的大概念,其超越了相关事实与公式的罗列,引导学生从形象化事实

经验向抽象科学概念的认识飞跃.而学习进阶,正是对学生在一段较长的实践跨度内学习或研究某一主题时,其思维方式从新手型到专家型连续且有层级的发展路径描述^[12].教师应将“力是使物体产生加速度的原因”作为教学切入点,将不同运动模型联系起来,逐步推动进阶目标的达成.

另外,“阶”产生的原因除了学生原有知识和事实经验的欠缺,亦有科学思想方法和研究方法等思维工具的不足^[13].对于力的分解来说,它不仅是求

解未知量的需要,更是简化计算的需要.以正交分解法为例,之所以让两个分力夹角成 90° ,是因为两个分力相互垂直,互不干扰,可以分开单独分析,这体现了隔离法的思想.正交分解法还要求让尽可能多的力落在平面直角坐标系中,是因为矢量在同一方向上相加减最为简单,为了将矢量运算转化为标量运算,需要把力分解到同一条直线上,这体现了化归的方法.上述思维对于领会力的分解“工具性”具有重要意义,然而学生一开始只有模糊的感性认识.教师应依据学习进阶理念,通过不同运动模型的教学,丰富学生掌握的思维工具,最终形成系统化的思维认知方式.

3.1 共点力的平衡

如图2所示,质量为 m 的物体静止在粗糙斜面上,斜面倾角为 θ ,重力加速度为 g .求物体所受支持力 N 和静摩擦力 f .

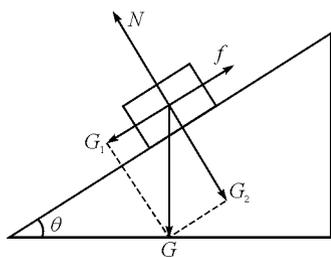


图2 物体静止在斜面上

由于物体保持静止,无论在哪个方向上,物体都处于平衡状态.根据二力平衡的知识,在支持力和静摩擦力的反方向上,应该分别有一个力与之平衡.将重力分解到沿斜面方向(G_1)和垂直于斜面方向(G_2), G_1 平衡 f , G_2 平衡 N ,问题得以求解.

3.2 牛顿第二定律

在牛顿第二定律教学中,为了求物体加速度,力的分解是一种有力的工具.如图3所示,质量为 m 的物体在光滑斜面上匀加速下滑,斜面倾角为 θ ,重力加速度为 g .求物体加速度 a .

物体沿光滑斜面匀加速下滑,根据牛顿第二定律,其合力的方向必定沿斜面向下.因此可将重力分解到沿斜面方向(G_1).同时,还要将重力分解到垂直于斜面方向(G_2),与支持力相平衡,列出相应的方程,最终求解出答案.

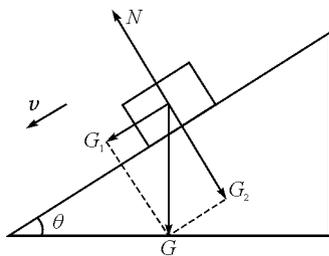


图3 物体沿光滑斜面匀加速下滑

3.3 水平面内的圆周运动

在圆周运动教学中,依据牛顿第二定律确定向心加速度是力的分解的又一应用.如图4所示,一细绳拴着质量为 m 的小球在水平面做匀速圆周运动,细绳与竖直方向夹角为 θ ,小球与圆心的距离为 R ,重力加速度为 g .求小球向心加速度 a_n .

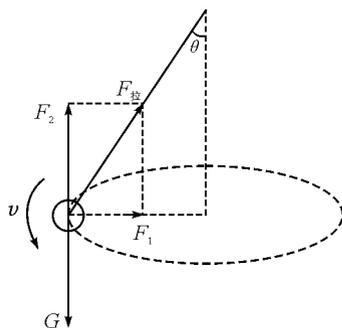


图4 小球做匀速圆周运动

小球做匀速圆周运动,指向圆心的向心力产生加速度,向心力是一个效果力.物体的重力 G 竖直向下,不可能产生水平的加速度.而细线的拉力 $F_{拉}$ 沿水平方向的分力 F_1 提供向心力,产生向心加速度. $F_{拉}$ 沿竖直方向的分力 F_2 与 G 平衡,分解后可算出小球的向心加速度.

3.4 单摆的回复力

为了研究单摆的振动是否为简谐运动,同样需要应用力的分解求出回复力.如图5所示,单摆摆长为 l ,摆球质量为 m .求单摆振动的回复力 F .

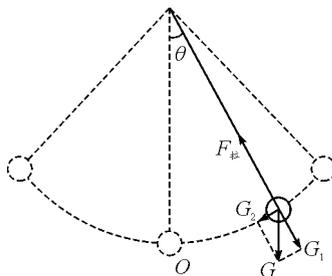


图5 单摆做简谐运动

在该模型中,加速度可以分解为指向圆心的 a_1 ,以及沿运动方向的 a_2 .根据“力是使物体产生加速度的原因”.应将重力分解到沿圆心方向(G_1)和运动方向(G_2),其中 G_1 与细绳拉力的合力提供向心力,产生 a_1 , G_2 充当回复力,产生 a_2 .当摆角 θ 很小时,摆球运动的圆弧可看成是直线的位移,设位移大小为 x .回复力 F 可表示为

$$F = -mg \sin \theta \approx -mg \frac{x}{l}$$

由于 l 和 m 确定, $\frac{mg}{l}$ 可用常量 k 表示,结果显示单摆的回复力是线性回复力.即

$$F = -kx$$

从上述梳理可知,在不同的物理模型中,分解的对象与方向均发生了很大变化.基于“大概念”视域,利用学习进阶加强知识内在联系,反映共同思想“按需要分解力”,使学生对力的分解认识螺旋式上升,最终实现分解能力的迁移和整合.

4 总结及思考

力的分解研究带来了诸多启示.

第一,教学研究要深度关照教学实践.在实际的教学过程中,许多教师过分关注课堂呈现效果,拘泥于“按效果分解力”,殊不知却把问题复杂化.实际上,思维是最经济的方式来思考和表达客观世界,力的分解作为一种矢量运算工具,正是这种经济性的具体体现.教学应回归力的分解本质,顺应解决问题的自然需要,遵循简单的理念与思路.这才是物理教学最有效的方式.

第二,优化教学要充分整合不同版本的教材.不同版本的教材各有特色,关于力的分解,“沪科教版”呈现多种分解方法,分析了彼此之间的优劣.“粤教版”从简化计算的角度,准确描述了正交分解的优点.这些均加深了学生对分解工具性的体会.教学应融合多种教材的优势,取长补短,好中选优.针对教材对比中发现的共性问题,教师应整合多版本教材资源,优化设计教学,让学生充分认识分解的“需要”究竟是什么.实现教学的突破与创新,以获得最佳的教学效果.

第三,教学设计要考虑学习进阶.教学要有系统性,可通过大概念将不同的学习内容串联起来,培养学生的专家思维,使他们能够通过迁移、创新来处理变化多端的现实情况.而学习进阶作为认知结构的搭建方式,是构筑大概念的必经之路.教师应围绕“力是使物体产生加速度的原因”大概念,利用力的分解这一工具,铺设思维上升的台阶,培养学生运动与相互作用观念,促进物理与其他学科的相互融合,最终实现核心素养的提高.

参考文献

- [1] 陈坚.高中物理大概念及其教学实施路径探析——以物理必修一为例[J].湖南中学物理,2022,37(3):1-4.
- [2] 王贤勇.从省市级优质课“力的分解”引发的思考[J].物理教师,2021,42(9):68-70,76.
- [3] 胡超越,周新雅.提升“运动与相互作用观念”的教学实践与思考——以“力的分解”为例[J].中学物理教学参考,2019,48(18):56-57.
- [4] 彭前程,黄恕伯.普通高中教科书物理必修第一册[M].北京:人民教育出版社,2019:70.
- [5] 廖伯琴.普通高中教科书物理必修第一册[M].济南:山东科学技术出版社,2019:96.
- [6] 束炳如,何润伟.普通高中教科书物理必修第一册[M].上海:上海科技教育出版社,2019:76.
- [7] 陈熙谋,吴祖仁.普通高中教科书物理必修第一册[M].北京:教育科学出版社,2019:82.
- [8] 熊建文.普通高中教科书物理必修第一册[M].广州:广东教育出版社,2019:83.
- [9] (美)保罗·齐泽维茨.物理原理与问题(上)[M].钱振华,沈珊雄,徐在新,译.杭州:浙江教育出版社,2015:10.
- [10] 赵凯华,张维善.新概念高中物理读本(第一册)[M].北京:人民教育出版社,2007:5.
- [11] 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,2020:4.
- [12] National Research Council. *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*[M]. Washington D. C.: The National Academies Press, 2007: 213.
- [13] 张玉峰.基于学习进阶的科学概念教学内容整合[J].课程·教材·教法,2019,39(1):99-105.