

真实情境下培育科学探究素养的教学设计

——以“向心力(第1课时)”为例

丁红明

(平湖市教师进修学校 浙江 嘉兴 314200)

(收稿日期:2022-04-26)

摘要:科学探究是基于观察和实验提出物理问题、形成猜想与假设、设计实验与制定方案,通过获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思.以“向心力(第1课时)”为例,将教学分解成3个任务,紧紧围绕科学探究的四大要素开展教学设计.

关键词:情境 科学探究 向心力 教学设计

新教材中向心力置于圆周运动之后,向心加速度之前,与旧教材在编排体系上有较大的差异,从力与运动的角度来看,有利于向心加速度教学.这节课重点是设计实验制定探究方案,归纳向心力与质量、角速度和轨道半径的关系,难点是向心力演示器的结构和工作原理.

破解学生认知困难,从而使探究规律得到固化,使探究广度与深度达到最大化.同时在该过程中,教师作为探究主体,可以适当展现自己的认知,这种认知不一定是规律的重复展现,可以是对一种方法规律的自我理解,也可以是对自然科学自我认知的展示,展示的内容不一定是准确的,但是应该具有一定的前瞻性和讨论性.

例如在汇报中,学生对于如何调整实验装置减小实验误差提出了很多的设计方案,实施过程也显得非常繁琐.针对方法与误差和实验探究规律的关系,笔者尝试提出了方法与误差对结论影响的关系式:设方法为 M 、误差为 E 、规律为 L 、时间为 T .那么可以针对学生的探究过程基本得出: $M \times E = \frac{L}{T}$,对于这个公式的理解:如果想要在一定时间内得出一定的规律($\frac{L}{T}$ 为一个定值),人类探究方法与实验误差的关系是呈反比的,也就是说如果探究方法越合理、越精确 M 值越大,实验误差 E 值就会越小.这样在寻求真理的过程中,我们就可以思考是不是一定要寻找到极其高精度的实验手段,来获得极其小的

控制变量法研究多变量问题是高中物理中的一种重要方法,初中及高中物理必修第一册虽有涉及,但学生还不够熟练.本实验中影响向心力大小的因素众多,需要学生回顾牛顿第二定律的探究经历,在教师的指导下设计实验探究方案.同时会采集相应的数据,分析和比较数据,并总结出规律,这是科学

实验误差呢?其实这就是一种方法论.还有就是关于时空关系,为什么动量守恒定律在自然规律的探究过程中应用范围如此之广,其实它是建立在牛顿第三定律和时间不变的基础之上,但是如果人类能到四维时空,时间可以拖后或者超越,那么相互作用过程中物体所受冲量就不会相等,也就有理由相信相信四维时空中,动量守恒定律可能就会发生变化.当然这些都是笔者在与学生探究过程中的自我思考,在这样的主体间性民主环境氛围中,学生与教师都在自己的知识基础上获得了新的发展,这就是教育应该呈现的一种较为理想的状态.

其实如果我们一线教师真正地以科学发展的眼光对待探究性实验,不跳跃,不超越,认真让学生成为实验探究的主体,扎实走好探究过程中的每一步,在学生间形成以主体间性哲学思想的探究氛围,思想碰撞的火花一定是可以燎原的.

参考文献

- 1 张晓冰.主体间性视域下的物理课堂文化的建构[J].新课程研究(上旬),2015(3):101~103
- 2 保永亮.HPS教学模式在物理学史教学中的应用——以库仑定律为例[J].物理通报,2021(3):149~152

探究中的一种重要能力。

物体做圆周运动的必要条件之一是在圆周轨迹平面内受到一个指向圆心的向心力,这里给出了向心力的方向,而向心力的大小如何?影响向心力大小的因素有哪些?向心力是否与物体本身的性质以及它的运动状态有关?这就是需要我们探究的问题。

探究向心力大小的影响因素属于科学探究的范畴,教师要遵循学生认知规律开展教学设计,从定性感受向心力存在到定量研究向心力大小的影响因素,领会控制变量思想在科学探究中的运用,引导学生设计实验方案,通过观察操作向心力演示器,引导学生探究向心力演示器的工作机理,理解将力的大小关系转换为标尺露出格数的原理。

1 基于观察和实验提出物理问题

情境 1:如图 1 所示,用手通过细绳拉着小沙包在水平面内做圆周运动。

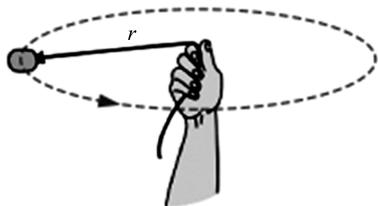


图 1 新课引入小实验

教师提出引导性问题:从运动与力的角度看,你想研究的问题有哪些?在这个情境中,哪些可以定性研究?定量研究时,还需要哪些物理量?

学生讨论提出一些问题后,师生明确本节课的核心问题:物体做匀速圆周运动时,合力指向哪里?物体做匀速圆周运动时,合力的大小与哪些因素有关?如何设计探究方案,定量研究合力与质量、角速度和半径的关系?然后师生共同对提出的问题进行分类:

- (1) 如何给物体做匀速圆周运动时受到的合力命名,要从合力方向的特点出发,为合力命名。
- (2) 区分定性问题和定量问题,本课时先研究定性问题后研究定量问题。
- (3) 区分问题主要研究方向:水平面内的圆周运动,竖直面内的圆周运动,倾斜的圆周运动,确定

对水平面内圆周运动做定量研究,其他两个做定性研究。

交流讨论后,制定研究计划,总结得出本节课的任务串。

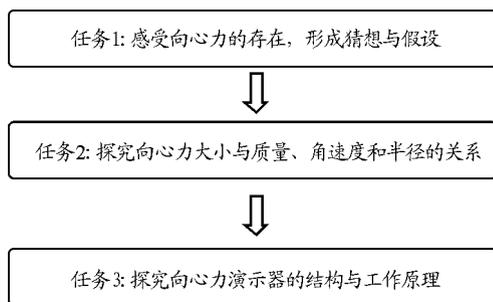


图 2 课时任务串

教学建议:在本环节教学中,主要任务是完成本节课任务串的制定,可以以小组为单位广泛搜集学生提出的问题并进行汇总补充,针对各类问题,引导学生按照不同视角对问题进行分类,以明晰研究方向,由此制定本节课的任务串。

设计意图:本环节教学旨在明晰本节课的学习路径,避免教师直接制定教学安排,让学生经历“问题提出—问题分类—问题提炼—任务制定”等过程,参与课堂设计。

2 设计实验方案 开展科学探究

任务 1:感受向心力的存在,形成猜想与假设。

情境 2:两个同学为一组,每组配一个带有细绳的小沙袋(或小沙桶),让学生按照以下操作完成实验。

操作一:如图 3 所示,同学甲手握绳结 A,使沙袋在水平面上做匀速圆周运动。同学乙每秒钟喊 2 次口令。同学甲按口令调节沙袋转动的快慢,使沙袋每 2 次口令运动 1 周,即每秒钟运动 1 周,体验此时细绳对手的拉力的大小。

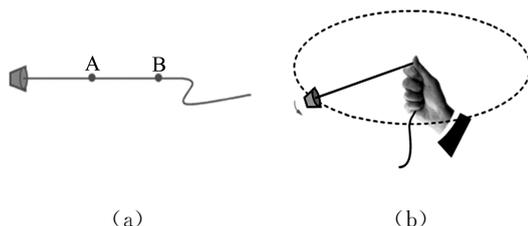


图 3 演示实验:感受向心力的存在

操作二:改为手握绳结 B,仍使沙袋在水平面内每秒钟运动 1 周,体验此时细绳对手的拉力的大小.

操作三:再次改为手握绳结 A,使沙袋在水平面内做匀速圆周运动,每秒钟运动 2 周,体验此时细绳拉力的大小.

操作四:手握绳结 A,增大沙袋质量为原来的 2 倍,使沙袋在水平面内做匀速圆周运动,每秒运动 1 周,体验此时细绳拉力的大小.

教师设置以下问题,帮助学生进行归纳:

(1) 操作二与操作一中沙袋质量和角速度都一样,但是转动半径不同,你感受到的细绳拉力有什么不同?

(2) 操作三与操作一中沙袋质量、转动半径相同,但沙袋的角速度是操作一的 2 倍,你感到哪一次的向心力比较大?

(3) 操作四与操作一中沙袋的角速度、转动半径相同,但沙袋质量是操作一的 2 倍,你感到哪次的向心力比较大?

教学建议:为了确保安全,在做本实验时同学之间要保持一定的距离.可将多余的细绳绕在手上,以免沙袋甩出去伤人.同时,要注意把握甩绳的节奏,教师示范,学生一开始多练习几次每秒钟喊 2 次口令,然后再开始感受向心力的存在.

表 1 探究 1:小球质量 m 和角速度 ω 相同时向心力 F 与轨道半径 r 的关系

次数	转动半径之比	标尺露出的格数之比	向心力大小之比
1			
2			

表 2 探究 2:小球质量 m 和轨道半径 r 一定时向心力 F 与角速度 ω 的关系

次数	皮带挡位	角速度之比	标尺露出的格数之比	向心力大小之比
1				
2				

表 3 探究 3:小球角速度 ω 和轨道半径 r 一定时向心力 F 与小球质量 m 的关系

次数	质量之比	标尺露出的格数之比	向心力大小之比
1			
2			

教学建议:引导学生广泛参与方案设计与交流,借助集体的力量完善方案.根据任务 2 中的追

设计意图:通过操作一到操作四的连续四步操作,让学生通过观察和使用基本器材进行实验,形成对于向心力大小影响因素的初步猜想,为后续定量研究向心力大小与质量、角速度和半径关系做好准备.

任务 2:探究向心力大小与质量、角速度和半径的关系.

情境 3:向心力大小的表达式是怎样的?怎样才能验证你的猜想?教师给出任务的具体目标,探究向心力大小表达式.

通过以下问题设置,帮助学生抓住本任务学习的主要方向:

(1) 根据前面的体验,我们需要明确向心力大小与哪些因素有关?

(2) 探究向心力大小与诸多因素的关系,物理上往往采用什么方法开展研究?

(3) 请你设计相应的探究方案,然后依据操作方案开展探究.

(4) 实验操作时,如何运用控制变量法?

学生相互交流,确定向心力大小的影响因素,然后制定探究方案,结合向心力演示器的使用,设计好相应的数据记录表格(见表 1~3).

问,要引导学生明确探究中测量的物理量通过比值关系体现出来,而不是具体的某个数值.具体探究过

程中,教师要多走动,巡视学生具体操作,发现有操作不规范的地方,要及时指出并督促其改正.标尺露出的格数记录应尽量选择整数倍记录,比如1:4格或2:8格,这样比较容易看清楚格数之比.实验时可以先使短槽小球标尺达到,再去观察长槽小球标尺.

设计意图:一方面让学生在承接任务1“猜想与假设”的基础上,一起交流探讨“设计实验和制定方案”,观察向心力演示器结构,明确如何实现控制变量法以及探究中测量的物理量通过比值关系体现出来,通过操作实验、采集数据、处理数据,形成初步结论,最后结合课本得出向心力表达式,让学生经历科学探究全过程.另外一方面,由于仪器本身的限制,所能采集的数据很有限,所以基于有限的、不连续的数据形成的结论也是初步的、不可靠的,为学生思维提升打开了一扇窗,为后续进一步研究做好了必要的铺垫.

情境4:如何验证向心力表达式 $F = m\omega^2 r$ 是否正确?

教师引导:利用向心力演示器得出向心力大小表达式是否正确,这个表达式中是否有比例系数,还需要实验进一步验证.

学生讨论交流,分享自己的想法,综合大家的意见,给出相应的观点:表达式是否正确,可以把等号左右两边的量都求出来,看具体数值是否相等.

教师总结:向心力本质上是由具体的某个力提供,如果这个力的大小确实与 $m\omega^2 r$ 的数值相等,那么我们就说由这个力提供了圆周运动所需的向心力,进一步也证明了 $F = m\omega^2 r$ 表达式的正确性.要实现精确测量,就可以借助传感器,利用图4所示传感器实验装置开展探究.

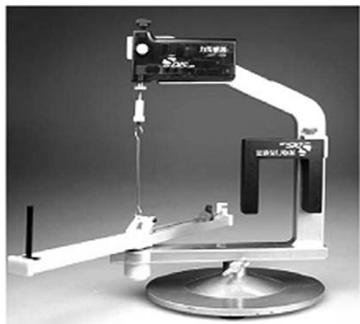


图4 传感器实验装置

教学建议:本教学任务受制于时间和空间,具体探究过程可能要放在课外进行,课内仅进行理论上的分析和探讨,帮助学生形成研究思路,制定研究方案.

设计意图:这部分教学中,主要是让学生敢于表达自己的观点(探究实验是从比例关系推导而来,并非精准实验),反思刚才的探究过程和结果(有限的的数据得出结果是否可靠),提出新的质疑(向心力公式中可能有系数),于是师生交流,明确下面的任务是要验证向心力公式的正确性,讨论发现向心力演示器无法同时测量向心力和角速度的数值,因而无法用向心力演示器验证,于是考虑使用传感器突破上述难点,重新制定有新意的科学探究方案,灵活选用传感器获得连续数据,形成合理的结论,验证向心力公式的正确性.

任务3:探究向心力演示器的结构与工作原理.

情境5:如图5所示,两人一组,每一组实验桌上放一台向心力演示器,学生慢慢摇动手柄,认识向心力演示器,探究其工作原理.

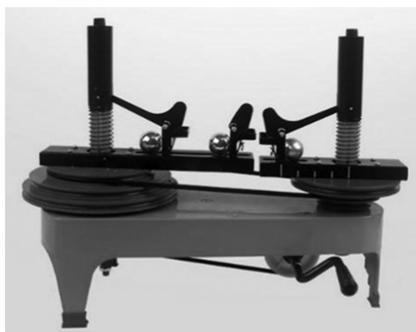
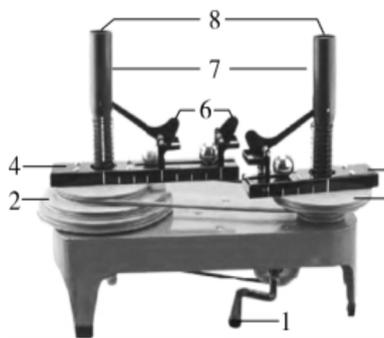


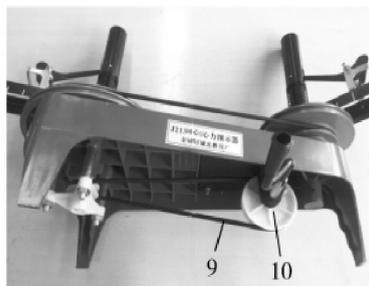
图5 向心力演示器

学生阅读书本28~29页材料,边阅读边体会仪器的工作原理,完成图6的填空.



弹簧测力套筒 ()
左变速塔轮 ()
标尺 ()
手柄 ()
右变速塔轮 ()
短槽 ()
长槽 ()
横臂 ()

(a)



(b)

图6 向心力演示器的结构部位

教师设置以下问题,帮助学生更好地认识向心力演示器.

- (1) 小球做圆周运动时的向心力由什么提供?
- (2) 标尺露出的格数和挡板对小球的作用力有什么关系?
- (3) 塔轮自上而下有3层,这3层起到什么作用?
- (4) 向心力演示器设置两个塔轮的巧妙之处在哪里?

【案例1】挡板对小球作用力与标尺露出的格数之间的关系.

师:为什么说露出的格数与向心力大小成线性关系呢?

生:……(思考中)

师:大家观察小球受到的弹力(向心力)是怎样转换到露出的格数?如何受力分析?

生:小球受到的弹力的反作用力是小球对挡板的推力,横臂是杠杆,通过横臂的杠杆作用,把球对挡板的作用力转换到了弹簧测力套筒的弹力,弹力使得套筒上下移动.

师:能否再具体点,为什么向心力和露出的格数之间是线性关系.

生:小球受到挡板的弹力和小球对挡板的弹力是相互作用力,两者大小相等,即 $F_{\text{板对球}} = F_{\text{球对板}}$,横臂起到杠杆的作用,受力分析如图7所示,根据杠杆原理 $F_{\text{球对板}} L_1 = F_{\text{弹}} L_2$,由于 L_1 、 L_2 都是定值,则有, $F_{\text{球对板}}$ 和 $F_{\text{弹}}$ 成正比关系,根据胡克定律 $F_{\text{弹}} = \kappa x$,其中 x 就是标尺露出的格数的长度, κ 是定值,则 $F_{\text{弹}}$ 和 x 也是成正比关系,最后得到: $F_{\text{板对球}} = \frac{L_2}{L_1} \kappa x$,这

个表达式是正比例函数,因此,可得向心力大小和露出的格数之间是线性关系.

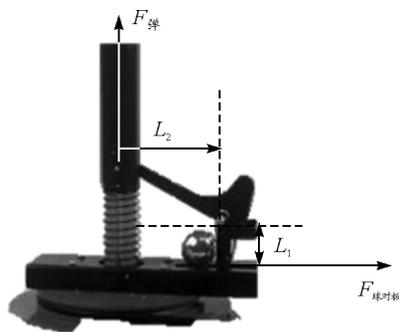


图7 向心力演示器中的杠杆结构

教师追问:在实验操作时,为了使机座保持稳定,转速有什么要求?既然单个标尺露出的格数不能精准等价力的大小,那么用什么方法可以表示两个小球受到的挡板作用力大小关系呢?

教师总结:向心力演示器使用时转速应从慢到快慢慢增大,右手转动手柄,左手握住向心力演示器机座,使机座保持稳定,将小球受到的向心力之比转换为标尺露出的格数之比.

教学建议:在探究挡板对小球作用力与标尺露出格数的关系时,引导学生认真阅读书本材料,找到一些关键的字眼(比如:杠杆作用),然后观察仪器构造,建立相应杠杆模型,加以推理论证分析,让学生养成每个判断都要拿出相应证据的习惯.同时,遵循从定性到定量的教学策略,随着老师的追问,引导学生结合严密的数学推导,深入理解整个装置的结构转换关系,最后理解标尺露出的格数可以反映向心力的大小.

设计意图:在完成向心力大小影响因素的定量探究后,学生自然而然想到向心力大小为什么和向心力演示器标尺露出格数成正比.所以要求学生面对真实的情境,能从不同角度认识向心力演示器,探究向心力演示器的结构转换关系,能用已知的物理知识(杠杆原理)通过严密的数学推导,科学解释心中的疑惑(向心力大小和标尺露出格数是线性关系),落实科学探究素养.

【案例2】感受向心力演示器双塔轮结构的巧妙之处.

师:我们在研究向心力大小与角速度的关系时,能不能在保证 m 和 r 不变的情况下,第一次摇手柄,

使物体以角速度 ω 运动,第二次摇手柄,使物体以角速度 2ω 运动,然后总结向心力 F 大小与角速度 ω 的关系?

生:可以模仿前面喊口令的方法,第一次喊一次口令小球运动1周,第二次喊一次口令小球运动2周,比较两次标尺露出的格数.

师:从实验数据获取的精准性角度看,困难在哪里?

生:理论上通过喊口令,前后两次角速度为两倍关系,但实际操作的时候,很难保证角速度就是2倍关系.

师:那会带来什么影响?

生:比如操作时,真实的角速度是1.8倍,那么平方以后实际上是3.24倍关系,但我们还以为角速度是2倍关系,平方以后是4倍关系,对于实验来说误差就大大增加了.

师:为了避免刚才所说的情况,我们在实验时是用左右两个塔轮的.大家想想这样有什么巧妙之处?可以用具体的数据说明问题.

生:研究向心力 F 大小与角速度 ω 的关系时,只要控制左右塔轮的半径比为2:1,由于塔轮边缘线速度相等,所以左右塔轮的角速度就是1:2,这个时候在摇动手柄时,不管是匀速摇动还是加速摇动,左右两边的角速度关系始终是1:2,可以有效避免人为因素造成的实验误差.

师:是的,采用左右塔轮对比的方法,可以很好地满足实验探究的需要.大家是否可以再说,在研究 F 与 r 的关系时,这个巧妙关系依然存在.

生:在具体探究时,如果用一个小球,保证角速度不变,做半径不一样的两次探究,实际操作时,很难保证前后两次的角速度完全一样.所以采用左右两个半径相同的塔轮用皮带连接,这样在具体探究的时候,不管是摇动手柄时,匀速摇动还是加速摇动,只要皮带在第一层,两个小球的角速度始终相同,这样比较才有实际意义.

教学建议:本任务在学生具体操作体验中完成,需要两位同学相互配合,具身体验与精准阅读相结合,及时提取课本相应的知识.案例实施时引导学生

从实际操作上去考虑问题,同时,指导学生在塔轮上换皮带的方法,体现实验的安全操作要求.不同塔轮的半径关系,学生往往先定性表述,然后教师提醒,学生再仔细观察结合分析、推理才能得到定量结论.

设计意图:通过追问让学生发现单塔轮研究问题存在的困难,从而寻找双塔轮巧妙之处的证据,通过课堂上师生交流、生生交流,解释清楚为什么要用双塔轮结构,理解其巧妙性.

3 学习活动设计说明

本教学设计依据学生的认知规律,从定性到定量,从模糊到精准,从误差分析到精准探究的思路,引导学生开展科学探究,以问题探究和师生互动、同伴互助等方式组织教学,在完成预设的学习目标的同时,有效落实科学探究素养的培育.

问题、证据、解释、交流等科学探究的四要素始终贯穿在本课时中,整个教学设计遵循“情境引出问题”“数据提供证据”“推理支撑解释”“案例保障交流”的思路.“基于观察和实验提出物理问题”中通过真实的情境,老师给予充分的引导问题,学生讨论问题,最后师生一起确定研究的问题.

任务1中的4个体验操作,给学生定性的认识,为学生提供了定性的证据,支撑学生形成猜想:向心力大小与质量、角速度和半径有关系.

任务2中学生参与制定科学探究方案,选用合适的器材获得相应的科学数据,发现其中规律、形成合理的结论,佐证前面的猜想,则将科学探究的要素得以充分展现,特别是培养学生的证据意识.

任务3中培养学生观察读图能力,发现了解决问题所需要的证据,能用已有的物理知识进行解释,几个“参考案例”中,学生有了很好的解释和交流的机会.

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版2020修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.5
- 2 浙江省教育厅教研室.浙江省高中物理实验手册必修(第二册)[S].杭州:浙江科学技术出版社,2020.8