

从问题情境出发培养高中物理科学思维能力

——以“球槽模型”仿真实验为例

余莉莉

(福建师范大学附属中学 福建 福州 350007)

连彬星

(福建师范大学平潭附属中学 福建 福州 350400)

(收稿日期:2021-01-01)

摘要:通过借助物理仿真软件 Interactive Physics,模拟球槽模型的运动过程.通过模拟能够直观观察到槽在运动时是否会与墙发生碰撞,同时也可以从位移图像和速度图像进行分析得到结果,有效地将抽象问题可视化.本文旨在从问题情境出发,以模型建构为主,培养学生的物理科学思维.

关键词:科学思维 仿真实验 球槽模型 问题情境 模型建构

高中物理学科的核心素养包括了4个维度:物理观念、科学探究、科学思维、科学态度和责任.其中科学思维主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素.通过物理课程的学习培养学生的核心素养,这样才能让学生将来可以运用物理思维的方式方法去处理各种实际问题^[1].笔者想从球槽问题情境出发,借助仿真软件模拟,以模型建构为主,培养学生的高中物理科学思维能力.

1 抛出问题 初步分析

如图1所示,将质量为 M_1 ,半径为 r 且内壁光滑的半圆槽置于光滑水平面上,左侧靠墙角,右侧靠一质量为 M_2 的物块.今让一质量为 m 的小球自左侧槽口A的正上方 h 高处从静止开始下落,与圆弧槽相切进入槽内.试分析球、槽与物块的运动情况.

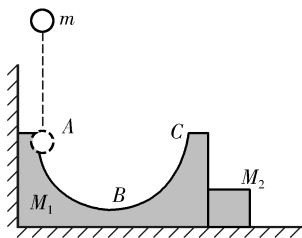


图1 问题情境图

此题特点:此类问题涉及物体分别有小球、半圆槽和物块,运动过程也较为复杂,属于多物体多过程问题.从力与运动的角度分析:小球在槽内运动时,小球与槽之间的弹力方向不断变化.小球从A到B

运动时,槽受球的挤压,有向左运动的趋势,会对左侧墙壁有压力.小球从B到C运动时,槽受球的挤压,有向右的运动趋势,会对右侧的物块有压力,从而推动物块向右运动.由于球与槽之间的弹力为变力,槽为半圆形,导致3个物体的运动过程比较复杂.从能的角度分析:球下落,重力势能转化为动能,使其带动槽与物块运动.本题涉及判断系统的动量和机械能是否守恒、判断小球的运动性质问题.此类问题能够考查学生综合分析能力,很好地考查学生的科学思维,且出现的概率较大.每每学生遇到类似问题都不好下笔,所以我们现在来一起探讨一下这样的球槽问题.

问题1:小球与槽在水平方向动量守恒吗?整个系统水平方向动量守恒吗?

从动量的角度分析:在水平方向上,小球从A到B的过程中,小球与半圆槽在水平方向受到墙的外力作用,动量并不守恒,所以小球、半圆槽和物块组成的系统动量也不守恒.从B到C的过程中,小球对半圆槽的压力方向向右下方,所以半圆槽会向右推动物块一起运动,小球所受支持力方向与速度方向并不垂直,由于有物块挡在右侧,小球与半圆槽在水平方向动量并不守恒.

问题2:槽会不会与左墙再次接触?

分析:虽说整个系统在水平方向上获得了水平向右的冲量,小球从B到C的过程中半圆槽会向右推动物块一起运动.但是当小球从C到B再返回A

这侧的过程中,会不会带动槽也往左运动,从而接触墙壁?再或者有没有可能一个来回后,球与槽一起向右运动追上物块,与物块发生碰撞后,再返回接触墙壁?难以通过想象直接得到答案,想要通过计算得到答案,发现计算量也较大.但是我们猜想:是否再接触左侧墙壁可能与3个物体的质量大小有关.下面借助仿真软件直观模拟一下整个过程,以下介绍一种交互式物理仿真软件 Interactive Physics.



图2 软件图标

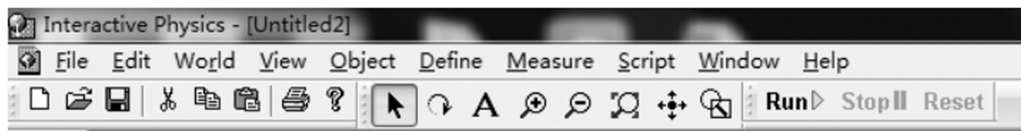


图3 交互式物理仿真软件工具栏

(2)界面左侧一系列形状中(图4),从左到右、从上到下分别代表球形、正方形、直线、曲线、长方形和船锚.我们可以先用长方形画出水平地面和左侧墙,在地面和墙上加船锚符号,代表固定(图5).



图4 形状工具栏



图5 画地面和左侧墙

(3)选中直线曲线,画出半圆槽.选中球形,画出球.选中正方形,画出物块(图6).

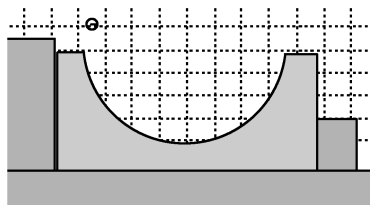


图6 画半圆槽、球和物块

(4)画好3个物体后,在物体上右键点击,从上到下出现属性、外观、对象、测量值……选项,如图7所示.在“Properties”中可以改变物体的材质、质量、弹性等.

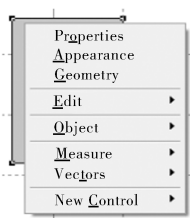


图7 设置物块

2 模型建构 仿真模拟

软件操作步骤如下:

(1)下载安装好软件(图2)后,打开软件,点击图3中的“File”新建一个新任务“New”,再点击“View”之下的“workspace”,选中“Grid Lines”和“XY Axes”出现网格线.

(5)可以在“Appearance”选中“Show name”给物体命名:“m”“M1”“M2”等.

(6)在“Object”中可以选择弹性系数“Elasticity”和摩擦系数“Friction”.

(7)在“Measure”中选择“Position”可显示物体位置随时间变化图像,选择“Velocity”可以显示物体速度随时间变化图像,如图8和图9所示.

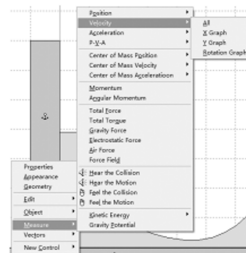


图8 选择图像类型

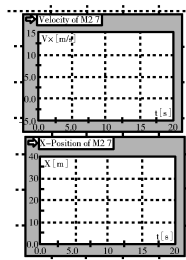
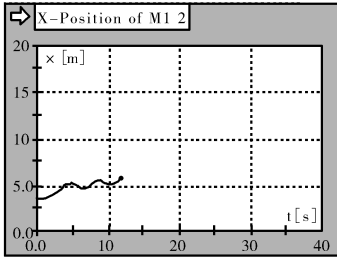


图9 显示速度-时间图像和位移-时间图像

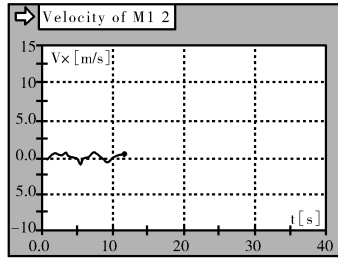
按照题中所给设置好参数,就可开始模拟实验.由于有3个物体的质量需要改变,所以我们采用控制变量法.

对比实验1:控制球质量 m ,槽质量 M_1 不变,改变物块 M_2 质量.

实验1: $m=1\text{ kg}$, $M_1=10\text{ kg}$, $M_2=10\text{ kg}$,对应的图像如图10所示,槽不返回接触墙壁(图11).



(a) $x-t$ 图像



(b) $v-t$ 图像

图 10 实验 1 对应的图像

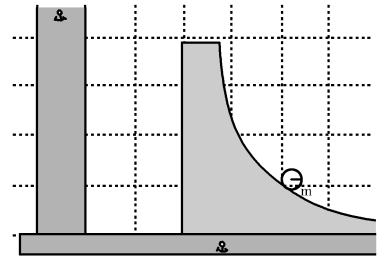
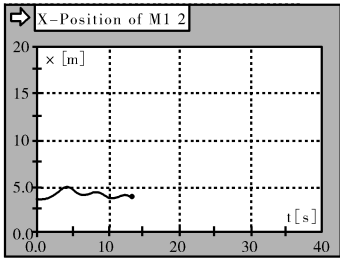


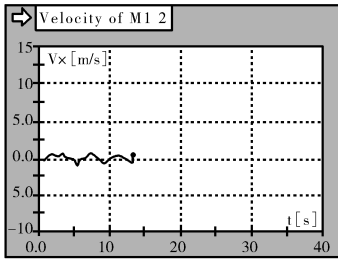
图 11 不返回接触墙壁

实验 2: $m=1\text{ kg}, M_1=10\text{ kg}, M_2=15\text{ kg}$, 对应

的图像如图 12 所示, 会返回接触墙壁一次(图 13).



(a) $x-t$ 图像



(b) $v-t$ 图像

图 12 实验 2 对应的图像

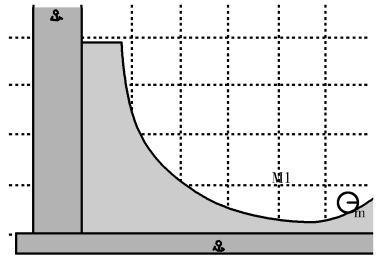


图 13 槽返回接触墙壁

实验 3: $m=1\text{ kg}, M_1=10\text{ kg}, M_2=30\text{ kg}$, 槽会返回接触墙壁一次.

(图 14), 对应速度图像如图 15 所示, 第二次在 123 帧(图 16), 对应速度图像如图 17 所示, 第三次在 188 帧(图 18), 对应速度图像如图 19 所示.

实验 4: $m=1\text{ kg}, M_1=10\text{ kg}, M_2=100\text{ kg}$, 槽会返回接触墙壁三次. 第一次碰撞在 88 帧的时候

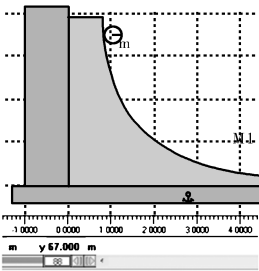


图 14 槽返回第一次与墙壁接触

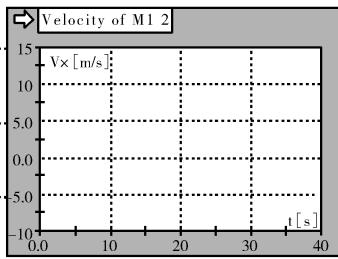


图 15 第一次与墙壁接触对应的速度图像

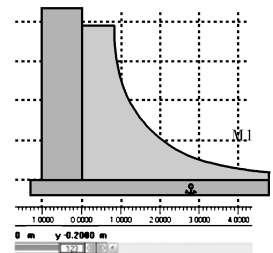


图 16 槽返回第二次与墙壁接触

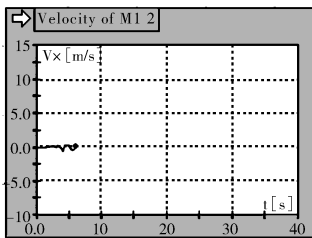


图 17 第二次与墙壁接触对应的速度图像

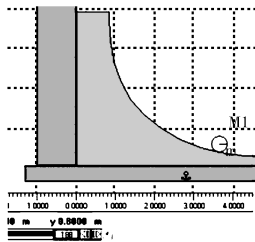


图 18 第三次与墙壁接触

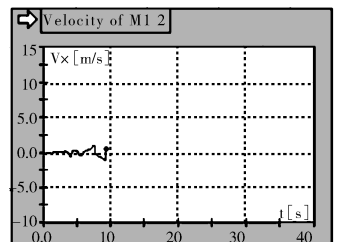


图 19 第三次与墙壁接触对应的速度图像

分析: 实验 1 中可以直观看到, 槽离左侧墙壁越来越远, 不会再返回接触墙. 从图 10 的 $x-t$ 图像也可以看出, 槽离出发点有越来越远的趋势. 实验 2 的 $x-t$ 图像可以看出, 槽离出发点越来越远的趋势, 从 $v-t$ 图像也可以看到, 槽与墙碰撞瞬间速度发生

突变. 实验 3 与实验 2 图形趋势类似, 不再赘述. 实验 4 观察到 3 次返回与墙碰撞, $v-t$ 图像也显示碰撞时速度的突变.

结论 1: 当小球质量 m , 槽质量 M_1 不变, 物块质量 M_2 改变时, 随着物块质量变大, 会出现槽返回与

左侧墙碰撞的情况,且物块质量越大碰撞次数可能会变多.

对比实验 2:控制质量 m, M_2 不变,改变质量 M_1 .

实验 5: $m=1 \text{ kg}, M_1=1 \text{ kg}, M_2=10 \text{ kg}$,槽会返回接触墙壁两次.

实验 6: $m=1 \text{ kg}, M_1=5 \text{ kg}, M_2=10 \text{ kg}$,槽会返回接触墙壁一次.

实验 7: $m=1 \text{ kg}, M_1=10 \text{ kg}, M_2=10 \text{ kg}$,槽不会返回接触墙壁.

实验 8: $m=1 \text{ kg}, M_1=30 \text{ kg}, M_2=10 \text{ kg}$,槽不会返回接触墙壁.

分析:同样可以通过模拟,直观看到槽是否会返回与墙再次接触.也可以通过 $x-t$ 图像与 $v-t$ 图像观察到.

结论 2:当小球质量 m ,物块质量 M_2 不变,槽质量 M_1 改变时,随着槽质量变小,会出现槽返回与左侧墙碰撞的情况,且槽质量越小碰撞次数可能会变多.

对比实验 3:控制质量 M_1, M_2 不变,改变质量 m .

实验 9: $m=5 \text{ kg}, M_1=10 \text{ kg}, M_2=20 \text{ kg}$,槽会返回接触墙壁一次.

实验 10: $m=10 \text{ kg}, M_1=10 \text{ kg}, M_2=20 \text{ kg}$,槽不会返回接触墙壁.

实验 11: $m=20 \text{ kg}, M_1=10 \text{ kg}, M_2=20 \text{ kg}$,槽不会返回接触墙壁.

结论 3:槽是否会返回碰撞墙壁与球质量 m 大小也相关,质量 m 小时,槽可能会返回与墙壁碰撞.

结论:对上述球槽模型,依据模拟实验可以得出如下规律,槽会不会返回接触左侧墙壁,与 3 个物体的质量取值都有关.仔细分析数据可得,当球的质量 m 与槽的质量 M_1 相加小于物块质量 M_2 时,会出现槽返回与左侧墙壁再次接触的情况.

3 科学论证 理论计算

设小球初次落到槽底部时速度为 v_0 ,易知 $v_0 = \sqrt{2g(h+r)}$,且此时槽和物块均静止.设小球第一次向右上升并返回到槽底时,小球速度大小为 v_2 ,方向向左,槽和物块共速,速度大小 v_1 向右,则球从底部上升再回到底部过程中水平动量守恒,有

$$mv_0 = (M_1 + M_2)v_1 - mv_2$$

机械能守恒

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}(M_1 + M_2)v_1^2$$

设小球运动到左顶点时,槽速度向右,达到最小(或速度向左达到最大),小球与槽水平速度均为 u_2 ,小球竖直向上速度为 u ,易知此时物块速度仍为 v_1 ,则水平动量守恒

$$M_2v_1 + (M_1 + m)u_2 = mv_0$$

机械能守恒

$$\frac{1}{2}(m+M_1)u_2^2 + mgr + \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}M_2v_1^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得

$$u_2 = m(m+M_1-M_2) \sqrt{\frac{2g(h+r)}{(m+M_1)(m+M_1+M_2)}}$$

当 $M_1 = M_2 = M$ 时

$$u_2 = m^2 \sqrt{\frac{2g(h+r)}{(m+M)(m+2M)}} > 0$$

即槽的速度大于零,方向向右,不会再碰撞左墙.当 $M_2 > M_1 + m$ 达到一定程度时, $u_2 < 0$,槽有可能返回撞墙,与仿真结果相符.

接着球与槽与左侧墙壁碰撞后,向右运动可能还会追上物块.再与物块碰撞后,向左运动可能会第二次碰撞墙壁.由于过程较为繁杂,就不再计算下去.

结语:本文大致分三步来研究球槽问题,第一步提出问题,运用高中物理学知识从受力、运动、功能等角度进行初步分析,得到初步设想.第二步建构模型借助仿真软件进行模拟,直观感受运动过程.第三步通过理论计算科学论证,发现与软件模拟的结果符合.物理教学中有很多问题值得深究,很多问题都可以借助类似的软件进行模型建构.我们可以把这个软件放在班级电脑上,学生可以利用课余时间自由操作,在亲身体会中提升学生的科学思维能力.

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[S].北京:人民教育出版社,2017
- 2 徐学.高中物理生态课堂理念下培养科学思维能力的探索[J].物理教师,2020(6)
- 3 陈向正,李力,张贵华.球槽模型的数理解析和一个错误的澄清[J].物理教师,2018(5)