

Algodoo 软件在高中物理教学中的应用*

——以“万有引力与宇宙航行”一章为例

李广富 高永伟 尹琪 陈泓宇 吕雨雨

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

(收稿日期:2021-08-11)

摘要:利用 Algodoo 软件对 2019 版人教版高中物理必修 2 第七章“万有引力与宇宙航行”相关内容进行模拟仿真,并在对模拟仿真结果进行分析、讨论的基础上提出如何将 Algodoo 软件融入本章教学的相关建议.

关键词:Algodoo 高中物理 开普勒三大定律 卫星变轨 双星问题

1 前言

随着信息技术的高速发展和计算机网络的普及,技术与课程的整合成为教育信息化进程中的热点^[1].2020 版高中物理课程标准提到:通过多样化的教学方式,利用现代信息技术,引导学生理解物理学的本质,整体认识自然界^[2].由此可见,课标编写者也非常注重引导教师将现代信息技术融入到高中物理教学中,使学生能够更好地学习物理.

2019 版人教版高中物理必修 2 第七章“万有引力与宇宙航行”的主要内容是:开普勒行星运动定律、卫星变轨、万有引力定律等等,由于本章的内容不易用实物进行演示,教材在本章中引入了不少物理学史来进行辅助教学,但这样并不能够让学生对本章知识有一个直观感性的认识.借助虚拟仿真软件再现行星的运行规律,对于有效帮助学生理解本章相关知识将具有重要意义.

Algodoo 是由瑞典 Algoryx Simulation AB 公司推出的仿真实验软件,不但操作简便,而且还可以模拟仿真不同条件下的物理实验,更具有生成数据图表快速准确等优点^[3].

由于星体的半径、星体之间的距离等相关物理量的数值非常大,本文将在按照一定比例对天体相关参数进行缩小的基础上利用 Algodoo 软件对“万

有引力与宇宙航行”这一章的相关内容进行模拟仿真,并对模拟结果进行分析、讨论和提出将 Algodoo 软件融入本章教学的相关建议.

2 对开普勒三大定律的模拟和验证

2.1 开普勒第一定律的模拟和验证

利用 Algodoo 创建开普勒第一定律模拟场景的步骤如下所示:

- (1) 新建一个场景;
- (2) 太阳与水星的半径比约为 285 : 1,创建两个半径分别为 28.5 m 和 0.1 m 的圆形,并为大圆形、小圆形插入太阳和水星的图片;
- (3) 太阳与水星的质量比约为 6×10^6 : 1,设置大圆形、小圆形的质量为 6×10^6 kg 和 1 kg;
- (4) 为小圆形添加蓝色的循迹追踪器,并使循迹追踪器的半径大于圆形的半径,以使其运动轨迹更明显;
- (5) 设置圆形之间的模拟引力常量,并为小圆形设置相应的速度,使其进入轨道;
- (6) 勾选“可视化力”“可视化速度”两个选项;
- (7) 打开“显示图表选项”,勾选“位置 X”“位置 Y”两个选项.

点击运行按钮即可得到开普勒第一定律的模拟场景,如图 1 所示.

* 宁夏教育厅教育教学改革项目的研究成果,项目编号:NXBIG-5

作者简介:李广富(1994-),男,在读硕士研究生,研究方向为中学物理教学.

通讯作者:高永伟(1979-),男,副教授,研究方向为中学物理教学.

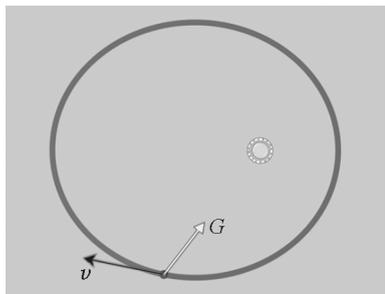


图1 开普勒第一定律模拟场景

从图1可以看出,模拟得到的水星绕太阳运动的轨道为椭圆,水星所受万有引力的方向指向太阳。

图2为水星模拟运动轨迹在坐标系中的表示。利用 Algodoo 的图表功能可得:水星的模拟轨道的中心坐标为 $(-38.603, 0)$,半长轴 $a_1 = 187.695$ m,半短轴 $b_1 = 183.605$ m,可求得焦点到中心点的距离 $c_1 = 38.969$ m。因此,模拟轨道的其中一个焦点坐标为 $(0.366, 0)$ 。从代表太阳的大圆形的“讯息”一栏中可以得到其坐标为 $(0.410, 0)$,在允许误差的情况下,两个坐标可看作相等,因此可知太阳处于水星模拟轨道的一个焦点上。

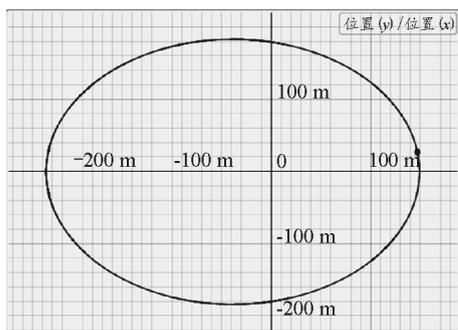


图2 水星模拟运动轨迹图

综上所述,开普勒第一定律的内容为:所有行星绕太阳运动的轨迹都是椭圆,太阳处在该椭圆的一个焦点上。利用 Algodoo 软件可以很好地实现对开普勒第一定律的模拟和验证。

2.2 开普勒第二定律的模拟和验证

本部分将基于2.1创建的场景对开普勒第二定律进行模拟和验证。在模拟水星围绕太阳运动的过程中,在两个不同的位置分别按下暂停键,对代表水星的圆形进行右键点击,在“讯息”一栏中可得到位置坐标、速度等信息,如图3和4所示。

面积:	0.031 m ²
质量:	1.000 kg
转动惯量:	0.004 kgm ²
位置:	[x=+114.572,y=+105.563] m
速度:	[x=-1.017,y=+1.404] m/s

图3 模拟水星在位置一的相关信息图

面积:	0.031 m ²
质量:	1.000 kg
转动惯量:	0.004 kgm ²
位置:	[x=-68.284,y=+108.701] m
速度:	[x=-1.397,y=-0.219] m/s

图4 模拟水星在位置二的相关信息图

由2.1知道,太阳的位置坐标为 $(0.410, 0)$,通过对图3和4的相关数据计算可以得到:水星在位置一的模拟速度 v_1 为1.734 m/s,此时它与太阳的模拟距离 R_1 为155.488 m,水星在位置二的模拟速度 v_2 为1.414 m/s,此时它与太阳的模拟距离 R_2 为193.318 m。在时间极短的情况下,模拟水星与模拟太阳的连线扫过的面积可看作扇形面积,可用如式(1)所示的扇形面积公式求得。其中, S 为扇形面积, L 为扇形的弧长, R 为扇形的半径。

$$S = \frac{1}{2}LR \quad (1)$$

因此,在时间极短的情况下,模拟水星在两个不同位置与模拟太阳的连线扫过的面积之比为

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{L_1 R_1 / 2}{L_2 R_2 / 2} = \frac{v_1 T R_1 / 2}{v_2 T R_2 / 2} = \frac{v_1 R_1 / 2}{v_2 R_2 / 2} = \frac{134.808}{136.676} \approx \frac{1}{1}$$

综上所述,开普勒第二定律的内容是:对任意一个行星来说,它与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积相等。利用 Algodoo 平台可以很好地实现对开普勒第二定律的模拟和验证。

2.3 开普勒第三定律的模拟和验证

利用 Algodoo 创建开普勒第三定律模拟场景的步骤如下所示:

(1) 基于太阳与水星、金星的半径比约为285:1:2.5,在2.1创建的场景中再创建一个半径为0.25 m的圆形,并为其插入金星的图片;

(2) 由于太阳与水星、金星的半径比约为 6×10^6 :1:15,设置半径为0.25 m的圆形的质量为15 kg;

(3) 为半径为0.25 m的圆形添加黄色的循迹追

踪器,并使循迹追踪器的半径大于圆形的半径,使其运动轨迹更明显;

(4) 为半径为 0.25 m 的圆形设置相应的速度,使其进入轨道;

(5) 勾选“可视化力”“可视化速度”两个选项;

(6) 打开“显示图表选项”,勾选“速度”“时间”两个选项;

(7) 再次打开“显示图表选项”,勾选“位置 X”“位置 Y”两个选项.

点击运行按钮即可得到水星、金星绕太阳运动的场景,如图 5 所示.

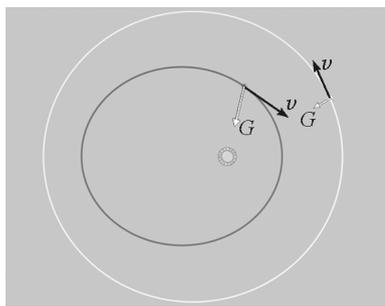


图 5 开普勒第三定律模拟场景

图 6 为金星模拟运动轨迹在坐标系中的表示,图 7 和 8 分别为水星和金星的模拟速度变化图.

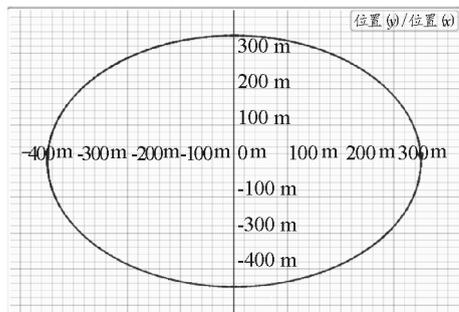


图 6 金星模拟运动轨迹图

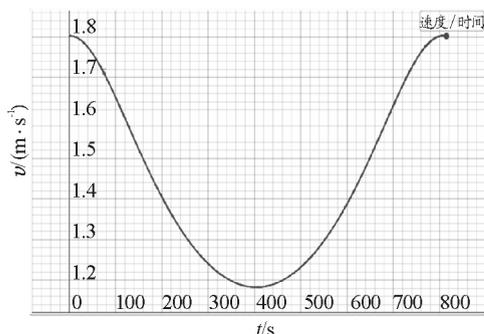


图 7 水星模拟速度变化图

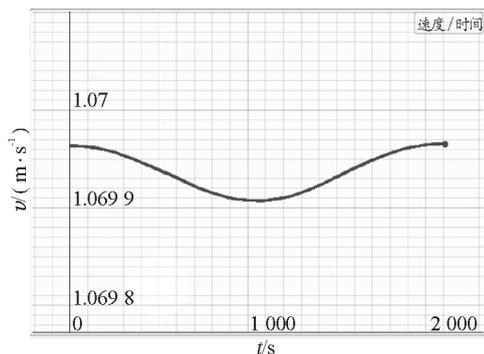


图 8 金星模拟速度变化图

从 2.1 可以知道,水星的模拟运动轨道的半长轴 a_1 为 187.695 m,从图 7 中的水星模拟速度变化图可得到其周期 T_1 为 804.350 s;由图 6 可得:金星的模拟运动轨道的半长轴 a_2 为 349.592 m,由图 8 中的金星模拟速度变化图可得到其周期 T_2 为 2 053.920 s. 根据开普勒第三定律,有

$$\frac{a^3}{T^2} = k \quad (2)$$

将以上数据代入可得

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{10.220}{10.128} \approx 1$$

综上所述,开普勒第三定律的内容为:所有行星轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比都相等. 利用 Algodoo 可以很好地实现对开普勒第三定律的模拟和验证.

3 比较行星相关物理量在近日点和远日点的大小

近日点和远日点是太阳系中各行星运动轨道的两个特殊的位置,对行星相关物理量在这两个位置的比较,可以让学生对天体运动的相关知识有更为深入的了解. 本部分主要基于 2.1 的场景进行探究分析.

3.1 对行星所受万有引力在近日点和远日点的比较

图 9 为水星所受模拟万有引力从近日点到远日点的变化情况. 从图 9 可以知道:水星在近日点的模拟万有引力大于远日点的模拟万有引力,且水星在从近日点运动到远日点的过程中,其所受模拟万有引力逐渐减少,这与太阳对水星的万有引力在近日点最大的结论相符合.

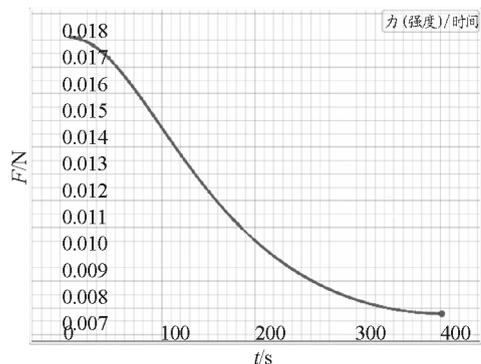


图9 水星模拟万有引力变化图

3.2 对行星的动能在近日点和远日点的比较

图10为水星的模拟动能从近日点到远日点的变化情况。从图10可以知道：水星在近日点的模拟动能大于远日点的模拟动能，且水星在从近日点运动到远日点的过程中，其模拟动能逐渐减少，这与水星的动能在近日点最大的结论相符合。

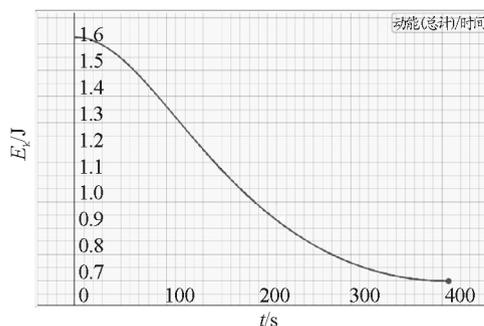


图10 水星模拟动能变化图

3.3 对行星的引力势能在近日点和远日点的比较

图11为水星的模拟引力势能从近日点到远日点的变化情况。从图11可以知道：水星在近日点的模拟引力势能小于远日点的模拟引力势能，且水星在从近日点运动到远日点的过程中，其模拟引力势能逐渐增大，这与水星的引力势能在远日点最大的结论相符合。

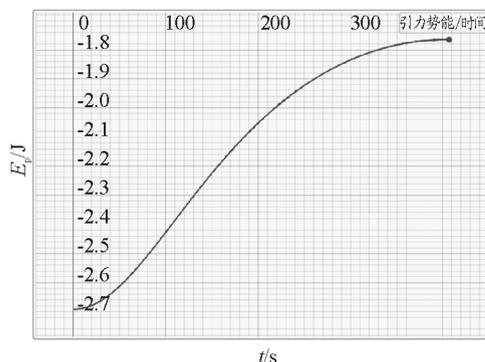


图11 水星模拟引力势能变化图

4 模拟卫星变轨

卫星变轨问题是“万有引力与宇宙航行”这一章的重要知识点。由于学生缺少对其感性的认识，在解答这类问题时会犯不少的错误。本部分旨在探究利用 Algodoo 软件模拟卫星变轨的场景，并将其作为课堂小游戏，以期让学生在玩游戏的过程中对这类知识有更为丰富感性的认识。

利用 Algodoo 创建卫星变轨模拟场景的步骤如下所示：

- (1) 新建一个场景；
- (2) 创建两个大小不一的圆形，并为小圆形连接上一个倾斜的长方形，使其形状接近于人造卫星，再为大圆形插入月球的图片；
- (3) 分别为大圆形、小圆形设置合适的质量；
- (4) 为小圆形添加循迹追踪器，并把追踪器的颜色设为灰色，同时为其设置相应的速度，使其进入轨道 III。

将基于 Algodoo 软件制作而成的模拟卫星变轨的小游戏融入课堂教学的流程如下所示：先向学生展示利用 Algodoo 软件制作的“嫦娥一号”卫星变轨的模拟过程，如图12所示。即“嫦娥一号”卫星先在轨道 III 运动，然后再进入轨道 II，最后进入轨道 I 围绕月球做圆周运动。然后让学生通过改变“嫦娥一号”卫星的速度使其在轨道 III 开始变轨，学生可能会因为对卫星变轨的相关知识不熟悉而无法顺利控制卫星进入轨道 II 和轨道 I，但是这样可以使学生在玩游戏的过程中逐渐明白：当卫星减速时，卫星所需向心力减少，万有引力大于卫星所需要的向心力，卫星将做近心运动，向低轨道变迁；当卫星加速时，卫星所需向心力增大，万有引力不足以提供卫星所需要的向心力，卫星将做离心运动，向高轨道变迁。最终让他们对于卫星变轨这一类问题有更为直观感性的认识，从而使他们对相关知识理解得更透彻。

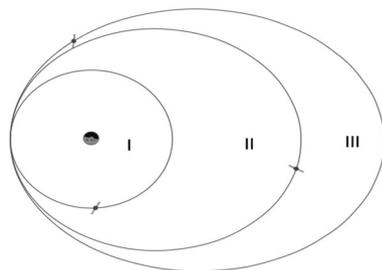


图12 模拟“嫦娥一号”变轨过程图

5 模拟双星系统

双星问题也是“万有引力与宇宙航行”这一章的重要知识点.本部分旨在利用 Algodoo 软件模拟双星系统的场景,并结合 Algodoo 的图表功能来展示双星系统的特点,以期为学生对双星系统的相关知识有一个更直观深刻的认识.

利用 Algodoo 创建双星系统模拟场景的步骤如下所示:

(1) 新建一个场景;



图 13 双星系统模拟场景

双星系统主要有以下特点:(1) 双星的运动轨道为同心圆;(2) 双星的向心力大小相等;(3) 双星的角速度大小相等;(4) 两星的轨道半径之和等于两星之间的距离.

从图 13 可直观看出模拟双星的运动轨道为同心圆,双星的模拟向心力大小相等,都为 10 670.56 N.利用 Algodoo 的坐标功能可以得到双星系统的圆心坐标为(-73.658,0),结合图 13 的相关数据可以求得:星体 A 的模拟运动半径 R_3 为 9.736 m,模拟速度 v_3 为 18.064 m/s;星体 B 的模拟运动半径 R_4 为 2.430 m,模拟速度 v_4 为 4.516 m/s;两星之间的距离 d_1 为 12.166 m.双星的模拟角速度之比为

$$\frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{v_3/R_3}{v_4/R_4} = \frac{1.855}{1.858} \approx 1$$

双星的模拟角速度大小相等.通过对上面的数据进行计算,可知:两星之间的距离 d_1 等于星体 A 的模拟运动半径 R_3 与星体 B 的模拟运动半径 R_4 之和.

综上所述,利用 Algodoo 软件既可以很好地模拟仿真出双星系统的场景,又可以利用其中的数据将双星系统的多个特点表现出来.

6 结束语

“万有引力与宇宙航行”这一章的内容不易用实物进行演示,由此会让学生对本章知识缺乏一个

(2) 创建两个大小不一的圆形,分别代表双星系统中的两颗星体,并为两个圆形设置不同的颜色;

(3) 分别为两个圆形设置合适的质量;

(4) 分别为两个圆形添加颜色不一样的循迹追踪器,并为它们设置相应的速度,使两者都进入各自的轨道;

(5) 勾选“可视化力”选项,并打开两个圆形的信息项.

点击运行按钮即可得到双星系统的模拟场景,图 13 为某时刻双星系统模拟场景.

直观形象的认识.根据以上对模拟仿真结果的分析 and 讨论,结合 Algodoo 软件对本章内容展开教学,可为学生了解和理解相关知识提供一个有利的条件.为此,现将给出基于 Algodoo 软件开展“万有引力与宇宙航行”这一章课堂教学的相关建议:

(1) 在讲授“开普勒三大定律”的相关内容时,教师可以借助 Algodoo 软件对其进行模拟,让学生对其有一个更为直观的认识.同时,也可以引导学生利用模拟得到的数据对开普勒三大定律进行验证,进一步加深学生对该知识的理解;

(2) 教师可借助 Algodoo 软件将行星相关物理量在近日点和远日点的特点通过图表的形式呈现给学生,帮助他们对本部分知识进行消化吸收;

(3) 在讲授“卫星变轨”“双星系统”等相关知识点时,教师可以利用 Algodoo 软件模拟出相关的场景,让学生在玩游戏的过程加深对相关知识的理解,减少他们在解答此类问题所犯的错误.

参考文献

- 1 苏米,黄致新,邓先君.利用 Algodoo 软件辅助物理教学[J].物理教学,2019,41(4):21~23,7
- 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
- 3 常晓慧,侯恕.应用 Algodoo 仿真物理实验辅助高中物理规律教学[J].物理通报,2017,36(6):90~92