

教育技术应用

应用 Mathematica 软件优化高中物理教学研究^{*}

滕艳萍 郭桂周 杨 硕

(湖南师范大学物理与信息科学学院 湖南 长沙 410006)

(收稿日期:2017-05-02)

摘 要: Mathematica 软件具有数值处理、符号操作等多方面的功能,将之应用于物理教学能够直观展示物理情境,提升物理教学的可视化效果,进而增强学生学习积极性,提高教学效率和效果.以初高中物理教学中较为抽象的电学与磁场的相关知识点为例,探讨了 Mathematica 软件对提高物理教学效果的重要价值及具体的运用途径.

关键词: 高中物理 Mathematica 软件 可视化 交互性

1 引言

中学物理问题的解决通常需要进行严格的公式推导和复杂的数学运算,而高中生的思维方式正逐步从具体形象方式向逻辑抽象方式过渡,学生普遍觉得这一阶段的物理课程十分深奥难以理解.为增强学生的学习兴趣、直观展示出物理情景,优化中学物理教学过程,将现代信息技术应用到物理教学中来,不失为一条解决路径.

本文以高中物理教学中较为抽象的电与磁的知识点为例,使用 Mathematica 软件辅助开发制作课件,创设出一个可视化教学环境,从而提升教学效率和效果.

2 Mathematica 简介

Mathematica 软件由 Wolfram Research 公司研发,同时具备了数值处理、符号操作、图形绘制、动画制作等多项功能^[1]. Mathematica 具有强大的计算能力,运算准确、方便简洁、易于操作,我们可以使用它进行微分、积分、向量、矩阵运算,求解微分积分方程组、因式分解、函数转换以及数值分析等数学运

算. Mathematica 软件也是一个高级的绘图工具和动画制作工具,运用起来十分方便.通过系统内丰富的内部函数,操作者只需要输入简短的程序语句就可以绘制出精美形象的二维图和三维图,形象直观,因而可用于制作动画课件^[2].

如果将 Mathematica 软件引入到中学物理的教学中,不仅能够有效地帮助解决很多原来要用繁杂的数学和物理知识推导的题目,而且能够将运算过程和结果通过 Mathematica 软件制作教学动画和图形具体直观地展示出来,因此将更加有助于学生突破重难点,并开拓他们的视野.除此之外,在教学中也可作为教师和学生手工计算的检验,它不仅为教师在备课时确定题目数据节省时间,也为学生自我学习和评价提供了检验工具.

3 Mathematica 软件对于物理教学的价值

根据中学生的认知特点,初中阶段的物理趋向于定性的物理概念教学,从生活走进物理,使学生掌握基本的物理基础知识、基本能力.而高中阶段开始逐步由定性到半定性到半定量再过渡到定量,力图使物理教学突出从物理现象到物理规律的演化过

^{*} 湖南省教育科学规划青年项目“新中国中学理科教科书中的‘人—自然’观发展研究”,项目编号:XJK016QJC002

作者简介: 滕艳萍(1994-),女,在读研究生,主要研究方向为物理课程论.

通讯作者: 郭桂周(1982-),男,博士,讲师,主要研究方向为物理课程与教学论.

程,在注意知识系统结构的同时,采用从感性到理性,从定性到定量,从具体到抽象的结合,Mathematica 软件作为一个教学辅助工具对于该阶段物理教学有着重要的价值.

(1) 节省资源,提升效率. 传统的教学方法已经难以满足教育发展的需求,现代化的教育理念、教学手段和教学素材对传统的教学产生了深刻影响^[3]. 多媒体教学与传统教学模式相比,不仅带给学生视听觉的双重刺激,还能激发中学生对物理课的热情和对物理的求知欲,也有利于教育工作者教学过程的进行,Mathematica 软件运用到习题教学中,不仅能够节省纸张和粉笔的使用,也让教师摆脱了传统的“黑板+粉笔”教学模式,既节约资源又健康环保,而且直观,使用方便,能够激发学生学习兴趣.

(2) 高效便捷,提升教学效果. 目前中学物理课堂采用 Flash, Author ware, Powerpoint, Matlab 等多媒体软件来协助中学物理的教学已经十分常见,并且收到了很好的效果. 但是许多课件在制作过程

中往往存在诸多误区,反而可能导致许多负面效果,如分散学生注意力等情况^[4]. 比如 Powerpoint 的运用,许多教师在网上下载相关图片,加入到自己的课件中进行使用,这在一定程度上削减了教师的独创性. 比如 Flash 只是作图工具而不能根据实际教学数据绘出相应图形, Matlab 目前运用在大学物理和数学中较为广泛,但是 Matlab 仅仅比较擅长数值计算. 与这些软件相比, Mathematica 更加智能. Mathematica 不仅在数值运算方面能够达到更精准的运算范围,而且其符号运算和交互性能方面也比 Matlab 强大很多,尤其是绘制可调节参数图形方面,此外, Mathematica 为中文用户提供了更为友好更为高质量的操作界面、参考资料中心以及大量的中文动画实例,让中国用户学习和使用 Mathematica 更高效更方便. 当今国内外比较广泛地将 Mathematica 软件用作计算引擎,而在中学物理教学中应用则较少,但已呈现蓬勃之势. 表 1 是各计算机软件功能对比.

表 1 各计算机软件功能对比

软件	符号运算	数值运算	交互性	动画效果	成本	教学效果
Powerpoint	/	/	一般	一般	少	好
Flash	/	/	一般	强	耗时较多	较好
Mathematica	强	强	强	一般	少	好
Matlab	强	强	较好	较好	少	好

(3) 直观形象,提升学生学习兴趣. 已有研究表明 Mathematica 帮助课堂教学将有助于优化教学效果,利用 Mathematica 软件辅助中学物理教学,不仅使教育工作者减少许多备课时间,而且在省时省力的同时,能够直观展示物理情景,优化教学过程,从而帮助教师增强学生学好物理的自信心和热情、提高教学效率、促进了中学物理教学与信息技术的深度融合. 而对于学生而言,它不仅在课堂教学中加深了学生们对物理现象的理解,同时也可以作为学生们探究性学习的工具,对一些实际物理问题进行拓展探索和模拟,在帮助学生课堂知识的基础上,激起了学生的好奇心,提高了学生主动独立获取新知识的积极性,同时帮助锻炼学生的自学能力,丰

富学习内容,培养综合能力.

4 运用 Mathematica 软件优化物理教学实践的探讨

电与磁知识在高中物理中是十分重要的知识点,以人教版为例,高中《物理·选修 1-1》的第二、三、四章,选修 2-1 的第二、三章和选修 3-1 的第三章,选修 3-2 的第四章,以及选修 3-4 的第十四章等均是电磁学的内容. 可见,在高中物理中,电磁学部分有着十分重要的地位. 但是,电磁学题目计算十分繁琐,通常需要大量的公式推导和数学计算. 且其物理模型十分抽象,晦涩难懂. 下文将以点电荷系周围电场分布和电磁理论相关的计算及公式推导为例,

来展开运用 Mathematica 软件提高教学效果的探讨.

4.1 基于 Mathematica 软件符号运算提升物理教学效果

如图 1 所示,长直载流导线的右侧放有一个长方形线圈(长直导线可以看成无限长),其电流恒为 i ,长方形线圈长为 a ,高为 b ,且其左侧距离载流导线也为 a ,线圈以 ω 为角速度按图示轴线旋转,求线圈中产生的感应电动势^[5].

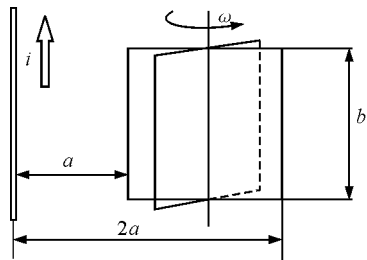


图 1 恒流导线与矩形线圈框图

解:首先我们需要求解出任何时刻通过线圈的磁通,根据电磁感应定律,我们知道磁感应强度

$$B = \left(0, 0, \frac{\mu_0 i}{2\pi x} \right)$$

Mathematica 中 π 是圆周率;磁通

$$\Phi = \int_{r_1}^{r_2} B b dx$$

以在纸面内的位置为时间起点.

第一步,通过 Mathematica 工作窗口可以简单的求出磁通量为 $\frac{ib(-\text{Log}[r1] + \text{Log}[r2])\mu_0}{2\pi}$,如下

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi x}$$

$$\Phi = \int_{r_1}^{r_2} B b dx = \frac{ib(-\text{Log}[r1] + \text{Log}[r2])\mu_0}{2\pi}$$

第二步,运用 Mathematica 工作窗口处理 r_1, r_2 的几何关系,如下

$$\text{Cond} = \{r1 \rightarrow \frac{3a}{2} - \frac{a}{2}\cos(\theta),$$

$$r2 \rightarrow \frac{3a}{2} + \frac{a}{2}\cos(\theta)\}$$

已知矩形框转速为 ω ,有

$$\text{Cond1} = \{\theta \rightarrow \omega\tau\}$$

$$\{\theta \rightarrow \omega\tau\}$$

第三步,在 Mathematica 工作窗口中进行运算命令,得出磁通如下

$$\Phi = \Phi / . \text{Cond} / . \text{Cond1}$$

$$\frac{ib(-\text{Log}[r1] + \text{Log}[r2])\mu_0}{2\pi} / .$$

$$\{r1 \rightarrow \frac{3a}{2} - \frac{a}{2}\cos(\theta),$$

$$r2 \rightarrow \frac{3a}{2} + \frac{a}{2}\cos(\theta)\} / . \{\theta \rightarrow \omega\tau\}$$

$$ib \left\{ -\text{Log} \left[\frac{3a}{2} - \frac{a}{2}\cos(\omega\tau) \right] + \right.$$

$$\left. \text{Log} \left[\frac{3a}{2} + \frac{a}{2}\cos(\omega\tau) \right] \right\} \mu_0$$

第四步,在 Mathematica 工作窗口对上述磁通求得

$$E = -\partial\tau\Phi / . \text{Simplify}$$

$$\text{Out}[1] =$$

$$\frac{Ib\mu_0 \left[\frac{\omega \sin(\omega\tau)}{\cos(\omega\tau) - 3} - \frac{\omega \sin(\omega\tau) (\cos(\omega\tau) + 3)}{(\cos(\omega\tau) - 3)^2} \right]}{2\pi (\cos(\omega\tau) + 3)} \cdot (\cos(\omega\tau) - 3)$$

上式便是该题目中的感应电动势,其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 牛顿/安培².通过该例,Mathematica 软件的符号处理和数值运算功能之强大显而易见.

在传统教学中,对于学生来说,该类题目太难,通常被教师列为附加题而不做要求,这就造成学生不仅不能弄明白和理解,也会因此放低对自己的要求,还可能会使得学生有畏难情绪,教学效果就得不到提升,如果让学生运用 Mathematica 软件来处理,一方面能够减少学生运算量,另一方面能够为学生解决问题提供示范进而促进其自主学习.并且,对于学习主动性强的学生,其作用会更加明显,这些学生能运用 Mathematica 软件很好地辅助他们进行自主学习,达到自己的学习目的.而对于教师而言,可以很好地用于这类习题教学中,教师通常需要做大量的习题来进行备课和选题,如果能运用 Mathematica 软件来辅助备课和选题,不仅能一定程度上解

决手工推导和大量计算中浪费时间的问题.同时,还能作为手工计算的检验,避免由于疏忽导致出错率高等问题,这在一定程度上辅助了教师快速确定重难点,以及选择合适的题型,教学效果自然得到提升.

4.2 基于 Mathematica 软件动画制作提升可视化教学效果

在学习点电荷系周围电场分布及确定等势面时,重点为掌握点电荷系电场的分布,点电荷场强方向,电场线与等势面垂直等,教学的难点是场强的分布情况和电场线的意义,要求学生明白电场线是虚拟出来的而并非真实存在的线,是用来描绘电场的强度和方向,方便学生理解的模型,此处以两个点电荷 q_1 和 q_2 为例来展示 Mathematica 软件的动画制作如何辅助提升高中物理可视化教学效果.

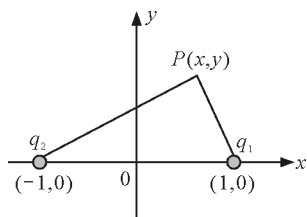


图1 恒流导线与矩形线圈框图

根据点电荷的电场分布公式可得每一点的电场强度为

$$\mathbf{E}(x, y) =$$

$$\left\{ k \left[\frac{q_1 (x-1)}{((x-1)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{q_2 (x+1)}{((x+1)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \right\} \mathbf{i} + \left\{ k \left[\frac{q_1 y}{((x-1)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{q_2 y}{((x+1)^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \right\} \mathbf{j}$$

由于电场线的切线方向是电场强度的方向,其一阶导数方程满足^[6]

$$\frac{d\mathbf{E}(x, y)}{dx} = \frac{\mathbf{E}_y(x, y)}{\mathbf{E}_x(x, y)}$$

第一步,在 Mathematica 中对上式求导得

$$\frac{q_2 d\left(\frac{x+1}{y}\right)}{[(x+1)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} = - \frac{q_1 d\left(\frac{x-1}{y}\right)}{[(x-1)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}$$

整理得电场线族方程

$$\frac{q_2 (x+1)}{q_1 [(x+1)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}}} + \frac{x-1}{[(x-1)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}}} =$$

C (C 为常量).

第二步,在 Mathematica 软件中进行参数方程处理^[7]

令

$$\frac{q_2 (x+1)}{q_1 \sqrt{(x+1)^2 + y^2}} = t$$

$$\frac{x-1}{\sqrt{(x-1)^2 + y^2}} = C - t$$

可得到电场线轨迹方程

$$x = \frac{(C-t) \sqrt{\left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 - t^2} + t \sqrt{1 - (C-t)^2}}{t \sqrt{1 - (C-t)^2} - (C-t) \sqrt{\left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 - t^2}}$$

$$y = \pm \frac{2}{\frac{t}{\sqrt{\left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 - t^2}} - \frac{C-t}{\sqrt{1 - (C-t)^2}}}$$

第三步,该案例中任意一点 P 点电势为

$$\varphi(x, y) = \frac{kq_2}{\sqrt{(x+1)^2 + y^2}} + \frac{kq_1}{\sqrt{(x-1)^2 + y^2}}$$

进行参数处理.

令

$$\frac{kq_2}{q_1 \sqrt{(x+1)^2 + y^2}} + \frac{k}{\sqrt{(x-1)^2 + y^2}} = C$$

$$\frac{k}{\sqrt{(x-1)^2 + y^2}} = t$$

$$\frac{q_2 k}{q_1 \sqrt{(x+1)^2 + y^2}} = C - t$$

可得到电势线轨迹方程为

$$x = \frac{\left(\frac{q_2}{q_1 (C-t)}\right)^2 - \frac{1}{t^2}}{4}$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{1}{t^2} - \left[\frac{\left(\frac{q_2}{q_1 (C-t)}\right)^2 - \frac{1}{t^2}}{4} \right]^2}$$

第四步,根据得出的电场线与等势线方程在 Mathematica 中进行 Manipulate 命令生成如图 2 所示动态图,根据所需参数滑动进度条,便可改变 q_1 , q_2 的值,达到人机交互,实现可视化.(粗线为电场线,细线为等势线)

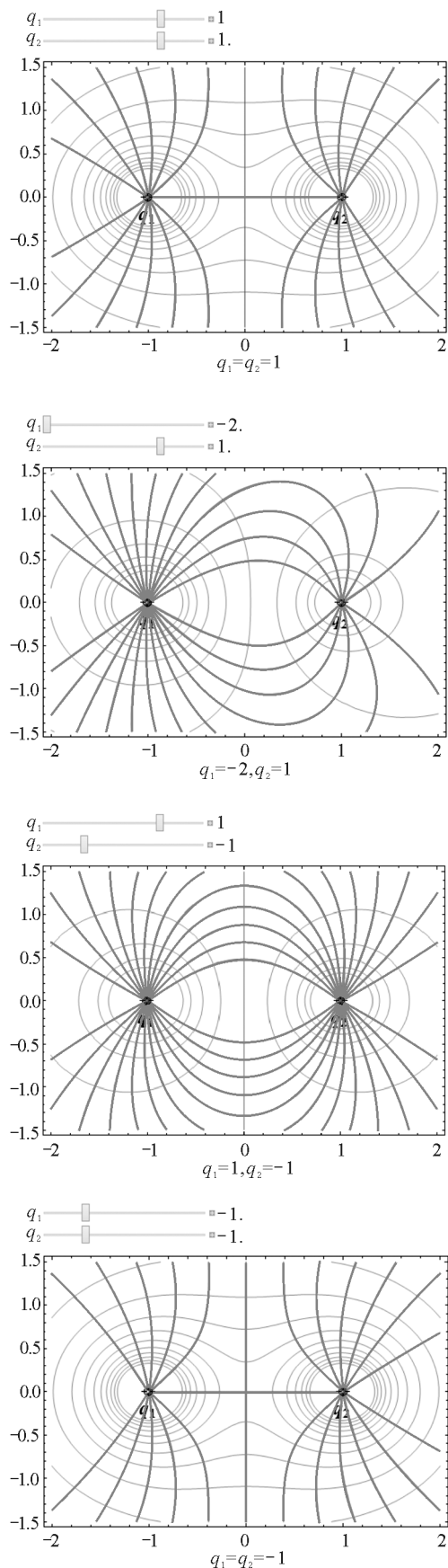


图2 点电荷系的 Mathematica 动画模拟

图2中的4张图是不同参数下的2个点电荷电场分布的 Mathematica 动画模拟截图,教师在课堂教学时可以通过它清晰、方便地向学生展示点电荷系的电场分布和与等势面处处垂直的关系,此动画用 Powerpoint,Flash 等计算机软件是无法完成的。在传统教学中,教师通常用画图工具在黑板上作画或者在网上搜集一些图片用多媒体展示,缺乏选择性,十分局限,枯燥复杂,且浪费许多时间,在向学生讲解时学生通常是机械地进行记忆,并不能真正理解电场线起到的辅助作用,而 Mathematica 软件它是基于背后数学物理公式所作出的图形,能够根据不同参数作出相应的动态图,显然其交互功能和可视化功能是其他多媒体软件所不能达到的。同时,基于 Mathematica 软件中程序代码有很好的可移植性和可修改性^[8],对于其他类似课程比如数学、化学、地理等课程,在这类课程教学中也具有很高的参考价值。在电磁理论课程中开展以计算机多媒体软件为辅助工具的中学物理教学丰富了中学物理教学手段,促进了物理教学与信息技术的深度融合。

5 结论

通过以上分析,我们可以看到,利用 Mathematica 软件辅助中学物理教学,对于教育工作者教学和备课都具有很好的辅助作用,通过它能够直观展示物理情景,优化教学过程,从而帮助教师增强学生学好物理的自信心和热情、提高教学效率。对于学生而言,它不仅在课堂教学中加深了他们对物理现象的理解,激发学生学习物理的兴趣,同时也可以作为学生探究性学习的工具,以及作为课后习题手工验算的工具。可见,Mathematica 软件在中学物理教学过程中,能起到非常有效的辅助作用,它的推广应用将促进中学物理多媒体教学的完善,促进中学物理教学与现代信息技术的深度融合。

参考文献

- 1 路洪艳,从守民,刘保通,等. Mathematica 在大学物理教学中的应用. 淮北煤炭师范学院学报,2010,31(4):83
- 2 杨硕,谢文海,霍飒. Mathematica 在理论力学教学中的应用. 湖北师范学院学报,2014,34(1):82
- 3 李竞武,胡文. Mathematica 辅助物理教学直观化. 中国科教创新导刊,2010(35):196~198
- 4 寻银锭,詹杰. Mathematica 在“平抛运动”教学中的应用

- 用. 当代教育理论与实践, 2015, 7(6): 13 ~ 14
- 5 杜建明. Mathematica 在电磁场理论中的应用. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2004. 124 ~ 126
- 6 向罗杰, 王慧, 赵钊. 平面点电荷体系的电场线模拟. 实验科学与技术, 2010, 8(6): 189 ~ 190

- 7 姜付锦. 轨迹方程在“双电荷”电场研究中的应用. <http://www.docin.com/p-1179374857.html>
- 8 林志立. 基于 Mathematica 的“电磁场与电磁波”课程辅助教学改革研究. 教育教学论坛, 2016(1): 87

Research on Optimizing Physics Teaching in Senior High School by Mathematica Software

Teng Yanping Guo Guizhou Yang Shuo

(College of Physics and Information Science, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410006)

Abstract: Mathematica software has functions of digital processing and symbolic operation. The application of the software in physical teaching can display physical scenes directly and improve the visualization of physical learning, thus cultivating students' interest and improving the efficiency and quality of teaching. A case study of some relatively abstract concepts in junior and senior high school physical teaching related to electricity and magnetic field is made in this essay to discuss the importance of Mathematica software in physical teaching and the concrete methods of software application in physical teaching.

Key words: senior high school physics; Mathematica software; visualization; interactivity

(上接第 72 页)

放入后 $p(V + V_0 - V_x) = C'$

得 $V = \frac{C'}{p} - (V_0 - V_x)$

可见 V_x 等于前后图像纵截距之差. 在图 6 对应实验中, 笔者将日常办公用的订书钉压扁放入连接软管中, 重新操作实验, 得到如图 7 所示图像.

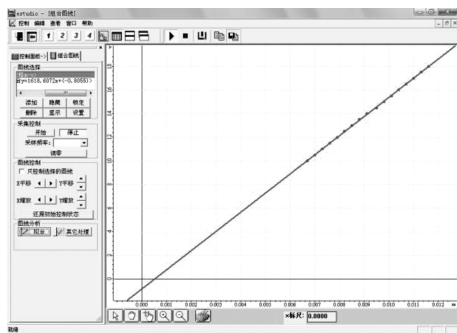


图 7 将订书钉放入连接软管后得到的图像

图 7 中图像函数表达式为

$$y = 1\,618.607\,2x + (-0.805\,5)$$

根据纵截距之差可得订书钉体积

$$V_x = 0.811\,6\,\text{ml} - 0.805\,5\,\text{ml} = 0.006\,1\,\text{ml}$$

5 总结反思

物理是一门以实验为基础的学科, 任何理论都需要实验的支撑. 玻意耳定律中 p 与 $\frac{1}{V}$ 的线性关系很容易理解, 但通过实验将其准确地呈现出来并不是一件容易的事.

本实验中由于气体体积的误差导致 $p - \frac{1}{V}$ 图像始终达不到预想中的理想图线, 尤其在图 4 对应气体体积较小的实验中, 体积误差占比很大, 导致图线无法准确拟合, 这些状况在实验前是根本没有预料到的, 这就需要我们实验时能敏锐地发现问题并深入研究, 结合理论分析等方式找出其中原因, 同时进行方案改进, 使实验结果与理论达成一致.

参考文献

- 1 蔡钢. 运用 DIS 设计和测量不规则小固体的体积. 物理教师, 2007(1)
- 2 穆琳. “用 DIS 探究气体压强与体积的关系”实验误差的分析. 物理通报, 2014(2): 90 ~ 92