

基于科学计算平台的《大学物理》变量可视化研究式教学*

董梅峰

[中国石油大学(华东)理学院 山东 青岛 266580]

(收稿日期:2016-11-11)

摘要:根据大学物理规律中物理量与变量的关系,基于科学计算平台把抽象的物理规律进行了可视化,在教学中采用研究性的“教”和“学”的模式;以大学物理光学模块中的薄膜干涉为例,给出了用于课堂教学的交互式、可视化计算机模拟结果;在此教学模式实施后进行了问卷调查,调查结果显示此教学模式得到了学生、专业课教师的认可。

关键词:大学物理 物理量与变量 可视化 研究式教学

物理学是研究自然界中物质的结构、运动所满足的客观规律的科学,物理规律的描述可以是文字描述,也可以是物理量的数学描述,而物理规律最终也是最完美的描述形式是物理量的数学描述形式。因此物理量是描述物理规律不可缺少的量,在物理学的教学研究中具有非常重要的作用,因此对物理量的研究过程同时也是对物理规律的研究深入过程。

1 物理量与物理变量的关系

描述物理规律的物理量之间往往是有关系的,一个物理量可以用其他一个或多个物理量来描述,即一个物理量往往可视为由一个或多个变量构成,因此,变量也是物理量。所以研究一物理量与变量之间的关系,可以实现大学物理研究性教学的目的,从而达到培养学生研究性学习能力的目标。

物理量与变量的关系可分为以下几种。

(1) 物理量随变量的变化是一个不变量,即此时的物理量是守恒量,例如力学中的物理规律机械能守恒定律 $E = E_k + E_p$,其中机械能这个物理量是动能和势能两个变量的函数,而在机械能守恒定律中机械能是个守恒的物理量。

(2) 物理量随变量的变化是线性变化的。例如薄膜干涉中的光程差^[1]可以写为

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

当入射角一定,光线垂直入射即 $i=0$,并且介质薄膜的两侧的介质是同种介质,由公式(1)可得等厚干涉的光程差为

$$\delta = 2en_2 + \frac{\lambda}{2}$$

由此可得两相邻 k 级和 $k+1$ 级明条纹的条件为

$$\delta = 2en_2 + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (2)$$

$$\delta = 2en_2 + \frac{\lambda}{2} = (k+1)\lambda$$

由公式(2)可得相邻明纹对应的膜厚差为

$$\Delta e = \frac{\lambda}{2n_2}$$

设劈尖最厚处的厚度为 h ,劈尖的另一直角边的长度为 L ,则相邻明条纹的间距为

$$\Delta l = \frac{\Delta e}{\sin \theta} \approx \frac{\Delta e}{\tan \theta} = \frac{\lambda L}{2n_2 h} \quad (3)$$

公式(3)中明条纹间距这一物理量与波长的变化关系是线性的。

(3) 物理量随变量的变化是非线性的,这种情况下的物理规律较抽象。

例如上述公式(3)中明条纹间距与薄膜的折射率和劈尖最厚处的厚度的关系是非线性的关系。

再例如在公式(1)中,若介质薄膜的厚度 e 一定

* 中国石油大学(华东)教改项目经费的支持,项目编号:JY-B201637 和 JY-A201618

作者简介:董梅峰(1973-),女,硕士,讲师,从事信息光学的研究和大学物理的教学工作。

时,称之为等倾干涉,此时物理量光程差随入射角的变化是非线性的. 公式(1)的光程差也可以用折射角 γ 表示,若介质薄膜两侧是同种介质,此时

$$\delta = 2en_2 \cos \gamma + \frac{\lambda}{2}$$

因此,若入射角和折射角都为零,此时对应等倾干涉的中央条纹,中央条纹不一定是最亮的,设靠近中央的亮纹的级数是 k ,则从中心向外数第 N 个亮环的级数为 $(k - N + 1)$,所以有如下公式

$$\delta = 2en_2 + \frac{\lambda}{2} = (k + \epsilon)\lambda \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (4)$$

$$\delta = 2en_2 \cos \gamma_N + \frac{\lambda}{2} = (k - N + 1)\lambda$$

由公式(4)可得

$$2en_2(1 - \cos \gamma_N) = (N - 1 + \epsilon)\lambda \quad (5)$$

设第 N 个亮环对透镜中心的张角 i_N ,考虑到一般情况下 i_N 和 γ_N 都很小,利用折射定律可得

$$\gamma_N \approx \frac{n_1 i_N}{n_2}$$

所以

$$1 - \cos \gamma_N \approx \frac{1}{2} \gamma_N^2 \approx \frac{1}{2} \frac{n_1^2 i_N^2}{n_2^2} \quad (6)$$

将公式(6)代入公式(5)可得

$$i_N \approx \sqrt{\frac{n_2 \lambda (N - 1 + \epsilon)}{n_1^2 e}}$$

所以第 N 条明纹的半径为

$$R_N = f \tan i_N \approx f i_N = \frac{f}{n_1} \sqrt{\frac{n_2 \lambda (N - 1 + \epsilon)}{e}} \quad (7)$$

式中 f 是透镜的焦距. 由公式(7)可以看出,明条纹的半径与波长、介质薄膜的折射率以及薄膜的厚度3个变量的关系是非线性的. 对应物理量与变量之间是非线性关系的物理规律往往是比较抽象的,这也是物理规律难以理解的一个重要原因.

2 物理量与变量关系的可视化

由于物理量与变量之间的关系会牵扯到非线性,因此物理规律具有抽象、过程复杂、内容深奥等特点,学生掌握起来比较难,如果采用计算机把物理量与变量的关系可视化出来,不仅有助于学生理解掌握物理规律,同时也会增强学生研究问题的能力,

提高学生的科学研究素质. 物理规律的可视化可采用不同的软件,例如MATLAB软件^[2]、Mathematic软件^[3]等. 笔者考虑到教学中的交互性,在教学中尝试了将文献[4]基于VC++的“科学计算平台”软件^[4]引入到大学物理教学中,开展了研究性的“教”和研究性的“学”的教学模式,通过研究物理量和变量的关系,构建了数字可视化的大学物理教学模式. 下面是基于文献[4]的“科学计算平台”对劈尖等厚干涉和等倾干涉的模拟情况.

2.1 劈尖等厚干涉的可视化

采用文献[4]的科学计算平台可以设置多个变量的滑动条,移动滑动条连续改变变量时可以观察到一物理量随之变化而变化的现象. 根据公式(3)可以编写条纹间距这一物理量随波长 λ ,劈尖的最厚处的厚度 h ,劈尖薄膜的折射率 n 共3个变量变化而变化的程序,并通过滑动条连续改变变量,实现了动态的可视化,达到了交互式的研究性“教”和“学”的模式.

图1是调节变量为波长的滑动条时等厚干涉的图样,图1(a)、(b)、(c)中分别是波长400 nm,550 nm,760 nm时的干涉图样. 由图中可以明显观察出干涉条纹间距随波长的增加而增大的现象,这与公式(3)的理论结果是相符的.

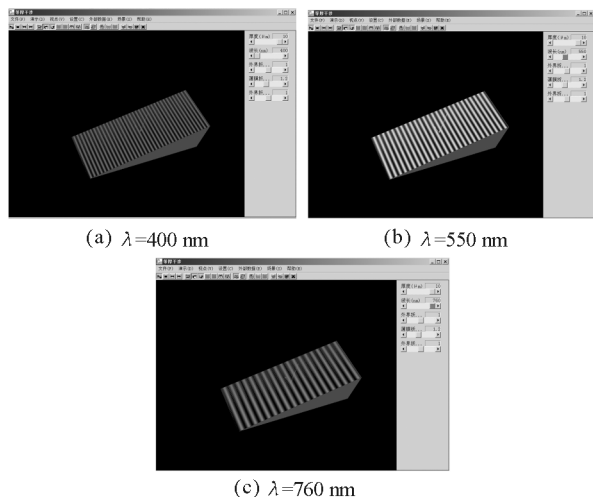


图1 调节变量为波长的等厚干涉图样

图2是调节薄膜的厚度 h 的滑动条时等厚干涉的图样,图2(a)、(b)、(c)中分别是厚度为 $2 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$, $6 \mu\text{m}$ 时的干涉图样,由图中可以明显观察到随 h 的增加条纹数目增加、条纹间距变窄的现象. 这与

公式(3)的理论结果是相符的.

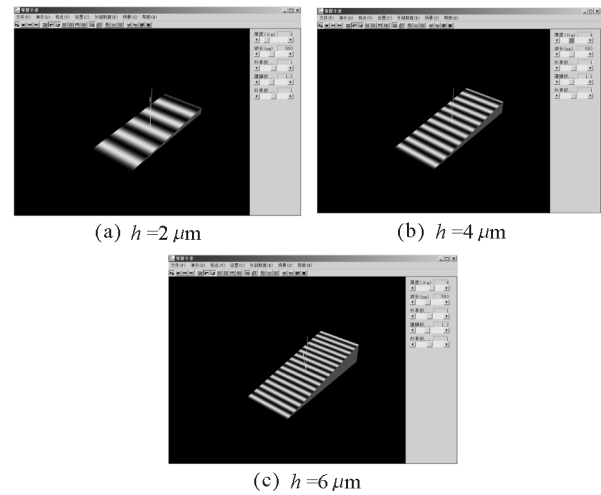


图2 调节薄膜厚度的等厚干涉图样

图3是调节薄膜折射率 n_2 的滑动条时等厚干涉的图样,图3(a)、(b)、(c)中分别是折射率为1.1, 1.5,3.0时的干涉图样,由图中可以明显观察到随着折射率的增加条纹数目增加、条纹间距变窄的现象.

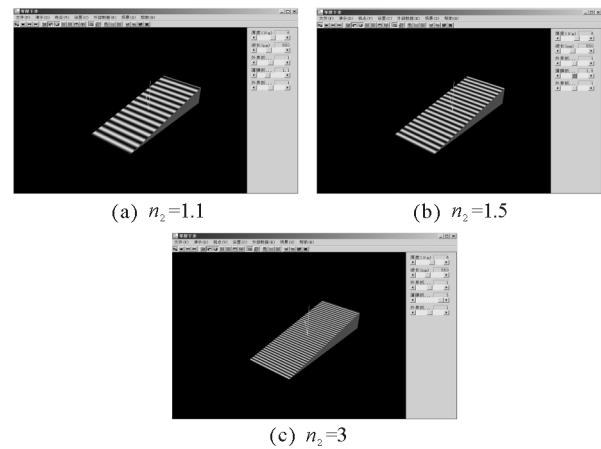


图3 调节薄膜折射率的等厚干涉图样

在程序中还设置了劈尖薄膜的上下表面以外介质的折射率变化的情况,在此不再一一给出演示.

2.2 等倾干涉的可视化

结合公式(7),设置了变量波长 λ ,薄膜折射率 n ,薄膜厚度 e 的3个滑动条,干涉圆环随3个变量变化而变化的现象实现了动态的可视化.

图4(a)、(b)、(c)是调节波长滑动条使之分别为400 nm,550 nm,760 nm时的等倾干涉图样.由图4中可以明显观察出干涉条纹间距随波长的增加而增大的现象.

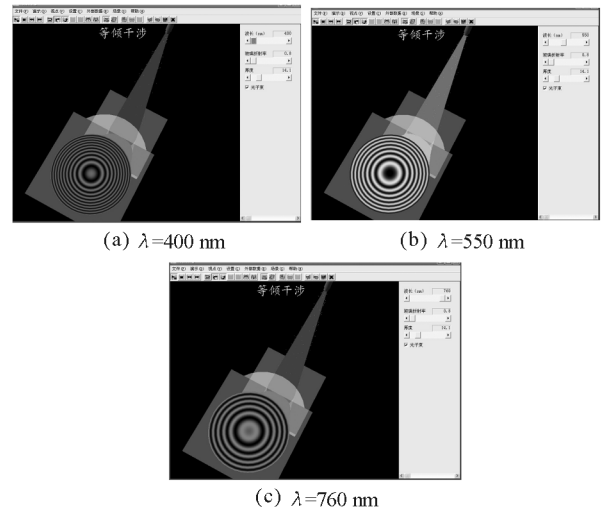


图4 调节波长的等倾干涉图样

图5(a)、(b)、(c)是调节介质薄膜的折射率滑动条使之分别为1.015,1.023,1.027时等倾干涉图样,随着折射率的增加,可以看到中央的干涉条纹由亮变暗,动态的效果是有一条亮条纹冒出来.

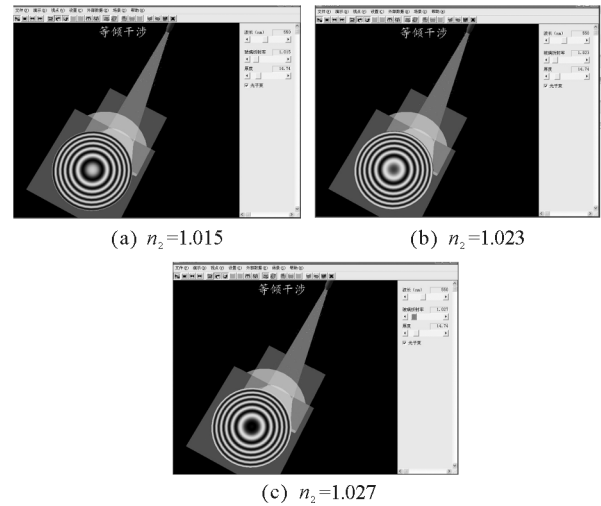
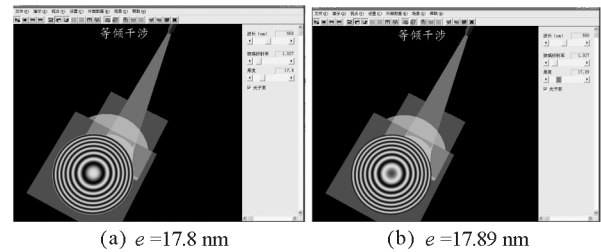


图5 调节薄膜折射率的等倾干涉图样

图6(a)、(b)、(c)是调节介质薄膜厚度滑动条使之分别是17.8 nm,17.89 nm,17.96 nm时的等倾干涉图样,随着厚度的增加,中央条纹由亮变暗,动态的效果是有一条条纹从中央冒出来.



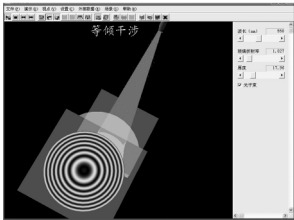


图6 调节薄膜厚度的等倾干涉图样

3 变量可视化研究性教学的实施

在大学物理教学中,根据大学物理各个模块(力学、热学、电磁学、光学、近代物理)的特点,把每个模块中比较抽象的物理规律进行变量可视化研究性的教学,具体在每个知识模块中加一到两节变量可视化研究性的课堂教学,在此课堂中主要涉及如何进行物理建模、如何结合科学计算平台进行程序设计等内容;另外在所授课的教学班级中把学生分成多个科技小组(每组3~5人),在课后以小组为单位布置研究性课题,其课题可以是小组成员自拟,也可以是来源于教师布置的课题.在学期末以小组为单位提交研究性报告、模拟程序以及PPT等资料,并在学期末组织学生进行PPT答辩评定每个小组的成绩.

4 结论

该项研究性的教学模式,在教学班级中进行了相关调查,如表1所示.结果显示该研究性的教学模式得到了同学们的认可,并且提高了学生的研究问题的能力.

表1 满意度调查表

班级	样本数 / 人	满意度 / %	对自身能力有无提高	
			有 / %	无 / %
自动化 1501 - 1504	115	95.7	95.3	4.7
测控 1501 - 1503	84	96.1	5.6	4.4

该研究性的教学模式得到了学生后续专业课教师的认可,由于笔者所授课班级是自动化和信息控制两个专业,在大学物理基础课程涉及变量可视化研究性的教学,对他们的后续专业课程具有重要的意义.

该研究性的教学模式对他们的就业也具有非常重要的意义,因为现在这两个专业的就业单位一般要求学生具有建模和程序设计的能力.

总之,在当今计算机信息化飞速发展的时代,要适应时代发展的要求,大学物理作为一门自然科学在向学生传授物理规律知识的同时,培养学生的能力迫在眉睫,因此基于科学计算平台的大学物理变量可视化研究性的教学模式在培养学生研究问题能力方面以及提高学生的科学素质方面起到了非常重要作用.

参考文献

1 贾瑞皋. 大学物理教程. 北京:科学出版社,2009

2 彭芳麟,梁颖,忻蓓. 计算机软件在计算物理课程中的地位和作用. 大学物理,2013,32(8)

3 王国伟,杨能彪,刘浩. 基于 Mathematic 的圆形波导电磁场的可视化. 微电子学与计算机,2006,23(11)

4 李元杰. 数字化物理教学典型案例. 北京:高等教育出版社,2008

College Physics Variable Visualization Research Type Teaching based on Scientific Computing Platform

Dong Meifeng

(China University of Petroleum,Qingdao,Shandong 266580)

Abstract:In this paper, according to the relationship of the physical quantities and variables in university physics, based on scientific computing platform to realize visualization of physical laws, In the teaching to carry on the investigative "teaching" and "learning" mode; In the paper, In the case of thin film interference, Visualized computer simulation results are given;In this teaching mode after implementation,We has carried on the questionnaire survey to the students,the results show that this teaching mode has won the acceptance of students and professional class teacher.

Key words:university physics;physical quantities and variables;visualization;the research type teaching