借助DIS实验系统探究问题本质 创造高效课堂

——以“探究影响物体惯性大小的因素”为例

蔡建国 （山东师范大学附属中学 山东 250014）

摘 要 “质量是惯性的唯一量度”是学生在初中阶段就知道的内容，高中阶段，教师大都仍停留在这一认识水平层次上。借助DIS学生实验系统，循着科学探究的路线，教师能在课堂上利用实验所得的数据、图象辅助学生探究、理解质量为何是惯性的唯一量度。由此，有限的课时不再成为知识难以深入的羁绊，高效思维的物理课堂得以实现。

关键词 DIS实验 惯性 物体运动状态改变难易 高效课堂

文章编号 1002-0748(2024)6-0025 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

学生经过义务教育阶段的学习已经认识了什么是惯性，知道质量是惯性的唯一量度。到了高中阶段，学生对“惯性”相关内容的认知程度都应该从基础的认识层面提升到较高的理解层面。何为惯性？为何质量是惯性的唯一量度？何为物体运动状态改变的难易？又如何衡量物体运动状态改变的难易？这些都是高中阶段学生必需掌握的内容。

1 问题的提出

1.1 学生学习角度

在教学实践中笔者发现，学生在已知“质量是惯性的唯一量度”情况下，在遇到某些问题情境时，仍会出现判断误区。学生脑中与科学概念相悖的认识称为迷思概念，其会阻碍学生正确理解科学概念，从而引发学习困难[1]。

在比较两物体的惯性大小时，学生常受迷思概念影响的情境见表1。

表1 两种学生常受迷思概念影响的情境

情境一	情境二
相同速度行驶的甲、乙两辆货车，载重大的甲车停得慢，试比较二者的惯性大小	质量相同的A、B两辆汽车，行驶速度快的A车停得慢，试比较二者的惯性大小

面对情境一，几乎所有受访学生都能做出正确的判断。对于第二个情境，学生会做出正确判断，但他们在纠结为什么二者惯性一样大却没有同时停下来。上述问题出现的原因在于“速度”这一直观信息带给了学生迷思概念，加之学生并没有理解到底什么是惯性、为什么质量是惯性的唯一量度。

1.2 教师教学角度

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中虽然没有单独对惯性的教学提出具体要求，但其对牛顿运动定律的内容做出了整体性的要求——理解牛顿运动定律，能用牛顿运动定律解释生产生活中的有关现象、解决有关问题[3]。由此，学生对惯性的认知也应该达到理解层面。

如何能在有限的课时中让学生理解“质量是惯性的唯一量度”？笔者发现，可以借助DIS实验系统获取一些直观的数据、图象，进一步探究影响惯性大小的决定因素。

2 相关概念剖析

物理学中，将物体保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质叫做惯性[4]。惯性是物体的固有属性，代表了物体运动状态改变的难易程度，惯性越大，物体的运动状态就越难被改变。要想继续研究，首先要明确物体的运动状态可以用速度这个物理量来描述，由此，物体运动状态的改变等价于物体速度的改变。其次，力是改变物体运动状态的原因，研究物体运动状态改变的难易就不可能不谈力(F)；最后，速度的改变需要经历一段时间，从这个角度来看，运动状态改变的难易也要考虑时间(t)因素。各因素综合作用产生的效果如何？是否有相关物理量能等效地替代各因素综合作用产生的效果呢？这便是我们借助DIS实验进行探究的目的。

由上述分析可见，量化物体运动状态改变的难易程度，我们要结合三方面因素，即F、t和(v_t-v_0)。虽然三方面因素都会产生影响，但不一定是决

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

定因素。类比电阻的定义式：$R=\frac{U}{I}$，尽管电阻是导体的固有属性，这种固有属性却不能被直接观察到，所以只能借助于给电阻一个电压来展现出它的阻碍属性。物体运动状态改变的难易也是很难直接来衡量、比较的，我们需要给运动的物体一个“力”去改变它的运动状态以求探究运动状态改变难易的本质，即惯性的本质。

3　实验探究

3.1　准备工作

我们先对惯性和F、t、(v_t-v_0)三者的关系进行定性分析。首先来看力(F)，在其他因素相同的条件下，用力推静止在同一水平地面的两个物体，如果需要用更大的力才能使其运动状态改变，则惯性大；再来看时间(t)，其他条件相同时，以相同速度同时在相同水平地面上做匀减速运动的两个物体，速度变化相同用时越长，说明其运动状态越难改变，惯性大；最后，我们还要关注运动状态的改变(v_t-v_0)，其他条件相同的情况下，两物体谁的速度变化量越小，说明其运动状态越难发生改变，惯性大。

通过以上分析，我们可以初步得出结论：惯性大小$\propto\frac{Ft}{v_t-v_0}$。

3.2　DIS实验设计

3.2.1　实验目的及实验器材

为探究$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的本质问题，特借助DIS实验系统进行实验，实验装置见图1。实验器材有：小桶、砝码、细线、配重片、智能小车、多用力学轨道。



图1　实验装置

3.2.2　实验原理

实验中，智能小车所受拉力由其内置力传感器测出，减小了传统实验中“近似”导致的实验误差。DIS实验的第二大亮点就是速度信息的精确获取，它是通过智能小车上的光栅轮和内置的位移传感器得到位移和时间数据，从而计算出速度，相比于传统实验大大减小了速度的测量误差。

3.2.3　实验步骤

① 将智能小车(含配重片)进行称重，并记录下数据。

② 按如图1所示实验装置安装好多用力学导轨。

③ 打开实验数据采集界面，开启智能小车传感器。

④ 平衡摩擦力：调节多用力学轨道，直到小车在轨道上运动时$v-t$图象为一条水平直线，即小车做匀速直线运动。

⑤ 将小车放在轨道上，点击“开始记录”，再点击“F调零”对小车内置力传感器进行调零，之后将连接小桶(初次实验盛有一个砝码)的细线另一端挂在智能小车的挂钩上，智能小车在绳的牵引下做加速运动。

⑥ 点击“停止记录”，再点击“选择区域”选取数据，并将相关数据记录在表格中。

⑦ 保持智能小车不变，向小桶内添加砝码，重复上述步骤⑤、⑥。

⑧ 在智能小车上加配重片，重复上述步骤⑤、⑥、⑦。

3.2.4　实验数据

(1) 质量为0.338 kg的智能小车实验数据

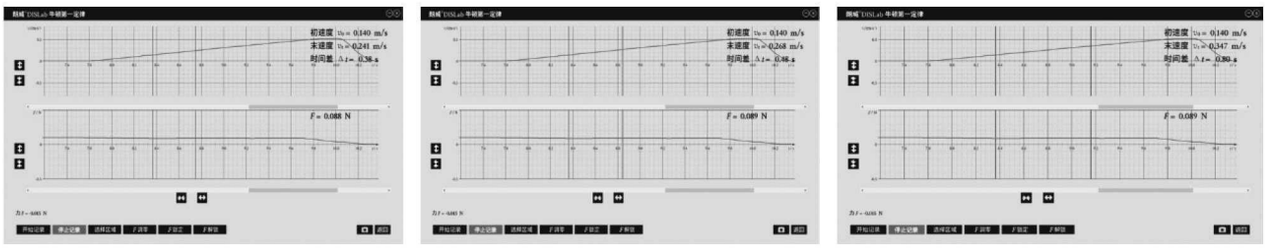
按照3.2.3中描述的实验步骤进行实验，首先使用“小桶＋1个砝码”进行实验，得到第一组实验图象。通过图象可以看出，小车受力基本恒定，只有部分微小波动，而且在我们进行区域的选择之后可以自动算出一个平均的拉力值来消除这一波动的影响，并显示在力的图线的右上角。首先选取第一组数据，如图2(a)所示，初速度为0.140 m/s，末速度为0.241 m/s，选取的初、末位置时间差为0.38 s，这一区域的拉力均值为0.088 N。接着选取第二组和第三组数据，如图2(b)、(c)所示，将以上数据记录到表2中。

保持智能小车质量不变，再往小桶中加一砝码后重复上述实验并选取相关数据得到实验图象(见图3)，并将相关数据记录到表2中。

第三次实验仍要保持智能小车质量不变，在第二次实验的基础上，再往小桶中加一砝码后重复上述实验并选取相关数据得到实验图象(见图4)，并将相关数据记录到表2中。

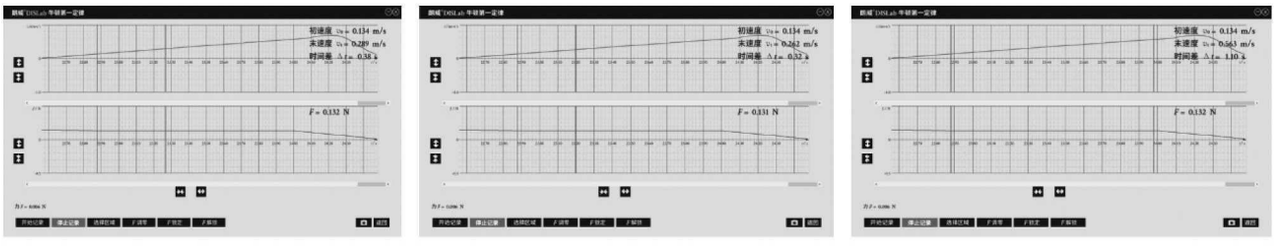
上述三组实验结束后整理数据并形成完整的数据表格(见表2)。对比计算出来的$\frac{Ft}{v_t-v_0}$值可以发现，拉力不同、不同的时间或是不同的速度变化量都未能对$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值产生较大影响。由此，经过第一大组实验的论证，$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的确能反映物体的固有属性。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



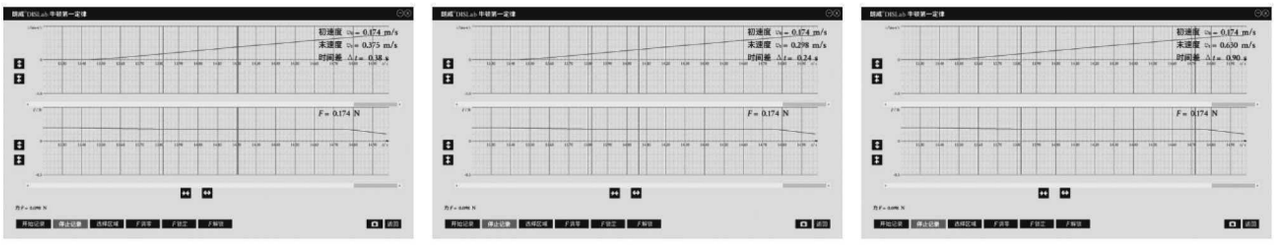
(a)　(b)　(c)

图2　F=0.089 N时实验数据图象



(a)　(b)　(c)

图3　F=0.132 N时实验数据图象



(a)　(b)　(c)

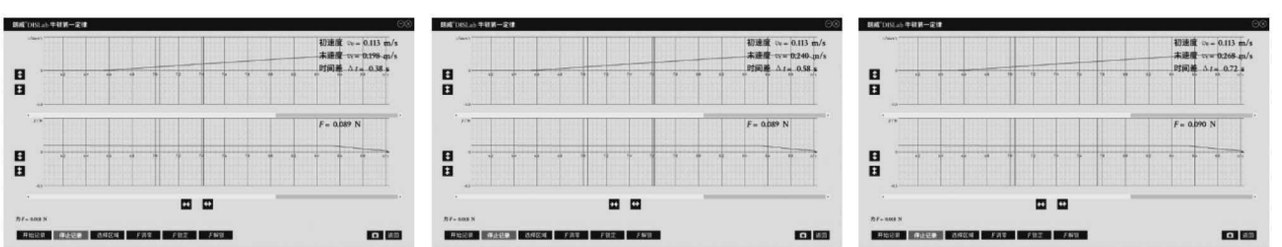
图4　F=0.174 N时实验数据图象

表2　智能小车(含配重片A)m=0.338 kg时的数据统计表

F/N	0.089			0.132			0.174		
t/s	0.38 (0.088)	0.48	0.80	0.38	0.32 (0.131)	1.10	0.38	0.24	0.90
(v_t-v_0)/m·s^{-1}	0.101	0.128	0.207	0.155	0.128	0.429	0.201	0.124	0.456
$\frac{Ft}{v_t-v_0}$	0.331	0.334	0.344	0.324	0.328	0.338	0.329	0.337	0.343

(2) 质量为0.398 kg的小车实验数据分析

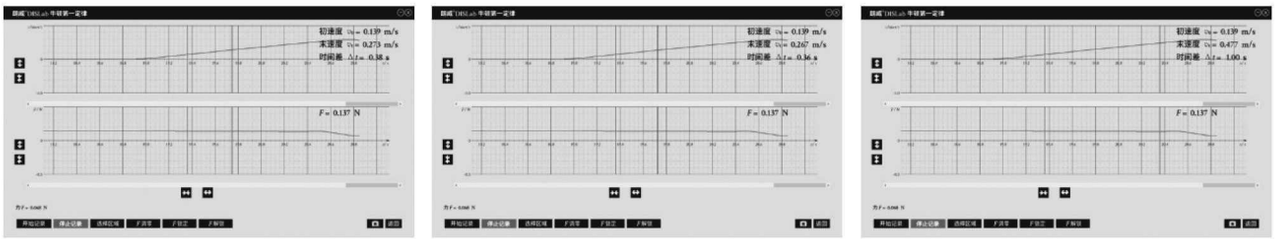
将第一大组实验中的智能小车(含配重片A)换成质量为0.398 kg的智能小车(含配重片A、B),重复第一大组的三组实验并进行数据选取,可以得到三组实验图象,见图5、6和7。



(a)　(b)　(c)

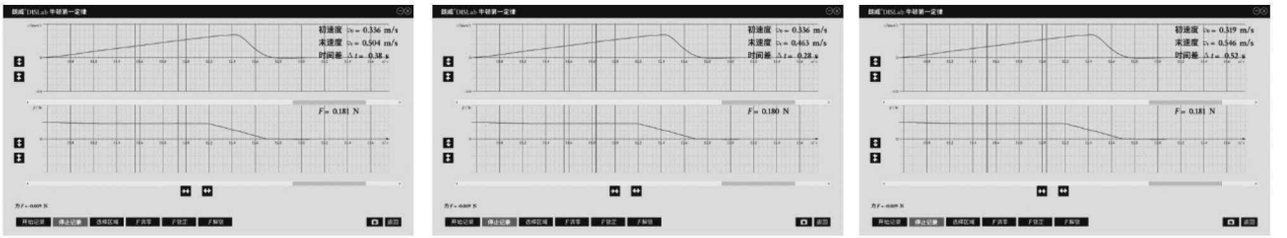
图5　F=0.089 N时实验数据图象

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)　(b)　(c)

图6　$F=0.137\,\mathrm{N}$时实验数据图象



(a)　(b)　(c)

图7　$F=0.181\,\mathrm{N}$时实验数据图象

整理三组实验获取的数据，编制表3。利用表3中的力、速度和时间的数据计算出对应的$\frac{Ft}{v_t-v_0}$值。笔者发现，$\frac{Ft}{v_t-v_0}$值并非偶然地近似相等，进一步说明该比值能反映物体的固有属性。

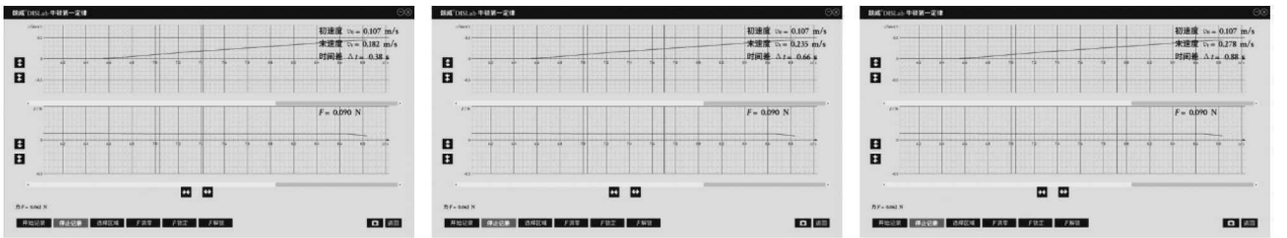
表3　智能小车(含配重片A、B)$m=0.398\,\mathrm{kg}$的数据统计表

F/N	0.089			0.137			0.181		
t/s	0.38	0.58	0.72 (0.090)	0.38	0.36	1.00	0.38	0.20 (0.180)	0.52
(v_t-v_0)/m·s^{-1}	0.085	0.127	0.155	0.134	0.128	0.338	0.168	0.127	0.227
$\frac{Ft}{v_t-v_0}$	0.398	0.406	0.418	0.389	0.385	0.405	0.409	0.397	0.415

(3) 质量为0.449 kg的智能小车(含配重片A、C)实验数据分析

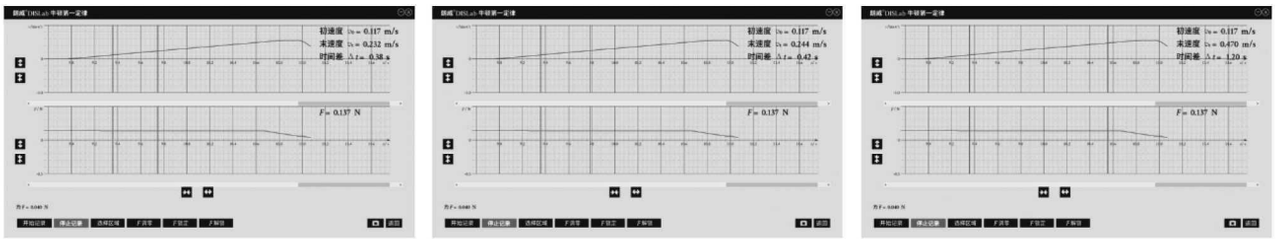
笔者再次换用质量为0.449 kg的智能小车(含配重片A、C)进行实验，重复前两大组实验的操作。仍可得到三组实验图象，见图8、9和10。

整理获取到的实验数据，编制数据表格(见表4)。



(a)　(b)　(c)

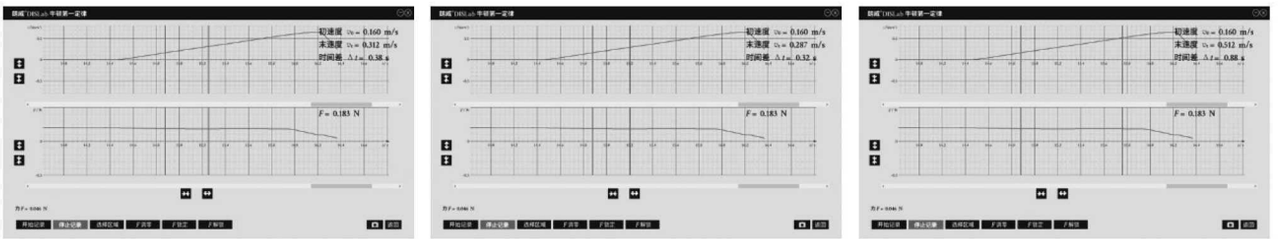
图8　$F=0.090\,\mathrm{N}$时实验数据图象



(a)　(b)　(c)

图9　$F=0.137\,\mathrm{N}$时实验数据图象

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)　(b)　(c)

图10　F=0.183 N时实验数据图象

表4　智能小车 m=0.449 kg 的数据统计表

F/N	0.090			0.137			0.183		
t/s	0.38	0.66	0.88	0.38	0.42	1.20	0.38	0.32	0.88
(v_t-v_0)/m·s^{-1}	0.075	0.128	0.171	0.115	0.127	0.353	0.152	0.127	0.352
$\frac{Ft}{v_t-v_0}$	0.456	0.464	0.463	0.453	0.453	0.466	0.458	0.461	0.458

分别选取这三大组实验中时间相等、力相等以及速度差相等的数据组进行横向对比，皆可得出结论，无论是力、时间还是速度差，都不能直接用来衡量物体运动状态改变的难易程度。

从表格数据中我们可以很清晰地看到，每一组内$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值近似相等，但是这三大组实验得出的$\frac{Ft}{v_t-v_0}$值却并不相同。进一步对比分析可以发现，随着智能小车(含配重片)质量的增大，对应的$\frac{Ft}{v_t-v_0}$值也随之增大，且每组$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值都近似与该组智能小车(含配重片)的质量相等。那么，$\frac{Ft}{v_t-v_0}$和智能小车(含配重片)的质量之间到底有着怎样的关系？笔者将对这两个数据进行误差分析。

3.2.5　误差分析

首先对第一大组实验中$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值和其对应的智能小车(含配重片 A)的质量进行误差分析，并编制表格(见表5)。可以看到，最大误差值为4.14%，最小误差为0%，其余误差皆在3%以内，在误差允许范围内，本组实验中$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值和其对应质量是相等的。

表5　智能小车(含配重片 A)m=0.338 kg 时的误差分析

F/N	0.089			0.132			0.174		
t/s	0.38 (0.088)	0.48	0.80	0.38	0.32 (0.131)	1.10	0.38	0.24	0.90
(v_t-v_0)/m·s^{-1}	0.101	0.128	0.207	0.155	0.128	0.429	0.201	0.124	0.456
$\frac{Ft}{v_t-v_0}$	0.331	0.334	0.344	0.324	0.328	0.338	0.329	0.337	0.343
δ	2.07%	1.18%	0.60%	4.14%	2.96%	0.00%	2.66%	0.30%	1.48%

接着对第二大组和第三大组实验中$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值和其对应的智能小车(含配重片 A、C)的质量进行误差分析，同样在误差允许范围内，每组实验中$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的值和其对应质量是相等的。

上述实验结果很好地证明了 F、t 和(v_t-v_0)三方面因素都会对物体“惯性”这一性质的体现产生影响，但并不是决定因素，用来描述物体运动状态改变的难易程度的是$\frac{Ft}{v_t-v_0}$，而$\frac{Ft}{v_t-v_0}$的大小在误差允许范围内与物体的质量大小相等。

3.2.6　量纲分析

根据量纲理论，力的量纲为 $\mathrm{LMT^{-2}}$，时间的量纲为 T，速度的量纲为 $\mathrm{LT^{-1}}$，质量的量纲为 M。对$\frac{Ft}{v_t-v_0}$进行量纲运算结果为 M，量纲运算的结果可以有力地说明惯性的本质只与质量有关。

3.3　实验结论

$\frac{Ft}{v_t-v_0}$与质量的数值在误差允许范围内近似相

(下转第15页)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

把这些内容呈现给学生，让学生讨论分析，课堂表现非常活跃，也同时让学生明白个人观点的错误是一件很正常的事情。直到1804年托马斯·杨完成双缝干涉实验，干涉原理可以科学地解释“牛顿环”现象。

(3) 结合问题解决，帮助学生学会在利用电磁观念思考解决问题的同时建构电磁观念。

对物理观念的考查，浙江省2021年1月份的物理选考卷中出现过，针对量子计算机“九章”处理“高斯玻色取样”的速度比目前最快的超级计算机“富岳”快一百万亿倍，问学生关于量子的电磁观念是连续还是不连续？类比哪些对象？

① 问题专题化，提升电磁观念的水平层次。

例题　下列有关波动现象的特性与应用的说法中正确的是　　(　　)

(A) 医院用“B超”仪器设备诊断人体内脏，是利用超声波的多普勒效应

(B) 5G通信技术(采用3 300～5 000 MHz频段)，相比现有的4G通信技术(采用1880～2635 MHz频段)，5G容量更大，信号粒子性更显著

(C) 在镜头前装偏振片，可以减弱镜头反射光

(D) 电子显微镜的电子束速度越大，电子显微镜分辨本领越强

本题的几个选项把相关的概念或观念放在一起，通过辨析能较好地帮助学生理解并形成电磁观念。选项A对比了“B超”与“彩超”，B超利用超声波的反射时间与强弱，而“彩超”利用多普勒效应判断血液流动速度的大小与方向；选项B对比了“5G”与“4G”，5G采用3 300～5 000 MHz频段，而4G采用1880～2635 MHz频段，5G容量更大，信号的频率更大，所以粒子性更显著；选项C对比了“偏振片”与“增透膜”，在镜头前装偏振片，利用透射光是偏振光，可以减弱透射光，而增透膜是利用相消干涉增加透射光；选项D对比了“光学显微镜”与“离子显微镜”“电子显微镜”，可见光波长比电子长，而波长越短对应的分辨本领越高，电子显微镜中电子束速度越大，能量越高，对应的频率越高，波长越短分辨率越高，还可进一步拓展“不确定关系”。

通过这样的对比关联，能尽快提升学生的电磁认知，促进电磁观念的形成。

② 问题真实化，提升电磁观念的水平层次。

例如：光缆利用可见光传输信息，其他波段的电磁波能利用光缆传输信息吗？远距离高压输电系统可以传播可见光信息吗？

这一真实问题包含诸多电磁认知。光缆利用全反射原理传播可见光，因X射线频率很高、能量更大，能穿透光缆材料故无法采用；因光缆材料含共振吸收紫外线电子跃迁的材料，对紫外线来说也不能传播；因无线电波波长较长，其传播不需要光缆传播，往往在空中直接传播电磁能量。可见光也可以直接在空中传播，比如激光，也可以携带信号，那可见光为何用光缆线传输？因为大气状况不稳定，同时雾、沙尘、雨雪等天气变化影响可见光在空中的传播，而借助光缆输送能更稳定。

远距离高压输电系统传播的是频率只有50～60 Hz的交流电，其本质是电场力推动电子移动，若用高压输电线输送可见光信息，因能量级别不同，估计设备无法承受高能态。

参考文献

[1] 赵凯华，陈熙谋. 电磁学(第3版)[M]. 北京：高等教育出版社，2011.

[2] 蔡铁权，郑瑶. 物理观念的内涵、层次和架构[J]. 物理教学，2019(6)：2　5，70.

(上接第29页)

等，并且量纲分析表明它具有质量的量纲，这充分验证了“质量是惯性的唯一量度”。

4　小　结

通过DIS实验，我们可以更好地利用数据解答学生在面临表1中的两种情境时产生的疑惑。F、t和(v_t-v_0)都是物体运动状态改变的难易程度的外在表象，透过现象究其本质，质量才是惯性大小的唯一量度。

在DIS实验不断发展的今天，作为物理教师要善于利用DIS技术的灵活性和便捷性的特点，引导学生通过DIS实验探究问题的本质，创造出高效思维的物理课堂。

参考文献

[1] 李娟. 基于概念转变的教学活动设计和实践　以“牛顿运动定律”为例[J]. 物理教师，2021(4)：7　10.

[2] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.

[3] 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.

[4] 彭前程，黄恕伯. 普通高中教科书　物理(必修第一册)[M]. 北京：人民教育出版社，2019.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net