

中学物理教学中 提升学生核心素养的思考

黄恕伯 2018.5.15

前言：物理核心素养的 结构和水平描述

一、两个概念

● 学科核心素养

学科核心素养是学科育人价值的集中体现，是学生通过学科学习而逐步形成的正确价值观念、必备品格和关键能力。物理学学科核心素养主要包括“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”四个方面。

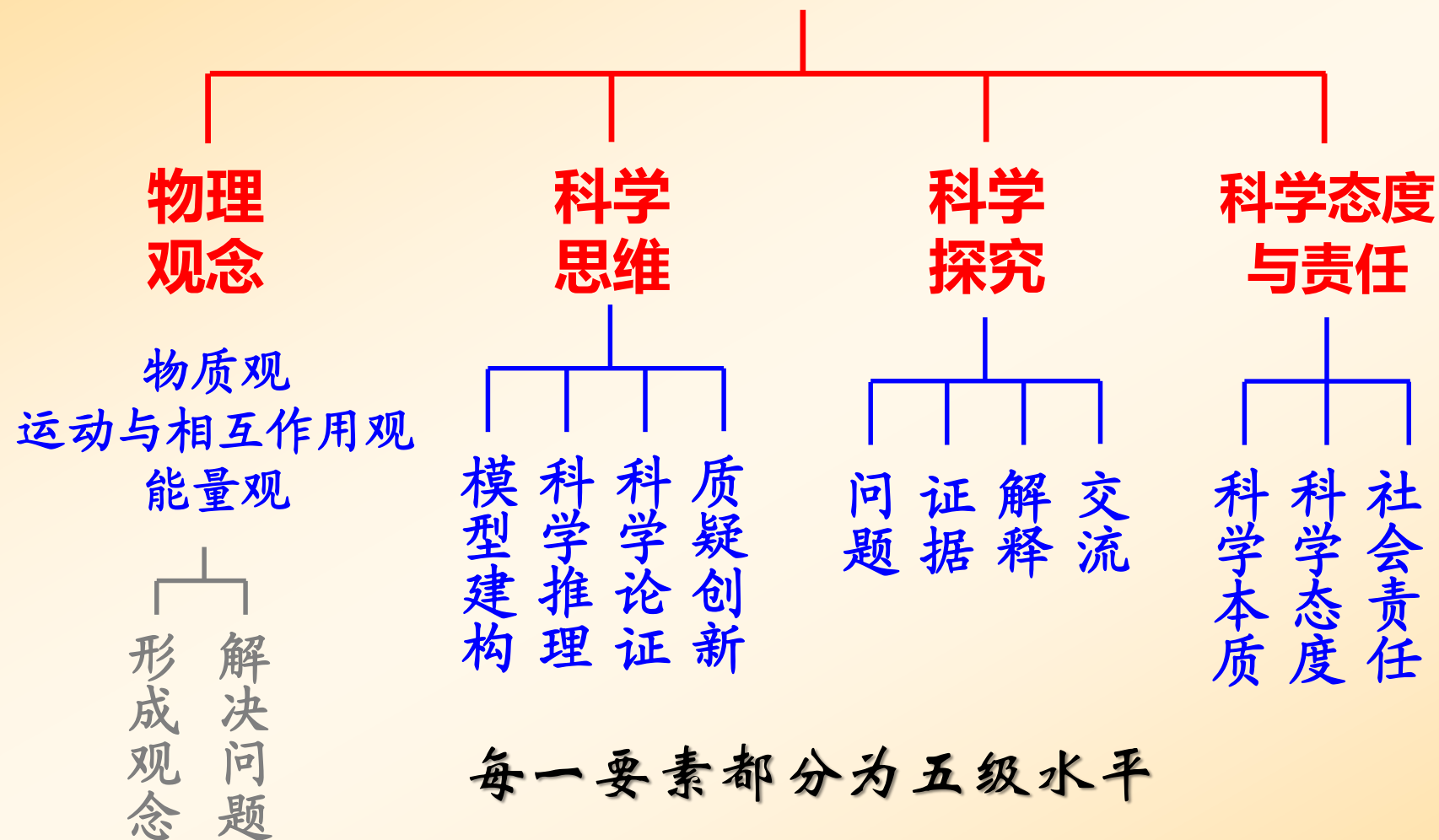
● 学业质量标准

学业质量是学生完成本学科课程学习后的学业成就表现。学业质量标准是以本学科核心素养及表现水平为主要维度，结合课程内容，对学生学业成就的总体刻画。依据不同水平学业成就表现的关键特征，学业质量标准明确将学业质量划分为不同水平，并描述了不同水平学习结构的具体表现。

(学科核心素养和学业质量标准的表述基本相同)

二、学科核心素养和学业质量标准的结构

高中物理核心素养



$$2 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 3 \times 5 = 13 \times 5$$

二、学科核心素养和学业质量标准的结构

1. 高中物理核心素养的内容结构

核心素养水平

4 个方面（一级主题）。

每个方面有若干要素，每个要素有 5 级水平。

$$2 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 3 \times 5$$

2. 学业质量标准的内容结构

学业质量水平

5 级水平（一级主题）。

每级水平都包括 13 个要素。

$$5 \times 13$$

3. 教学中还需要以要素为线索的结构方式

按要素排列

$$13 \times 5$$

(一) 物理观念

“ 形成物质观念、运动与相互作用观念、能量观念等，能用其解释自然现象和解决实际问题。”

这是高中物理课程标准的一项重要目标，该目标明确提出两个要点：第一，形成物质观念、运动与相互作用观念、能量观念；第二，会用这三个观念解释自然现象和解决实际问题。

为达成上述目标，教学时应重视以下两方面：

一、构建有优化结构的高中物理知识系统

二、强化物理知识与实践情境的关联

一、构建有优化结构的高中物理知识系统

课程标准关于“物理观念” 的说明：

“物理观念” 是从物理学视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识；是物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华；是从物理学视角解释自然现象和解决实际问题的基础。

什么是“概念和规律的提炼和升华”？

所谓概念和规律的提炼，其重要的方面就是把这些概念和规律组合成优化的结构，成为某一知识领域的核心内容，是解决问题的关键视角和思维指南。

一、构建有优化结构的高中物理知识系统

例：《力的分解》教学的知识目标

传统的《力的分解》教学过程：

用力的分解求解物体的受力问题，根据“力的作用效果”来判定分力的方向，用平行四边形定则根据判定的分力方向进行力的分解。

该教学过程值得质疑。

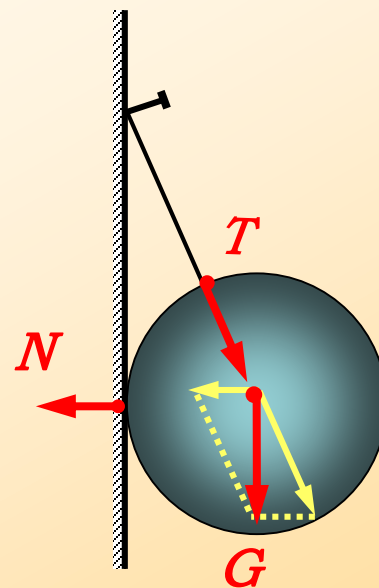
一、构建有优化结构的高中物理知识系统

例：《力的分解》教学的知识目标

老师：如右图，悬吊的球由于重力的作用产生了两个效果，一是拉绳子，二是压墙。因此可以把重力按效果分解为 T 和 N 。

学生：分力和合力是指同一物体上两次受力的等效替换，但 T 、 N 和 G 并不作用在同一物体上，一个力可以分解为别的物体所受的力吗？ G 是引力、 T 和 N 是弹力，一个引力可以分解为两个弹力吗？

老师：.....。



《力的分解》教学目标的设计

1. 知识目标要点

- 不要求学生把力的分解直接用来求解物体的受力
- 突出力的分解的等效替换的思想
- 会用平行四边形定则求解有确定解的两个分力
(求解物体受力的要求, 在牛顿定律中实现)

2. 设计上述知识目标的思考

- 降低教学的难度, 避免新课时很难说清的问题
- 把“力的分解”作为牛顿定律解决问题的一个环节来处理, 使解题思维更规范。

3. 教材“力的分解”练习题并没有用力的分解来求解物体受力。

一、构建有优化结构的高中物理知识系统

例：《力的分解》教学的知识目标

新课标指出：“**能用共点力的平衡条件分析日常生活中的问题**”而不是用“力的分解”，它突出了运动与相互作用的关系，即物体的运动如果处于平衡状态则物体在相互作用中所受的合力便等于 0，这是核心知识，力的分解不过是求解过程中的一个计算手段。解决物体受力的计算应该在学习共点力平衡时完成，而不是学习力的分解时就匆忙做这些题目。

一、构建有优化结构的高中物理知识系统

例：《力的分解》教学的知识目标

之所以把共点力的平衡视为核心知识。是因为用共点力平衡条件分析具体问题时，需要选择相互作用的对象、分析相互作用的物理量、列出相互作用关系的方程，这是一种分析物理问题基本而且重要的思路，这种核心思路和视角，普遍用于力、电、热等问题的分析，是概念和规律的提炼。是运动与相互作用观的重要内容。

“共点力的平衡”是高中物理这一思路的起点。

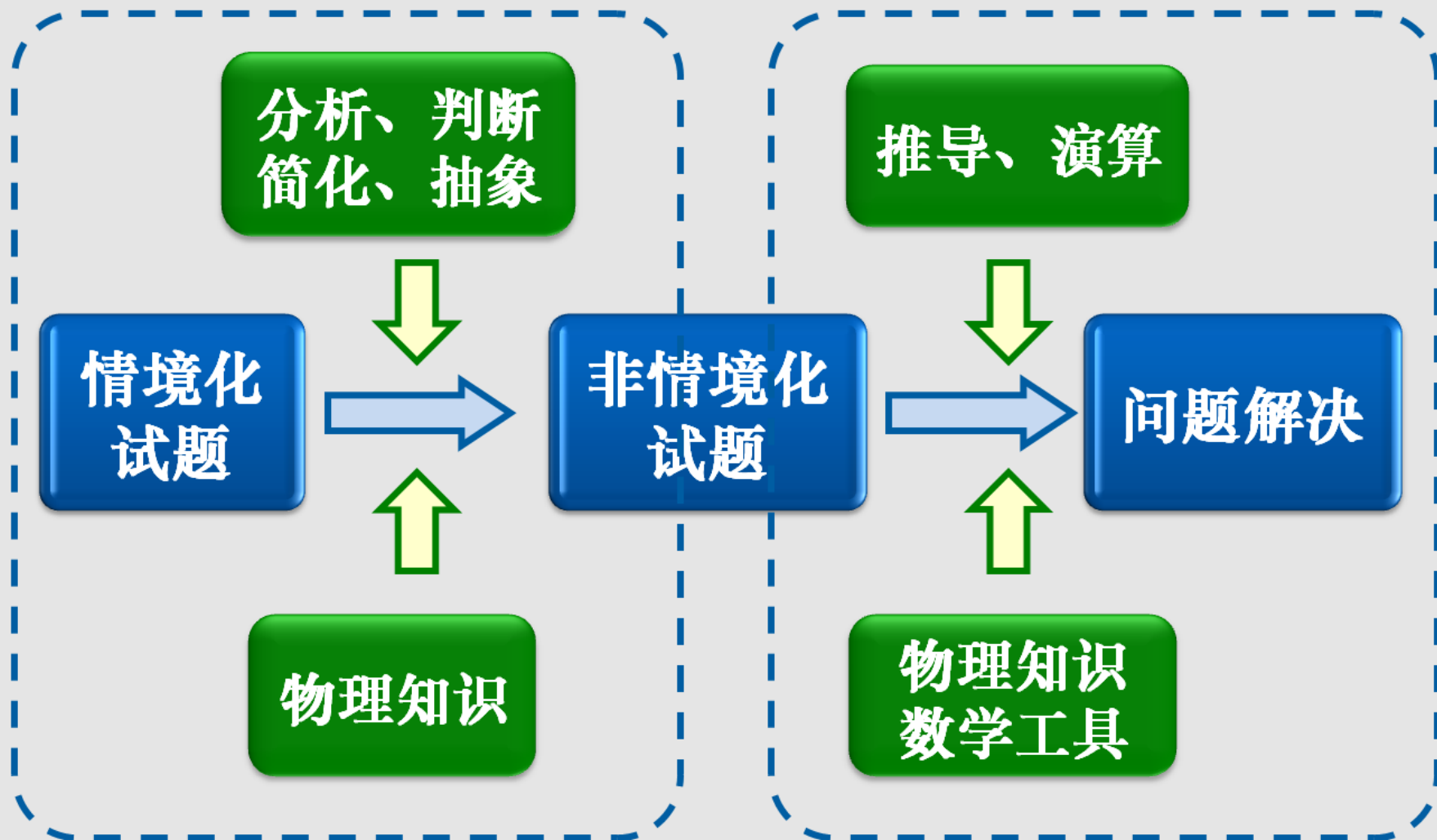
二、强化物理知识与实践情境的关联

物理观念的第二个要点，是“**会用物理观念解释自然现象和解决实际问题**”。

要做到这一点，必须强化物理知识与实践情境的关联，提高把物理知识与实践情境进行联系的自觉性，增强学生的实践意识。当学生面对物理语言、文字和符号时，能自觉地联想相应的物理情境；当学生面对实践情境时，会自然联想到与此相关的物理概念和规律。这就是物理概念和规律的升华。



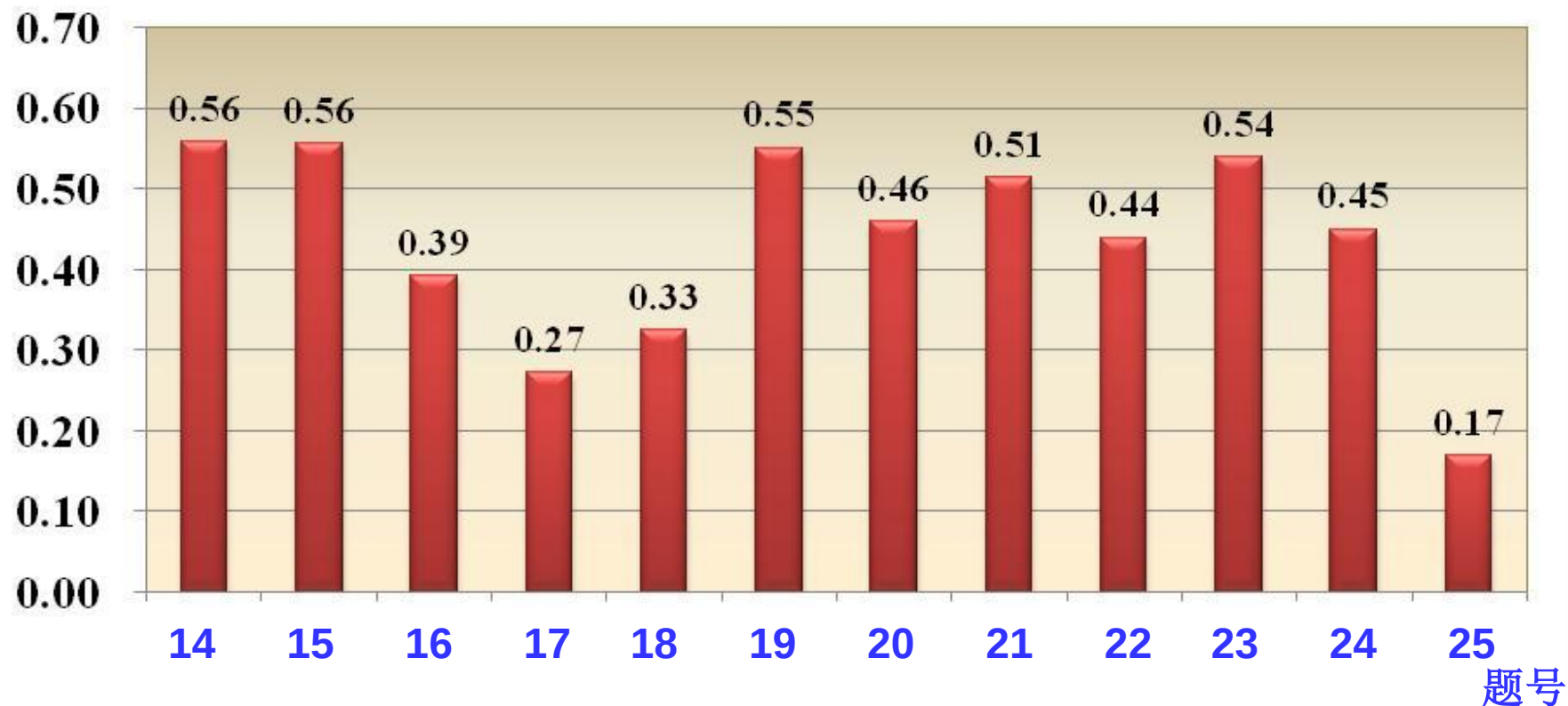
解题思维过程



本幻灯片摘自教育部考试
中心李勇处长的培训讲座

2016年高考理综试卷物理必考题难度系数

难度系数（得分率）



设有 $x\%$ 考生会做第17题，则 $x + (100 - x) / 4 = 27$

解出： $x = 2.67 \approx 3$ 即只有3%考生会做第17题。

第17题是必考物理题的最难题，难在哪里？

新课标2016年高考理综I卷第17题

利用三颗位置适当的地球同步卫星，可使地球赤道上任意两点之间保持无线电通讯。目前，地球同步卫星的轨道半径约为地球半径的6.6倍。假设地球的自转周期变小，若仍仅用三颗同步卫星来实现上述目的，则地球自转周期的最小值约为（ ）

A.1h

B.4h

C.8h

D.16h

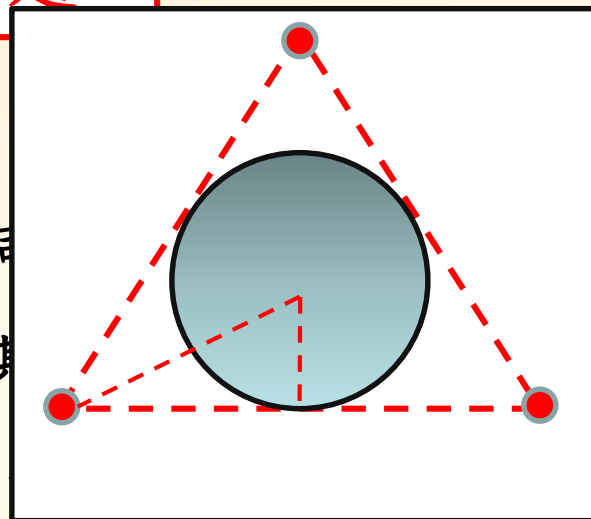
解答本题需要用到的物理知识：

- 1. 地球同步卫星运动的周期等于地球自转周期；**
- 2. 卫星绕地球运动周期的二次方跟半径的三次方成正比**

物理知识不是解答本题的困难， 本题难在知识与情境的转化上。

新课标2016年高考理综I卷第17题

利用三颗位置适当的地球同步卫星，
两点之间保持无线电通讯。目前，地球同
为地球半径的6.6倍。假设地球的自转周期
同步卫星来实现上述目的，则地球自转周



A.1h

B.4h

C.8h

D.16h

假设
地球的
自转周
期变小



同步
卫星运
动周期
也变小



同步
卫星运
动半径
也变小



卫星
轨道半
径大于
地球半
径2倍



由此
算出卫
星周期
即为题
目所求

实现“文字→情境→知识”的转化，才是正确解题的关键

二、强化物理知识与实践情境的关联

1.课堂教学中增添联系实际的内容

- 把跟学生生活联系密切的问题、社会热点中的物理问题、现代科技成果等有实践情境的教学内容引进课堂;
- 用生活中的器具做物理实验,加强物理知识与生活的联系;
- 创设真实情境、并通过对真实情境的思维加工来建立物理概念;用物理规律分析和解决真实情境中的问题;
- 养成估计生活中有关物理量大小的习惯,乐于对媒体消息中物理量的大小进行审视,勇于对媒体信息中的不合理数据进行质疑。

二、强化物理知识与实践情境的关联

例：从生活实践引入“自感和互感”课题

从生活实践引入“自感和互感”课题



二、强化物理知识与实践情境的关联

例：从生活实践引入“自感和互感”课题

以上案例中，短短几秒钟，教师通过两个动作，建立了“物理知识和生活情境的关联”“科学和技术的关联”。

二、强化物理知识与实践情境的关联

例：物理知识跟社会生活的关联

机场规定： **严禁携带额定能量超过160 W·h
的充电宝搭乘飞机。**

一般充电宝（移动电源）的规格，标注的是电荷量，单位是mA·h，机场的规定为什么要以W·h为单位？

二、强化物理知识与实践情境的关联

例：物理知识跟社会生活的关联

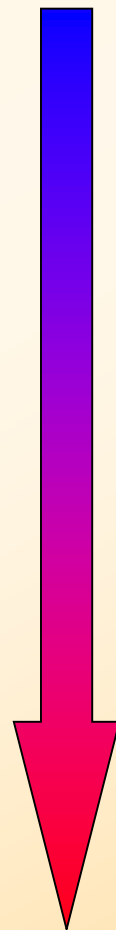
根据物理知识可知，机场限定的不是充电宝的电荷量，而是充电宝的能量， $W\cdot h$ 的含义是瓦小时， $160W\cdot h$ 相当于 57.6 t 的重物由静止下落 1m 所具有的动能。

旅客怎样判断自己的充电宝是否超标？须把它的电荷量乘以标注的额定电压并换算成 $W\cdot h$ 单位。

二、强化物理知识与实践情境的关联

2.采用优化的教学方式

- (1) 教师列举实例进行讲解
- (2) 让学生列举实例
- (3) 展示联系生活、社会的图片
- (4) 演播联系生活、社会的视频
- (5) 展示实物并进行演示
- (6) 学生操作体验
- (7) 学术性游戏
- (8) 经历创造性解决实际问题的过程



优
化

● 《拔火罐和马德堡半球》——2016科学晚会节目



(二) 科学思维

《课程标准》中的“科学思维”素养，主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等四个要素。

一、重视对理想模型的建构和应用

1. 高中物理课程中的两种理想模型

(1) 关于研究对象、装置或条件的理想模型：

质点、弹簧振子、单摆、理想气体、点电荷、匀强电场、理想变压器等。

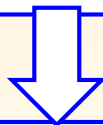
(2) 关于运动过程理想模型：

匀速直线运动、匀变速直线运动、平抛运动、匀速圆周运动、简谐运动、弹性碰撞、等温过程、绝热过程等。

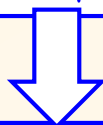
一、重视对理想模型的建构和应用

2. 《课程标准》对模型建构要求的层次

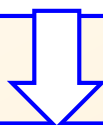
能说出简单物理模型



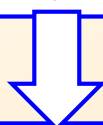
能在熟悉情境中应用常见物理模型



能在熟悉情境中选用恰当模型解决简单问题



能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型



能将较复杂实际问题的对象和过程转换成物理模型

一、重视对理想模型的建构和应用

3. 高中物理课程的第一个理想模型 —— 质点

● 17版： 经历质点模型的建构过程，了解质点的含义。
知道将物体抽象为质点的条件，能将特定实际情境中的物
体抽象成质点。体会建构物理模型的思维方式，认识物理
模型在探索自然规律中的作用。

● 03版：通过对质点的认识，了解物理学研究中物理模
型的特点，体会物理模型在探索自然规律中的作用。

● 17版和03版关于质点的知识要求是相同的。但增加了
“经历过程” “能抽象” “体会思维方式” 的要求。

“**建构**” + “**应用**”

一、重视对理想模型的建构和应用

应用：将实际问题转换成所学物理模型

一名学生看见某工人沿着斜靠在墙上的梯子向上攀登时，担心梯子下端会滑动而产生安全问题。他用力的平衡规律探究此真实问题，得出人在梯子上的位置越高梯子下端越容易滑动的结论，解释了所观察到的现象。该学生研究时，把人视为质点，忽略梯子的质量、梯子上端与墙之间的摩擦力等次要因素，合理建构了问题研究的物理模型，形成结论时，进一步考虑梯子质量等因素的影响。

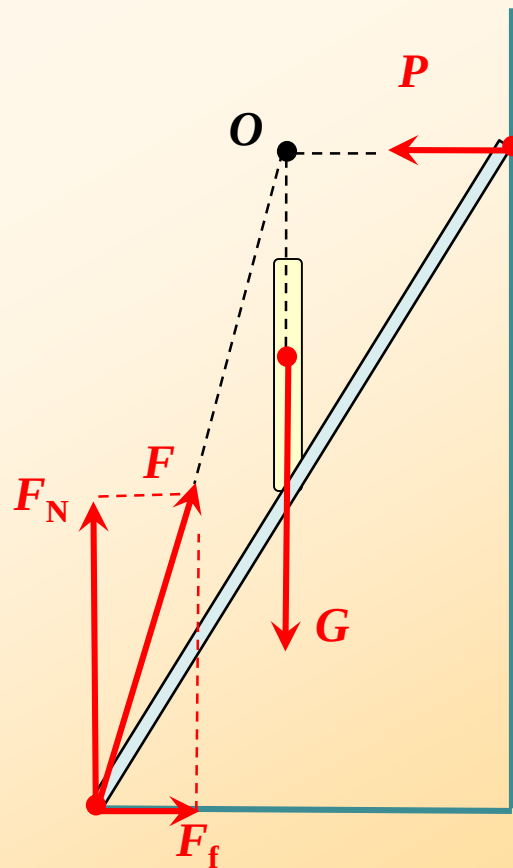
一、重视对理想模型的建构和应用

应用：将实际问题转换成所学物理模型

把工人和梯子合起来作为受共点力作用的研究对象，该对象受 G 、 P 、 F 三力的作用，三力共点于 O ，合力为0。

随着工人在梯子位置的上移， O 点向墙平移， F 和地面的夹角减小，梯子平衡所需要的静摩擦力 F_f 增大，梯子不安全程度增加。

工人位于梯子顶部时，是梯子在该倾角下的最不安全状态，此时 F 的作用线沿梯子方向。

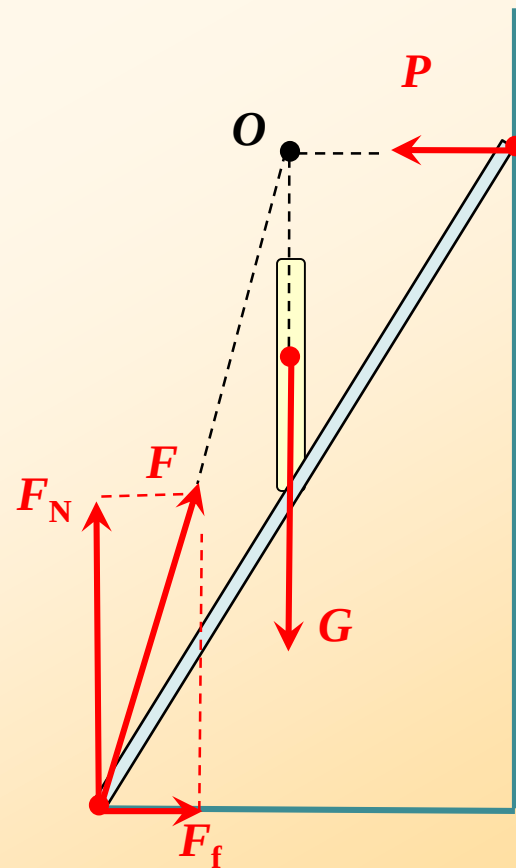


一、重视对理想模型的建构和应用

应用：将实际问题转换成所学物理模型

同样是工人位于梯子顶部的条件下，如果梯子跟地面的夹角越小，梯子平衡所需要的静摩擦力越大，梯子越不安全。

梯子的倾角减小到静摩擦力 F_f 和弹力 N 的比值等于动摩擦因数 μ 时，梯子处于打滑的临界状态，此时梯子和地面的夹角 θ 为最小安全倾角，由图可知， $\text{ctan } \theta = \mu$ 。



一、重视对理想模型的建构和应用

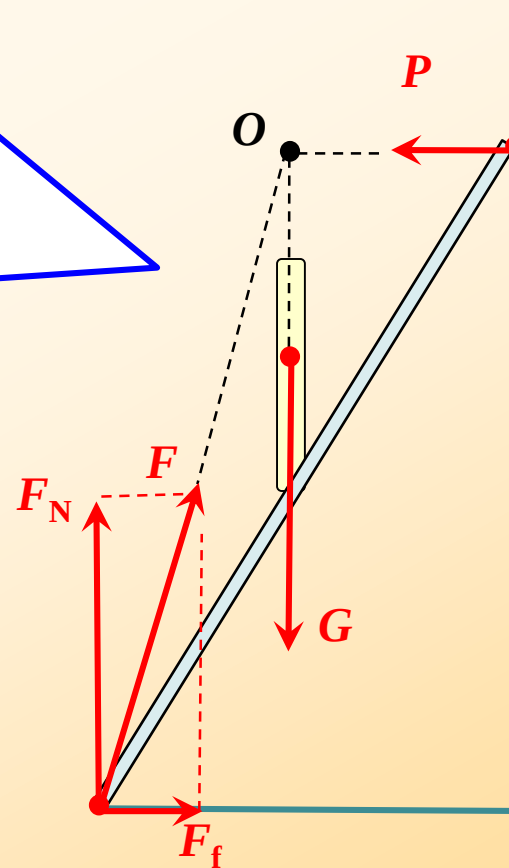
应用：将实际问题转换成所学物理模型

水平2：能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型

水平3：能在熟悉的问题情境中根据需要选用恰当的模型解决简单的物理问题

水平4：能将实际问题中的对象和过程转换成所学的物理模型

水平5：能将较复杂实际问题中的对象和过程转换成所学的物理模型



一、重视对理想模型的建构和应用

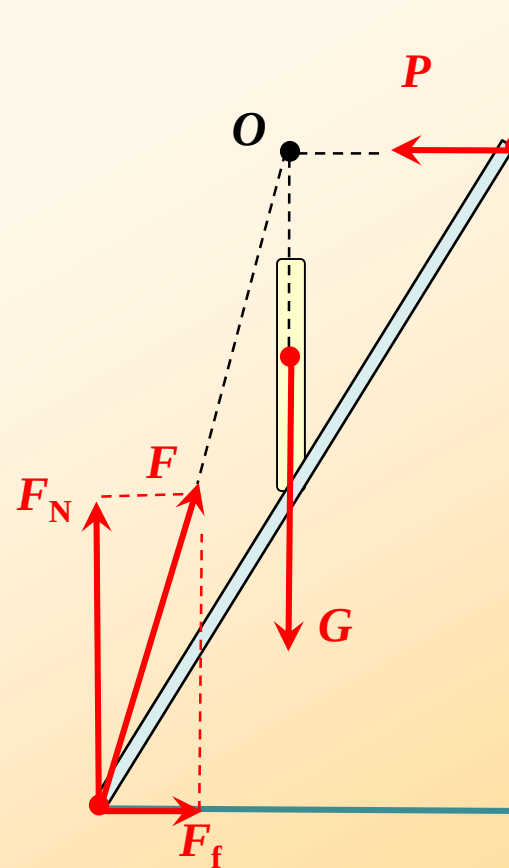
应用：将实际问题转换成所学物理模型

“模型建构”水平 4 (5)：

能将（较复杂的）实际问题中的对象和过程转换成所学的物理模型；

“科学推理”水平 4：

能对综合性物理问题进行分析 and 推理，获得结论并作出解释；



二、不仅关注推理结论，更重视推理过程

1. 科学推理的含义

由一个或几个已知结论推出另一个新结论的思维方式，叫科学推理。

二、不仅关注推理结论，更重视推理过程

2. 高中物理课科学推理的常见方式

物理学中通常的推理方式有归纳推理、演绎推理和类比推理。高中物理课学生用的较多的是归纳推理和演绎推理。

归纳推理：由个别性判断推出一般性判断的推理。
例如，根据大量观察、实验的数据，通过分析与归纳，得出一般性结论。

演绎推理：由一般性判断推出个别性判断的推理。
例如，根据已知的一般性规律，在一定条件下数学推导，得出个别性结论。

二、不仅关注推理结论，更重视推理过程

3.不仅关注推理结论，更要重视推理过程

归纳推理能力是在对大量个别事物的归纳过程中提高的。应引导学生发现这些个别事物共同的特点，寻找其本质的特征。

演绎推理能力是在对已知规律进行演绎的过程中提高的。应让学生明确演绎对象、物理条件，演绎方向以及对结果的解释。

二、不仅关注推理结论，更重视推理过程

3. 不仅关注推理结论，更要重视推理过程

一个传统教学的推理案例：“曲线运动速度的方向”

实验事实：旋转砂轮上的火星、旋转雨伞上的水滴，都沿圆周切线飞出



归纳推理：做曲线运动物体在某点的速度方向，在曲线该点切线方向上

以上归纳在体现个例的本质特征上有偏差

二、不仅关注推理结论，更重视推理过程

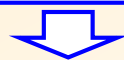
4. 教学中设计优化的推理过程

什么是优化的推理过程？

- 归纳推理：抓住事物的本质特征，并对结论进行理性分析
- 演绎推理：明确研究对象和演绎条件，对结论作实践判断
- 一般推理：尽可能实现多种推理方式相结合

“曲线运动速度的方向”的改进案例

实验事实：旋转砂轮上的火星、旋转雨伞上的水滴，都沿圆周切线飞出



猜想：因圆周运动速度方向与圆相切，曲线运动速度方向或跟曲线相切



实验检验：钢球在任意曲线的导轨内运动，离开导轨时沿切线方向飞出



理论分析：沿圆弧运动的物体在某段时间的平均速度等于弦长（矢量）与时间之比，时间趋近于0时，弦矢量的方向跟圆弧相切。



实践印证：斜向抛出的飞镖，在空中飞行时飞镖的指向跟飞行轨迹相切

三、增强科学推理时的证据意识

证据意识的五个层次：

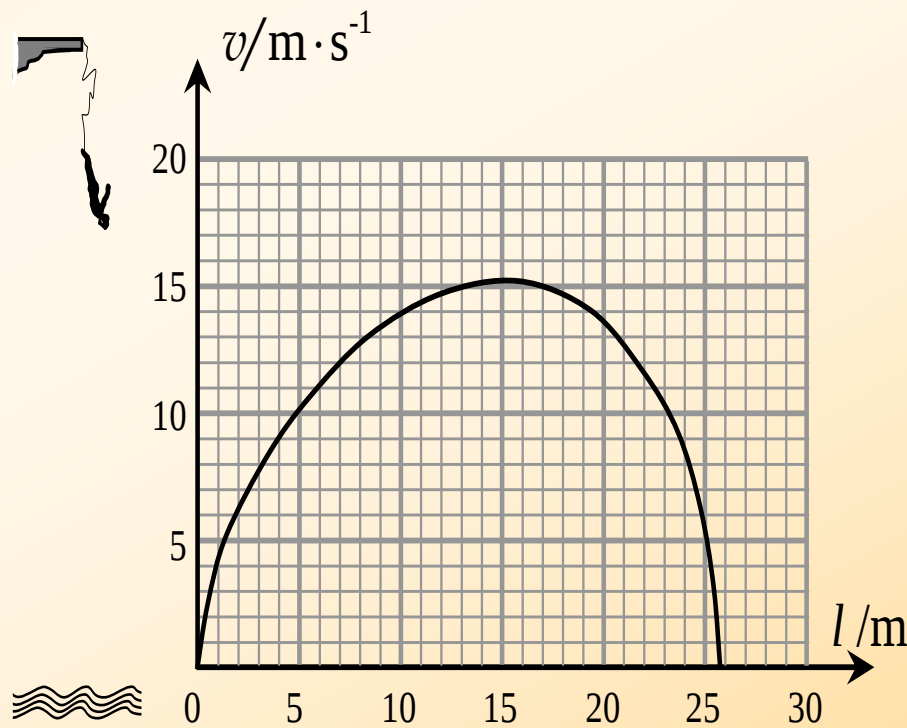
1. 能区别观点和证据；
2. 能使用简单和直接的证据表达自己的观点；
3. 能恰当使用证据表达自己的观点；
4. 能恰当使用证据证明物理结论；
5. 能考虑证据的可靠性，合理使用证据；

三、增强科学推理时的证据意识

例：能恰当使用证据证明物理结论

题目 “蹦极”运动时，在运动员身上装好传感器，测量运动员在不同时刻的高度及速度。运动员及所带装备的总质量为60 kg，弹性绳原长为10m。运动员从蹦极台自由下落，得到右图的速度-位移图像。

问：运动员下落到动能最大时和落到最低点时，绳的弹性势能分别为多大？请陈述应用相关定律解决问题的条件。



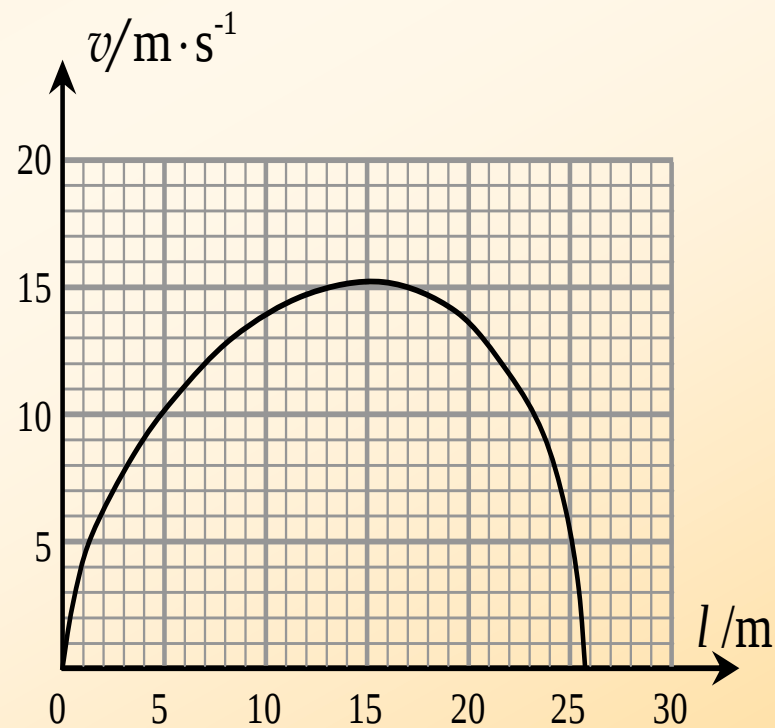
三、增强科学推理时的证据意识

例：能恰当使用证据证明物理结论

本题的回答有两个层次。

层次一：通过对图像的观察，知道落下15m具有最大动能、知道下落的最大位移，并能应用机械能守恒定律计算动能最大处和最低点位置的弹性势能。

层次二：不仅能正确求解本题的答案。而且能根据图像中下落10m的速度值估算运动员下落的加速度近似等于重力加速度，判断空气阻力可以忽略，证明题中过程遵从机械能守恒定律。



四、在质疑、创新过程中发展思维能力

质疑的行为大致可以分为两个层次：

一是对知识了解不够，没有弄懂，无法解决具体问题，提出疑问，这是低层次的；

二是发现所观察到的现象与已有认知不吻合，或者发现已有认知之间不能自恰，从而对现有认知的科学性和合理性提出疑问，以至于萌发出新的猜想，这是高层次的。

应倡导高层次的质疑行为，历史上物理学的重大发现都是由高层次的质疑行为引发的。

例：勇于对传统结论作出有根据的质疑

【题目】 有人描述了这样一个情境：“早年，一名飞行员驾着飞机在空中水平匀速飞行，飞机座舱的上部是开放的，空中经常出现地面射出的流弹，有一次，飞行员感觉脸上有一只虫子在浮动，抓过来一看，竟是一颗步枪子弹！”

从物理原理上看，你认为这种情境可能发生吗？请说出你的结论。并根据子弹和飞行员的相对运动关系论述你的结论。

核心素养：

科学思维（质疑创新）水平四

能对已有结论提出有依据的质疑，采用不同方式分析解决物理问题。

科学思维（证据意识）水平五

能考虑证据本身的科学性，恰当使用证据，从多个视角审视检验结论。

评分标准：

能从水平方向和竖直方向两方面正确分析。论点和论据吻合。论据的物理原理正确。

回答举例1 (满分)

不可能发生。

上述情境最有可能发生的条件是子弹和飞行员的水平速度相等，在水平方向上子弹和飞行员不会产生相对运动。

但即便如此，竖直方向上，子弹相对飞行员还在做竖直上抛运动。设子弹飞行到最高点时恰好接触飞行员的脸，此后子弹相对飞行员做自由落体运动，设子弹触脸下落 10 cm 被飞行员抓住，根据自由落体运动的位移公式，可列方程 $0.1 = 10 \times t^2/2$ ，解得 $t = 0.14$ 秒，要在这么短的时间内完成动作，几乎超出了人的反应时间的极限，这在飞行员在驾驶飞机时是不可能做到的。

回答举例2 (满分)

可能发生。

水平方向：若子弹和飞行员的水平速度相等，在水平方向上子弹和飞行员不会产生相对运动。

竖直方向：子弹相对飞行员在做竖直上抛运动。设子弹在脸上浮动时还在继续向上运动，其上升 30cm 后到达最高点再下落 30cm 到脸部，这段时间飞行员都有可能抓住子弹，可以计算子弹上升和下落 30cm 所经历的时间一共是 0.5s，飞行员完全可以在这 0.5s 时间内做出反应，抓住子弹。

回答举例3 (满分)

不可能发生。

当子弹飞行的水平速度跟飞机速度相等时似乎可以实现题中情境，但实际上是不可能的。因为子弹水平速度若跟飞机速度相等，则子弹相对飞机的作竖直上抛运动，也就是说，坐在飞机上的人观察子弹的运动方向是竖直向上的，子弹要到达飞行员脸部，在路径上需要穿越飞机的座舱，这是不可能的。

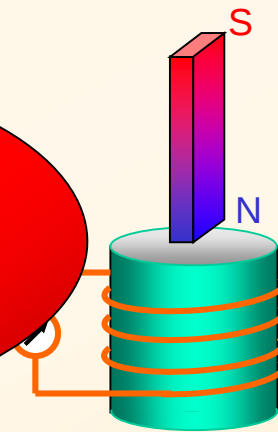
重视论证的道理 (过程) ， 不追求结果。

(三) 科学探究

一、设计有逻辑的自主探究过程

怎么事先就知道
表中要列一个“感应
电流磁场的方向”？

怎么事先就知
道要比较 $B_{\text{感}}$ 和 $B_{\text{铁}}$
方向关系？



(1) 磁体插入线圈时

	感应电流 的方向	感应电流磁 场的方向	磁铁磁场的 方向	$B_{\text{感}}$ 和 $B_{\text{铁}}$ 的 方向关系
N 极向下插入时	逆时针	向上	向下	相反
S 极向下插入时	顺时针	向下	向上	相反

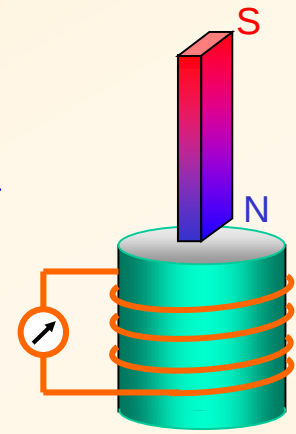
可得出的结论: ...增加, ...相反

(2) 磁体拔出线圈时:

....

逻辑推理：线圈中产生感应电流的条件是磁通量发生变化，因此，感应电流的方向必定跟磁通量的变化有关。

磁通量的变化只有两种情况：增大和减小。因此，可研究线圈中感应电流的方向跟磁通量增大和减小有什么关系。



(1) 线圈中磁通量增大时：

	感应电流方向	磁铁磁场方向
N 极在下插入时	逆时针	向下
S 极在下插入时	顺时针	向上

实验结论：？

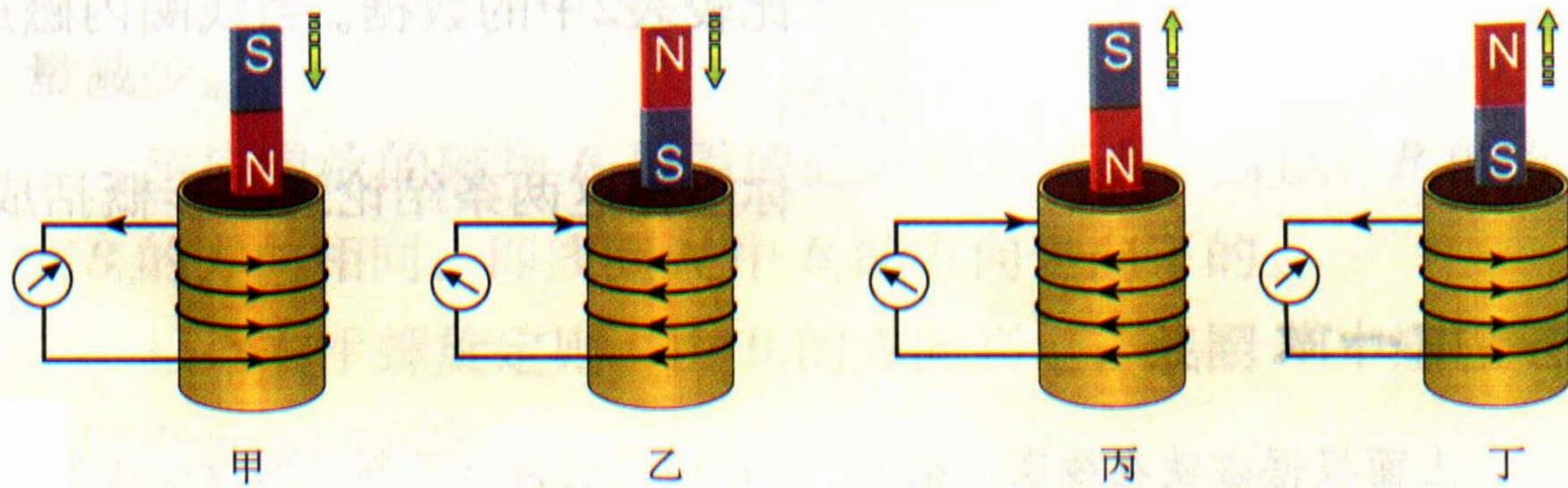
(2) 线圈中磁通量减小时：

	感应电流方向	磁铁磁场方向
N 极在下抽出时	顺时针	向下
S 极在下抽出时	逆时针	向上

实验结论：？

分析：线圈中感应电流方向是水平面上的，而线圈中的磁场方向是竖直面上的，可见，两者的关系比较复杂，难以直接描述。

当两者的关系比较复杂难以直接描述时，是不是可以找一个“中介”来描述它们之间的关系。



根据图4.4-2，你能说出感应电流的方向跟线圈内磁通量的变化有什么关系吗？当我们很难概括感应电流的方向跟磁通量变化有什么关系的时候，是不是可以通过一个“中介”——“感应电流的磁场”来表述这种关系？

磁铁磁场的变化在线圈中产生了感应电流，而感应电流本身也能产生磁场，我们这里说的就是感应电流本身产生的磁场。感应电流的磁场方向既跟感应电流的方向有联系，又跟引起磁通量变化的磁场有联系。

(1) 线圈中磁通量增大时:

	感应电流方向	感应电流磁场方向	磁铁磁场方向	$B_{\text{感}}$ 和 $B_{\text{铁}}$ 方向关系
N 极向下插入	逆时针	向上	向下	相反
S 极向下插入	顺时针	向下	向上	相反

可得出的结论: 增加, 相反。

(2) 线圈中磁通量减小时:

	感应电流方向	感应电流磁场方向	磁铁磁场方向	$B_{\text{感}}$ 和 $B_{\text{铁}}$ 方向关系
N 极向上拔出	顺时针	向下	向下	相同
S 极向上拔出	逆时针	向上	向上	相同

可得出的结论: 减小, 相同。

根据以上 (1) 和 (2) 的结论, 进一步概括得出: 线圈中感应电流的方向和磁通量变化的关系为: ... 阻碍 ... 变化。

二、以“素养”的视角观察科学探究目标

——评《“探究式教学法”是一种垃圾教学法理论》

“探究式教学法”是一种垃圾教学法理论

.....

老师上课把本来五分钟就能讲通讲透的内容，变成让学生去‘探究’，可能会化五天的时间，然后，更甚之，是采用‘小组探究’的办法，全组‘探究’五个星期，结果差的学生什么都没有‘探’出来，好的学生则浪费了大量宝贵的时间.....。

以上观察视角狭窄，只看到知识，每看到素养。

例：关于行星运动规律的探究

三、创设科学探究的真实情境，在探究中提升学生的科学素养。

例：关于行星运动规律的探究。

- 消除了对星体运动规律研究的神秘感
- 经历了跟科学家一样的研究过程，激发了探究兴趣
- 增强了关于天体运动观察情境的空间概念
- 培养了科学研究的严谨态度
- 提升了利用物理图像解决问题的能力
- 理解了行星运动周期和轨道半径之间定量关系的知识

知识目标只占了 n 分之 1。评价科学探究需要全面的视角。

(四) 科学态度与责任

●这里所说的“科学态度”，是广义的，包括学习兴趣、求真精神和团队作风等，它涵盖了原课程标准三维目标中“情感、态度与价值观”的含义（原课程标准三维目标中的“态度”一词是狭义的，不包括情感和价值观）。

●培养学习物理的兴趣，增强对大自然的好奇心，是物理课程的重要目标。在物理教学中，一方面要善于激发学生学习物理的兴趣，另一方面，还要注意让学生保持这种兴趣。

体验自感 电动势

自感



● 为增强学生的社会责任感，物理课应尽可能让学生走向社会，用自己所学的知识分析、解释和解决社会实践中的实际问题，让学生体验在分析解决实践问题中成功的愉悦，增强勇于承担社会责任的信心，为学生树立社会责任感创造最基本的条件。

走向社会，创设真实情境进行课堂教学：火车转弯问题



内、外轨等高时，测量火车转弯时的侧压力和线速度等



计算向心力并跟侧压力比较，说明由侧压力提供向心力



学生计算：如果避免产生侧压力，外轨需要垫高多少？



按计算结果来垫高外轨，用传感器实验检验侧压力的值



视频：老师在铁路弯道上现场调查。与技术员交流信息



同学们，大家好！刘老师先在所处位置

内、外轨等高时，测量火车转弯时的侧压力和线速度等



计算向心力并跟侧压力比较，说明由侧压力提供向心力



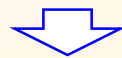
学生计算：如果避免产生侧压力，外轨需要垫高多少？



按计算结果来垫高外轨，用传感器实验检验侧压力的值



视频：老师在铁路弯道上现场调查。与技术员交流信息



课堂练习：按现实中数据计算弯道外轨需要垫高的高度



视频：技术员现场测量外轨垫高高度检验学生计算结果



课堂练习：如果火车速度大于或小于规定速度会如何？



视频：技术员的回答跟学生在课堂上练习答案完全吻合

谢谢大家

