

· 解题指南 ·

基于原始物理问题培养中学生实验探究能力

——以 IYPT 赛题“磁铁与硬币”问题为例

刘文

(常州市第三中学 江苏 常州 253000)

摘要:以 IYPT 赛题“磁铁与硬币”问题为例,以中学生的知识储备为基准,进行赛题的剖析、问题的猜想、实验的设计、数据的记录、理论的分析等一系列实验探究过程,在发现问题、解决问题的过程中提高学生的实验探究能力,提升教师的实验探究指导能力。

关键词:原始物理问题;实验探究;IYPT 赛题

文章编号:1008-4134(2020)17-0061

中图分类号:G633.7

文献标识码:B

1 IYPT 竞赛理念

国际青年物理学家竞赛(International Young Physicists' Tournament)简称 IYPT 是一项以团队对抗形式的物理竞赛,旨在培养参赛者的科研素质(创新意识、创新能力、协作精神、实践能力等)。IYPT 赛题颇具“原味儿”,大部分赛题来源于自然界及社会生活,对这样的“原始物理问题”的研究就更具发散性,例如赛题“跳跃的火焰”:把火焰(比如本生灯发出的火焰)放在两个平行带电的金属板间,研究火焰的运动情况。与物理习题相比较,这类问题只有现象与描述,没有具体数据,需要学生自己依据现象,通过假设猜想影响因素并设计实验去层层剥开问题中的可研究因素,使问题与答案破茧而出^[1]。

2 学生探究现状分析

根据笔者长期的实验探究活动的实施经验,发现学生存在一些问题,值得我们重视和反思。问题 1 主要体现在探究能力上:学生的探究意识浅薄,研究深度不够。例如,“跳跃的火焰”中,火焰在强电场中电离进而受力发生偏转,显然实验中应采用高压连接,而学生使用的却是干电池。在改变变量时,随意给出一二个探究因素便不愿再深究,很难想到去改变火焰的种类、平行板的材质与大小等进行对比实验。在剖析现象时,也不知道运用火焰的偏转角来描述火焰的运动。在解释实验现象时,由于知识储备的欠缺、查阅资料能力的不足,很难有力地解释现象背后的原因^[2]。问题 2 主要体现在学生的探究态度上:学生的探究态度不够严谨,探究愿望不够强烈。探究报告中

大篇幅引用查阅来的资料文献,对自身实验的设计、数据的记录、实验失败原因的总结与再改进等寥寥几笔,整个探究过程浅尝辄止。

综合分析,学生探究能力的不足导致整个探究过程对学生而言难度过大,能力与难度的不匹配使其对实验探究失去信心,出现探究态度不够端正的现象,进一步形成恶性循环。这就需要教师能够给予适当的指导,在与学生共同探究的过程中帮助学生提高实验探究能力。

3 IYPT 赛题“磁铁与硬币”的实验探究

3.1 题目解读 问题分析

“磁铁与硬币”问题选自第 25 届 IYPT 竞赛试题的第 9 题,赛题内容“把一枚硬币垂直放在磁铁上。相对于磁铁,倾斜这枚硬币,然后放手。这枚硬币可能会跌倒在磁铁上,也可能返回到垂直位置。研究并解释这枚硬币的运动。”

根据题目给出的信息,其一,磁铁和硬币是该实验的关键研究对象。关于硬币,我国现已发行四套,第四套硬币的概况见表 1。

表 1 第四套硬币概况

硬币面值	形状	材质	直径/mm	厚度/mm	重量/g
1 角	圆柱形	铝合金	19	1.67	3.20
5 角		钢芯镀铜合金	20.5	1.65	3.80
1 元		钢芯镀镍	25	1.85	6.1

关于磁铁,主要分为两大类——软磁和永磁材料。软磁体需外界将其通有电流才能产生磁力,而永磁材料不需要,也称“硬磁”,主要有两大类:第一大类

基金项目:江苏省教育科学“十三五”规划 2020 年度课题“指向高中学科核心素养的大单元教学设计研究”(课题立项编号:B-a/2020/02/04)。

作者简介:刘文(1994-),女,江苏常州人,硕士,中学二级教师,研究方向:信息化教育教学、实验研究。

是合金永磁材料及稀土永磁材料如钕铁硼; 第二大类是铁氧体永磁材料如烧结铁氧体、橡胶磁、注塑铁氧体; 还有一些不太常用的磁铁如铜镍铁。在形状、体积相同的情况下磁铁磁性由强到弱依次为钕铁硼、钕钴、钕钴、同性铁氧体。引导学生思考“我们应该选择什么样的磁铁和硬币进行研究呢?”

其二, 磁铁的运动情况是该实验的关键研究内容。硬币倾角较小时会倒向磁铁, 硬币倾角较大时会回到垂直位置, 引导学生思考“在这两种状态的临界位置处硬币会是什么状态呢?”

3.2 提出猜想 实验设计

根据上述对题目的剖析, 学生可能猜想, 在某个特定角度硬币可能倾斜静止在磁铁上, 教师进一步引导学生思考“这个角度可能与哪些因素有关呢?” 要求学生猜想至少两个影响因素。硬币静止是因其受力平衡, 倾角与磁力有关, 那么该磁力(硬币倾斜角度)可能与磁铁、硬币的材质与大小有关。

在实验有多个影响因素的情况下, 教师引导学生给出实验方法: 控制变量法。根据实验的可行性和科学性原则, 采用的实验装置有硬币: 1角、5角、1元; 磁铁: 磁性最强的钕铁硼和磁性最弱的同性铁氧体, 规格分别为钕铁硼圆柱体的直径×高度: 16mm×10mm、20mm×3mm、20mm×8mm、20mm×10mm、25mm×10mm; 钕铁硼长方体的长×宽×高: 10mm×10mm×5mm、20mm×20mm×5mm 以及一块不规则形钕铁硼磁铁和一块铁氧体圆柱体: 16mm×10mm; 量角器。利用以上实验装置进行如下实验探究:

(1) 将硬币以任意角度放置在磁铁的不同位置上, 观察硬币的运动情况。

(2) 将不同的硬币静止倾斜在同一磁铁上, 测量倾斜角。

(3) 将同一硬币静止倾斜在不同的磁铁上, 测量倾斜角。

3.3 数据记录 结果分析

把一个硬币垂直地放在一个磁铁上面, 使硬币倾斜一定的角度然后将其释放, 硬币状态如图1-图3所示, 硬币可能倒向磁铁, 也可能恢复到原来垂直的状态, 还可能倾斜静止在磁铁上。



图1



图2



图3



图4

当硬币倾斜静止后, 我们便可以测量出一个静止倾斜角, 采用量角器测量倾斜角的角度。在测量过程中需与同学合作, 保证拍摄到磁铁与硬币的正视图即保证镜头与磁铁硬币正视图垂直, 并后期加上一条黑线便于读取(参照图4, 黑线的起点为硬币与磁铁的接触点, 终点为量角器边缘上一点, 使得黑线与硬币平面平行)。记录数据见表2-表7。

表2 同种钕铁硼圆柱体磁铁、不同硬币静止倾斜角

硬币类型 \ 磁铁规格	一角硬币	五角硬币	一元硬币
20mm × 10mm	64.9°	64.0°	64.3°

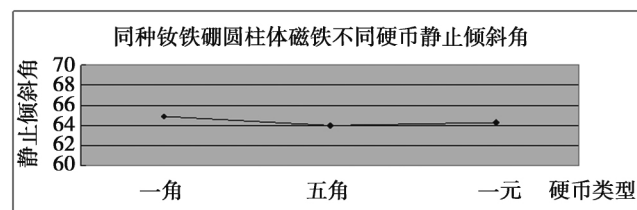


表3 同一硬币、不同钕铁硼磁铁(圆柱体厚度不同)静止倾斜角

硬币类型 \ 磁铁规格	20mm × 10mm	20mm × 8mm	20mm × 3mm
一角硬币	64.9°	64.2°	64.0°

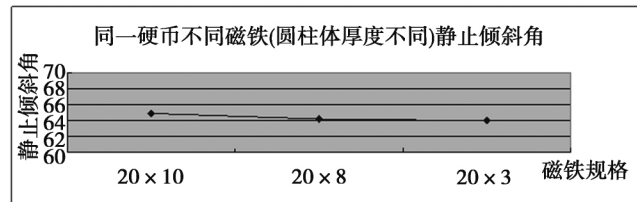


表4 同一硬币、不同磁铁(圆柱体直径不同)静止倾斜角

硬币类型 \ 磁铁规格	25mm × 10mm	20mm × 10mm	16mm × 10mm
一角硬币	61.5°	64.9°	66.5°

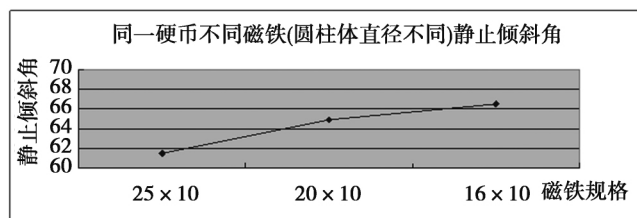


表5 同一硬币、不同磁铁(长方体底面积不同)静止倾斜角

硬币类型 \ 磁铁规格	20mm × 20mm × 5mm	10mm × 10mm × 5mm
一角硬币	62.9°	67.0°

续表 5

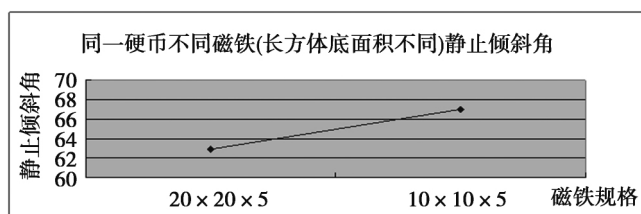


表 6 同一硬币、不同形状磁铁(圆柱体、长方体、不规则体)

硬币类型 磁铁规格	一角硬币
圆柱体 20mm × 3mm	64.3°
圆柱体 20mm × 8mm	64.0°
圆柱体 20mm × 10mm	64.9°
圆柱体 16mm × 10mm	61.5°
圆柱体 25mm × 10mm	66.5°
长方体 20mm × 20mm × 5mm	62.9°
长方体 10mm × 10mm × 5mm	67.0°
不规则形磁铁	73.2°

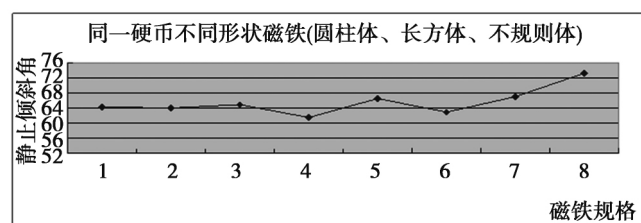
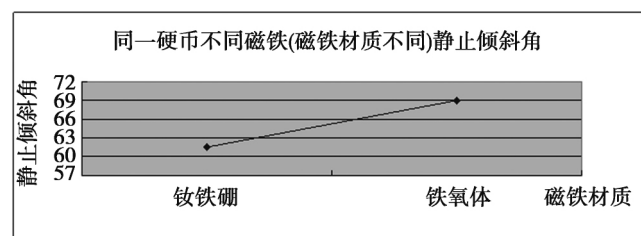


表 7 同一硬币、不同磁铁(磁铁材质不同)静止倾斜角

硬币类型 磁铁材质	钕铁硼(16mm × 10mm)	铁氧体(16mm × 10mm)
一角硬币	61.5°	69.0°



根据上述数据,我们可以得到如下实验结论:

(1) 将硬币以任意倾角(设硬币倾角临界角为 α)放置在磁铁上,硬币的运动情况有以下三种:

当放置倾角小于 α 时,硬币会倒向磁铁迅速静止;

当放置倾角等于 α 时,硬币倾斜静止在磁铁上;

当放置倾角大于 α 时,硬币会转向竖直面直至静止。

(2) 不同情况下硬币倾斜静止在磁铁上倾斜角有变化,具体如下:

只改变硬币的大小和材质时,倾斜角度 α 在实验误差允许范围内近似不变;

只改变磁铁高度时,倾斜角度 α 在实验误差允许范围内近似不变;

只改变磁铁底面积时,底面积越大,倾斜角度 α 越小;

只改变磁铁材质时,倾斜角度 α 不同。

3.4 建立模型 理论分析

3.4.1 硬币发生转动时的受力分析

我们作受力分析图(参照图 5,其中垂直于磁铁表面的虚线为法线方向,磁铁与硬币的交点为支点 O ,硬币截面上的点 A 为合力作用点,细线为合力作用点与支点的连线,粗线为硬币静止的临界位置)。合力作用点与支点的连线 OA 方向决定硬币旋转方向,图中合力作用点与支点连线方向在法线方向右侧,因此,硬币会倒向磁铁以达到稳定状态。同理,当细线与粗线重合时,硬币保持静止;当细线在粗线的左侧时,硬币将向垂直方向转动。

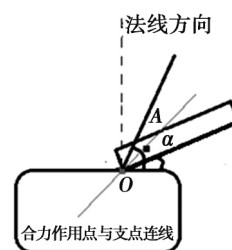


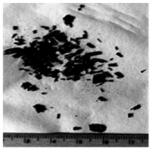
图5

3.4.2 硬币保持静止时的受力分析

(1) 模拟磁铁周围磁感线

进一步研究硬币保持静止时的受力需知道磁铁所处的磁场概况。教师引导学生思考“如何形象直观地给出磁铁周围的磁场分布?”学生不难想出使用铁屑来进行模拟,但我们在教学中使用铁屑模拟磁场是在二维平面上,铁屑的重力与支持力平衡,那么继续追问“在立体图中用什么力能够抵消重力对磁场模拟的影响呢?”将铁屑放在胶水里。然而在实际操作过程中,学生遇到了很多问题(见表 8),在经历了遇到问题、思考原因、改进实验的过程中,学生进行实验探究的热情不仅没有被困难浇灭,反而更高涨了。

表 8 学生在探究过程中遇到的问题

遇到的问题	铁屑不能悬浮在胶水中	铁屑将胶水染成浑浊液体	冲洗后的铁屑发黄	钢丝球颗粒吸附在磁铁周围成团状
猜想的原因	铁屑过大	铁屑过细	铁屑氧化生锈	胶水不够粘稠
解决的办法	用筷子将铁屑碾碎	将铁屑冲洗晾干	换成用钢丝球剪成的颗粒	将胶水置于阳光下暴晒、采用更大的瓶子、将磁铁置于瓶外
实验过程图				

根据铁屑的分布,结合条形磁铁周围磁场分布,我们得到圆柱体磁铁周围的磁感线如图 6 所示.当改变硬币的高度时,如图 7 所示,从铁屑的分布看,磁场似乎变化不明显(也可能是因为硬币高度增加得不够).当改变硬币的直径时,如图 8 所示,直径越大,从铁屑分布看,磁感线分布越扁平.

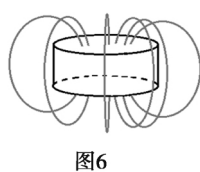


图 6

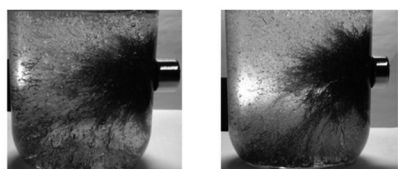


图 7

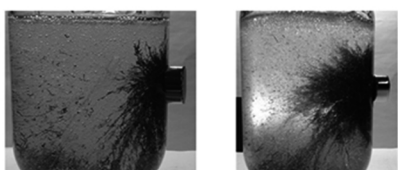


图 8

(2) 将模型简化为磁偶极子

磁偶极子是等值异号的两个点磁荷构成的系统.我们可以将磁铁看成是由磁偶极子组成的,设为负点磁荷 1 和正点磁荷 2,如图 9.硬币接触磁铁后,硬币会被磁化,因而我们将硬币也看作是由点磁荷构成的系统,设负点磁荷 3 和正点磁荷 4.磁铁与硬币间的磁力可以简化为点磁荷 1、2、3、4 之间的磁力.

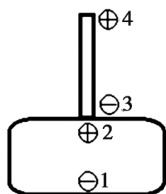


图 9

(3) 对硬币进行受力分析

硬币以一定角度倾斜静止在磁铁上,硬币受到重

力、支持力、磁力,可能也受到摩擦力,但由于实验中采用的磁铁与硬币比较光滑,所以我们忽略摩擦力来简化模型.点磁荷 3、4 会分别受到点磁荷 1 和点磁荷 2 产生的力,但是此时我们可以将点磁荷 1、2 对点磁荷 3 的力合成为力 F_3 ,将点磁荷 1、2 对点磁荷 4 的力合成为力 F_4 . F_3 和 F_4 这两个力此时不在同一条直线上了,而是沿着点磁荷 3、4 所在位置的磁感线的切线方向.将水平方向设为 x 轴,竖直方向设为 y 轴,垂直于纸面向外的方向设为 z 轴.图 10 中标出了在点磁荷 3 和点磁荷 4 处的磁感线,那么点磁荷 3、4 处的磁场方向就是磁感线的切线方向.我们将点磁荷 3、4 受到的磁力在 x 、 y 轴上的分力依次设为 F_{3x} 、 F_{3y} 、 F_{4x} 、 F_{4y} , F_3 与 y 轴夹角设为 β , F_4 与 x 轴夹角设为 γ .即

$$\begin{aligned} F_{3x} &= F_3 \cdot \sin\beta & F_{3y} &= F_3 \cdot \cos\beta \\ F_{4x} &= F_4 \cdot \cos\gamma & F_{4y} &= F_4 \cdot \sin\gamma \end{aligned}$$

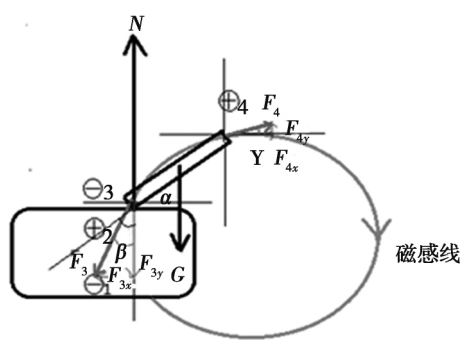


图 10

此时,由刚体的平衡条件:(1)主矢为零;(2)主矩为零.由于外力为平面力系,且坐标系的 Oxy 平面取在力系平面内,则平衡条件可表示为: $\sum F_{ix} = 0$ 、 $\sum F_{iy} = 0$ 、 $\sum M_{iz} = 0$.因此,我们能够得到以下等式:

$$\sum F_{ix} = 0 \rightarrow F_{3x} = F_{4x} \rightarrow F_3 \sin\beta = F_4 \cos\gamma$$

$$\begin{aligned}\sum F_{iy} = 0 &\rightarrow G + F_{3y} = N + F_{4y} \rightarrow G + F_3 \cos\beta = N + F_4 \sin\gamma \\ \sum M_{iz} = 0 &\rightarrow \vec{l} \times \vec{F}_4 + \frac{\vec{l}}{2} \times \vec{G} = \frac{\vec{k}}{2} \times \vec{F}_3 \\ &\rightarrow l \cdot F_4 \cdot \sin(\alpha - \gamma) + \frac{l}{2} \cdot G \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{k}{2} \cdot F_3 \cdot \sin(\pi - \alpha - \beta) \\ &\rightarrow l \cdot F_4 \cdot \sin(\alpha - \gamma) + \frac{l}{2} \cdot G \cdot \sin\alpha = \frac{k}{2} \cdot F_3 \cdot \sin(\alpha + \beta)\end{aligned}$$

其中 k 的大小等于硬币的厚度大小, k 的方向从硬币支点指向 $\vec{F}_3$ 的作用点; 其中 $\vec{l}$ 的大小等于硬币的直径大小, $\vec{l}$ 的方向从硬币支点指向 $\vec{F}_4$ 的作用点(由于硬币的厚度很小, 以一角硬币为例, 厚度约为 1.67mm, 长度约为 19mm). 通过计算发现 $\vec{l}$ 与 x 轴夹角的理论值与我们实验值仅相差 0.022° , 在实验误差允许的范围内, 我们认为两数值近似相等.

(4) 不同磁铁下倾角分析

磁铁的高度发生较小改变时, 磁铁周围磁感线分布几乎不变, 即负磁荷 3 和正磁荷 4 处的磁感线可以看似是不变的, 这就有磁铁 1 与磁铁 2 中的 F_3 、 F_4 近似不变, 又因为硬币的大小材质不变即重力不变, 因而支持力不变, 所以硬币受力情况可以看似不变, 最后得出硬币静止的倾斜角度近似不变.

当磁铁底面积改变时, 磁铁周围的磁感线分布改变明显, 磁铁的底面积越大, 磁铁周围磁感线(磁感线的剖面图形近似为椭圆形)就越扁平, 这就使得 β 角越大、 γ 角越小, 因而硬币会向下倾斜得更明显, 即 α 角越小.

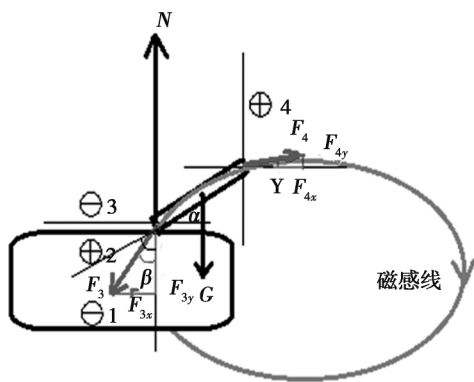


图11

磁铁形状或者材质改变时, 磁铁周围的磁感线均发生改变, 因而放入磁场中的硬币即由点磁荷 3、4 组

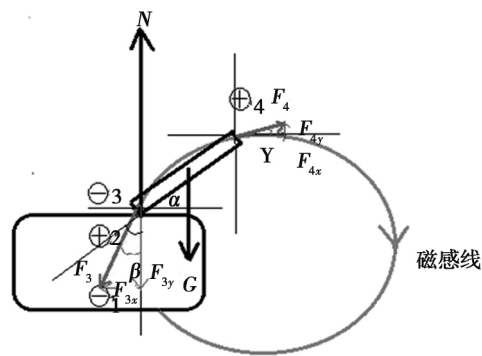


图12

成的磁偶极子受到的磁力大小方向发生变化, 因此 β 、 γ 角发生变化, 这就导致静止倾斜角 α 发生改变.

4 结束语

本次探究过程激发了学生的探究兴趣, 提升了学生的探究能力. 各位同学集思广益、各司其职, 碰撞出了思维的火花, 提升了团队合作能力. 与此同时, 教师是引导学生合理猜想的指路人, 是解答学生疑惑的知识补给者, 是学生灰心丧气时的鼓舞者, 教师自身的实验探究指导能力也得到提升^[3]. 在中学物理教育中, 可以选用 IYPT 等具有开放性、发散性的竞赛题来让学生真实地感受具有生活情境、未经加工的原始物理问题, 在真实的物理实验探究过程中提升学生的实验探究能力.

参考文献:

- [1] 阳露, 刘翔. 基于原始物理问题培养学生的建模能力[J]. 湖南中学物理, 2019, 34(12): 10-11.
- [2] 季洁, 刘文, 张锡娟. 探究火焰在带电金属板间跳跃的原因[J]. 物理实验, 2016, 36(09): 44-46.
- [3] 冯思宇. 分层次探究原始物理问题——以 IYPT 问题“射流与薄膜”为例[J]. 物理教学探讨, 2016, 34(02): 12-15+18.

(收稿日期: 2020-06-29)

中国教育学会物理教学专业委员会会刊

《中学物理》欢迎投稿订阅

本刊1982年创刊

《中学物理》创刊于1982年, 半月刊, 是经国家新闻出版总署批准, 中国教育学会物理教学专业委员会与哈尔滨师范大学共同主办、哈尔滨师范大学主管, 面向国内外公开发行的中等物理教育类期刊。本着择优、择新、择实的理念, 以全面提高广大中学物理教师、物理教育、科研爱好者的教学能力和科研水平为办刊宗旨。《中学物理》坚持为基础教育服务, “关注教改前沿动态、探讨物理教育教学规律、荟萃教学实践成果”。是创新探索、分享教研的学术公益交流平台。《中国核心期刊(遴选)数据库(万方数据)》、《中国期刊全文数据库》(中国知网)、《龙源期刊网》全文收录。

主要栏目: 教学论坛、教学改革、实验研究、经验交流、教材研究、中高考研究、问题讨论、解题指南、思维训练、物理与实践、教研员论坛、物理与教学、物理与科技、新教师之友、学科渗透等30余个栏目。

网址: <http://www.wlzx.cbpt.cnki.net/>
 投稿邮箱: zhxwlgz@163.com (高中版) zhxwlgz@163.com (初中版)
 通讯地址: 哈尔滨市和兴路50号哈尔滨师范大学《中学物理》编辑部
 联系电话: 0451-88067535 (发行部); 0451-88067536 (主编室)
 邮编: 150080
 刊号: CN 23-1365/G4, ISSN 1008-4126
 邮发代号: 高中版14-219, 初中版14-233
 订阅: 全国各邮局(所)或扫码订购二维码直接订阅

《中学物理》高中版 《中学物理》初中版