

人工智能背景下基于 Image J 的油膜法测油酸分子大小实验优化^{*}

胡 灿 (常德外国语学校 湖南 415009)

摘 要 针对“用油膜法估测油酸分子大小”实验中传统人工计数法存在的油膜轮廓描绘失真、主观误差大、效率低等问题,文章引入 Image J 软件构建智能化方案。通过验证,该软件对规则图形相对误差 $\leq 0.88\%$,对不规则图形相对误差 $\leq 1.90\%$,适用于复杂形状测量。将其应用于油膜实验,结合 AI 辅助识别,实现油膜面积智能化计算。对比显示,智能化方案在数据稳定性、测量效率及客观性上均显著提升,为高中物理实验教学智能化转型提供参考。

关键词 油膜法 Image J 软件 实验优化 智能化测量

文章编号 1002-0748(2026)5-0027

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 问题的提出

“用油膜法估测油酸分子大小”实验是人教版高中物理新教材选择性必修三中的一个重要分组实验。该实验让学生首次通过定量测量探索微观分子的尺度,将抽象的分子大小概念具象化,是从宏观学习过渡到微观认知的关键载体。实验通过测量宏观的油膜面积和油酸体积,计算微观的分子直径,帮助学生建立宏观现象与微观本质的联系,为理解分子运动理论等后续知识奠定具象基础,在高中物理教学中具有重要意义。

1.1 传统实验方法的局限性

在传统实验方法操作流程中,普遍采用人工计数法测量油膜面积。当油酸在水面形成稳定的单分子层油膜后,将其投影到带有坐标方格的玻璃板上,用笔沿油膜边缘描绘轮廓,再依据“完整格子按 1 格计算,超过半格的按 1 格计算,不足半格的忽略不计”的规则,人工统计轮廓内的格子总数,最后乘以单个格子的面积(通常为 1 cm^2),得出油膜面积。然而,传统方法存在诸多缺点:描绘油膜轮廓操作难度大且易失真,油膜边缘常因轻微水波产生动态波动,耗时较长且难以捕捉瞬时轮廓。此外,光的反射、折射、标记工具(如铅笔)与视线不同轴等因素带来的视差效应,导致描绘时出现缩放或偏移。不同实验者对油膜边界的判定也存在主观差异,造成形状差异。在计算油膜面积时,“半格”的判定缺乏统一、量化标准,完全依赖实验者的主观判断,这些缺点降低了测量数据的客观性和可信度,带来较大实验误差。

1.2 研究目的与方案设计

2017 年版高中物理课程标准明确提出:“应重视数字实验,创新实验方式,学会运用现代化实验系统分析数据。”^[1]在信息技术与人工智能迅猛发展的背景下,借助智能工具优化实验方案成为落实这一要求的重要途径。

本文“用油膜法估测油酸分子大小”实验中,采用 Image J 软件为解决这些问题提供了可能。该软件由美国科学家开发,基于 Java 语言编写,只需电脑安装 Java 虚拟机即可运行,不受场地和时间限制^[2]。

本研究借助 Image J 软件自动识别油膜边缘并计算面积,结合 AI 技术构建智能化实验方案,实现“用油膜法估测油酸分子大小”实验的优化创新,提升测量精度,为高中物理实验教学提供数字化转型的新思路。

2 实验原理

2.1 油膜法测油酸分子大小的原理

当稀释的油酸酒精溶液滴入水面时,酒精溶于水并挥发,油酸迅速散开,油酸分子直立在水面上,形成单分子层油膜(面积最大且稳定)。若将油酸分子近似为紧密排列的球形,油膜厚度即为分子直径。通过测量一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V ,以及该油酸在水面上形成的油膜面积 S ,利用公式 $d=V/S$,即可计算出油膜厚度 d ,即油酸分子的直径。

2.2 Image J 软件测量面积的原理

Image J 通过“像素-物理尺寸关联→目标区域识别→面积计算”三环节实现面积测量。

^{*} 基金项目:本文系湖南省常德市教育研究课题“人工智能背景下的高中物理实验教学研究”(课题编号:CDJYKY202506)的阶段性研究成果。

(1) 像素-物理尺寸关联。通过“Set Scale”功能设置比例尺,以图像中已知尺寸的参照物(如标尺)为基准,建立像素与真实物理尺寸的对应关系(如 1 像素对应 0.1 cm)。

(2) 目标区域识别。通过“Threshold”(灰度阈值)或“Colour Threshold”(颜色参数)功能,分割油膜(目标区域)与背景(如水面、滑石粉),提取油膜轮廓。

(3) 面积计算。通过“Analyze Particles”功能统计目标区域的像素数量,结合预设比例尺换算为实际面积。

3 实验设计与实施

3.1 验证 Image J 软件测量面积的准确性

测量油膜面积(不规则形状)前,需先验证 Image J 对规则及不规则图形的测量精度。

3.1.1 规则图形测量验证

选取 6 张矩形卡纸,先采用传统测量方法,用刻度尺测量其长度和宽度,每个维度在不同位置测量三次并取平均值,计算卡纸的实际面积。对卡纸进行拍照,导入 Image J 软件测量其面积。将 Image J 测量值与实际面积进行对比,计算相对误差(相对误差 = $\frac{|\text{测量值}-\text{真实值}|}{\text{真实值}} \times 100\%$),计算结果如表 1 所示。

表 1 传统测量方法与 Image J 软件对规则形状面积测量对比

矩形卡纸编号	实际面积(cm ²)	Image J 测量面积(cm ²)	相对误差
卡纸 1	710.02	703.81	0.88%
卡纸 2	708.47	705.76	0.38%
卡纸 3	708.23	710.34	0.30%
卡纸 4	711.16	706.93	0.60%
卡纸 5	710.30	710.15	0.02%
卡纸 6	707.19	709.46	0.32%

结果显示,规则图形测量相对误差 $\leq 0.88\%$,证实 Image J 对规则形状的测量精度较高。

3.1.2 不规则图形测量验证

首先,采用称重法确定不规则图形的理论面积,用精度为 0.1 g 的电子天平分别称量矩形卡纸的重量(每张卡纸称量 3 次,取平均值),计算出卡纸的平均密度(g/cm²),再将这 6 张卡纸随机裁剪成不规则形状(如图 1 所示),采用“称重法”计算理论面积

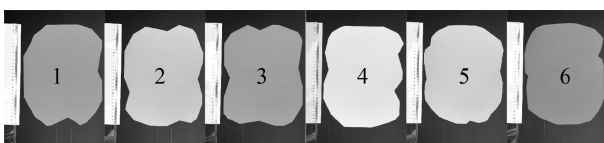


图 1 不规则形状卡纸

(通过卡纸密度=质量/面积,由不规则卡纸质量反推理论面积),与 Image J 测量值对比,结果如表 2 所示。

表 2 称重法与 Image J 软件对不规则形状面积测量对比

不规则卡纸编号	密度/ g·cm ⁻²	质量/g	理论面积/ cm ²	Image J 测量 面积/cm ²	相对 误差/%
1	0.053	32.47	612.64	612.26	0.06
2	0.052	31.78	611.09	600.81	1.68
3	0.052	32.46	624.23	620.17	0.65
4	0.052	32.30	621.22	621.69	0.08
5	0.052	31.08	597.69	586.33	1.90
6	0.052	32.65	627.82	632.98	0.82

结果显示,不规则图形测量相对误差 $\leq 1.90\%$,证实 Image J 对复杂形状的测量精度也较高。

3.2 油膜法测量油酸分子大小的实验操作

3.2.1 实验器材

油酸、无水酒精、浅盘(直径约 30 cm)、清水、滑石粉、注射器(精度 0.1 mL)、带坐标格的玻璃板(格子面积 1 cm²)、记号笔、量筒、容量瓶(500 mL)、手机支架、高清摄像手机(像素 ≥ 1200 万)、计算机(安装 Image J 与 WPS 图片)。

3.2.2 实验操作

(1) 配制油酸酒精溶液:向 1 mL 油酸中加入无水酒精至总体积 500 mL,则浓度为 1/500。

(2) 测量 1 滴溶液体积:用注射器将溶液逐滴滴入量筒,记录滴入 N 滴溶液的的总体积 V ,重复操作三次,计算每滴溶液的体积,取平均值(1 mL 溶液的总滴数为 105 滴,得 1 滴溶液体积 $\approx 9.52381 \times 10^{-9}$ m³,则 1 滴溶液中纯油酸体积 $V = 9.52381 \times 10^{-9} \times 1/500 \approx 1.90476 \times 10^{-11}$ m³)。

(3) 制备油膜:向浅盘注入清水(深度 2—3 cm),用纱布包裹滑石粉,在水面上均匀撒滑石粉,用注射器滴 1 滴油酸酒精溶液于水面,待油膜稳定后形成单分子层。

(4) 图像采集:用手机支架固定手机(距油膜 50 cm,调出摄像头网格线和水平仪,选取适宜的焦距,水平拍摄,确保图像清晰且无畸变),同时拍摄油膜、刻度尺与已知尺寸的彩色卡纸(4 cm \times 4 cm,面积 16 cm²),保存图像。多次拍摄油膜图像如图 2 所示。

(5) 人工记录:将带坐标格的玻璃板覆盖图 2 上的油膜,描绘轮廓(保持视线垂直于油膜边缘),油膜轮廓如图 3,按“半格计数法”统计格子数(3 人分别计数取平均)。

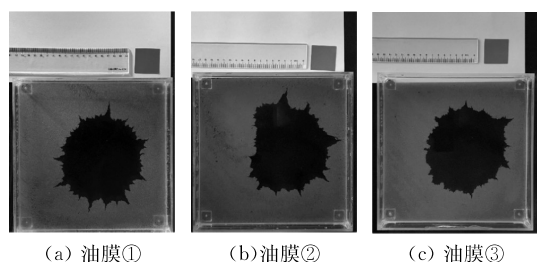


图 2 油膜图像

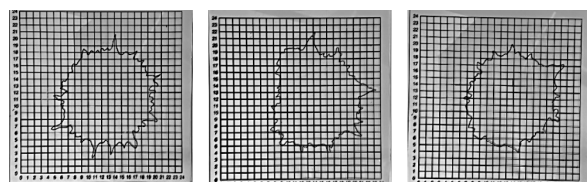


图 3 油膜轮廓

3.3 数据处理

3.3.1 人工计数方案测量油膜面积

统计油膜轮廓内的格子数,乘以单位格子的面积(1 cm^2),得到油膜面积,如表 3 所示。

表 3 人工计数方案测量油膜面积(单位: cm^2)

油膜	油膜①	油膜②	油膜③
格子数	165	161	152
总面积	165	161	152

3.3.2 智能方案测量油膜面积

(1) 图片预处理。用 WPS 图片的 AI 智能识别功能,识别油膜形状,将其颜色调整为与彩色卡纸的颜色相似,便于 Image J 软件识别。

(2) 导入图片。打开 Image J 软件,点击“File→Open”,导入预处理后的油膜图片。

(3) 设置比例尺。适当放大图片,使用“Straight line”工具,在图片中的刻度尺上标记 1 cm 长度的水平直线,点击“Analyze→Set Scale”,在“Known Distance”中输入直线长度 1,“Unit of length”中输入长度单位 cm ,点击“OK”,建立图像像素与真实物理尺寸的对对应关系。

(4) 分割目标区域与背景:点击“Image→Adjust→Color Threshold”,将色相(Hue)参数调整至与彩色卡纸及油膜颜色相近,其余参数保持默认设置。软件将自动以红色标示出彩色卡纸和油膜区域,分割目标区域与背景。

(5) 测量选项设置:点击“Analyze→Set Measurements”,勾选“Area”,在“Decimal places”中设置数据精准度。

(6) 油膜面积测量:点击“Analyze→Analyze

Particles”,在“Size”一栏设置面积过滤条件,将最小阈值调整为 15(略小于彩色卡纸面积即可)。勾选“Display results”和“Add to Manager”,点击“OK”,测量彩色卡纸和油膜的面积。对比卡纸的测量面积与实际面积(16 cm^2),若相差不大,则认为油膜面积测量准确,操作步骤如图 4 所示,结果如表 4 所示。

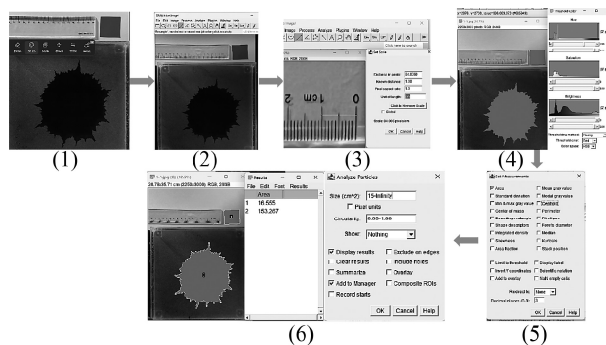


图 4 智能方案优化油膜面积的测量步骤

表 4 智能方案测量油膜面积(单位: cm^2)

油膜编号	油膜面积	彩色卡纸测量面积	彩色卡纸测量相对误差
油膜①	153.267	16.555	3.4%
油膜②	155.023	16.367	2.3%
油膜③	152.773	16.563	3.5%

4 结果与分析

4.1 人工计数方案与智能方案测量结果的对比分析

根据实验原理公式 $d = V/S$,结合实验中油酸酒精溶液的浓度及油膜面积测量数据,计算两种方案下的油酸分子直径。实验中配置的油酸酒精溶液浓度为 $1/500$,通过以上 3.2.2 实验操作中的步骤 2 测得 1 滴溶液中纯油酸体积 $V = 9.52381 \times 10^{-9} \times 1/500 \approx 1.90476 \times 10^{-11} \text{ m}^3$ 。

表 5 人工计数方案与智能方案测量结果的对比

油膜编号	人工计数方案		智能方案	
	油膜面积/ cm^2	油酸分子直径/ m	油膜面积/ cm^2	油酸分子直径/ m
油膜①	165	1.154×10^{-9}	153.267	1.243×10^{-9}
油膜②	161	1.183×10^{-9}	155.023	1.229×10^{-9}
油膜③	152	1.253×10^{-9}	152.773	1.247×10^{-9}

对比表 5 中人工计数方案与智能方案的测量数据,智能方案在油膜面积测量方面的优化效果显著,具体表现在以下几个方面:

(1) 数据精准度的优化。在三组油膜面积测量中,人工方案与智能方案的差值分别为 11.733 cm^2 、

5.977 cm² 和 0.773 cm²。这种差异分布反映了人工测量的不稳定性,当油膜边缘较规则时(如油膜③的轮廓相对规则),人工误差较小;而边缘模糊或不规则时,人为判断的偏差会被放大。相比之下,智能方案通过像素级别的识别,能够稳定捕捉边缘细节,无论油膜形态如何,均能准确捕捉轮廓,保持测量的一致性和稳定性。

(2) 测量效率与流程的优化。人工计数方案需经历“绘制轮廓→格子计数→换算面积”等多个步骤,单次测量耗时长达 7 至 10 分钟,且多个环节需人工干预,易累积误差。相比之下,智能方案通过智能手机拍摄、AI 识别油膜轮廓以及 Image J 自动测量,单次测量耗时仅需 3 分钟以内,大幅提升了测量效率。更重要的是,智能方案显著减少了人工干预的影响和操作流程中的变量,确保了测量结果的客观性与准确性。

(3) 教学与科研应用价值的优化。在物理实验教学中,智能方案则能使学生将精力集中在实验设计与现象分析上,通过对比两组数据,直观认识到技术工具对实验精度的提升作用。在科研场景中,智能方案的高重复性确保数据的可靠性,避免因测量误差导致结论偏差,为微观尺度测量提供稳定的数据基础。

4.2 智能方案的误差来源分析

4.2.1 图像拍摄及智能处理误差

图像拍摄质量影响面积测量精度,焦距调节不当、图像畸变会使油膜轮廓失真,降低测量准确性。图像预处理时,AI 智能识别不准或“变色”处理不当,也会引入误差。

(上接第 33 页)

结合学生的学习情况以及教学的内容,明确本次跨学科创新实验活动的学习目标。物理学科层面:理解电源电动势和内阻的概念,掌握闭合回路的欧姆定律,分析内阻变化对电池性能的影响。跨学科融合层面:结合化学中电池充放电原理及工程技术中电池安全设计的知识,培养学生解决实际问题的能力。

4 研究总结

本研究以跨学科教育理论为框架,通过“设计—实施—评价—改进”的实施路径,构建了包含主题统整、问题驱动、多维评价三大维度的跨学科实验活动设计模型,并提炼出情境真实性、学科整合度、思维进阶性三项核心实施原则。经过三轮行动研究,在三所学校开展 20 个主题项目实践,实证数据显示学

4.2.2 Image J 软件识别与测量误差

Image J 软件虽在图形面积测量上精度较高,但处理复杂或模糊边缘时可能有识别偏差,软件设置的参数选择也会影响测量结果。

4.2.3 实验器材与操作误差

实验所用器材的精度和稳定性直接影响结果,如手机像素不足(<1200 万)导致油膜轮廓细节丢失,导致面积测量偏差,如注射器滴速不均影响体积测量。

5 结 论

本研究通过对比人工计数方案与智能方案在油膜面积测量中的应用,验证了智能方案在数据精度、测量效率及流程优化、教学与科研应用价值等方面的优势。智能方案不仅提高了油膜面积测量的准确性、客观性,还显著缩短了测量时间,降低了人为误差的影响,为微观尺度测量提供了更为可靠的数据支持。同时,本研究也分析了智能方案在图像拍摄、软件识别及实验器材等方面可能存在的误差来源,为后续研究提供了改进方向。该智能方案在为高中物理实验的智能化转型提供了实践参考,可推广至其他涉及面积或长度测量的实验上。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.
- [2] 李荣. 基于 Java 语言和 Image J 平台的数字图像处理实验教学方案[J]. 电脑知识与技术,2016,12(36):146—148.

生系统思维($ES = 0.83$)和复杂问题解决能力($ES = 0.76$)有所提升,有效促进了知识迁移能力及创新思维的发展,为培养创新人才提供了可操作的实践范式。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 中华人民共和国教育部. 中小学科学教育工作指南[M]. 北京:教育部办公厅,2025.
- [4] 杨高旗. 融入跨学科素养的高中物理项目式教学设计与实施[D]. 成都:四川师范大学,2024.
- [5] 于海波,陈宗成. 初中物理跨学科实践的深度学习与教学实践——《义务教育物理课程标准(2022 年版)》研讨系列一[J]. 福建教育,2022(19):25—27.