

北京理工大学珠海学院第二届物理实验设计大赛题目

一、基础题：空气折射率梯度可视化

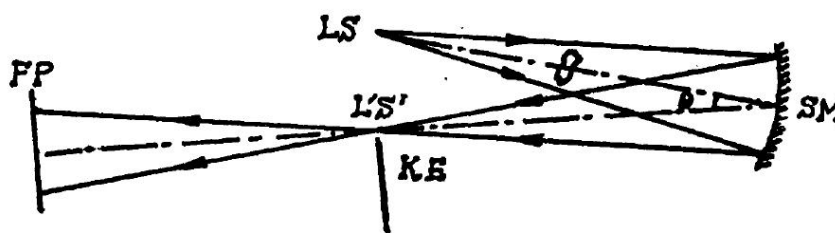
基本要求：设计和制作基于纹影照相法（Schlieren method）测量空气折射率梯度的装置，并研究该装置对气体密度、温度、流速等差异的分辨能力，探索其应用。

主要评判依据：

- (1) 物理图像与实验原理；
- (2) 创新点；
- (3) 可视化效果与定量分析；
- (4) 性价比。

背景介绍：纹影法（Schlieren method，或称纹影照相法）是一种能够把介质折射率变化转换为光强（明暗或色彩）变化的纹影图像，从而使折射率变化可视化的实用方法，它常用于风洞(或水洞)流场、燃烧、对流、激波、流体混合等的观察，可显示密度、温度、速度等梯度变化，再结合干涉、光谱、图像处理等技术可量化测量。制作装置并应用，探寻其可测物理量。

教师解题：



图一 单镜纹影光学系统

纹影法是一种将位相分布转换为可见图象的光学方法。有一种物体，其各部分并不能引起光波振幅的显著变化，而是由于光在其中光程（它决定于折射率和几何路程）的不同而引起光波位相的变化，这类物体称为相物体。存在一定折射率分布的透明物体就是一种相物体（如散热片周围的空气、蜡烛的火焰上方、空气中的驻波等）。

由图一可见，在没有相物体时，从缝光源 LS 发出的光经球面镜（或抛物面镜）SM 反射以后，成趋象于 L'S'，继而在底片 FP 上扩展开来，成为均匀的背景，这是直射光。由于相物体（如散热片周围的空气、蜡烛的火焰上方、空气中的驻波等）在 LS 和 SM 之间的引入，在有位相变化的地方，光线将偏离原有方向而传播，并绕过刀口 KE，由球面镜将相物体成象于底片平面 FP，这是衍射光。衍射光在 FP 处，叠加在直射光上。为了实现从位相变化到强度变化的转换，在纹影法中，通常在缝像 L'S' 附近将刀口 KE 沿垂直于光轴方向移动，直至挡去大部分直射光，并保留一半衍射光。当被刀口挡切掉的多少适当时，在象平面 FP 上就可见到在半暗的背景上反衬度相当可观的纹影图象。

需要注意的问题：1. 缝光源亮度要足够；2. 相物体最好用限制在两透明平板之间；3. 刀口要用面积够大的不透明平板制成且放置位置要准确；4. 要保证合理的成像质量的话要使用较大孔径的成像反射镜或透镜。

二、应用题：可控磁悬浮小车

基本要求：设计和制作可控的运动磁悬浮小车，小车驱动电能自带；注重技术或材料的创新应用，演示平台尺寸小于 $0.9\text{m} \times 1.5\text{m}$ 。

主要评判依据：

- (1) 物理原理；
- (2) 方案创新点；
- (3) 小车运动的速度、导向和平稳可控性等；
- (4) 性价比。

背景介绍：磁悬浮技术源于 1922 年德国工程师赫尔曼·肯佩尔提出的电磁悬浮原理和专利，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行，此技术不断完善、现已实用。制作出轻便、可控的磁悬浮小车，看它能不能跑得又快又稳、且能转弯。

教师解题：

可控磁悬浮列车要解决的关键问题是实现悬浮和推进。下面介绍已经在应用的两种技术供同学们参考，然后思考如何将其简化来实现基本的悬浮和推进。

悬浮方式分为常导磁悬浮（下图左）和超导磁悬浮（下图右）两种。常导磁悬浮是利用列车车身上的电磁铁和轨道上的电磁铁的相互吸引力而使列车悬浮，但是这种悬浮不稳定，当两个电磁铁靠得太近时，它们将因为吸引力太大而使列车和轨道接触，当两个电磁铁离得太远时，它们将因为吸引力太弱也使列车和轨道接触，因此要用传感器来实时监测两电磁铁之间（气隙）的距离，并通过反馈控制系统来控制电磁铁的电流来使得列车稳定悬浮。超导磁悬浮是利用列车车身上的超导线圈和轨道上的电磁线圈的排斥力使列车悬浮，这种悬浮可以自稳定，但是车体结构复杂，需要超导体（如钇钡铜氧）线圈和液氮存储装置，因为只有在液氮温度下材料才具有超导性能。

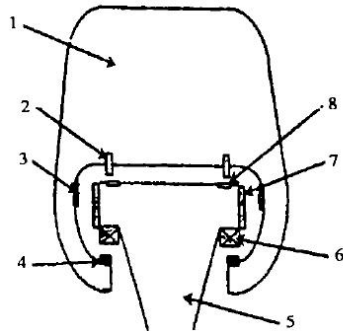


图 1 TR07 磁悬浮列车截面图

1 车辆；2 滑块；3 导向和制动电磁铁；4 悬浮和推进电磁铁；5 导轨；6 长定子铁心和电枢绕组；7 导向和制动轨道；8 滑道。

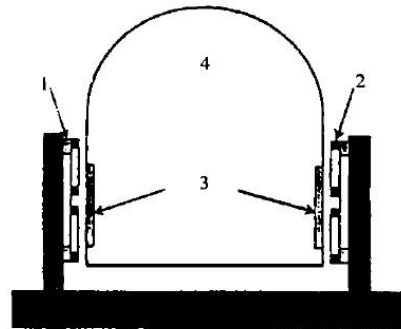


图 2 MLX01 磁悬浮列车截面图

1 推进线圈；2 8 字型零磁通短路线圈；3 车载超导磁体；4 车辆。

常导磁悬浮和超导磁悬浮列车都使用同步直线电机来驱动（如下图）。激磁绕组在车上，地面上的长定子电枢绕组采用电力电子变频电源供电，运行时实时切换到列车所在的区段上，电流的频率和强度按列车的速度进行调节。



图 1 直线同步电机