

# 第十一届全国高等学校物理实验教学研讨会

2022.08.10-14.

## 磁体与感应电流相互作用的实验研究

谢中，翦知渐，周艳明，徐成，周正贵



# 提 要

- 研究意义
- 基本原理
- 实验装置
- 实验结果与讨论
- 小结



# 本研究的目的意义



物理实验中心

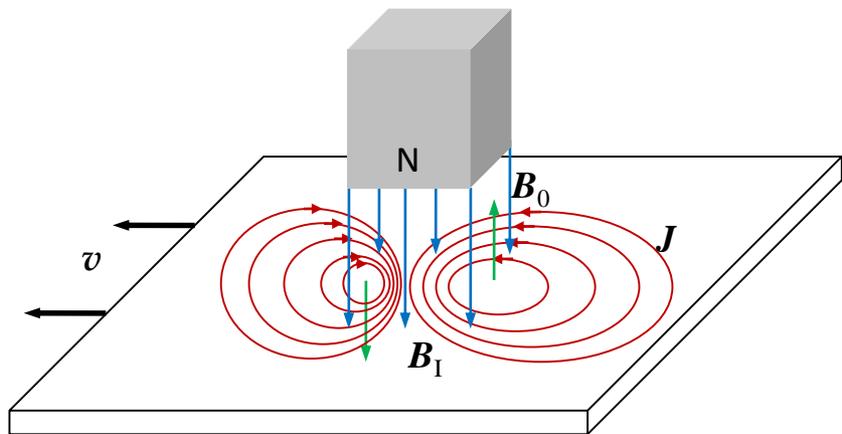
相对运动的导体与永磁体间的相互作用是一种典型、普遍同时又较为复杂的电磁感应现象，应用范围极为广泛，适合作为本科学生深入认识电磁现象的高级实验项目

本研究通过长期探索（2002年--），运用新的力传感器、磁传感器并结合计算机软硬件技术，构建了一个认识、研究这种复杂物理现象的直观实验平台

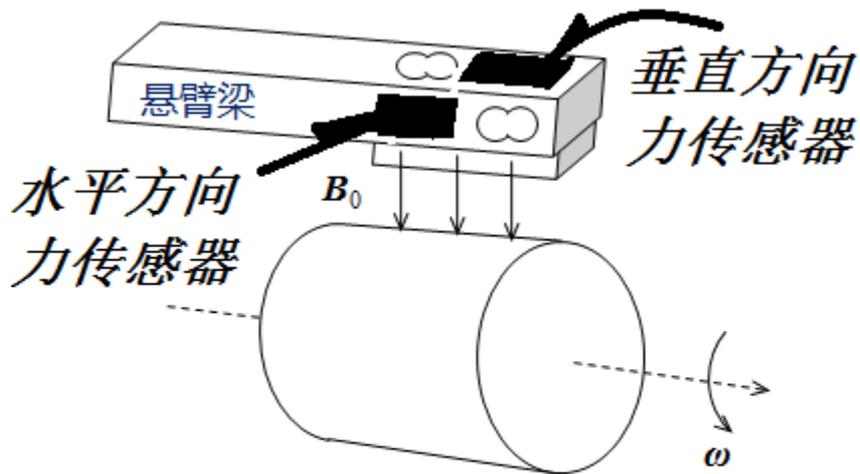
# 实验装置工作原理

升力 (磁悬浮力)

拽力 (阻尼力)

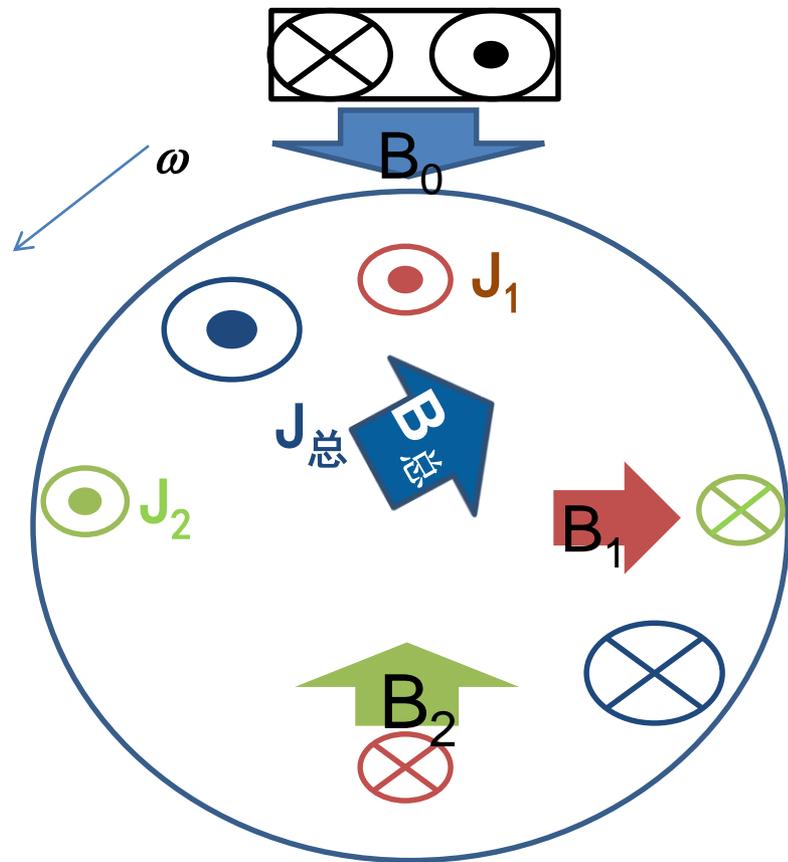


磁体与运动导体的电磁感应



固定在力传感器上的磁体  
与电机驱动旋转的铝圆柱体

# 铝圆柱体内感应电流的形成与变化

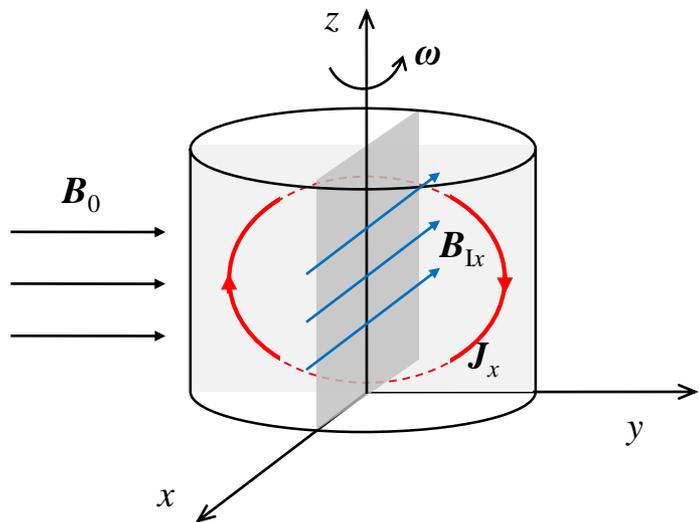


$$B_0 \xrightarrow{V} J_1 \longrightarrow B_1$$

$$\xrightarrow{V} J_2 \xrightarrow{J_1+J_2} J_{总} \longrightarrow B_{总}$$

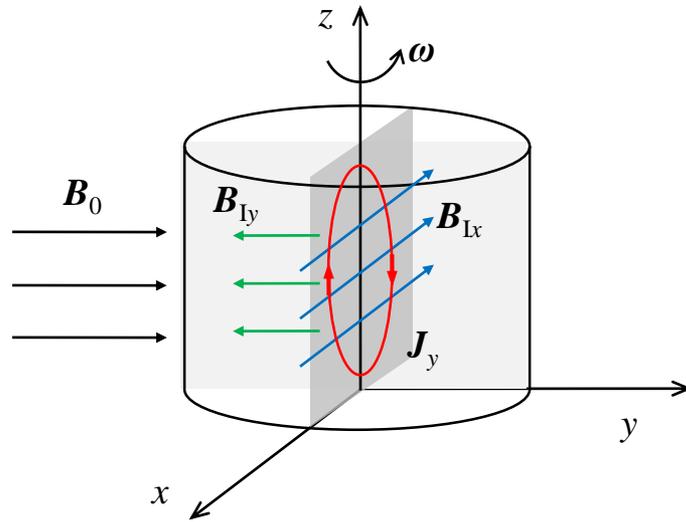
由于  $J_1$  正比于  $\omega$ ,  $J_2$  正比于  $\omega^2$ , 所以总电流会随速度的增加而增加且沿导体转动方向随速度增加而向导体运动侧旋转。

# 对于转动体系，利用迭代过程分析电磁感应的物理图像



(a)

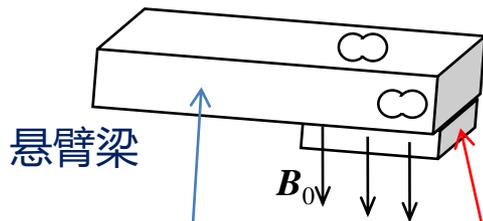
$$B_{Lx} = -\frac{\alpha\omega}{1 + \alpha^2\omega^2} B_0$$



(b)

$$B_{Ly} = -\frac{\alpha^2\omega^2}{1 + \alpha^2\omega^2} B_0$$

# 实验装置



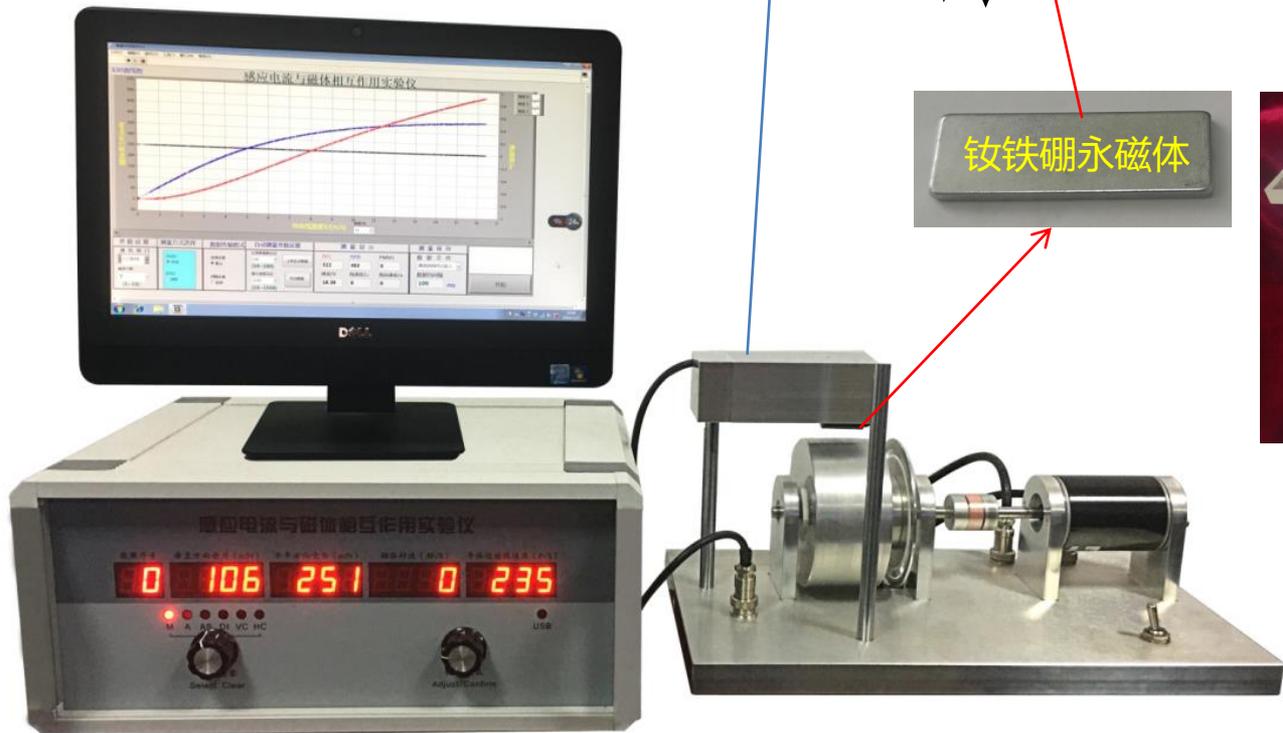
■ 特制悬臂梁

■ 多种传感器



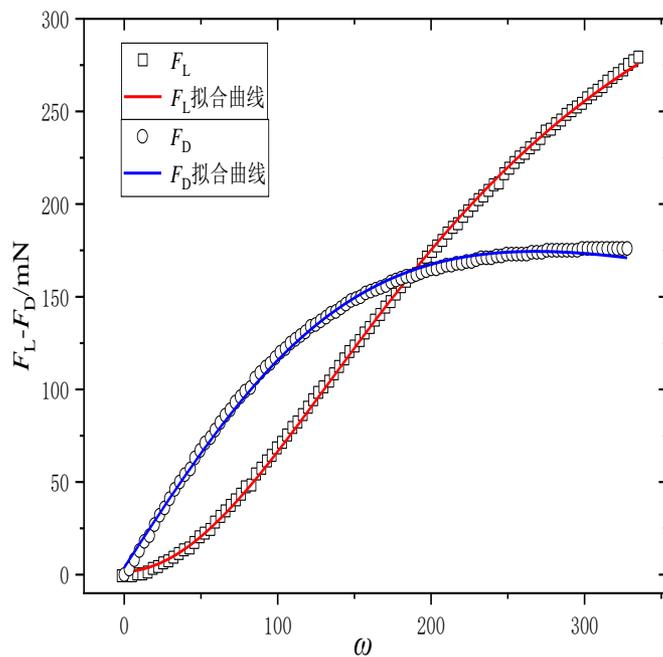
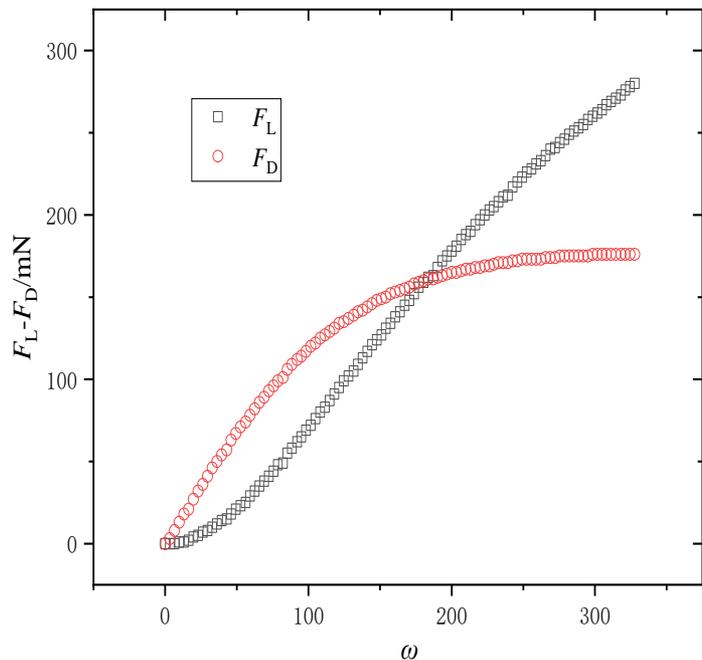
■ 控制台

■ 数据处理与显示



# 实验结果与讨论

用导出的磁场表达式对实验数据进行拟合，实验结果与理论公式完美吻合，说明理论分析是合理的。

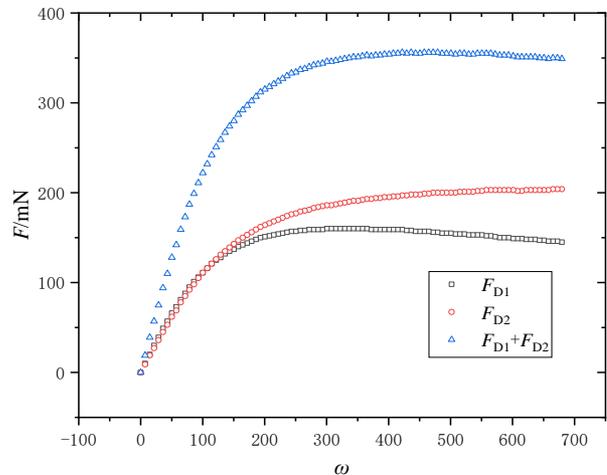
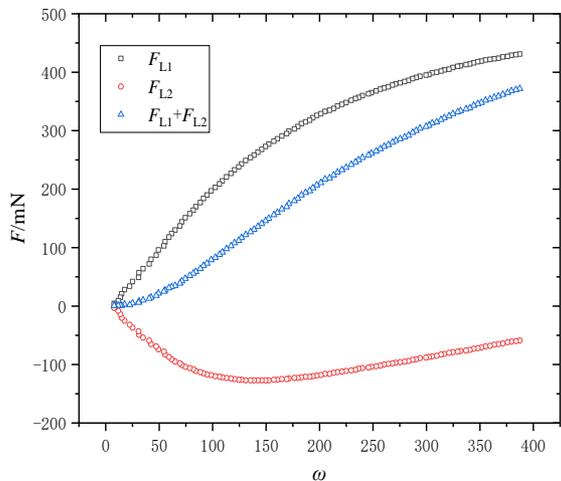
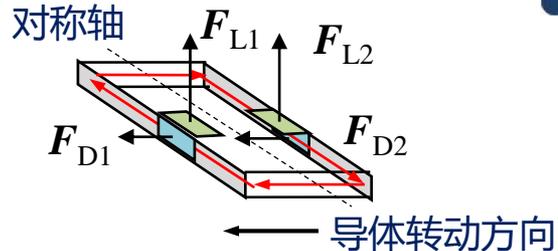


$$B_{Iy} = -\frac{\alpha^2 \omega^2}{1 + \alpha^2 \omega^2} B_0$$

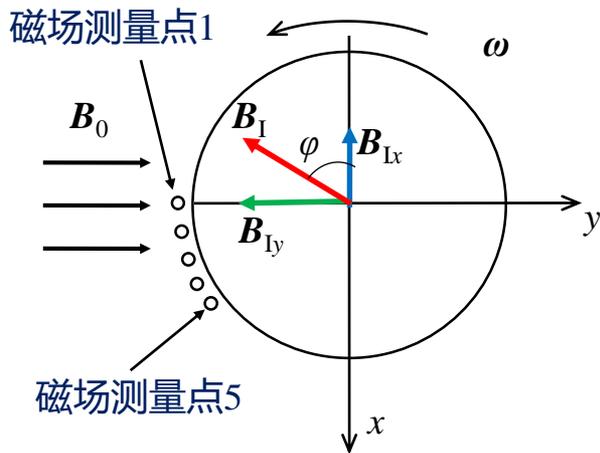
$$B_{Ix} = -\frac{\alpha \omega}{1 + \alpha^2 \omega^2} B_0$$

# 磁体两侧受力与导体转动角速度的关系

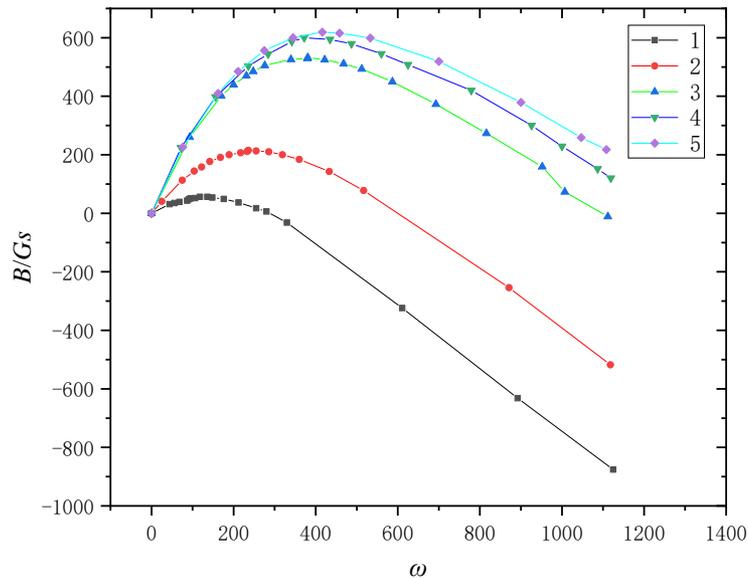
双梁力传感器测量的磁体两侧垂直  
与水平方向受力数据



# 感生磁场随导体转动角速度旋转的磁测实验验证

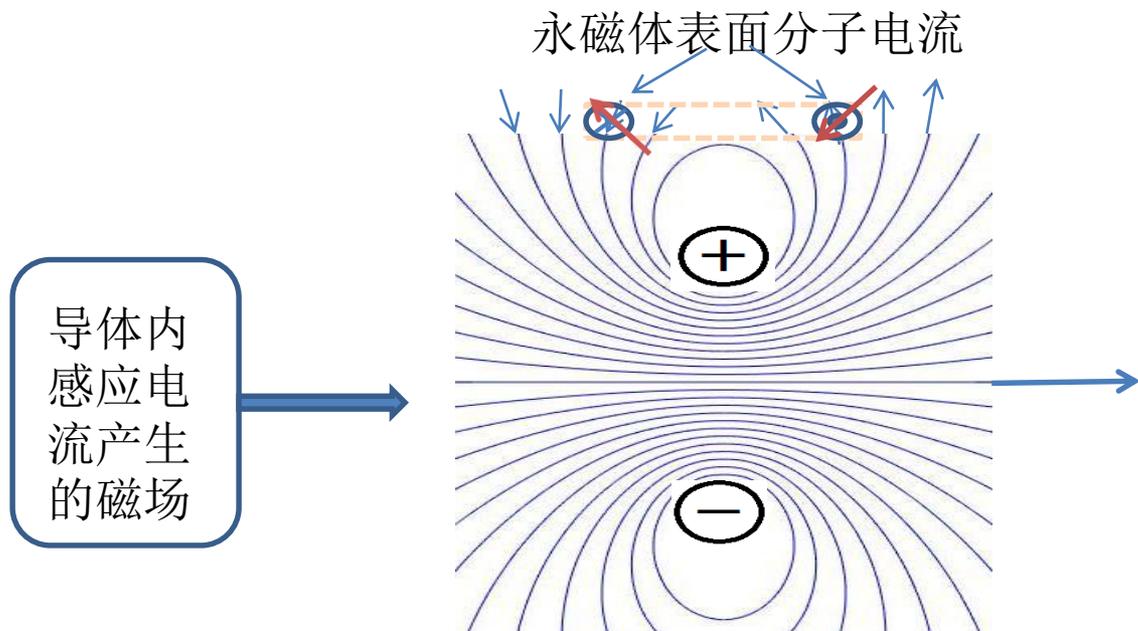


用磁传感器测量感生磁场强度与方向随 $\omega$ 变化的角位置示意图



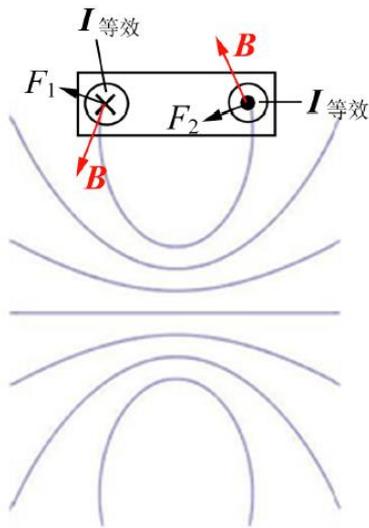
不同角位置处感应磁场峰值随 $\omega$ 变化的实验测量结果——与磁场旋转理论模型完全一致

# 随 $\omega$ 增加磁体受力大小与方向的变化

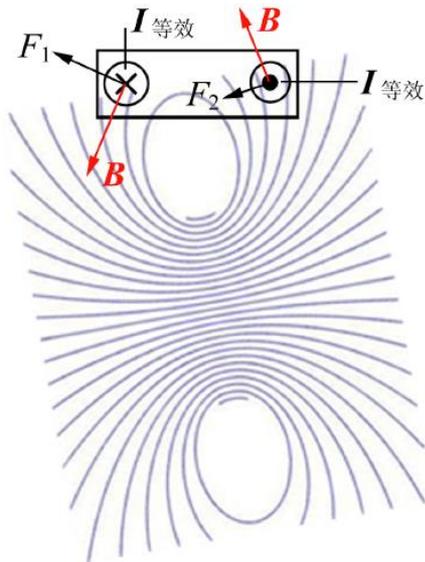


总感应磁场方向随 $\omega$ 增加而旋转的理论模型能完美地解释这个实验结果

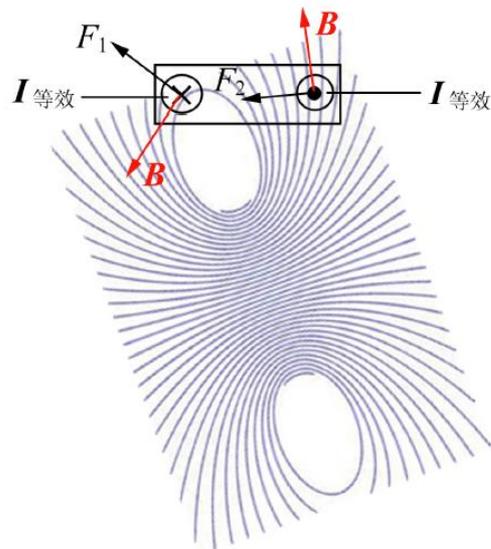
# 磁体两侧受力随感应磁场大小与方向而变化



(a)  $\omega$  很小



(b)  $\omega$  稍大



(c)  $\omega$  较大

- 标定水平与垂直方向的力传感器；
- 采集单梁力传感器在不同转速下磁体在垂直、水平方向的受力数据，用Origin软件绘制 $F \sim \omega$ 曲线和 $dF/d\omega \sim \omega$ 曲线--研究特定外场下磁体受力与 $\omega$ 的关系；
- 将磁体位置由导体上方8mm处开始测出在垂直方向力与水平方向力相等时对应的导体的速度，每上升2毫米测量一对值，测量8~10个点，绘出 $h \sim \omega$ 关系曲线—研究不同外场下磁体水平与垂直方向受力与 $\omega$ 的关系；
- 用转动/力传感器可测量磁体两侧受力及由受力差异产生的力矩作用下磁体的转动角速度与导体转动角速度的关系；
- 用双梁力传感器采集磁体两侧垂直与水平方向受力随 $\omega$ 增加的数据，研究感应电流磁场对磁体受力的影响；
- 标定磁场强度传感器，测量圆柱体上方不同角位置处磁感应强度 $B_T$ 随导体转动角速度的变化数据，运用Origin软件绘制 $B_T \sim \omega$ 曲线并进行数据拟合—研究感应电流磁场大小与方向随 $\omega$ 变化的关系。

# 小 结

- 采用永磁体作外磁场，由外磁场与旋转铝圆柱体内感应磁场的迭代关系导出了感应磁场水平分量与垂直分量与导体转动角速度 $\omega$ 关系的表达式，发现总感应磁场随 $\omega$ 增加而增强并朝导体转动方向旋转；
- 运用新研制的力传感器可同时测出磁体在感应磁场作用下受到的水平方向与垂直方向作用力，两个方向受力具有不同的特征，（低速下垂直方向增加慢，水平方向增加快，高速下相反）；
- 用双梁力传感器可同时测量磁体两侧在垂直方向和水平方向的受力，用总感应磁场随 $\omega$ 增加而旋转可完美解释磁体两侧受力的差异（低速下垂直方向两侧受力方向相反）；
- 用转动/力传感器可测量磁体两侧受力及由受力差异产生的力矩作用下磁体的转动角速度与导体转动角速度的关系；
- 用磁传感器可测量旋转铝圆柱体外侧同心圆上不同角位置处感应磁场强度随 $\omega$ 的变化，发现每个位置都存在峰值，与峰值对应的 $\omega$ 值随角位置不同而变化，直观地展示了感应磁场方向随 $\omega$ 增加的旋转变换；
- 校正的力/磁传感器可对所研究的物理量进行精密定量测量，结果与理论公式一致。

# 在面向全校理工科各专业本科生物理实验教学中的应用



# 致 谢

- 感谢湖南大学教务处对本教改项目的资助!
- 本实验仪器自2017年起应用于湖南大学本科生的大学物理实验课程的教学, 并被中南大学、南昌大学等兄弟院校应用在物理实验教学中。今年又有重庆大学、西南交通大学和中国海洋大学选用了该仪器应用于物理实验教学。非常感谢我的同事和兄弟院校同行们对本项目的大力支持! 感谢应用推广合作方华芯众合科技有限公司的大力协作!
- 特别感谢本届组委会和厦门大学物理学院克服疫情困难提供的与全国同行们交流学习的机会!