PT锦囊系列
Tips for Physics Tournament

如何做一个合格的PT正方?

研究经验篇

南开大学物理科学学院
24级物理伯苓班——汪子涵
Email：wang.zihan@mail.nankai.edu.cn

2025.11.08

PT评分表

从 5 分起评。要求具备**最基本的**物理理论、实验，具有明确的结论，能够切题。

正方 基础分 5 分	反方 基础分 5 分	评论方 基础分 5 分
物理内容 ±3	**物理内容 ±3**	**物理内容 ±3**
☐ 理论(模型、公式、模拟计算、图表数据等)，±1 （理论有错误时酌情扣分）	☐ 说明正方报告的优缺点，主要从物理的角度考虑 ±1	☐ 评论方提问（切中遗漏点和关键点） ±1
☐ 实验(设计方案、照片/录像、数据处理（图表，量纲/单位，有效数字/误差）)， ±1 （实验有错误时酌情扣分）	☐ 讨论问题（对正方提问是否简洁，发现正方报告的瑕疵或错误、主导双方就关键物理问题进行讨论） ± 2	☐ 说明正方反方报告的优缺点（评论正方反方的理论及实验，被正方反方遗漏的问题，是否主要涉及物理） ± 2
☐ 结论（理论与实验一致性，解释 讨论，参考文献），±1	其它：涉及到反方自己的研究工作的， 扣 1 分 讨论偏离物理，扣 1 分	
其它：不切题不完整 扣 1-2 分 编造数据，至少扣 3 分		
展示±2	**展示±2**	**展示±2**
☐ PPT(结构,幻灯片/现场的实验/音频/视频的应用)、讲解 ±1	☐ PPT/讲解/板书， ±1	☐ PPT/讲解/板书 ±1
☐ 正确回答问题，辩论中的表现， 仪态风度，其它 ±1	☐ 正确回答问题，辩论中的表现，仪态风度，其它 ±1	☐ 辩论中的表现，仪态风度，其它 ±1
正方总分:	反方总分:	评论方总分:

±1 的意思是：如果此项做的好，则最多加 1 分，做的不好则最多扣 1 分，做的一般则不加分也不扣分；每一单项也可视情况加减 0.1-0.9 分，但是最终的总分必须是整数。

正方评分表

物理：60%　　展示：40%

从5分起评。要求具备**最基本**的物理理论、实验，具有明确的结论，能够切题。

物理内容　±3

- **理论**（模型、公式、模拟计算、图表数据等），±1（理论有错误时酌情扣分）
- **实验**（设计方案、照片/录像、数据处理（图表，量纲/单位，有效数字/误差）），±1（实验有错误时酌情扣分）
- **结论**（理论与实验一致性，解释讨论，参考文献），±1

其他：不切题不完整 扣1-2分
编造数据，至少扣3分

展示　±2

- **PPT**（结构，幻灯片/现场的实验/音频/视频的应用），讲解，±1
- **正确回答问题，辩论中的表现，仪态风度，其他，±1**

±1分的意思是：
如果此项做的好，则最多加1分，做的不好则最多扣1分，做得一般则不加分也不扣分；每一单项也可视情况加减0.1-0.9分，但最终的总分必须是整数。

如何做一个合格的PT正方？系列讲座

0 **NKPT 2025 预热会**
题目分析、文献调研和预实验的方法

1 **研究经验篇**
定性解释、定量理论分析和正式实验的方法

2 **软件技能篇**
大语言模型、MATLAB、Tracker、Origin、COMSOL、PPT基本操作

3 **学术规范篇**
公式、图片、表格、文献引用

4 **汇报技巧篇（第二学期）**
PPT的优化技巧、演讲与讨论技巧

目录

1 **正方汇报示例**
IYPT 2025 Problem No. 10 Rayleigh-Benard Convection

2 **【方法论】定性解释**
意义、案例、方法、小贴士

3 **【方法论】定量理论分析**
分析方法、结果呈现方法

4 **【方法论】定量实验分析**
实验设计、实验装置、实验结果呈现方法

5 **【方法论】总结**

PT锦囊系列
Tips for Physics Tournament

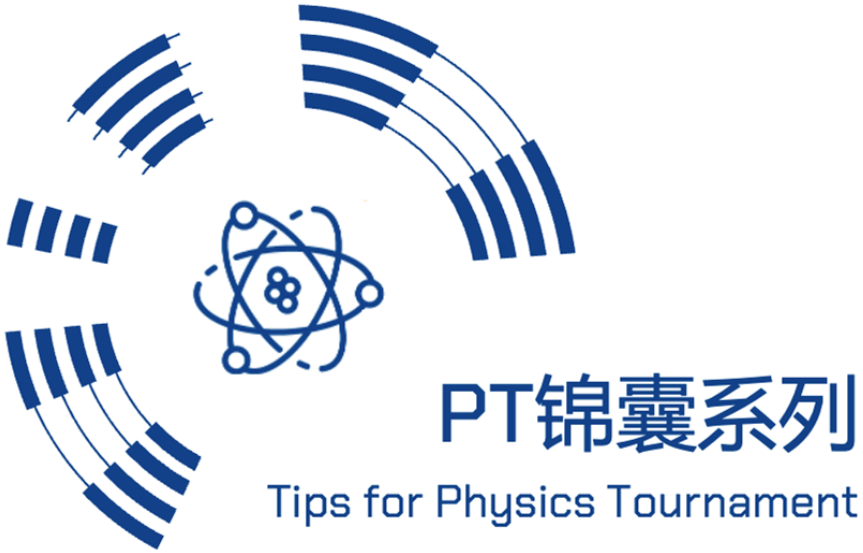
正方汇报示例

模板与逻辑

正文最好不要超过40页！

PT汇报大纲：题目分析+预实验+理论分析+正式实验+总结+附录

- **题目分析**：现象+变量+目的
- **预实验**：方法+视频+结论
- **理论分析**：研究范畴+物理模型+定量结果（+模拟计算）+定性解释
- **正式实验**：参数测量实验+理论验证实验+控制变量实验
- **总结**：逻辑图+结果结论对比+误差分析+未来展望+文献
- **附录**：补充理论+原始数据+部分实验视频（+反方应对）



定性解释

※ 逻辑 + 直观

- **PT正方汇报**，如何能在短短**12分钟**内给**外行**讲清楚自己的研究工作？
- **学习专业课**，如何能快速地掌握一门课的知识？
- **做科普**，如何让不懂物理的人理解科学原理？

逻辑
- 汇报逻辑　　汇报 ≈ 讲故事
- 物理图像　　尽早展示实验现象与物理图像
  定性解释

物理初学者可能面临的问题

“做定性的分析是出于不得已，只有高度的定量化才是最重要的。”

“每逢遇到问题，我们的学生总喜欢用系统的理论工具去做详尽的定量计算，或利用现有的仪器埋头于细致的测量，尽管有的时候本可以通过简单的思考就能得到定性的或半定量的结论。”

定性/半定量分析的例子

把一个半径为R的电中性的金属球放在一个匀强电场$\vec{E}_0$中，空间电场最终的分布是怎样的?

➢ 如果严格定量算，会怎样?

当将一个半径为 R 的金属球放置在匀强电场 E_0 中时，由于金属球是导体，在静电平衡条件下，球内部电场为零，电荷仅分布在球表面上。空间的电场分布可以通过求解静电势的拉普拉斯方程得到。假设匀强电场沿 z 轴方向，即 $E_0 = E_0\hat{z}$，则在没有金属球时，电势为 $\phi_0 = -E_0 z$。放置金属球后，球外电势满足拉普拉斯方程 $\nabla^2\phi = 0$，边界条件为：

- 在 $r \to \infty$ 时，$\phi \to -E_0 r\cos\theta$；
- 在球面 $r = R$ 上，$\phi = 0$（设球电势为零，不影响电场分布）。

由于问题具有轴对称性，电势与方位角 ϕ 无关，使用球坐标下的拉普拉斯方程通解：

$$\phi(r,\theta) = \sum_{l=0}^{\infty}\left[A_l r^l + B_l r^{-(l+1)}\right]P_l(\cos\theta)$$

其中 $P_l(\cos\theta)$ 是勒让德多项式。

应用边界条件：

1. 在 $r \to \infty$ 时，$\phi \to -E_0 r\cos\theta$，比较可得只有 $l = 1$ 项存在，且 $A_1 = -E_0$，其他 $A_l = 0$。因此：

$$\phi(r,\theta) = -E_0 r\cos\theta + \sum_l B_l r^{-(l+1)}P_l(\cos\theta)$$

2. 在 $r = R$ 时，$\phi = 0$：

$$0 = -E_0 R\cos\theta + \sum_l B_l R^{-(l+1)}P_l(\cos\theta)$$

比较系数，对于 $l = 1$：

$$-E_0 R + B_1 R^{-2} = 0 \implies B_1 = E_0 R^3$$

对于 $l \neq 1$，$B_l = 0$。因此电势为：

$$\phi(r,\theta) = -E_0 r\cos\theta + \frac{E_0 R^3}{r^2}\cos\theta = E_0\cos\theta\left(-r + \frac{R^3}{r^2}\right)$$

电场是电势的负梯度，$\mathbf{E} = -\nabla\phi$。在球坐标中，电场分量为：

$$E_r = -\frac{\partial\phi}{\partial r}, \quad E_\theta = -\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}, \quad E_\phi = 0$$

计算偏导数：

$$\frac{\partial\phi}{\partial r} = -E_0\cos\theta - 2E_0 R^3 r^{-3}\cos\theta$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial\theta} = E_0 r\sin\theta - E_0 R^3 r^{-2}\sin\theta$$

因此：

$$E_r = E_0\cos\theta\left(1 + 2\frac{R^3}{r^3}\right)$$

$$E_\theta = E_0\sin\theta\left(-1 + \frac{R^3}{r^3}\right)$$

$$E_\phi = 0$$

电场分布总结：

- **球内部** ($r < R$)：电场为零。
- **球外部** ($r > R$)：电场分量为：

$$E_r = E_0\cos\theta\left(1 + 2\frac{R^3}{r^3}\right), \quad E_\theta = E_0\sin\theta\left(-1 + \frac{R^3}{r^3}\right), \quad E_\phi = 0$$

或写成向量形式：

$$\mathbf{E} = E_0\left[\left(1 + 2\frac{R^3}{r^3}\right)\cos\theta\,\hat{r} + \left(-1 + \frac{R^3}{r^3}\right)\sin\theta\,\hat{\theta}\right]$$

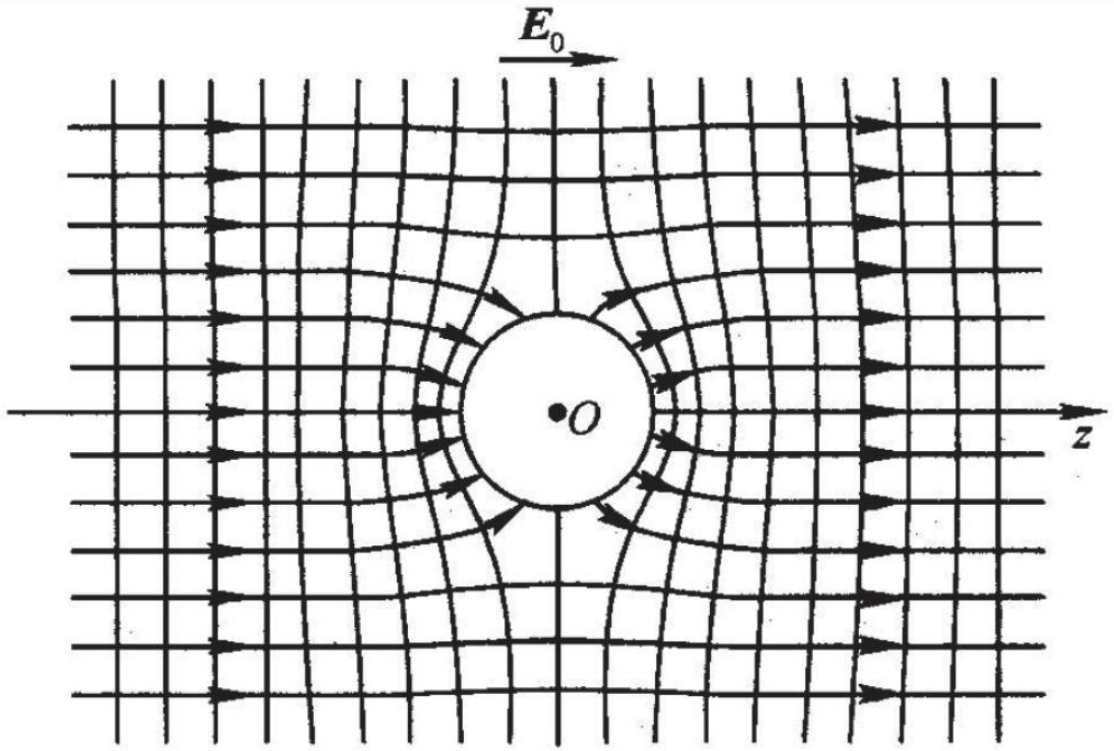
- **球面上** ($r = R$)：电场只有径向分量，$E_r = 3E_0\cos\theta$，$E_\theta = 0$，表面电荷密度为 $\sigma = \epsilon_0 E_r = 3\epsilon_0 E_0\cos\theta$。

$$\boldsymbol{E} = E_0\left[\left(1 + \frac{2R^3}{r^3}\right)\cos\theta\,\hat{\boldsymbol{r}} + \left(-1 + \frac{R^3}{r^3}\right)\sin\theta\,\hat{\boldsymbol{\theta}}\right]$$

定性/半定量分析的例子

把一个半径为R的电中性的金属球放在一个匀强电场$\vec{E}_0$中，空间电场最终的分布是怎样的?

➢ 如果定性分析呢?



- 无穷远处
  - $\boldsymbol{E} \sim \boldsymbol{E_0}$（最低阶）
  - 偶极子电场（次低阶）
- 球表面附近：电场线垂直于表面

$$\boldsymbol{E} = E_0\left[\cos\theta\,\hat{r} - \sin\theta\,\hat{\theta}\right] \longrightarrow \text{匀强电场}$$

$$+\frac{\lambda}{r^3}\left[2\cos\theta\,\hat{r} + \sin\theta\,\hat{\theta}\right] \longrightarrow \text{偶极子电场}$$

$$+O(r^{-4}) \qquad \lambda = E_0R^3$$

* 科研中的定性分析⇒Benchmark

小结

- 当一位成熟的物理学家进行探索性的科学研究时，常常从定性的或半定量的方法入手。……他们通过定性的思考或半定量的试验，力求先对**问题的性质**、**解的概貌**取得一个总体的估计和理解。否则一下子陷入细枝末节的探讨，往往会一叶障目，只见树木，不识森林。
- 这种定性或半定量的分析问题的能力，对初学者来说却是最难不过的。因为这要靠一定的物理直觉和洞察力，没有相当的经验和功力是做不到的。但是，青年学生应从头培养这种能力。平常除了刻苦学习之外，还应勤于思考（但不是空洞的思辨），以寻找各种事物之间的内在联系。经过定量计算或精密测量之后，对所得的某些结果人们未必就知道其所以然。从整体上作了定性思考之后，才有可能**抓住问题的本质**。有意识地这样锻炼下去，久而久之，就会融会贯通。

（赵凯华，《定性与半定量物理学》）

PT中定性分析的案例解读

IYPT 2025 第03题 Lato Lato

物理建模

分段分析



状态

$0° < \theta < 90°$

最低点单

状态二

$\theta < 180°$内小球运动

绳子松弛

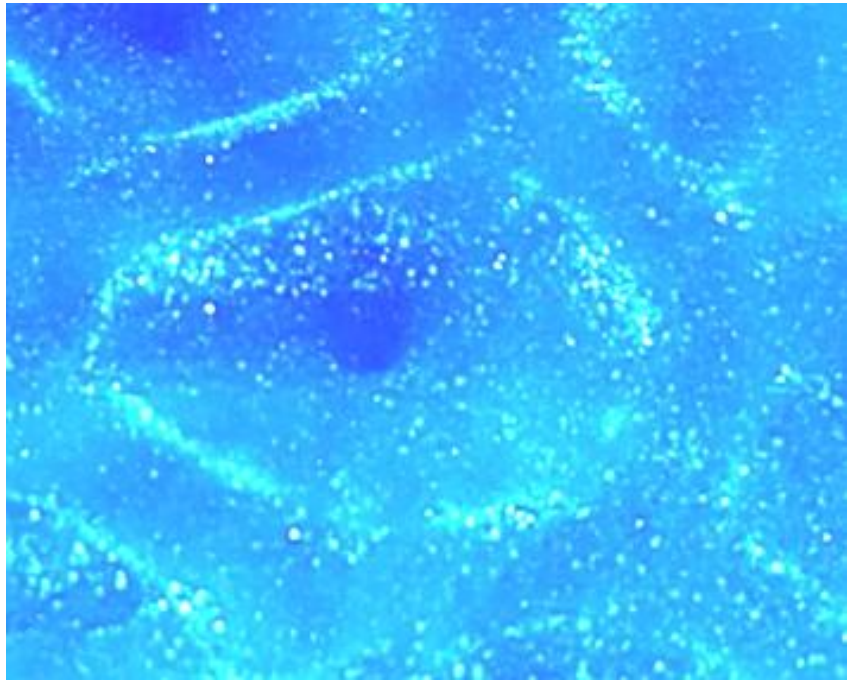
状态三

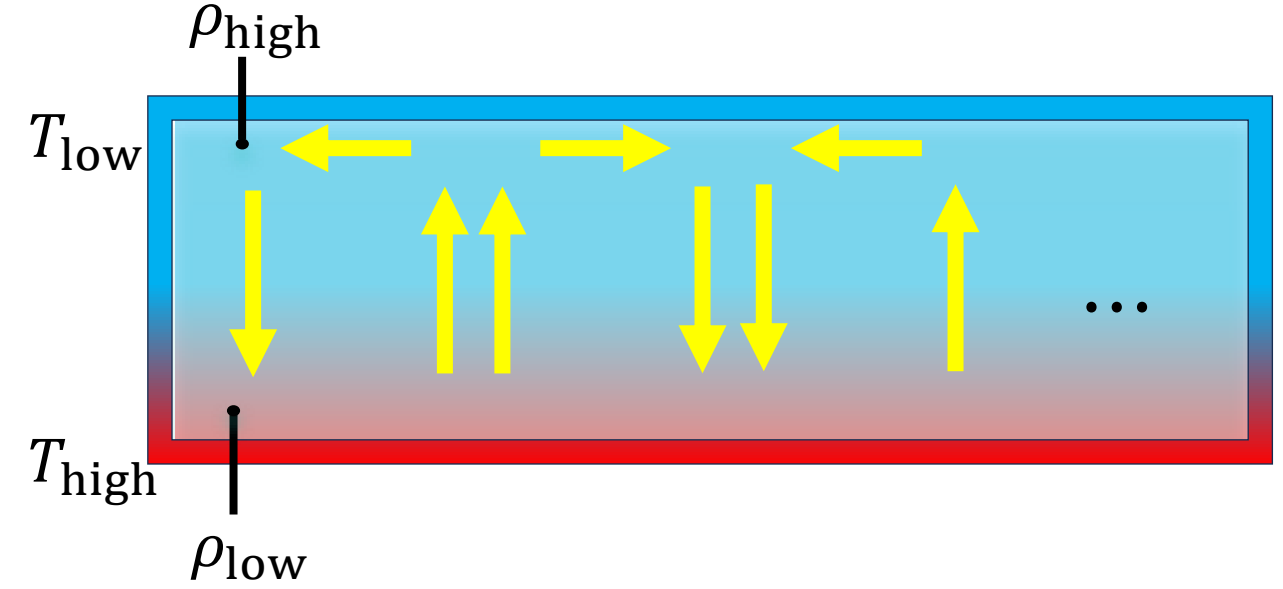
球达到最大角度$180°$

双碰撞模式

PT中定性分析的案例解读

IYPT 2025 第10题 瑞利贝纳德对流







PT中定性分析的案例解读

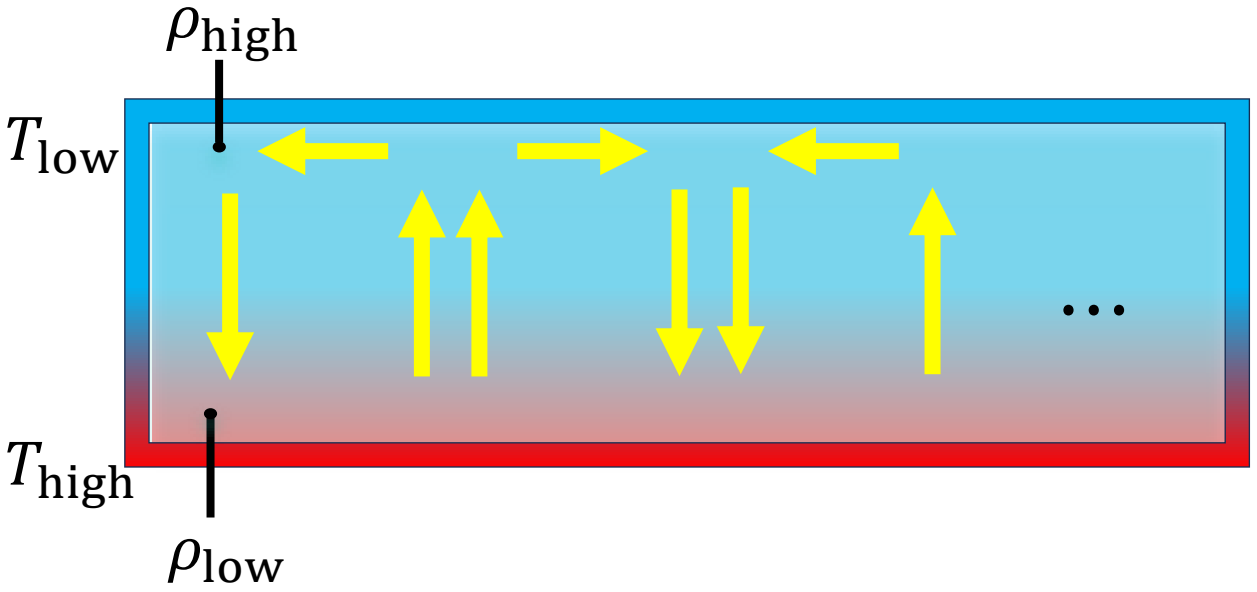
IYPT 2025 第10题 瑞利贝纳德对流

浮力 VS 粘性力

$$f_{\text{buoyancy}} \sim g\alpha\rho_0\Delta T$$

$$f_{\text{viscous}} \sim \mu\frac{\kappa}{d^3}$$

$$\text{Ra} = \frac{\alpha g \Delta T d^3}{\nu\kappa}$$



表面张力 VS 黏性力

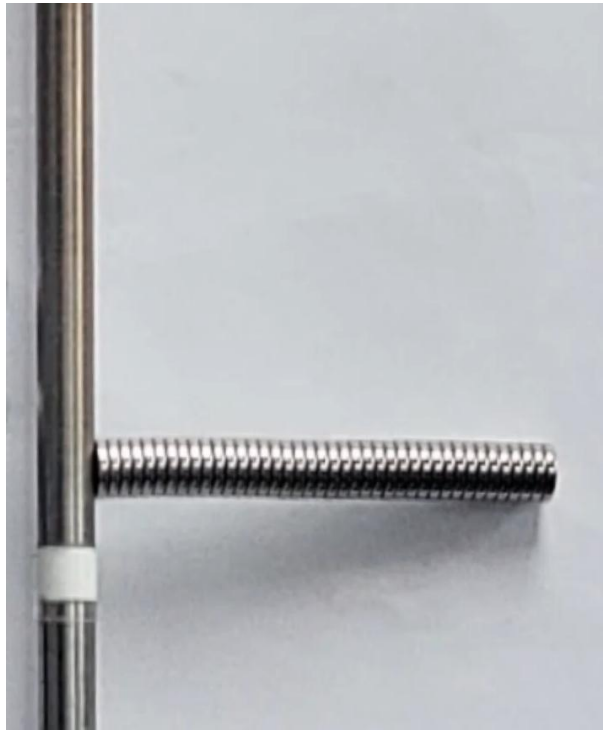
$$f_{\text{surface}} \sim \sigma_T\frac{\Delta T}{d^2}$$

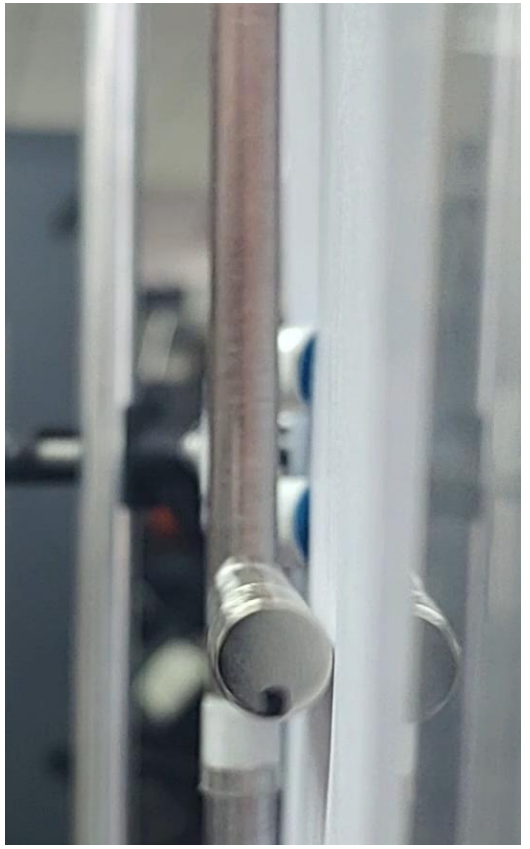
$$\text{Ma} = \frac{\sigma_T \Delta T d}{\nu\rho\kappa}$$



PT中定性分析的案例解读

IYPT 2025 第04题 攀爬磁铁





PT中定性分析的案例解读

IYPT 2025 第04题 攀爬磁铁

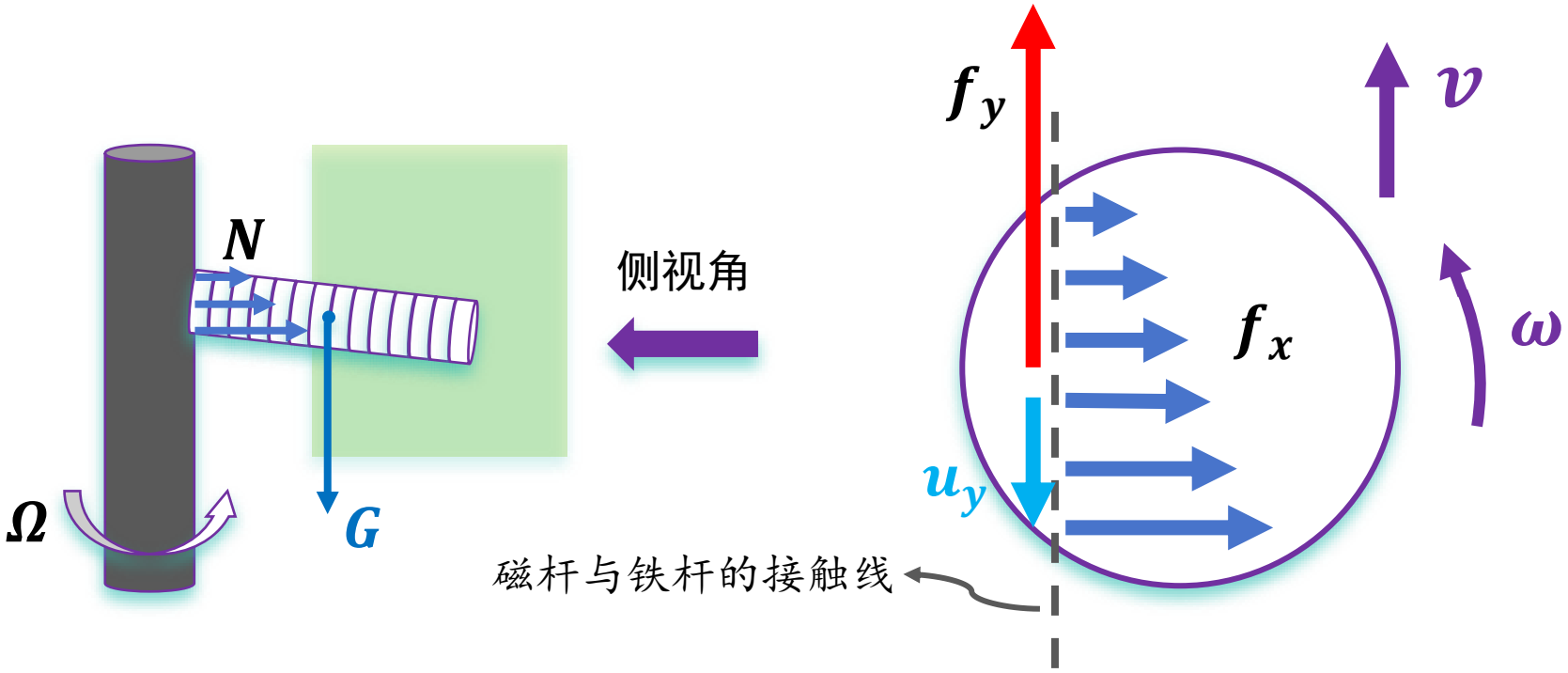
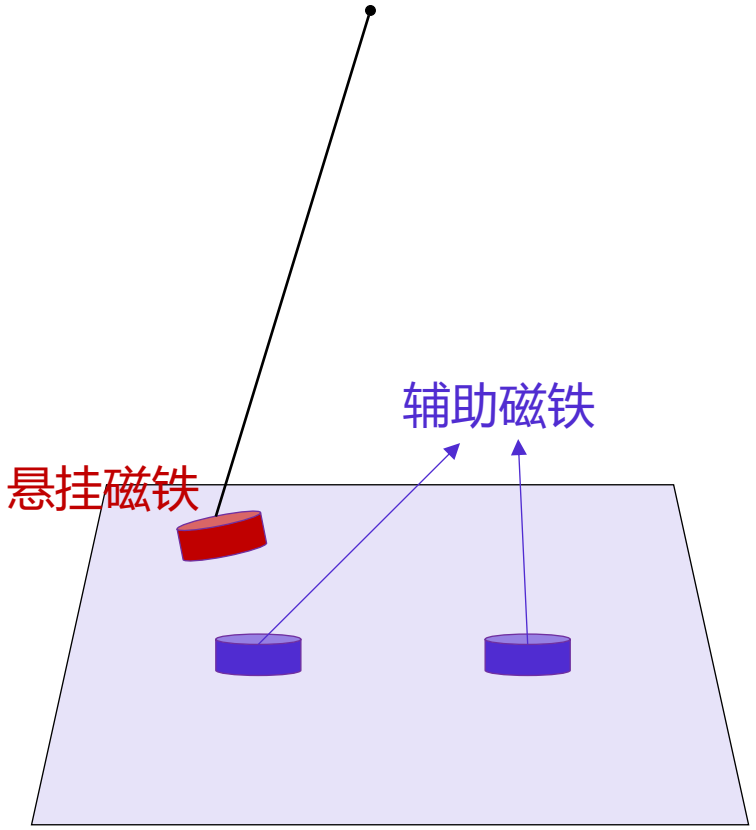


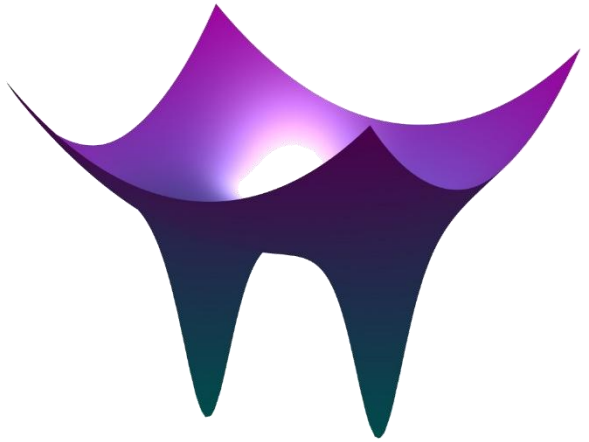
FIG. 磁杆向上攀爬定性解释示意图

非均匀水平摩擦力 → 磁铁自转 → 竖直摩擦力 → 向上攀爬

PT中定性分析的案例解读

IYPT 2025 第09题 磁力辅助





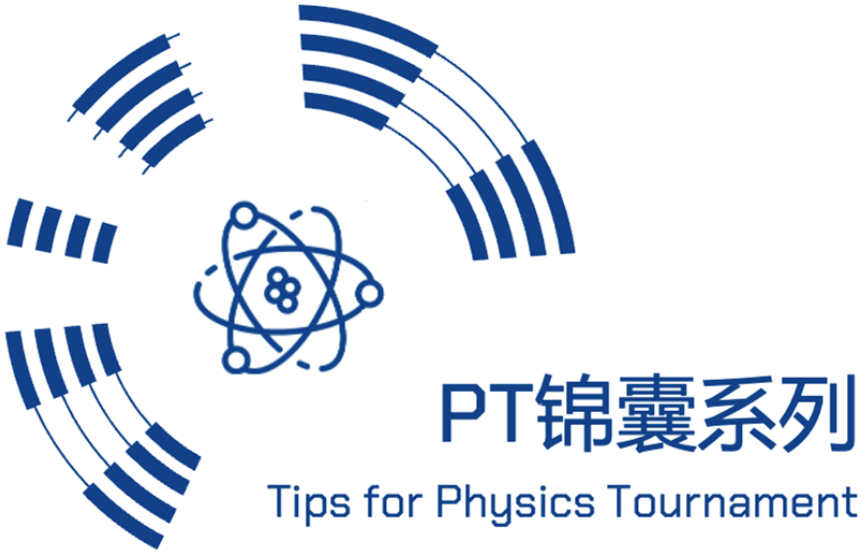
常用的定性分析方法

- 对称性的考虑和守恒量的利用
- 量纲分析
- 数量级估计
- 极限情形和特例的讨论
- 简化模型的选取
- 概念和方法的类比
- ……

很多也是反、评讨论和评委打分的切入点

定性/半定量分析的小贴士

- 直白易懂，逻辑成立
- 抓住主要矛盾（主要物理过程、主要现象、主要影响因素）
- 优先级：图像（实物/示意图）＞公式＞文字——**可视化！！！**
- 善用动画——**可视化！！！**
- 可以分析的内容：受力分析、能量守恒与转化、物理量的时间演化/空间分布……



定量理论分析

定量理论分析的基本方法

- 确定**研究对象**：依据题目分析、预实验、文献调研和定性分析
- 建立**物理模型**：**简化、直观**（自己画图）
  - 太简单：不符合实际；太复杂：理论过于复杂
  - 什么是一个好的理论模型
  - 想清楚（附录）：模型的适用条件、主次矛盾
  - PPT制作：变量单拉出框写清含义（建议每页都有）
- 得到**定量结果**：体现因变量与自变量的**相关性**

得到定量结果（“解方程”）的方法

- 少量模型可以精确求解析解
  - 往往是**理想/简化模型**；
  - 便于**直观展示**变量之间的关系

$$\boldsymbol{E} = E_0\left[\cos\theta\,\hat{r} - \sin\theta\,\hat{\theta}\right] + \frac{E_0 R^3}{r^3}\left[2\cos\theta\,\hat{r} + \sin\theta\,\hat{\theta}\right]$$

- 大多数模型没有解析解
  - **形式解**——定量展示物理框架
  - **极限与渐进行为**——极限条件下的变量关系
  - **数值计算**

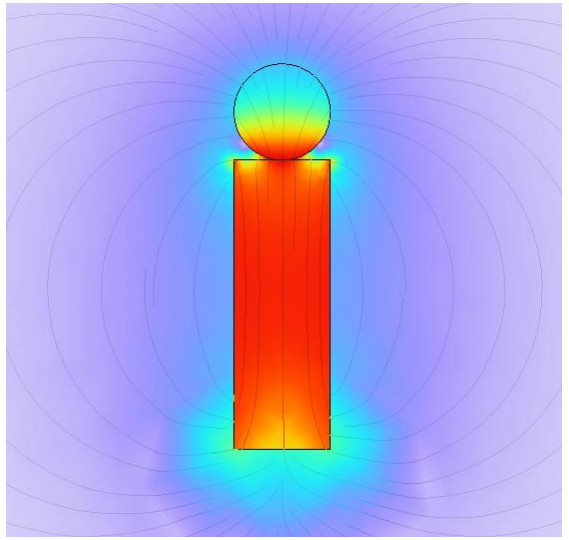
$$\begin{pmatrix} u_z \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w \\ \phi \end{pmatrix} e^{i(\alpha_x x + \alpha_y y) + \lambda t}$$

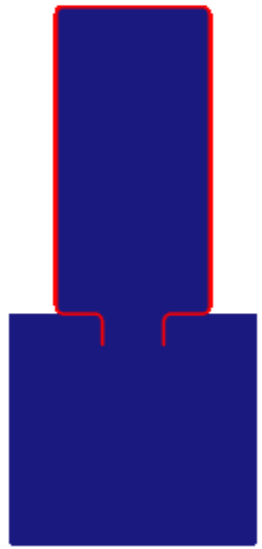
空间周期性　时间演化

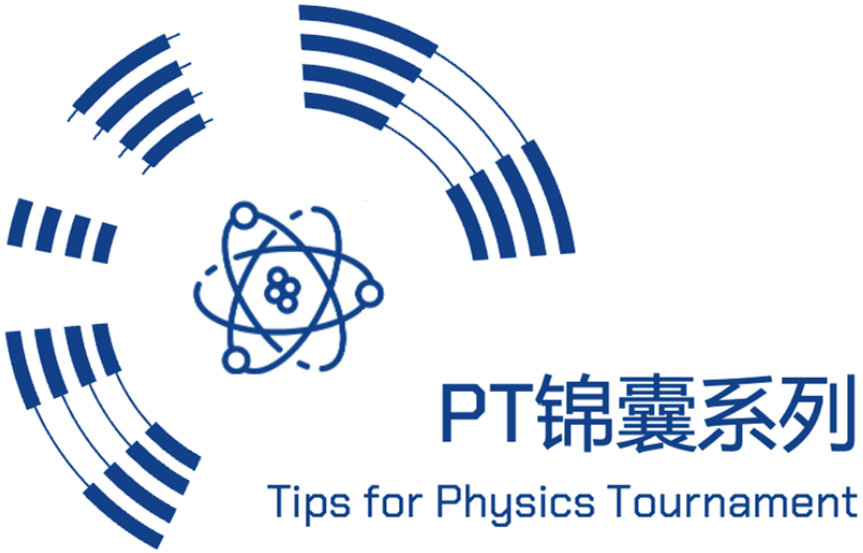


定量理论结果的常用呈现方法

- 只有解析的表达式是不够的
  - 缺少直观性
  - 不容易直观地与实验结果对照
- 表格
- **★图像——可视化！**
  - 函数图像（$y = f(x), z = f(x, y)$）
  - 相图（多变量耦合，点↔物理系统的状态）
  - ……
- 仿真动画/图片







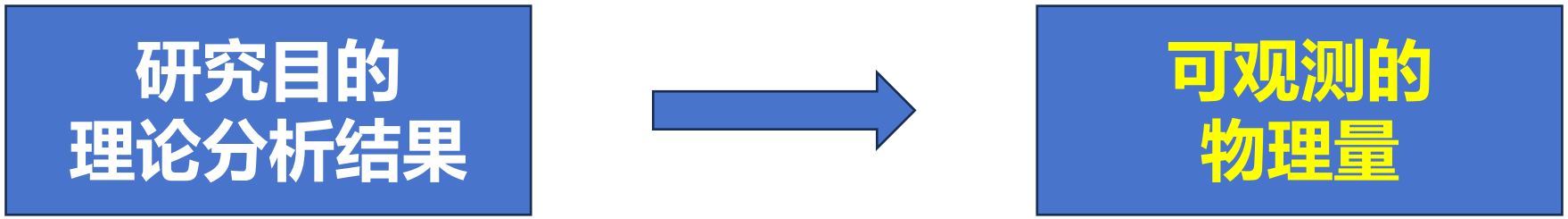
定量实验分析

定量实验的基本内容　　闭环：始终验证、对应理论

- 实验设计：**基于理论**，详略得当
- 实验装置：全景+细节（建议不要通篇文字）
- 实验方法：文字描述，使用软件需特别说明
- 实验结果：理论曲线（连续），实验数据（散点）呈现在一张图上

实验设计：基于理论，详略得当

1. 参数测量实验：对应理论模型中需要使用特别方法测量的参数。
2. 验证性实验：针对理论提出的假设、近似等，验证其在本研究范围内的适用性。
3. 控制变量实验：基于理论部分（公式或数值解）与因变量相关性大的自变量。



实验装置

※工程思维　※稳定、可重复；尽量少地引入干扰因素

基本参数

3D打印、零件加工

激发/产生装置

信号发生器 (IYPT2025-08)
施力装置 (IYPT2025-07,15; IYPT2025-13)
物理释放装置 (IYPT2025-01,05,09; IYPT2026-03,05,06,07,10,12,15,……)

样品/环境控制装置

恒温加热装置(IYPT2025-10)

支撑与固定装置

机械结构

探测/测量装置

各种已有/自制测量仪器
（将物理信号转化为可读的信号）
IYPT2025-06

测量原理 & 使用规范

主过程发生装置

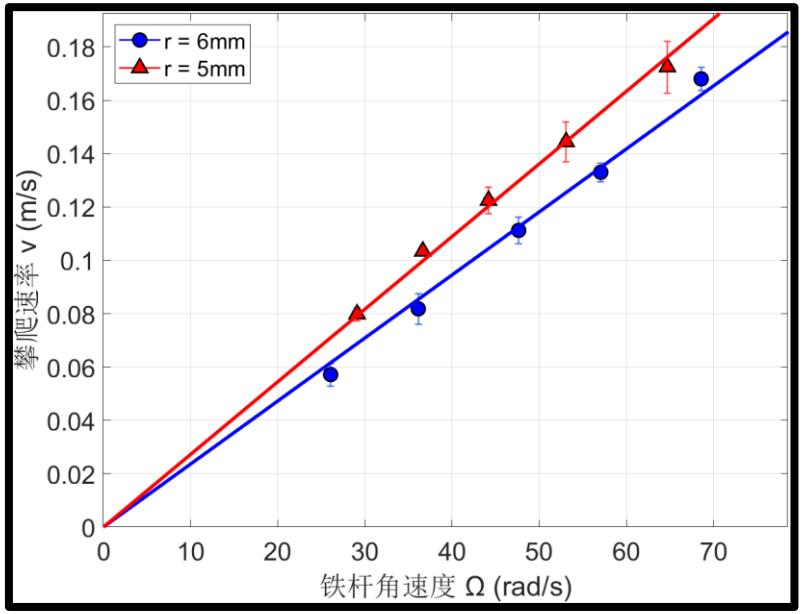
数据采集装置/系统

普通相机、高速摄像机、热成像仪
Tracker、图像识别技术、……

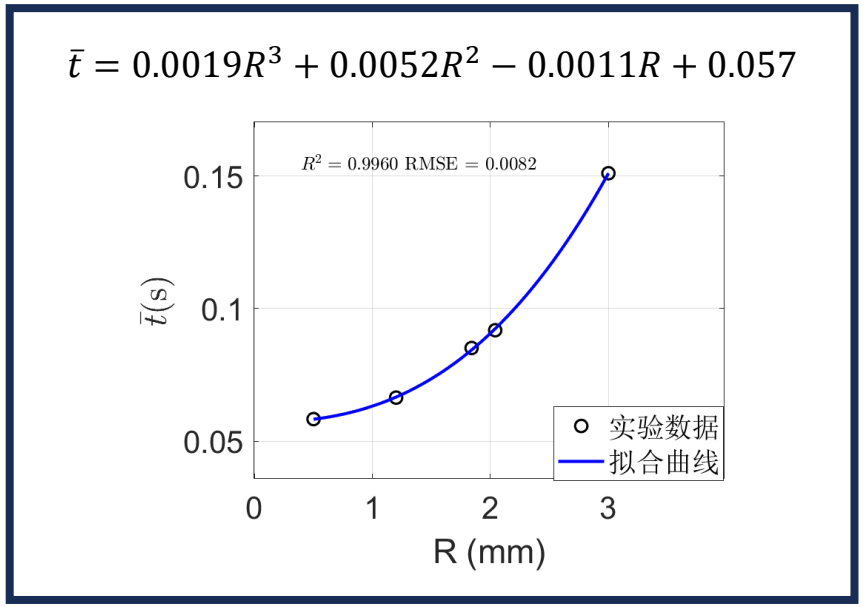
实验结果的常用呈现方式

- 表格
- **★图像——可视化！**
  - 各种图像：散点图、柱状图、饼状图、雷达图、热力图……
  - 理论和实验对照： 理论曲线（连续），实验数据（散点）呈现在**一张图上**
  - 实验数据+拟合曲线

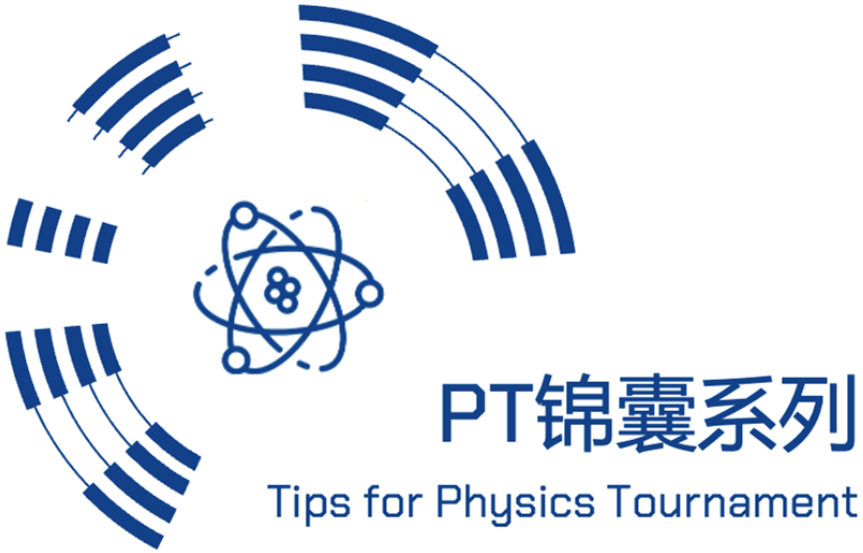
* 图像是呈现+汇报结论的核心（所有的“故事”围绕图像展开）
* 建议辅以定性说明加以解释
* 建议解释误差/偏差产生的原因



注：此例作者汪子涵



注：此例作者刘众之



【方法论】总结

总结部分的主要内容

- **结论就是回答问题**
- **逻辑图**：展示清晰的思路
- **物理原理**：定性说明，清晰描述
- **相关参数**：文字表达几个参数的名字，描述关系时可合并同类项
- （**误差分析**：系统误差+偶然误差，合理解释）
- **未来展望**：针对本题目研究过程中的不足，可自己给出方案

示例

Attach a rod assembled from cylindrical neodymium magnets horizontally to a vertical ferromagnetic rod. Limit the motion of the magnets to the vertical direction. When the ferromagnetic rod is spun around its axis of symmetry, the magnetic rod begins to climb up. Explain this phenomenon and investigate how the rate of climbing depends on relevant parameters.

② 探究影响磁铁攀爬速率的因素

- 定量结论：攀爬速率v与铁磁杆转动角速度Ω成**正比**。
- 定性结论：在研究范围内，磁铁数量N越多、磁化强度M越小、磁铁半径r越小，攀爬速率越大。

- 更本质的影响因素：**压力**竖直分布的**非均匀**程度、**水平摩擦力**所产生的力矩。

Q & A

欢迎提出任何问题、意见或建议！٩(๑❛ᴗ❛๑)۶