



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

1

物理演示实验

2022.02

浙江大学 物理实验教学中心

实验背景



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

2

- ▶ 1543年，明嘉靖二十二年，波兰哥白尼的《天体运行论》出版，正式提出“日心说”
- ▶ 1609年，明万历三十七年，德国开普勒的《新天文学》出版，提出了天体运行的椭圆轨道定律和面积速度定律；
- ▶ 1638年，明崇祯十一年，意大利伽利略的《两种新科学》出版，直定了动力学的基础；
- ▶ 1687年，清康熙二十六年，英国牛顿的《自然哲学之数学原理》出版，创立了经典力学体系；
- ▶ 1768年，清乾隆三十三年，英国的瓦特制成了单动式近代蒸汽机；
- ▶ 1842年，清道光二十二年，德国的迈尔提出自然力（能量）守恒原理和热功当量概念；
- ▶ 1864年，清同治三年，英国的麦克斯韦创立经典电磁场理论；
- ▶ 1900年，清光绪二十六年，德国的普朗克提出量子假说；
- ▶ 1905年，清光绪三十一年，德国的爱因斯坦创立狭义相对论。

实验背景



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

3

- ▶ 1543年，明嘉靖二十二年，波兰哥白尼的《天体运行论》出版，正式提出“日心说”
- ▶ 1609年，明万历三十七年，德国开普勒的《新天文学》出版，提出了天体运行的椭圆轨道定律和面积速度定律；意大利利玛窦(Matteo Ricci)：自鸣钟、三棱镜、天文仪器、世界地图
- ▶ 1638年，明崇祯十一年，意大利伽利略的《两种新科学》出版，直定了动力学的基础；
- ▶ 1687年，清康熙二十六年，英国牛顿的《自然哲学之数学原理》出版，创立了经典力学体系；
- ▶ 1768年，清乾隆三十三年，英国的瓦特制成了单动式近代蒸汽机；
- ▶ 1842年，清道光二十二年，德国的迈尔提出自然力（能量）守恒原理和热功当量概念；
- ▶ 1864年，清同治三年，英国的麦克斯韦创立经典电磁场理论；
- ▶ 1900年，清光绪二十六年，德国的普朗克提出量子假说；
- ▶ 1905年，清光绪三十一年，德国的爱因斯坦创立狭义相对论。

实验背景



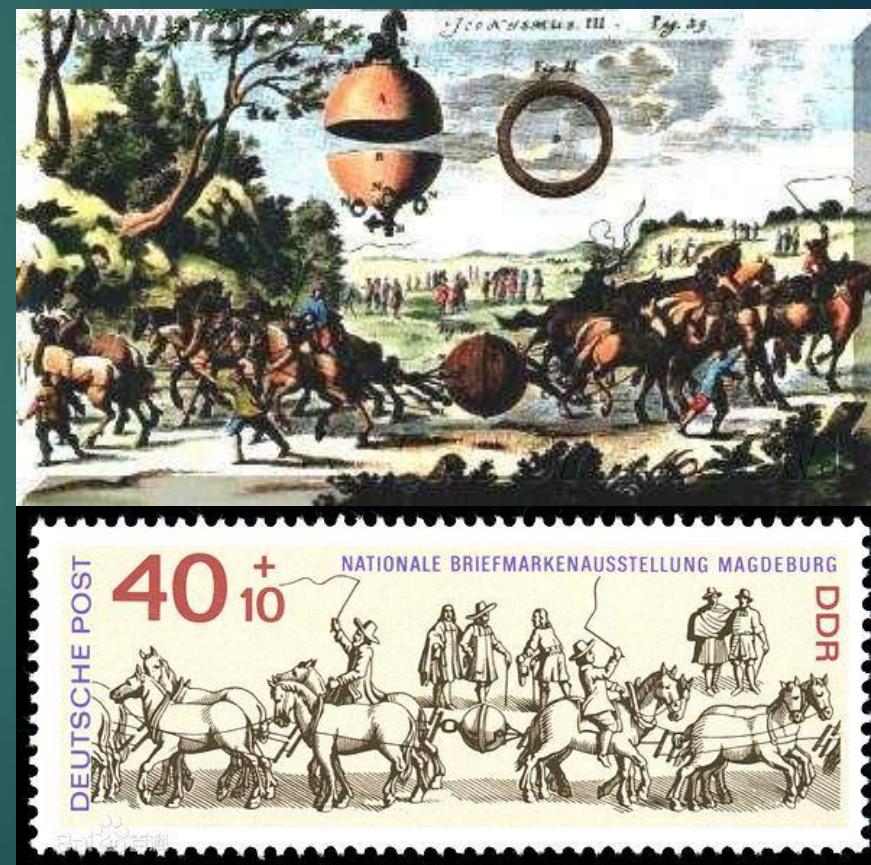
浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

4

1630-40年，画家笔下的伽利略斜面演示实验



1654年，托里拆利与马德堡半球实验



实验背景



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

5

The Nobel Prize in Physics 1957



Photo from the Nobel Foundation archive.

Chen Ning Yang



Photo from the Nobel Foundation archive.

Tsung-Dao (T.D.) Lee



吴健雄

- ▶ 1956年6月，杨振宁、李政道，于《物理评论》发表《弱相互作用中的宇称守恒问题》
- ▶ 1956年下半年，吴健雄完成极化钴核 ^{60}Co β 衰变实验，证明宇称不守恒。

实验背景



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

6

- ▶ 实验是物理学的基础，演示实验也是物理教学的一个重要手段和有机组成部分，在培养优秀人才方面做出了卓越贡献。其主要任务是使学生在获得生动直观感性的基础上，更好地理解 and 掌握物理概念和规律，同时培养学生的观察能力、分析综合能力及逻辑思维能力。
- ▶ 中国物理教学委员会前主任赵凯华教授曾经指出：演示实验是大学物理课的重要组成部分，其中实实在在的实验是最重要的，把实验录制成音像资料供教学使用也是可取的，至于把微观的物理过程图像化即根据教师的理解制作成动画的辅助教学资料课件则要慎重，演示实验的建设应该包括这几部分。

实验预习



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

7

- ▶ 通过互联网等资源搜索并观看有趣的物理演示实验资源，包括视频、图文等（建议时间长度20分钟左右）
- ▶ 思考物理理论课哪部分内容最需要演示实验辅助，在报告纸上写出此部分原理并参考预习资源对该演示实验作设计

实验目的



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

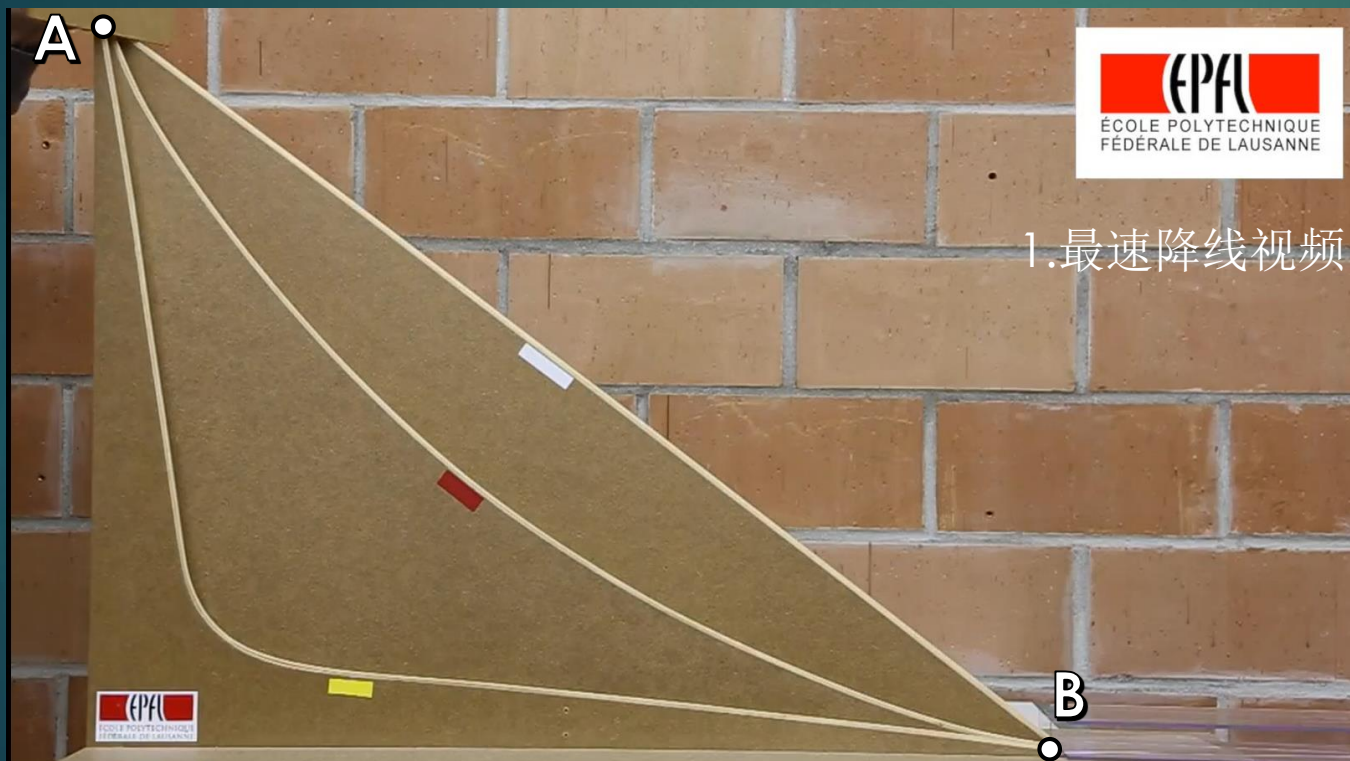
8

- ▶ 了解力、热、声、光、电中几个典型物理演示实验及其原理
- ▶ 操作并观察一组相关演示实验，思考并探索其主要物理内涵
- ▶ 锻炼对演示现象的观察捕捉、描述提炼和综合分析能力
- ▶ 了解相关科学发展历程

实验现象与原理

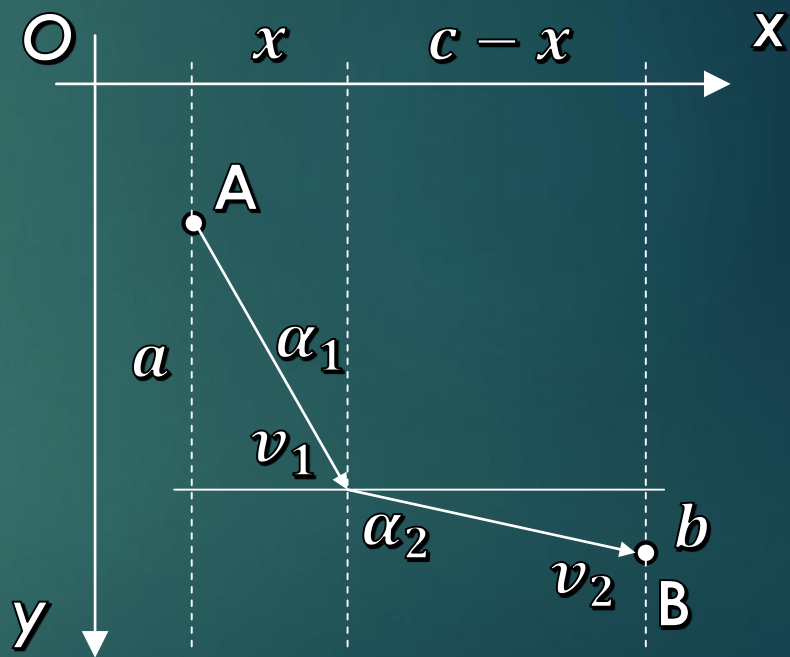


最速降线演示（旋轮线）



1.最速降线视频

1696 Johann Bernoulli 提出



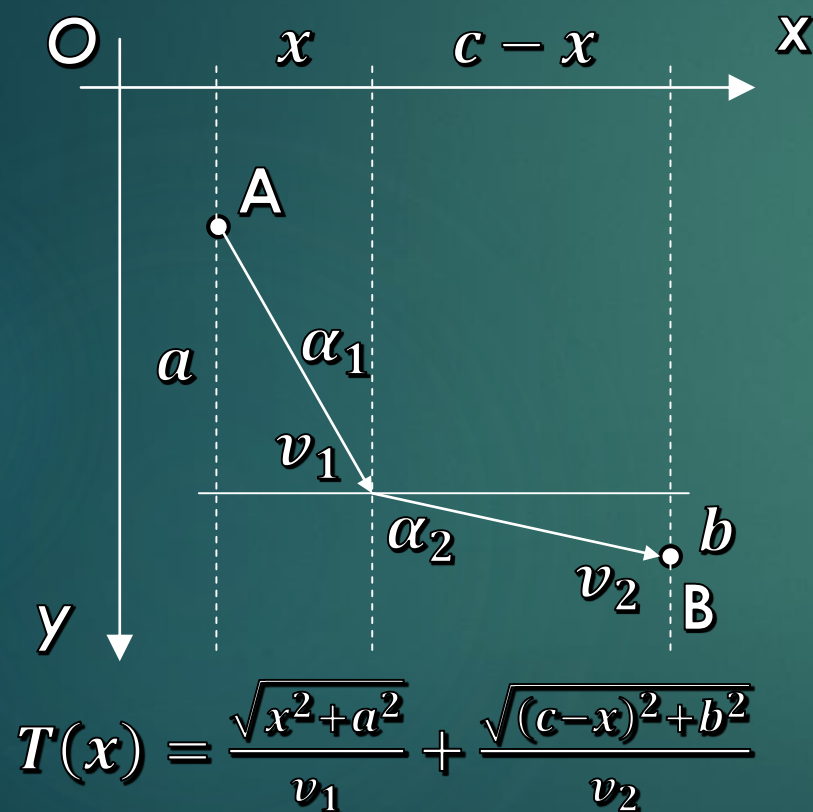
$$T(x) = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(c-x)^2 + b^2}}{v_2}$$

实验现象与原理



最速降线（旋轮线）

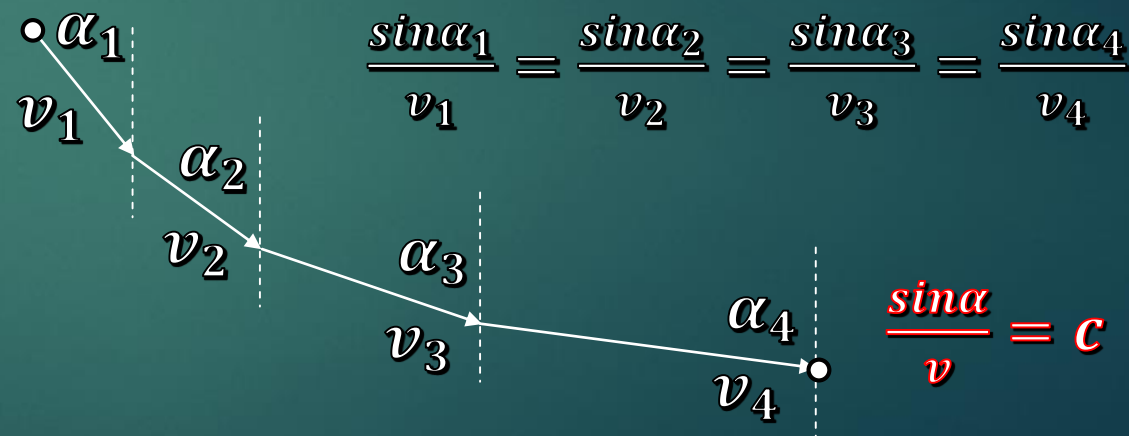
光学最短时间法



$$T \rightarrow T_{min}$$

$$\frac{dT}{dx} = 0$$

$$\frac{x}{v_1 \sqrt{x^2 + a^2}} = \frac{c-x}{v_2 \sqrt{(c-x)^2 + b^2}} \quad \frac{\sin \alpha_1}{v_1} = \frac{\sin \alpha_2}{v_2}$$



费马原理（最短时间原理，1662年）强表述：光传播的路径是需时最少的路径，是光程取极值的路径。

实验现象与原理

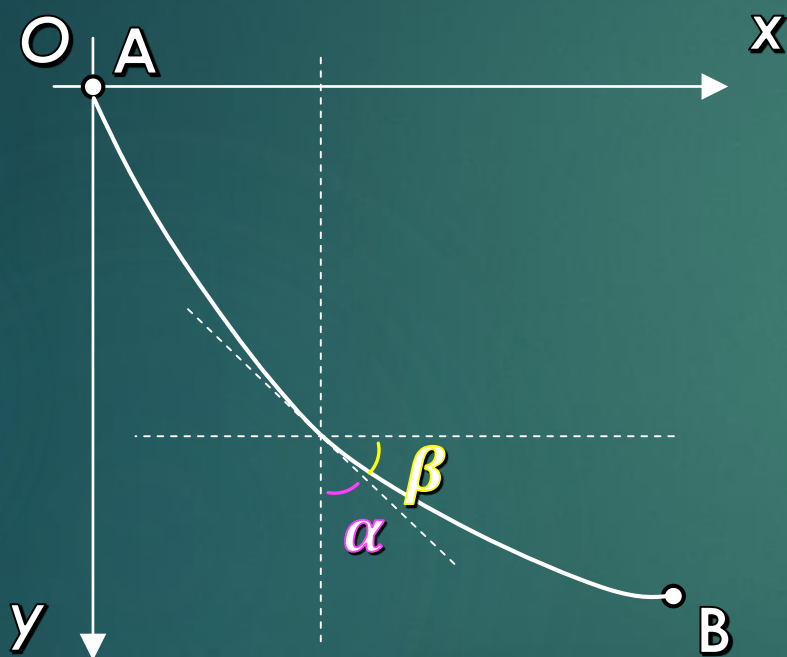


浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

11

最速降线（旋轮线）

光学最短时间法



$$\frac{1}{2}mv^2 = mgy \quad v = \sqrt{2gy}$$

$$\sin\alpha = \frac{1}{\sec\beta} = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2\beta}} = \frac{1}{\sqrt{1+(y')^2}}$$

$$\frac{\sin\alpha}{v} = \frac{1}{\sqrt{2gy(1+(y')^2)}} = c$$

$$y(1+(y')^2) = c \quad \begin{cases} x = A(\theta - \sin\theta) \\ y = A(1 - \cos\theta) \end{cases}$$

实验现象与原理

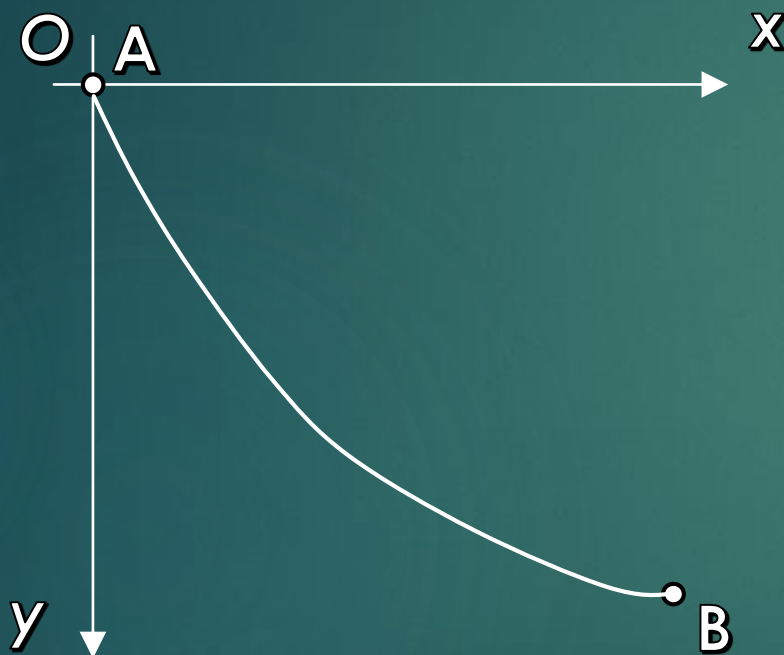


浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

12

最速降线（旋轮线）

欧拉-拉格朗日方程法



$$v = \sqrt{1 + (y')^2} \frac{dx}{dt} = \sqrt{2gy}$$

$$T = \int_{t_1}^{t_2} dt = \int_0^x \frac{dt}{dx} dx = \int_0^x \sqrt{\frac{1 + (y')^2}{2gy}} dx$$

$$L(x, y, y') = \sqrt{\frac{1 + (y')^2}{2gy}} \quad \frac{\partial L}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial L}{\partial y'} \right) = 0$$

$$L - y' \left(\frac{\partial L}{\partial y'} \right) = c \quad y(1 + (y')^2) = c$$

$$\begin{cases} x = A(\theta - \sin\theta) \\ y = A(1 - \cos\theta) \end{cases}$$

实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

13

乾清宫



实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

14

乾清宫



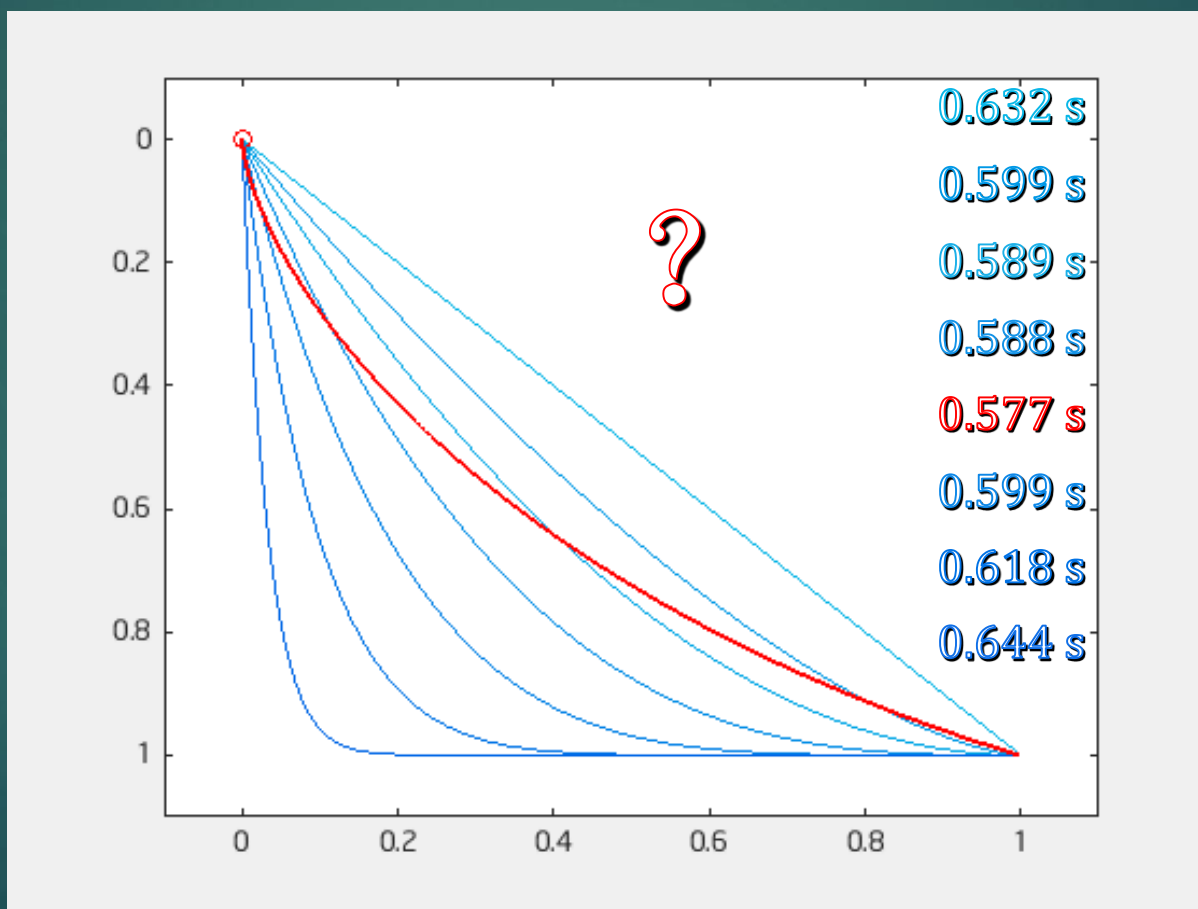
实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

15

最速降线（旋轮线） $\begin{cases} x = A(\theta - \sin\theta) \\ y = A(1 - \cos\theta) \end{cases}$



实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

16

质点运动

- ▶ 质量 m
- ▶ 速度 v
- ▶ 动量 $p = mv$
- ▶ 力 $F = \dot{p} = m\dot{v}$

刚体运动

- ▶ 转动惯量 I
- ▶ 角速度 ω
- ▶ 角动量 $L = I\omega = r \times p$
- ▶ 力矩 $M = \dot{L} = I\dot{\omega}$

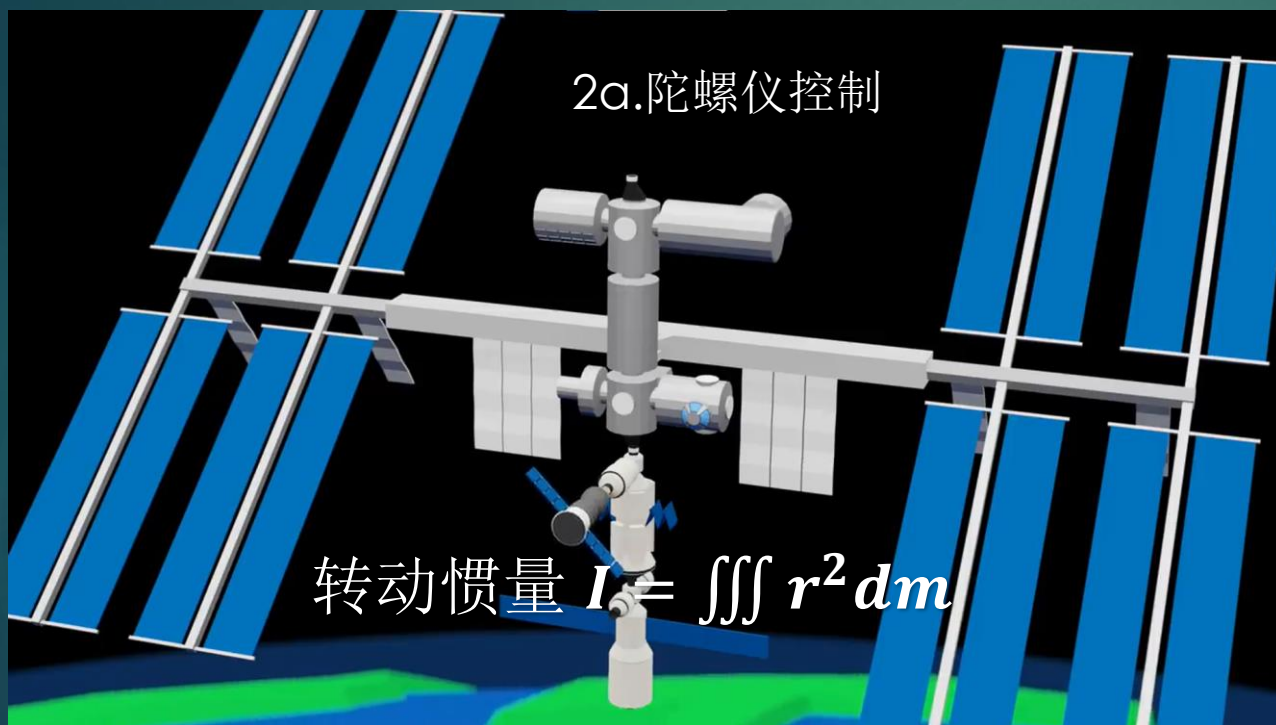
实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

17

空间站与陀螺仪



转椅与自行车轮



实验现象与原理



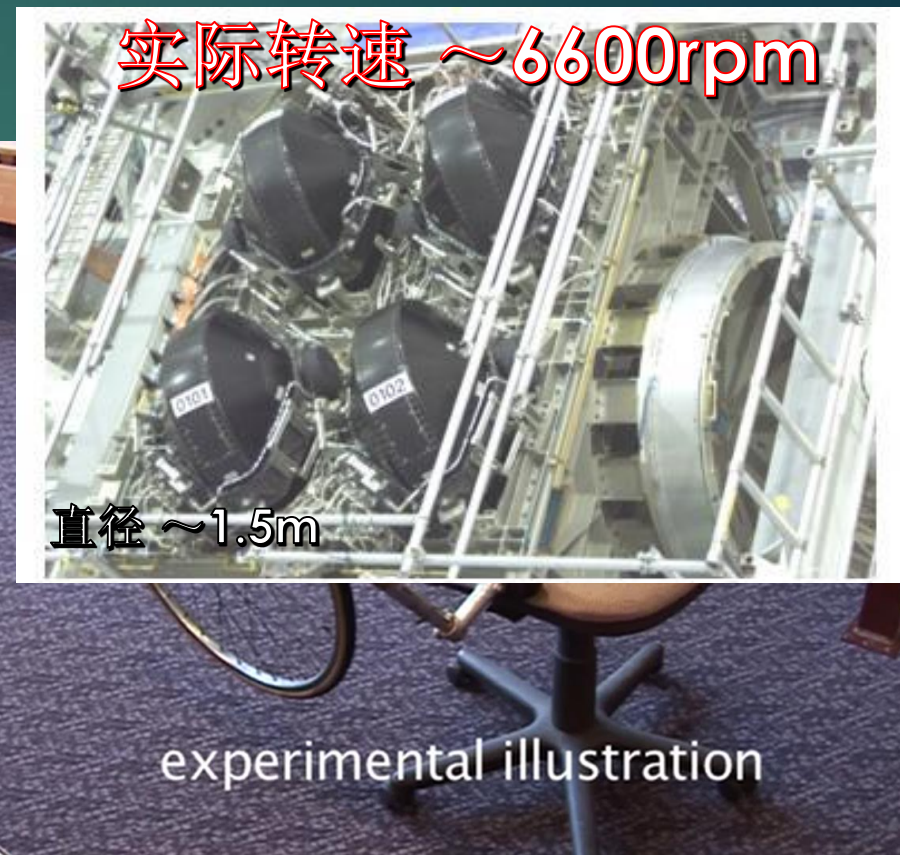
浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

18



质量 419725kg
长 73.0m 宽 109.0m
轨道周期: 92.84min

转动惯量 $I = \iiint r^2 dm$



尝试估算空间站陀螺仪的角速度

实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

19

中国空间站



实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

20

激光的反射、折射、全反射

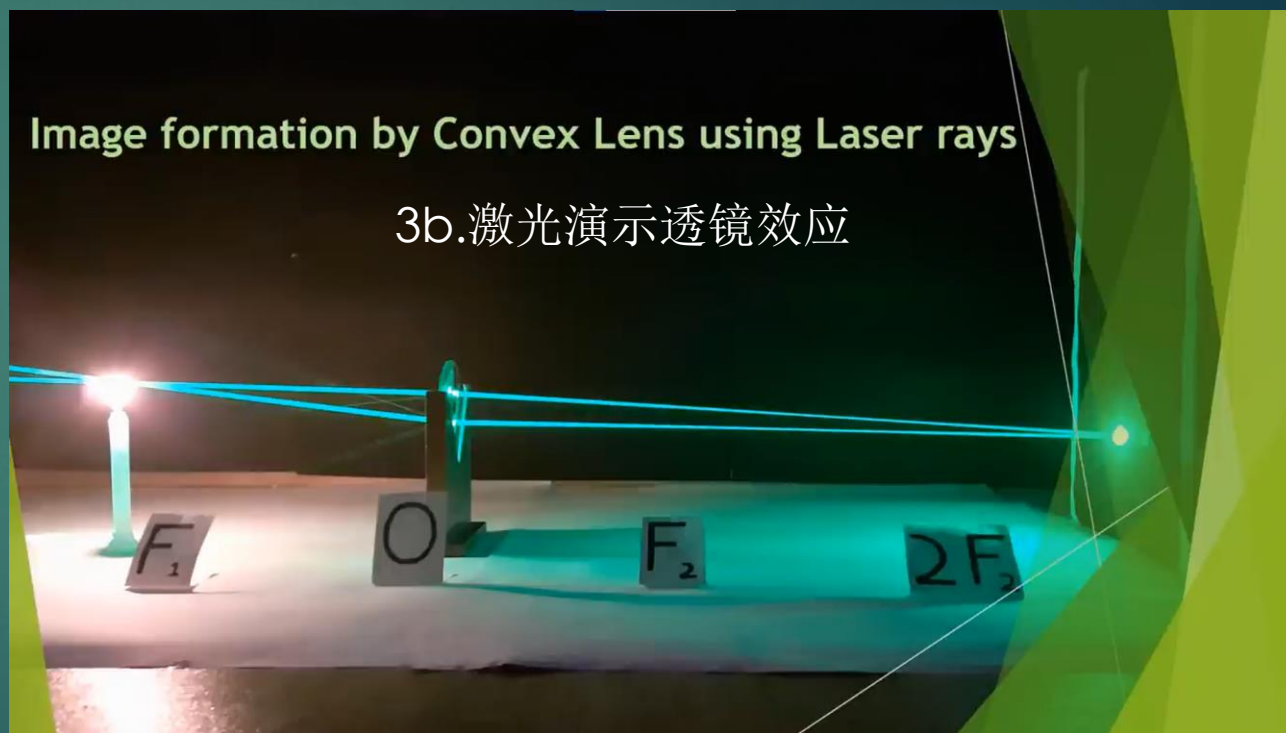
激光与凸透镜

3a. 激光的反射折射等



Image formation by Convex Lens using Laser rays

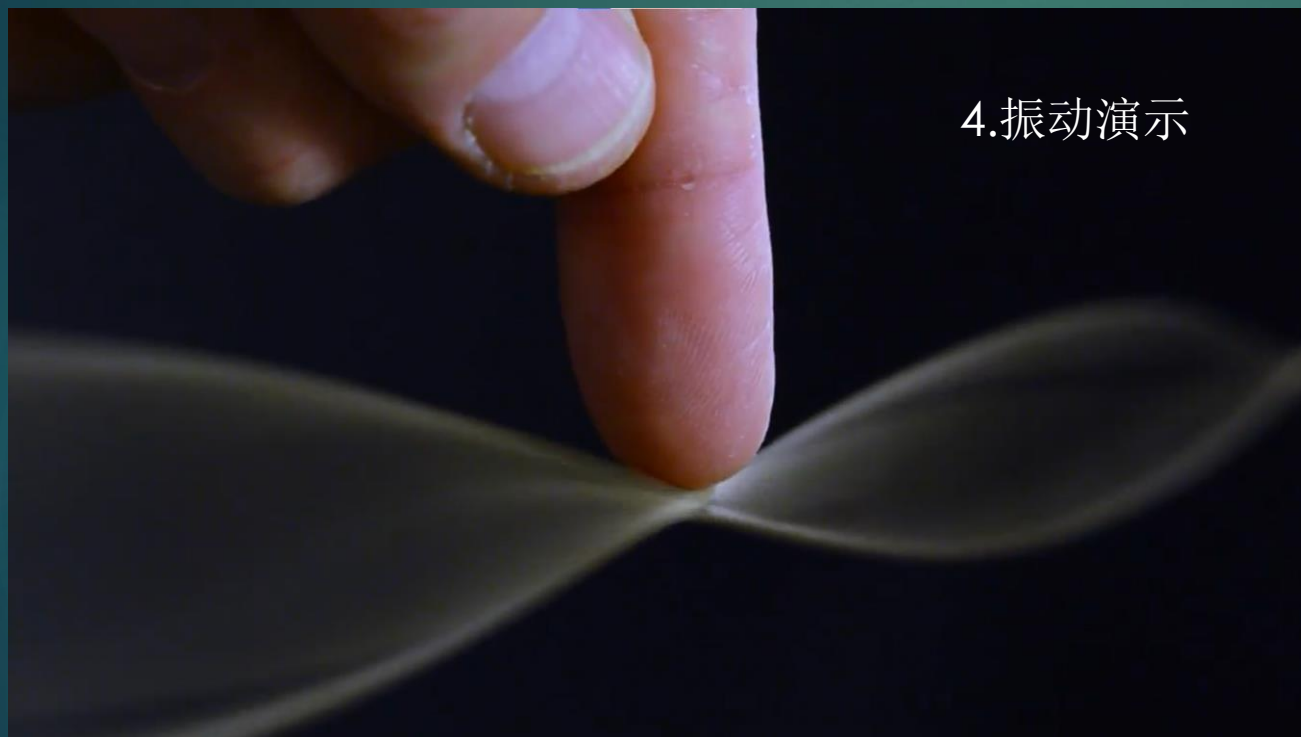
3b. 激光演示透镜效应



实验现象与原理



一维振动（弦与杆）



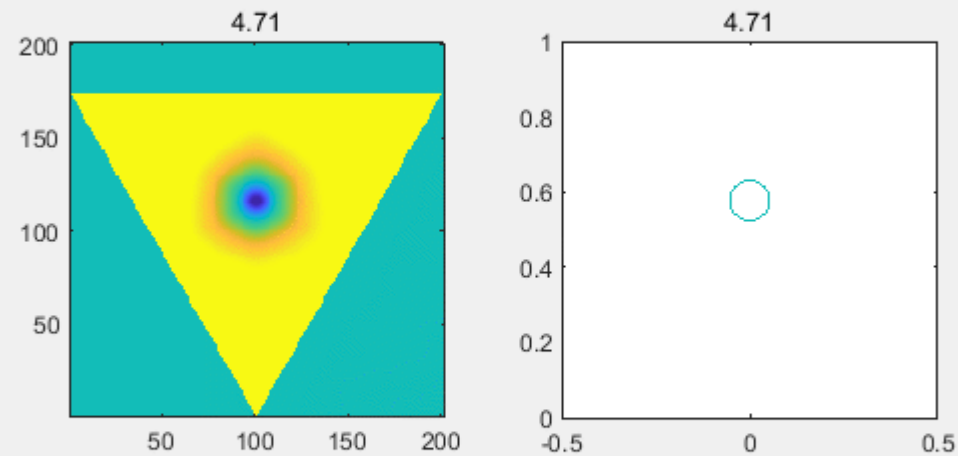
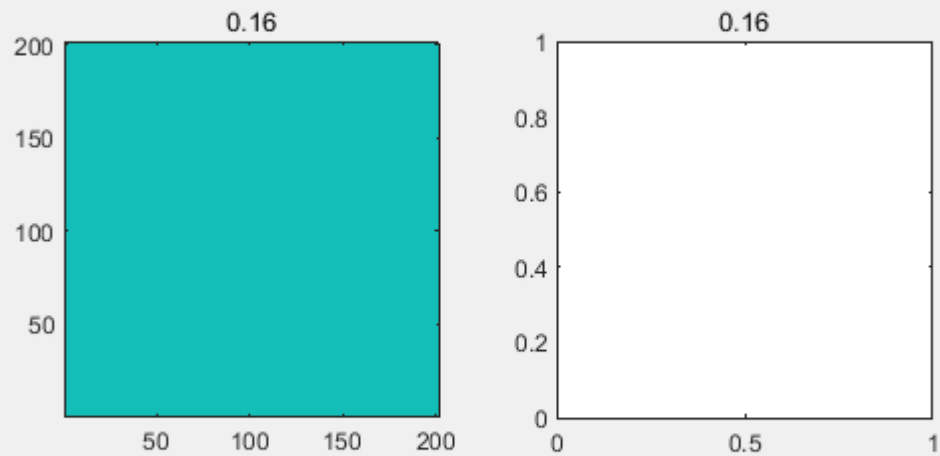
► 一维线振动

- $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{F}{\rho_l} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$
- 波动方程
- 无色散: $c_l = \sqrt{F/\rho_l}$

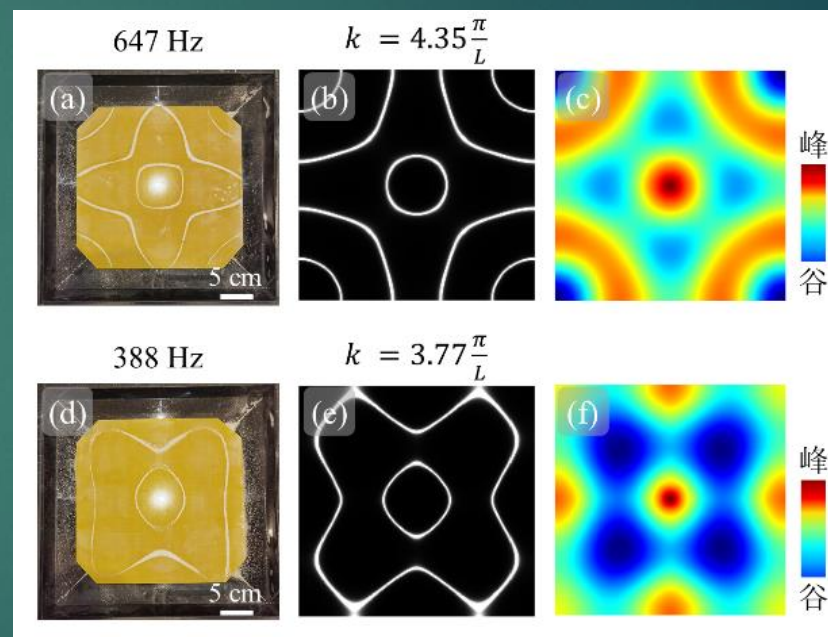
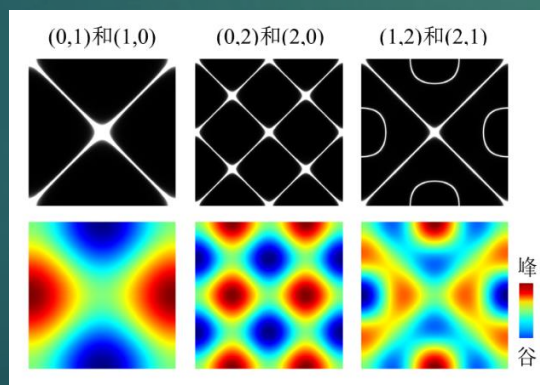
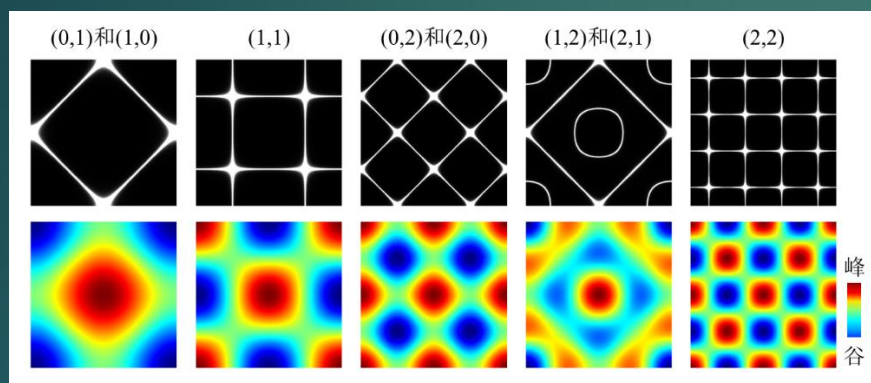
► 一维杆振动

- $\rho S \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0$
- 横振动方程
- 有色散: $c_t = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho S}{EJ} \right)^{\frac{1}{4}} \omega^{-\frac{1}{2}}$

克拉尼图



克拉尼图



实验现象与原理



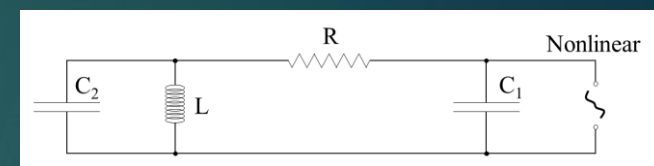
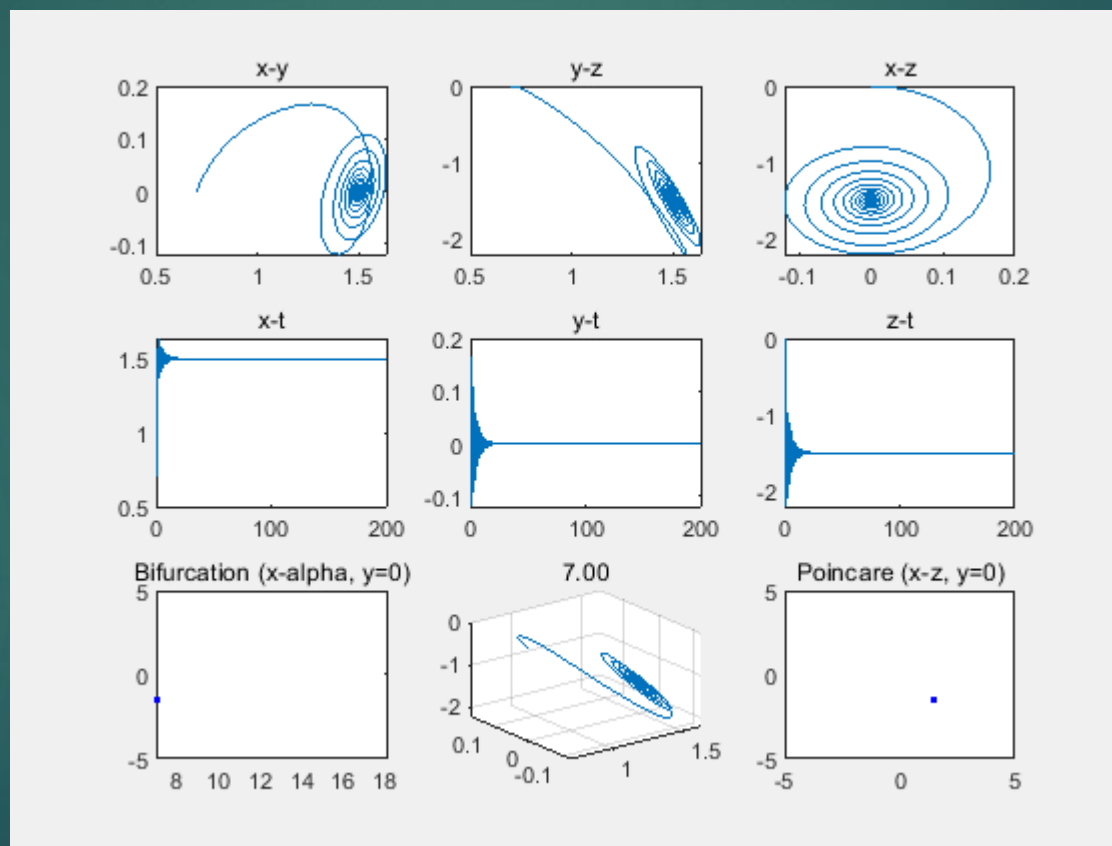
浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

24

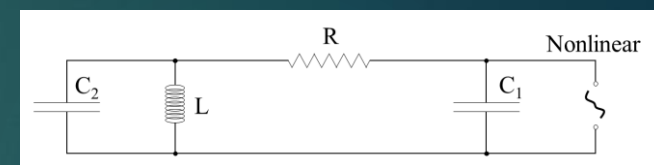
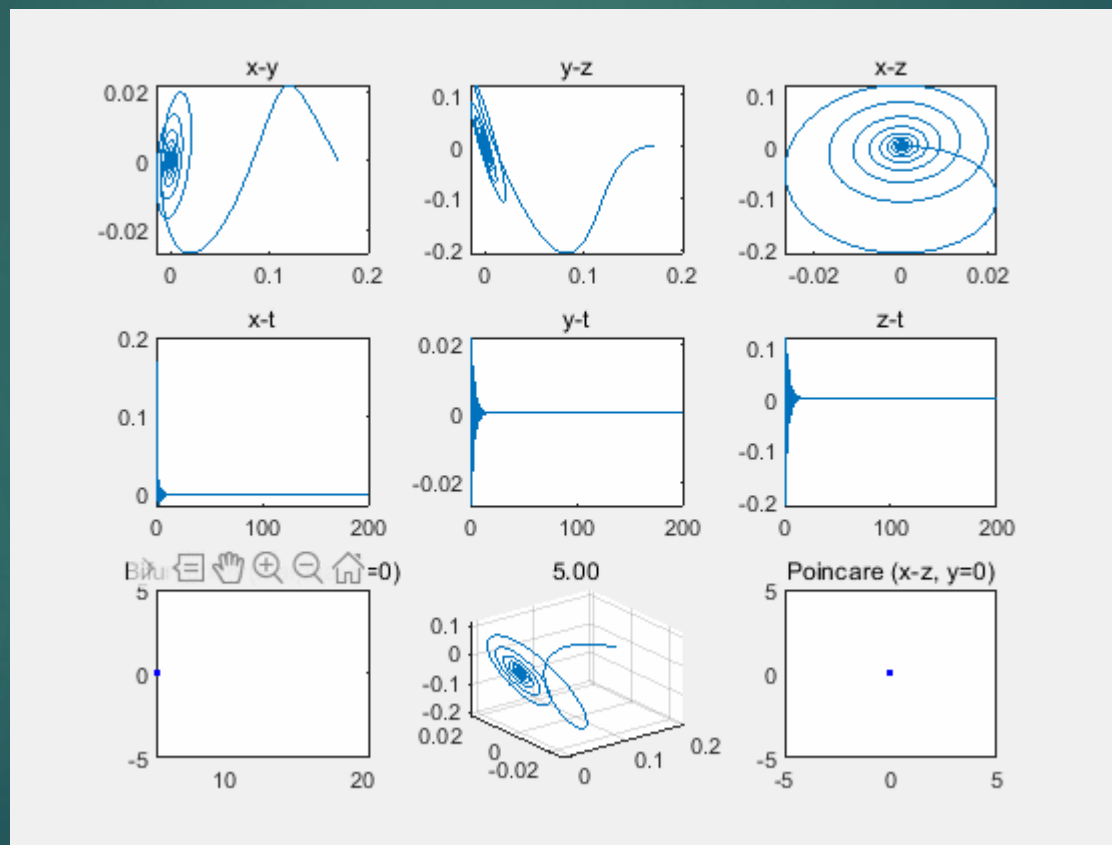
2020年5月5日 虎门大桥



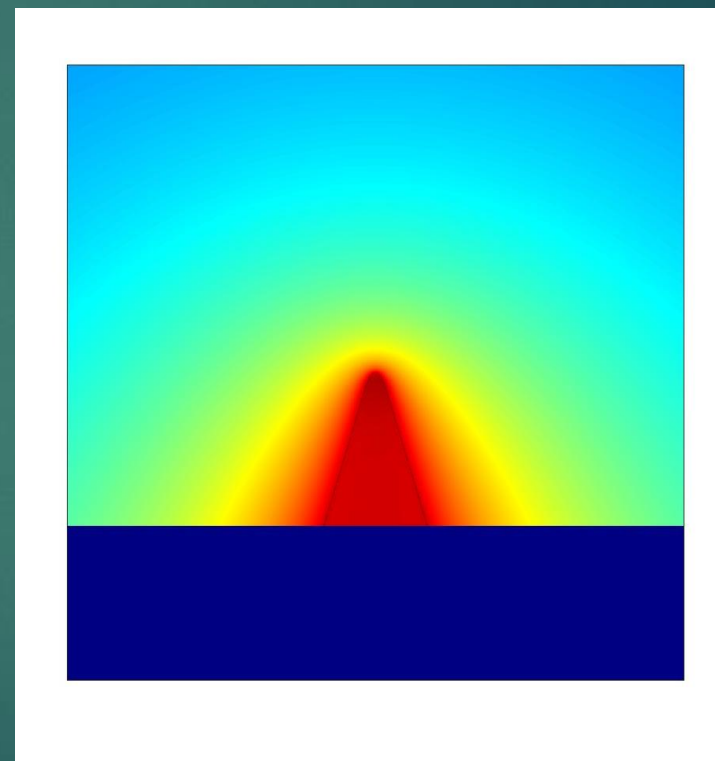
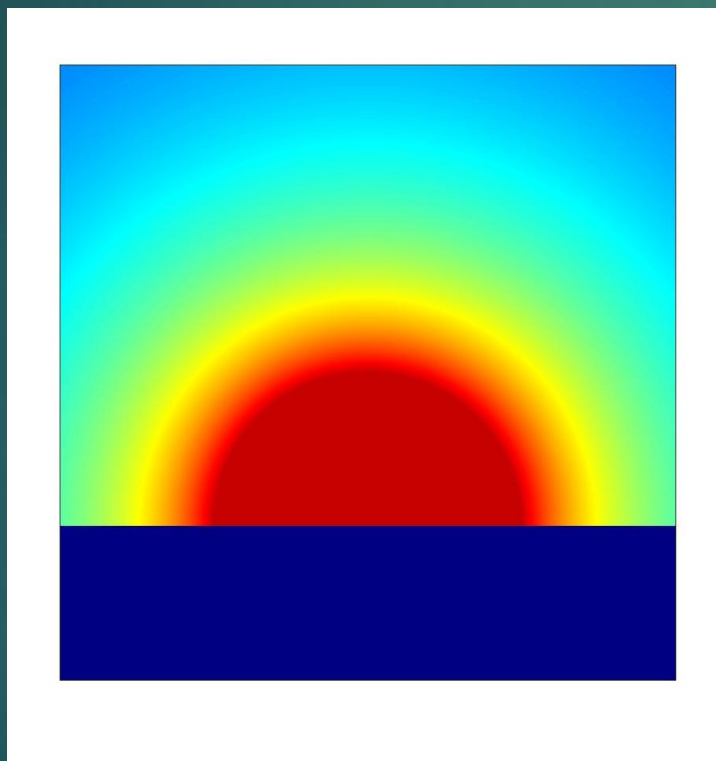
非线性电路的混沌（2吸引子）



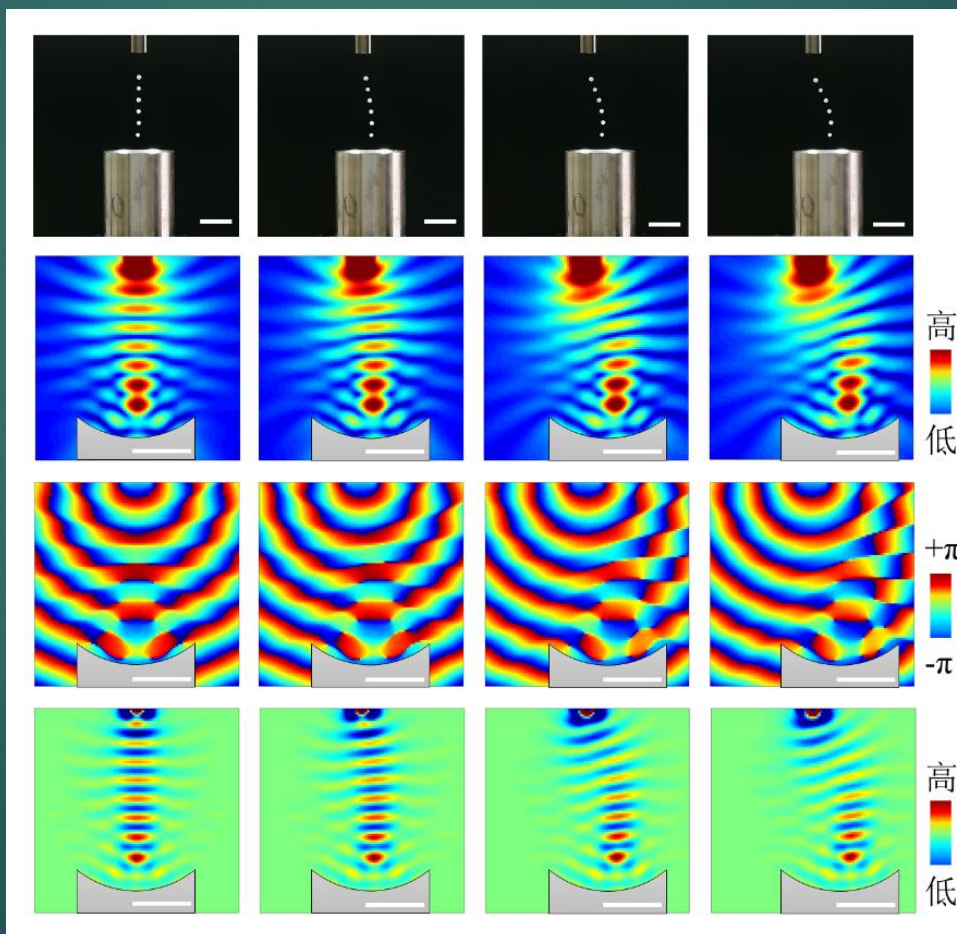
非线性电路的混沌（5吸引子）



尖端放电



超声悬浮



实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

29

声音、振动模式与共振



6.声音演示

实验现象与原理



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

30

电的演示



磁的演示



实验内容



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

31

- ▶ 根据选课内容在力、热、声、光、电类演示实验仪器中选择相关实验装置
- ▶ 按下实验台绿色电源键，初步观察实验现象并思考（课程结束时关闭电源）
- ▶ 在其中选择一个或一组相关的实验（不超过3个）
- ▶ 通过调节参数或者改变观察方式，对演示现象进行较为全面的观察并通过手机拍摄记录一组照片或一段视频
- ▶ 通过记录的照片或视频撰写一份实验现象原理报告

实验要求



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

32

- ▶ 实验原理、仪器等：以自主设计报告为内容
- ▶ 数据处理：图文并茂（普通打印照片）的实验现象和原理报告
- ▶ 误差分析：实验观测存在的问题，例如现象不清晰、观察视角、调节等
- ▶ 心得体会：对演示意义的探讨，对课程的反馈
- ▶ 原始数据：拍摄照片给老师查看、老师签字
- ▶ 东四2层学生部落提交纸质实验报告（打印照片）



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

33

谢谢观看

浙江大学 物理实验教学中心



- ▶ 大学物理实验I, 李海洋等, 2014
- ▶ 物理学史 (第2版), 郭奕玲等, 2005
- ▶ 中国现代物理学简史, 申先甲, 2021
- ▶ The Brachistochrone Curve: The Problem of Quickest Descent, Yutaka Nishiyama, 2011
- ▶ Beltrami identity——Wikipedia
- ▶ The Brachistochrone Curve, Paige R MacDonald, 2014
- ▶ Space Station Control Moment Gyroscope Lessons Learned, Charles Gurrisi, et al, 2010
- ▶ 来源于网络的图片与短片