



北航宇航学院

空气动力学(32学时)

主讲：覃粒子 陈兵

qlz@buaa.edu.cn

沙河主楼D510, 13911744896

Markchien@buaa.edu.cn

沙河主楼D519, 13683012881

2024年 春季学期



第一讲 Part1 引论

1. 流动的类型
2. 研究流动问题的模式
3. 流动画廊
4. 本课程的目标、内容及要求



流体、流动与流体力学

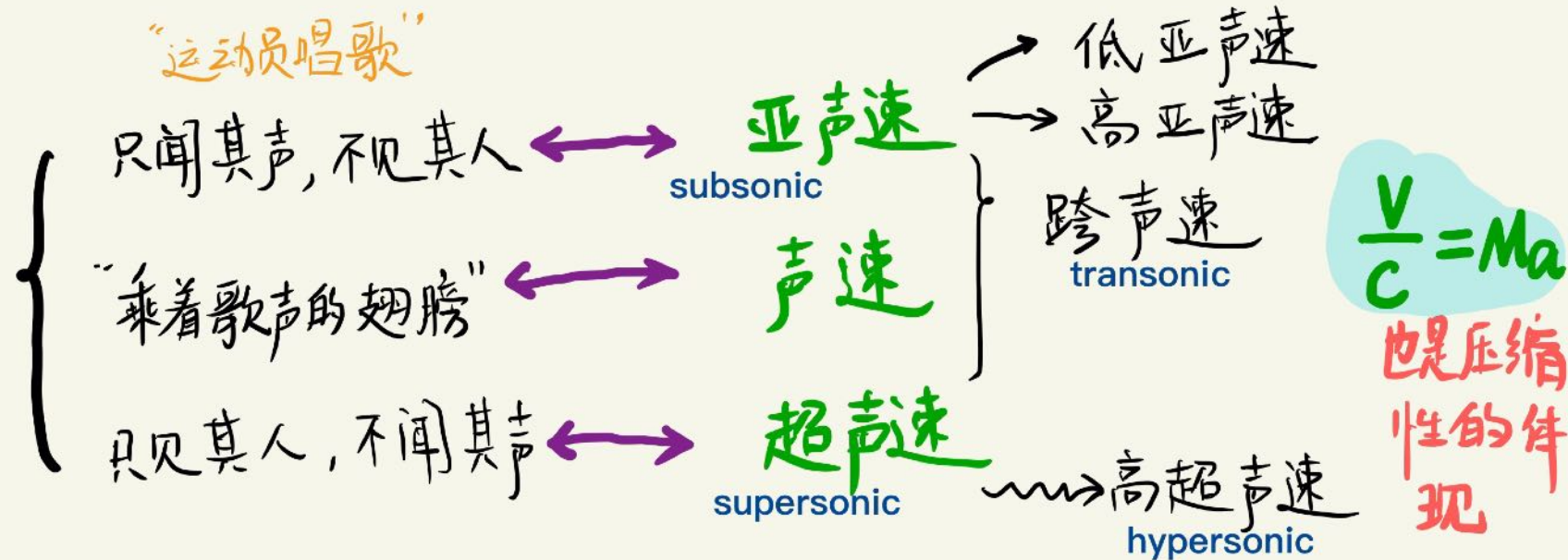
- 回忆：质点、刚体。
- 在力学研究上我们引入两种新的力学模型，即：流体与固体。
- **流体** —— 是这样一种变形体，当施加剪切外力时，不论外力如何之小，它总是会发生变形，而且这个变形一直会继续下去。这种不断持续的变形运动，就称为**流动**。
- **流体力学** —— 研究流体的机械运动和力的作用规律的科学。
- **空气动力学** —— 研究物体和空气作相对运动时，空气的运动规律以及空气与物体之间作用力的规律。



1. 流动的类型

从速度角度

低速流
高速流
得找一个参照物
声速
sound speed





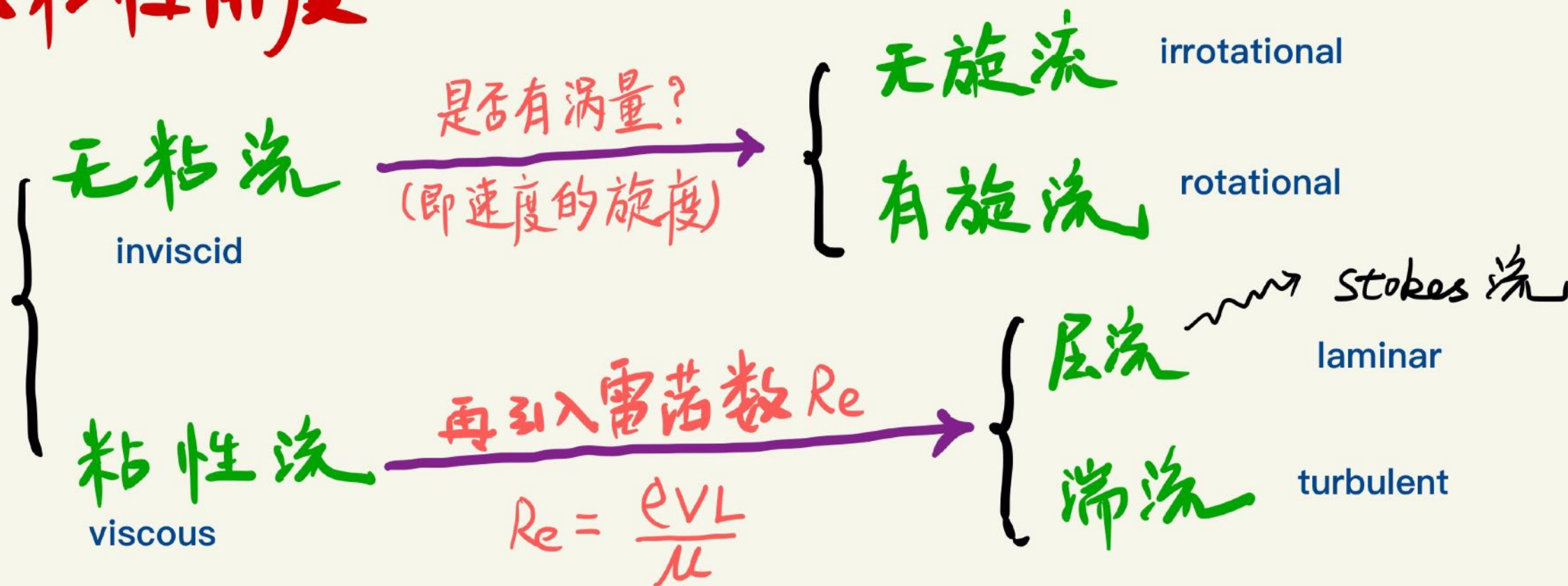
1. 流动的类型





1. 流动的类型

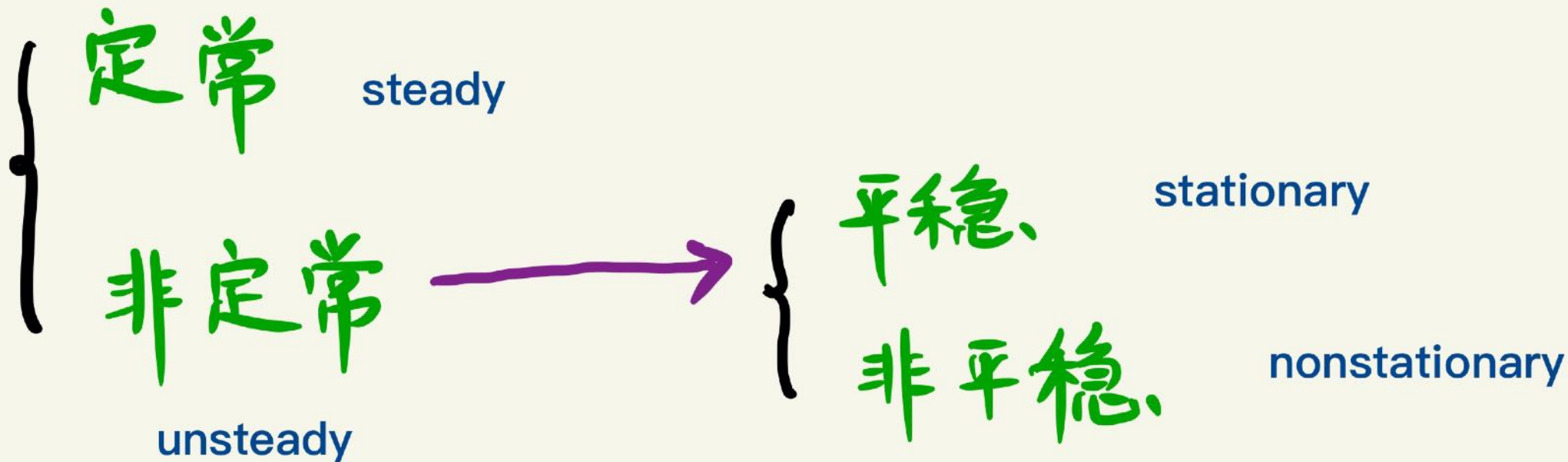
从粘性角度





1. 流动的类型

从观察者的时间角度





1. 流动的类型

从工热角度

$$ds \neq 0$$



等熵

isentropic

非等熵



均熵

homoentropic

$$dQ \neq 0$$



绝热

adiabatic

传热



1. 流动的类型

其他

两相/多相流 ; 化学反应流
multi-phase

流体与其他物理化学过程耦合

3.研究流动问题的模式

两种类型的问题 —— 正问题与反问题

正问题：给定了边界条件与初始条件，已知流动装置的几何描述，求出流动装置内的流动参数。

(气动设计)**反问题**：给定了边界条件与初始条件，明确想要得到的流动状态，确定流道的几何描述。

其他类型反问题：

- 特征参数控制反问题；源项控制反问题
- 边界条件反问题；初始条件反问题



3. 研究流动问题的模式

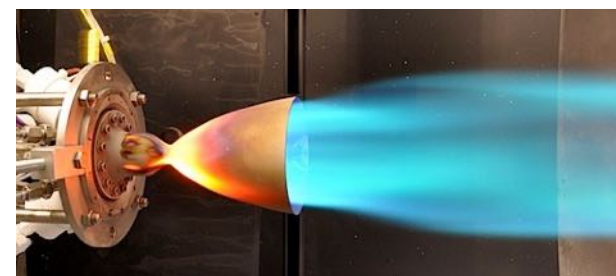
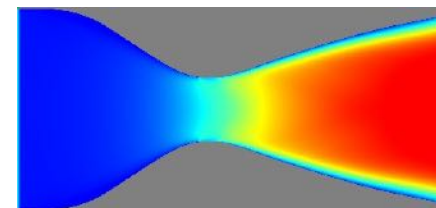
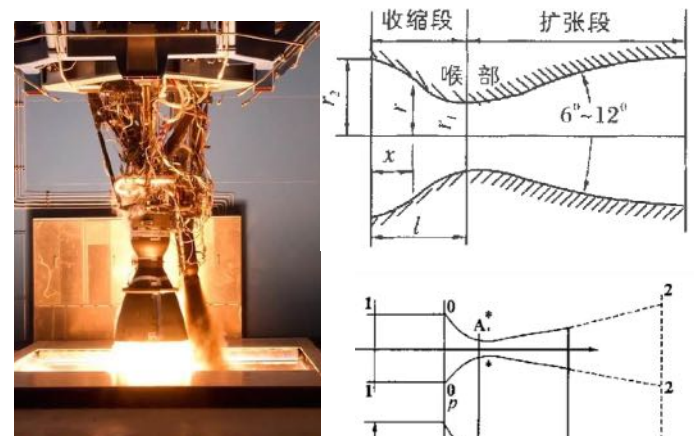
两类技术途径 ——

1. 理论分析

流动现象 → 物理模型 → 数学模型 → 求解条件 →
结果分析 → 改进模型 → 结果归纳 → 规律提炼

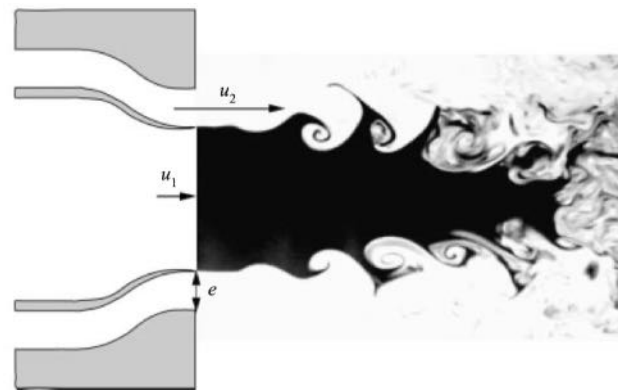
2. 实验观测

流动现象 → 发生条件 → 相似准则 → 现象复现 →
现象测量 → 改变条件 → 结果归纳 → 规律提炼



3. 流动画廊

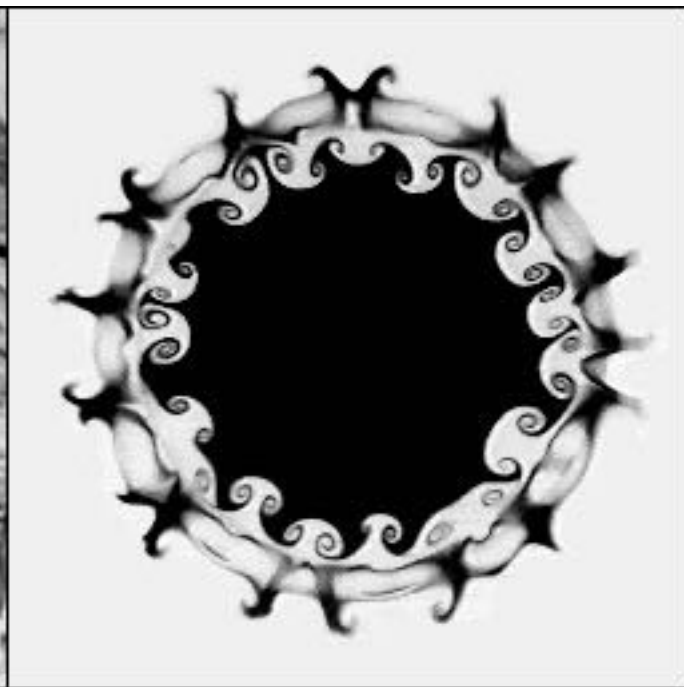
同轴射流 近场的剪切不稳定性



- 纵向和横向不稳定性的发展几乎是同时进行的。
- 横向不稳定产生的流向涡流（右图中的蘑菇状结构）。
- 界面面积显著增加，并与不稳定结构的波峰卷起直接相关，在跨度和流向上都是如此。
- 形成了有效的掺混。



轴截面

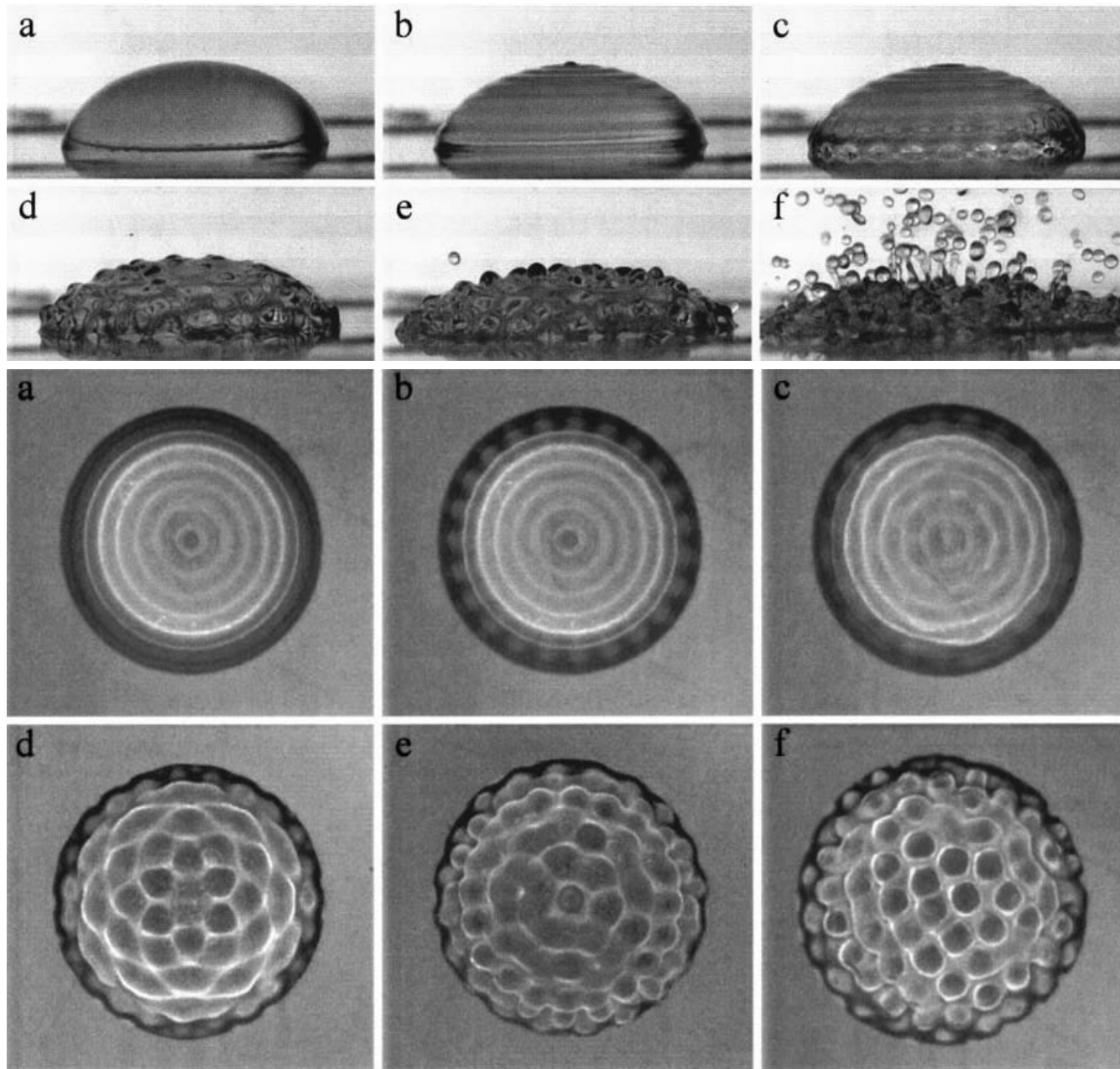


横截面
(1/2喷嘴直径处)

静滴在受迫振动下的模态与形状

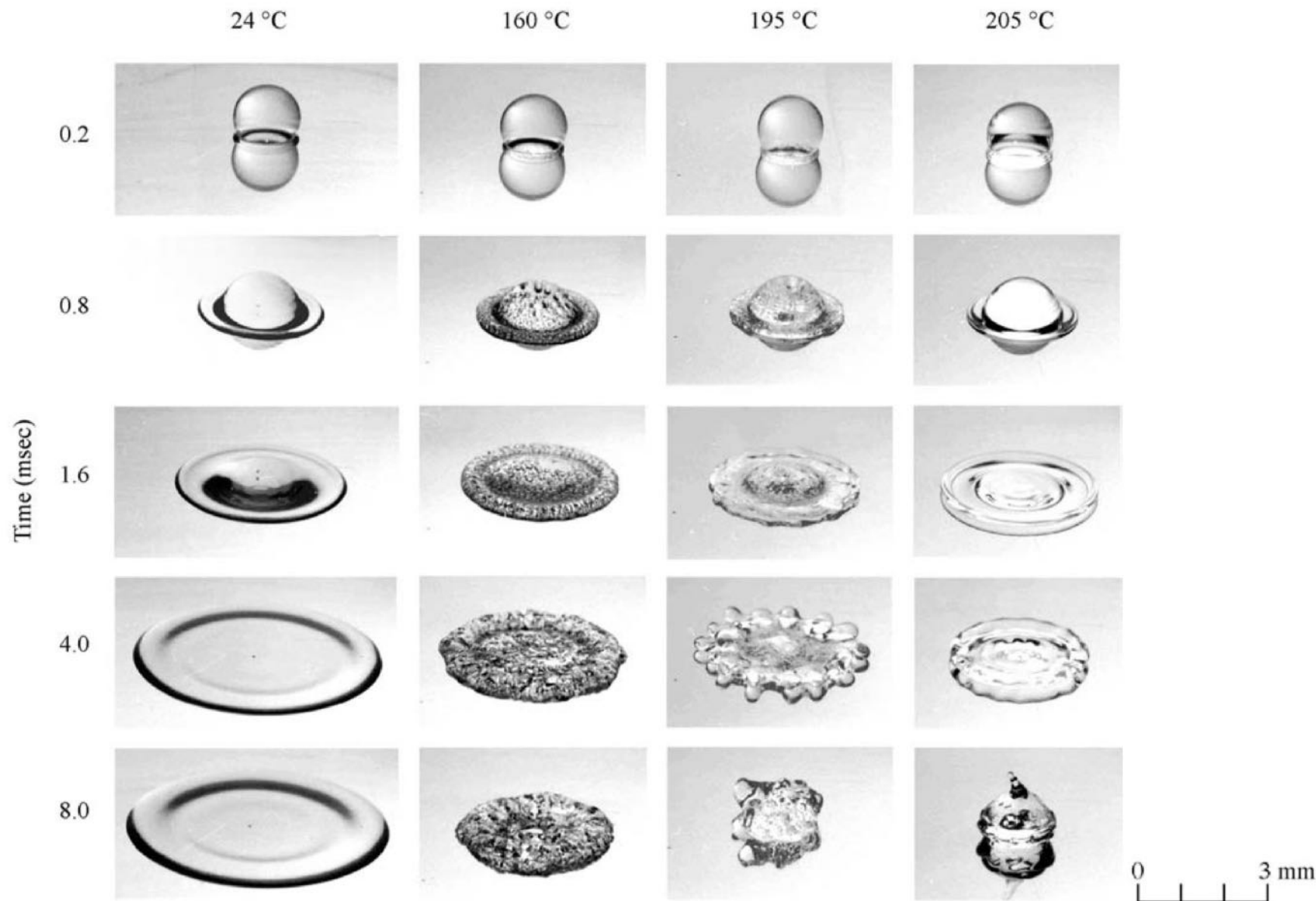
水滴 (0.1毫升) 在缓坡面上的受迫振动(903Hz)
(a) 未受迫, (b) 轴对称波, (c) 轴对称波和方位波的耦合, (d) 复杂的预射状态, (e) 开始出现二次液滴, (f) 雾化

水滴 (0.1毫升) 在903Hz受迫振动下的模态过渡:
(a) 轴对称波, (b) 方位波, (c) 方位模态崩溃, (d) 晶格模态, (e) 晶格模态崩溃, (f) 预射模式。



正庚烷液滴在不锈钢表面的撞击、扩散和沸腾过程

- 液滴的撞击速度 1m/s。
- 液滴韦伯数 43。
- 初始液滴直径 1.5mm。
- 第一列，在液滴中可以看到一个夹带的空气泡。
- 第二、三列，剧烈气化，大量气泡生成。
- 第四列，超过了Leidenfrost温度，气泡就会消失。
- 前三行的形状都具有相似性。



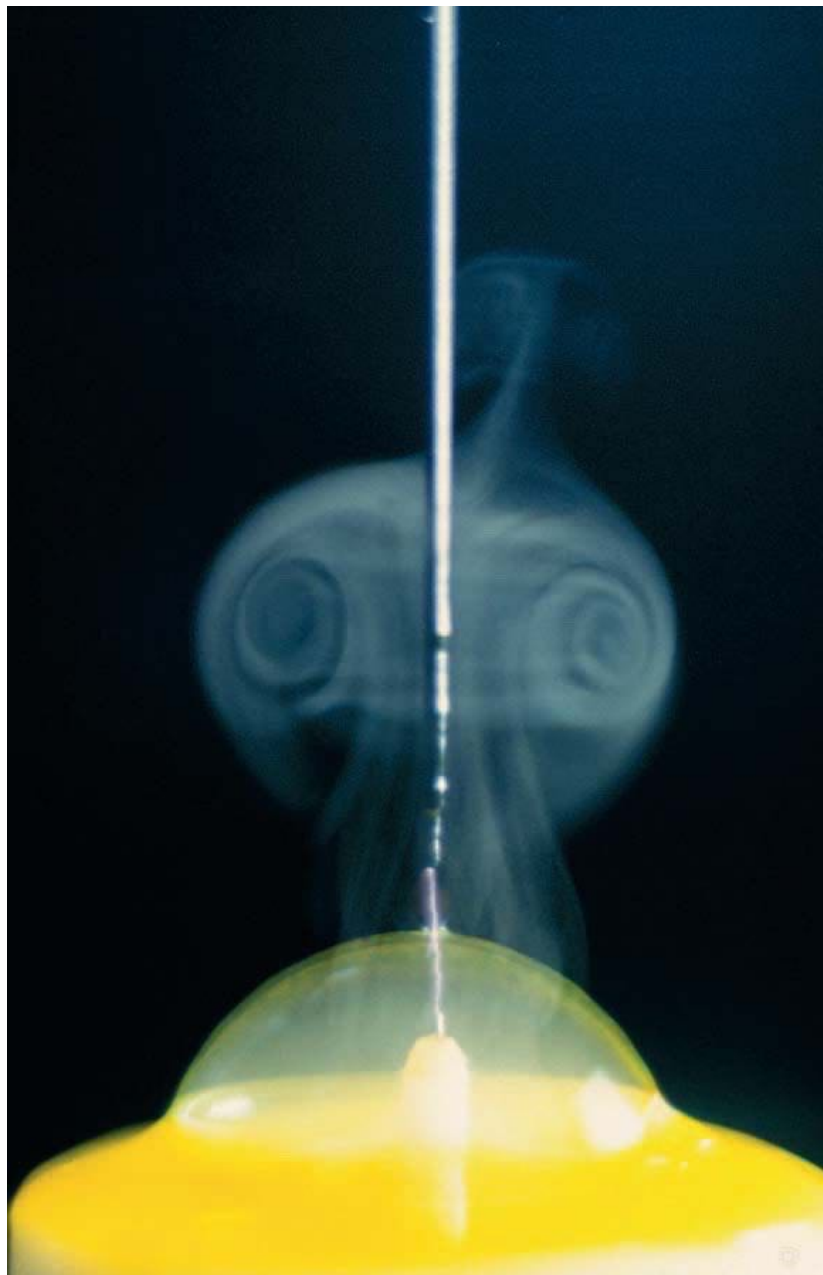
水球在低重力环境下破裂

- 上左：在注射器针头穿刺后，在穿刺位置附近留下一个光滑的表面，从表面沿特定方向产生喷雾。
- 上右：大约 2.5 升的波浪状水团在膜破裂后盘旋。
- 下左：自由漂浮的红色水团在受到蓝色水射流的撞击后，扁平化，冠状化，并破碎。
- 下右：在一个自由漂浮的水团里用吸管吹出一个大气泡。



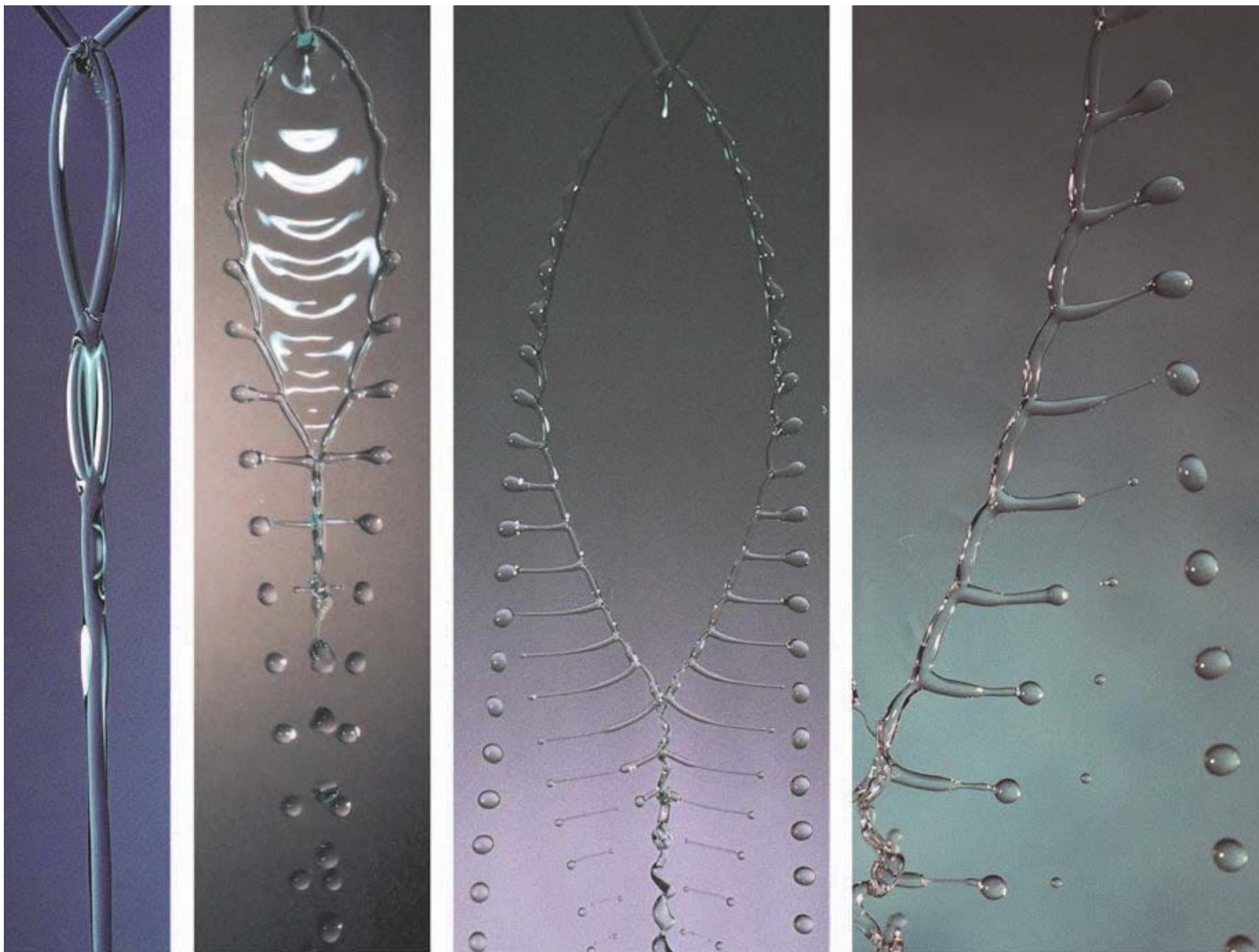
肥皂泡破裂

- 肥皂泡是在自由表面上生成，气泡底宽1.54厘米。
- 肥皂泡内充满了烟雾。
- 破裂后形成了一个涡环。
- 图片采用了三重曝光：（1）火花产生，（2）气泡被火花击穿，（3）涡环生成



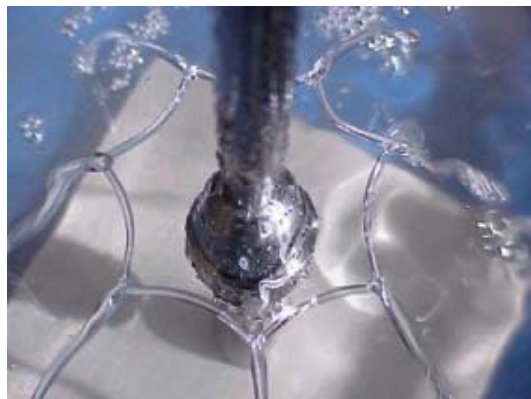
流体鱼骨 Fluid fishbone

- 由相同的射流按一定倾斜角撞击产生的自由表面流
- 流体介质为甘油水溶液
- 圆形喷孔直径2mm
- 流量10-40cc/s
- 特征流速1-3米/秒
- 调节参数：流速



流体多边形 Fluid polygons

- 从环形缝隙中径向挤压粘性流体
- 间隙宽度1mm，半径3mm
- 甘油-水或聚乙二醇溶液
- 流量20cc/s
- 呈现边数从4到16不等的多边形
- 调节参数：粘度





问题：
为什么会有泡泡？



射流入水过程中的气体夹带

- 稳定垂直层流射流（直径6毫米，射流速度303cm/s），形似一根光滑的圆柱形杆。
- 射流在静止的水池上，以44cm/s的速度从右向左平移。
- 撞击点上游的毛细波，下游有一个陡峭的空腔和自由表面尾流。
- 空气从空腔底部的尖角处被吸入，形成空气夹带。（当射流静止或以低于临界平移速度时，夹带不会发生）



原子弹爆炸与液滴入水

- 二者在大尺度结构有相似之处。
- 主涡环；
- 从环上“脱落”的四个涡环；
- 连接主环与边界表面反向涡环之间的“茎”。



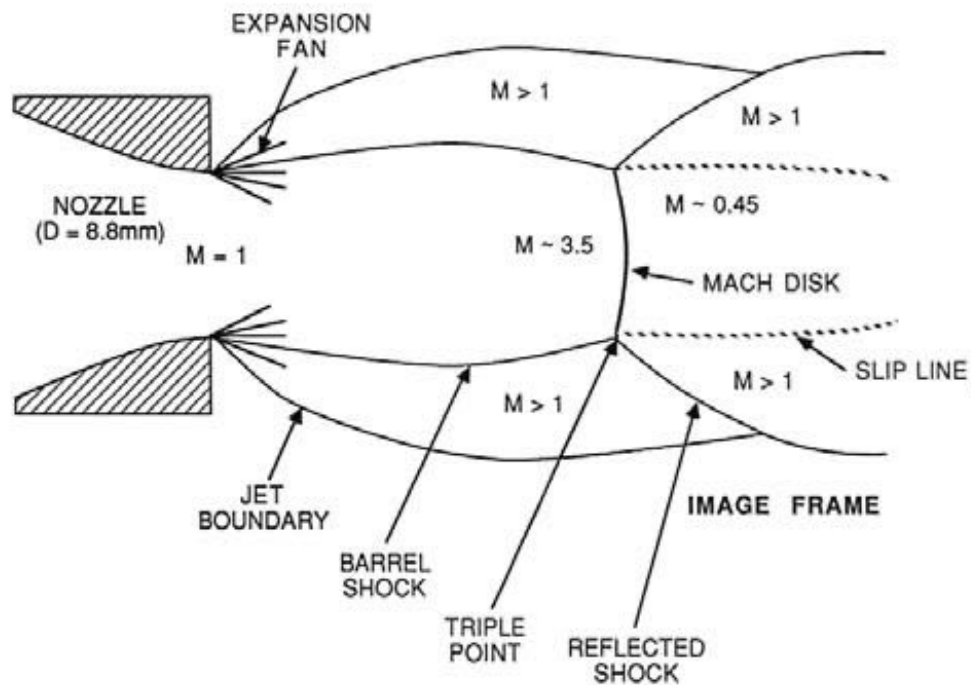
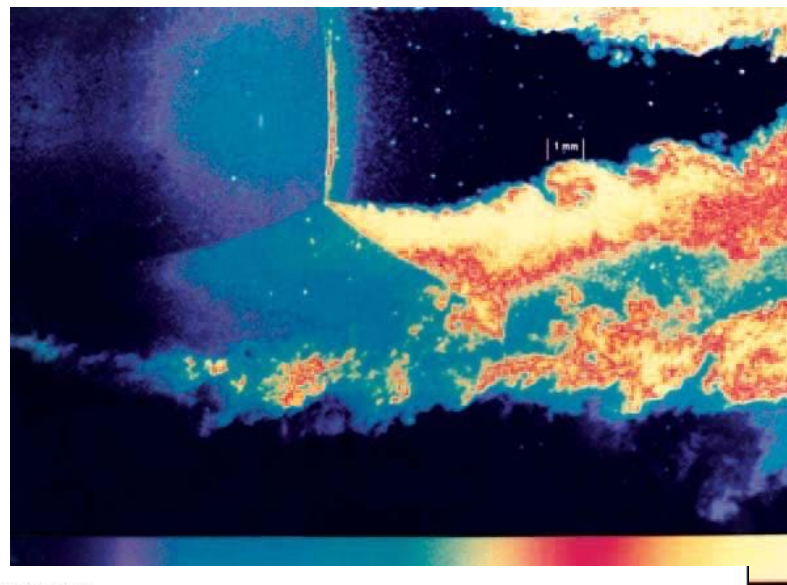
在内华达州进行的地面核试验(1957)



落入清水池中的水滴
照片倒置，水滴被荧光素染色

超声速欠膨胀射流

- 马赫盘
- 桶状激波
- 反射激波
- 三波点



飞机尾涡与下洗现象

- Cessna Citation VI 以大约 313 公里/小时速度在 Lake Tahoe 上空飞行。
- 基于平均气动弦长 2.1m 的雷诺数为 1.1×10^7
- 弦长为 5cm、长宽比为 4.2 的矩形平板以 4.5° 的攻角放置在水槽中。
- 基于弦长的雷诺数为 5700.



水槽中的模型实验
(横断面视图, 后缘下游28个弦长)



水槽中的模型实验
(侧视图, 下游8个弦长)

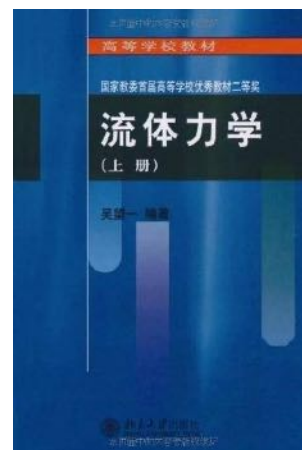
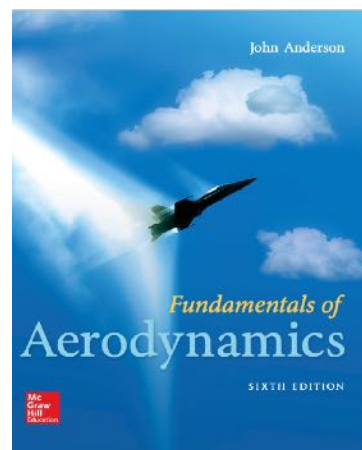
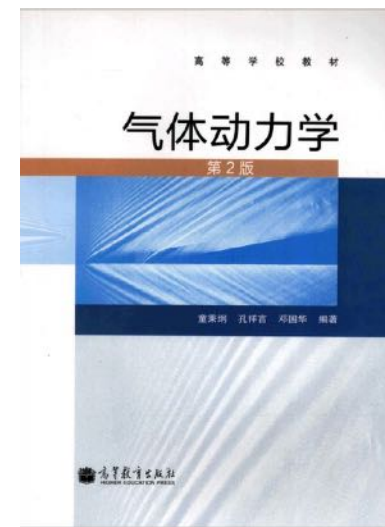
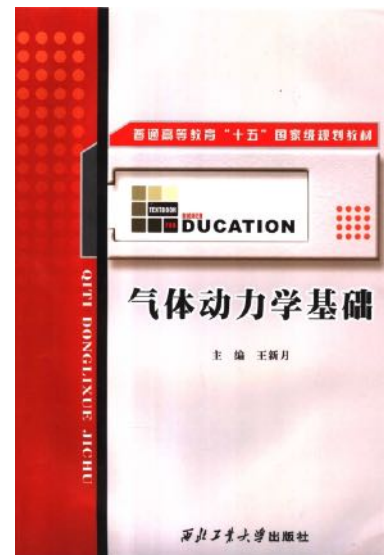
4.本课程的目标、内容及要求



- 深刻理解流体力学的基本概念，掌握描述流动的基本方程组；能独立运用流体力学的基本理论和方法来分析解决推进动力装置中的基本流动问题。
- 建立从现象到本质理性分析思维，培养探究流动机理问题的钻研精神，激发专业兴趣与学习信心。
- 逐步具备“分析现象——引入条件——数学表述——求解模型”的研究思维与分析能力。
- 锻炼文献检索、归纳总结、专业表达、拓展学习等从事专业研究所需的基本能力要素。

4.本课程的目标、内容及要求

- ① 基本概念与矢量分析入门
- ② 流体静力学基础
- ③ 流体力学基本方程
- ④ 势流理论
- ⑤ 粘性不可压流动
- ⑥ 可压缩流动
- ⑦ 经典应用案例



4.本课程的目标、内容及要求

学习建议：

- (1) 一定要复习；讲一学二。
- (2) 一定要动手。动手推公式，动手做习题。
- (3) 以一本教参为主，但不要局限于一本。
- (4) 多请教，多交流，多归纳，勤总结。

学习要求：

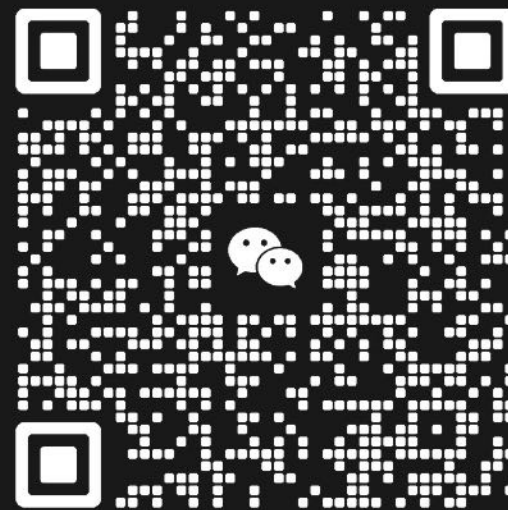
- (1) 时间投入一定要够，要找回高中学习数学物理的劲头。
- (2) 牢记基本概念、定理、公式。
- (3) 公式定理一定要自己动笔，步步为营，扎扎实实。
- (4) 作业保质保量完成，适当给自己加餐加量。

评分构成：

- (1) 平时30%，包括作业成绩与课堂测验。
- (2) 期末70%。没有特殊情况，都是闭卷考试。



群聊：空气动力学课程 2024 师生群



该二维码7天内(3月6日前)有效，重新进入将更新



谢谢！