Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Факультет механико-математический

Кафедра механики

Образовательная программа «6B05403 – Механика» · бакалавриат

Дисциплина: Экспериментальная механика

Лекция № 10

Визуальные методы исследований

Преподаватель: Туралина Динара Елеусизовна

к.ф.-м.н., ассистент-профессор

Алматы, 2026 год

Линии тока, траектории, линии отмеченных частиц

Анализируя картины визуализации, необходимо различать три вида линий:

Линии тока

Мгновенная картина направлений скорости в потоке в данный момент времени.

Траектории

Пути, проходимые отдельными частицами жидкости с течением времени.

Линии отмеченных частиц

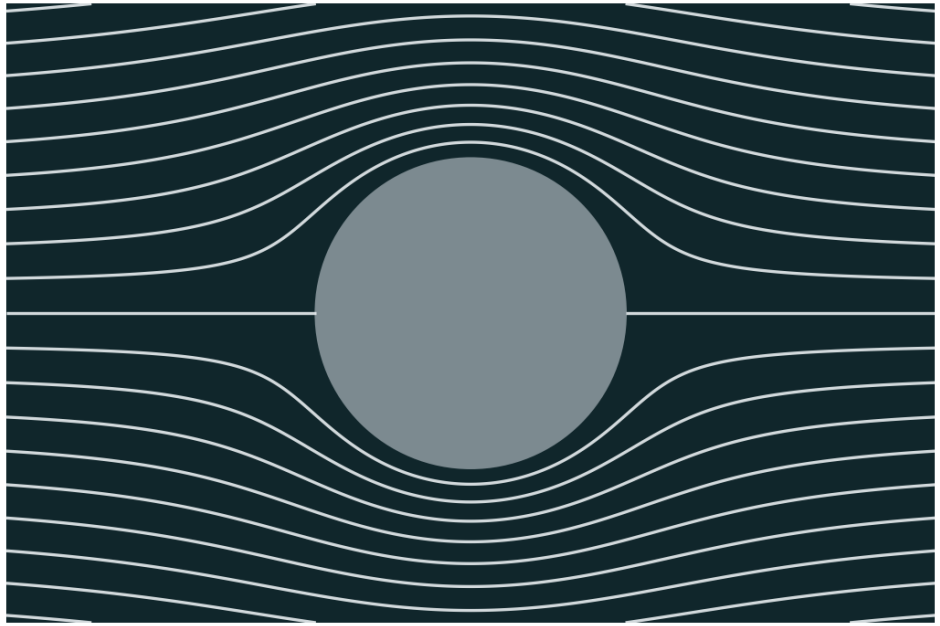
Линии, образованные частицами, прошедшими через одну и ту же точку потока (струйки краски, дыма).

При установившемся течении все три вида линий совпадают.

Наблюдатель, неподвижный относительно тела, и наблюдатель, неподвижный относительно невозмущённого потока, видят **разные картины** течения.

Фотографирование потока

- **Установившееся течение**: фотография с выдержкой частиц, введённых в поток, даёт линии тока (они же траектории)
- **Неустановившееся течение, длительная выдержка**: следы отдельных частиц — траектории
- **Короткая выдержка Δt**: штрихи длиной VΔt; их огибающие — линии тока в момент съёмки
- **Ввод меченых частиц в точке** (например, крупинки фуксина в воде): линии отмеченных частиц



Линии тока при обтекании цилиндра

Принцип визуализации

Непосредственно наблюдать течение невозможно: однородность среды не позволяет отличить одни частицы от других. Исследуемой области придают **иные физические свойства**, делающие течение видимым.

Введение частиц

Твёрдые, жидкие или газообразные частицы наблюдают в отражённом или рассеянном свете.

Требования к частицам

Весьма малая инерция — следуют за местным направлением движения; малый вес — исключено влияние силы тяжести.

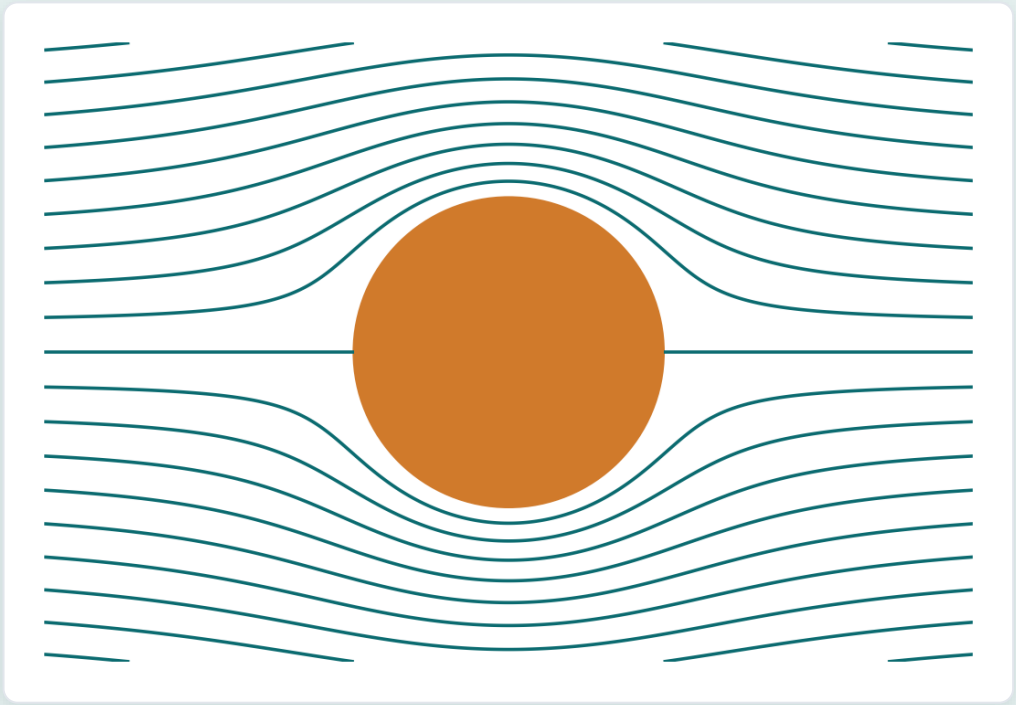
Средства

Струйки дыма; естественные мелкие частицы (микроскоп и мощный источник света); закреплённые нити у поверхности тела.

Дымовой метод

Наибольшее распространение при сравнительно **малых скоростях** (до 40–50 м/с).

- дымовые струйки вводят через насадки или отверстия в теле
- дым получают в генераторах при сгорании органических веществ (гнилая древесина, табак)
- или химическими способами — соединением и испарением веществ (титан с четырёххлористым оловом, минеральное масло)



Струйки огибают обтекаемое тело

Метод нитей (шелковинок)

В поток на тонких проволочках или на поверхности тела помещают **лёгкие тонкие распущенные шелковинки**.

Плавное течение

Шелковинки сохраняют определённое положение и показывают основное направление течения у поверхности; спокойны, пока в пограничном слое ламинарный режим.

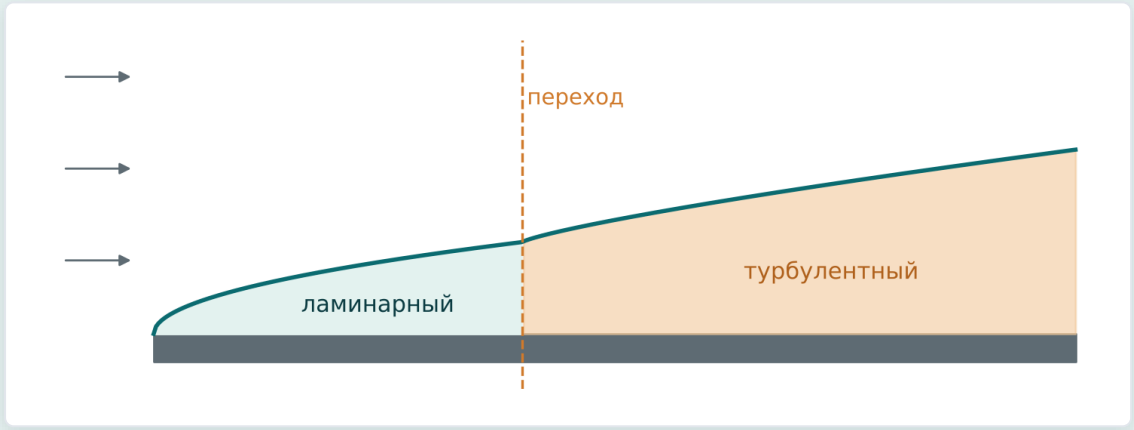
Отрыв и вихри

В нестационарном или завихрённом потоке нити сильно колеблются; за местом отрыва турбулентного пограничного слоя колебания особенно сильны.

Метод нитей широко применяется для качественных исследований течения у поверхности тел — его легко наблюдать и фотографировать.

Визуализация в пограничном слое

- струйки дыма вводят через щели или дренажные отверстия вблизи передней кромки — на 0,05–0,1 длины хорды от носка
- при **ламинарном отрыве** чётко очерченные струйки отходят от поверхности — место отрыва определяется точно
- при переходе в **турбулентное** состояние струйки внезапно размываются



Ламинарный и турбулентный пограничный слой

Неудобство: метод применим лишь при малых скоростях и для одной-двух точек по размаху крыла.

Метод сублимации

1. Основан на том, что **скорость испарения** налёта в ламинарной и турбулентной областях различна.
2. Твёрдое вещество (например, **камфару**) наносят распылением его раствора в бензоле; растворитель дают испарить.
3. Во время опыта в турбулентной области вещество сублимирует быстрее.
4. Фронт перехода — граница между местами, где вещество осталось и где оно сублимировало.
5. Вариант: поверхность покрывают **каолином** с летучей жидкостью того же показателя преломления — в турбулентной области каолин белеет раньше.

Метод жидкой плёнки (масляные покрытия)

На поверхность наносят **летучее масло**. В турбулентной области плёнка улетучивается быстрее, чем в ламинарной, и за фронтом перехода скоро исчезает.

Дозвуковые течения

Определение положения перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный.

Сверхзвуковые течения

В зависимости от формы тела выявляет характер течения, линии отрыва пограничного слоя, зоны отрывных течений, положение скачков уплотнения.

Сравнение методов визуализации

Метод	Что выявляет	Ограничения
Дымовой	Линии тока, отрыв, переход	Скорости до 40–50 м/с
Нити (шелковинки)	Направление течения у поверхности, отрыв	Качественный характер
Дым у передней кромки	Ламинарный отрыв, переход	Малые скорости, 1–2 точки по размаху
Сублимация	Фронт перехода	Требует подготовки поверхности
Жидкая плёнка	Переход, отрыв, скачки уплотнения	Нужен подбор летучести масла

Заключение и вопросы для самоконтроля

Выводы

1. Различают линии тока, траектории и линии отмеченных частиц; при установившемся течении они совпадают.
2. Визуализация достигается введением в поток частиц с малой инерцией.
3. Дымовой метод применим при скоростях до 40–50 м/с.
4. Нити показывают направление течения и зоны отрыва.
5. Сублимация и жидкая плёнка выявляют переход в пограничном слое.

Контрольные вопросы

1. Чем линии тока отличаются от траекторий и линий отмеченных частиц?
2. Что получится на фотографии с короткой выдержкой?
3. Каким требованиям должны удовлетворять частицы-индикаторы?
4. Опишите дымовой метод и метод нитей.
5. Как определить место перехода в пограничном слое?
6. Что выявляет метод масляных покрытий при сверхзвуке?