

Турбулентность

Презентацию подготовил
Студент 4-го курса
Кафедры Общей физики
Якубов Селим Исметович

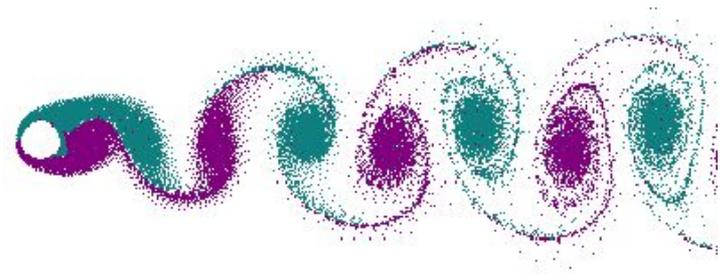
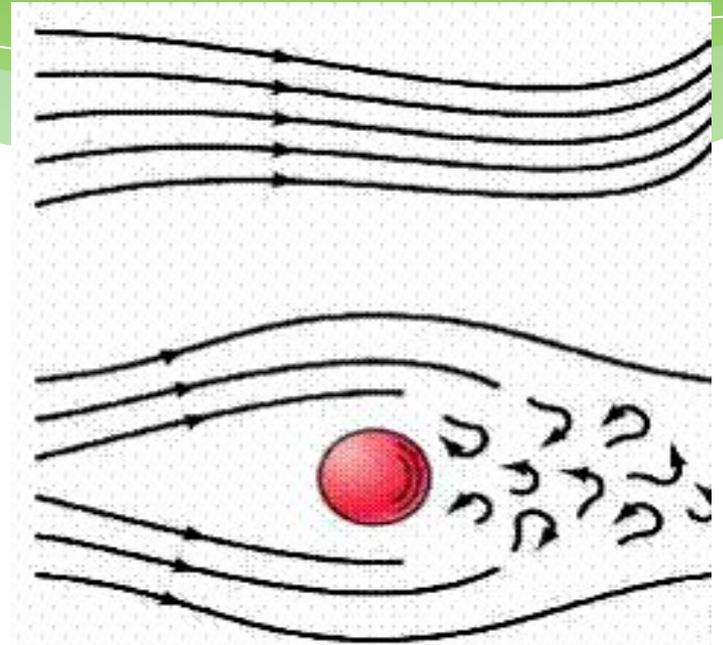
Введение

В данной презентации я хочу рассказать о явлении турбулентности. Причинах ее возникновения, свойствах, значении в природе и жизни человека.

При определённых параметрах турбулентность наблюдается в потоках жидкостей и газов, жидких кристаллах, квантовых бозе- и ферми-жидкостях, магнитных жидкостях, плазме и любых сплошных средах (например, в песке, земле, металлах). Турбулентность также наблюдается при взрывах звёзд, в сверхтекучем гелии, в нейтронных звёздах, в лёгких человека, движении крови в сердце.

Явление турбулентности

Турбулентность, в её обычном понимании, возникает в пристеночных слоях слабовязких жидкостей или газов либо на некотором удаленном расстоянии за плохообтекаемыми телами. Явление заключается в том, что в этих течениях образуются многочисленные вихри различных размеров, вследствие чего их гидродинамические и термодинамические характеристики (скорость, давление, температура, плотность) испытывают хаотические флуктуации и поэтому изменяются в пространстве и времени нерегулярно.



Математическое описание турбулентности

* Турбулентность, в классическом ее понимании, описывается уравнением Навье — Стокса — системой дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости. В векторном виде для жидкости они записываются следующим образом:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \omega \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f},$$

где t — время, ω — коэффициент кинематической вязкости, ρ — плотность, p — давление, $\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$ — векторное поле скорости, \vec{f} — векторное поле массовых сил.

Тем не менее уравнения движения жидкости (уравнения Навье-Стокса) являются без масштабными, то есть сами по себе не задают пределов прямого каскада и таким образом не определяют характерного размера (масштаба) турбулентных вихрей. Но на их основе разработано огромное множество математических моделей турбулентности (RANS, LES, DES и DNS модели). Эти модели широко используются для инженерных расчетов. Однако до настоящего момента не получено ни одного точного аналитического решения этой системы уравнений для турбулентной области течения.

Явление турбулентности в природе



Турбулентность в технике

В большинстве случаев турбулентность создает проблемы и осложнения при эксплуатации техники, поэтому ее стараются минимизировать

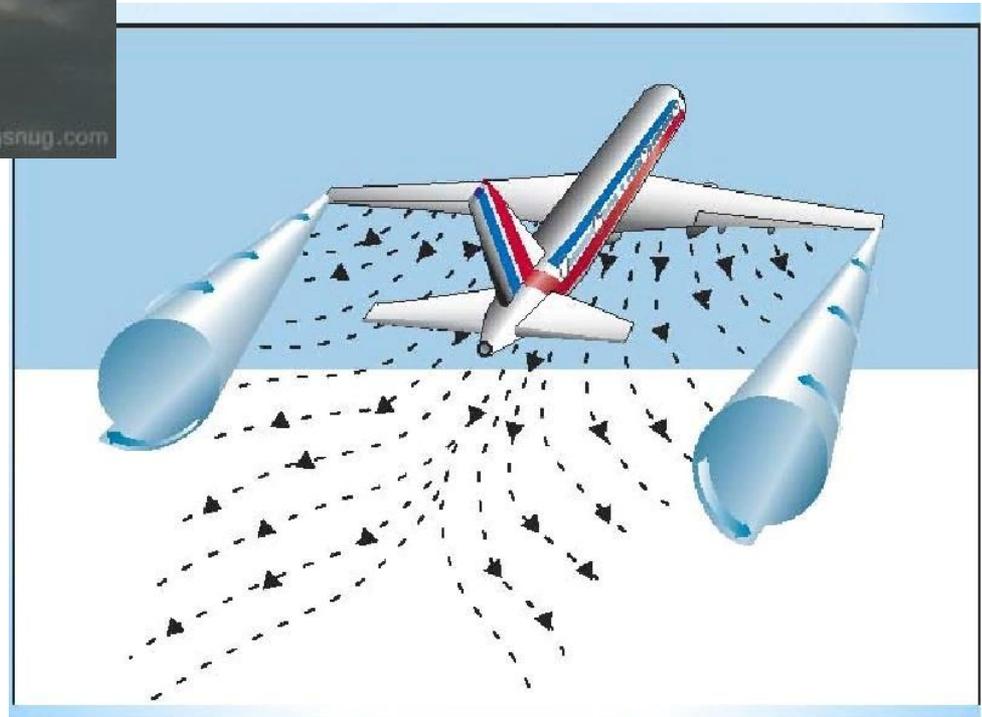
У самолётов ставят винглеты — загнутые кверху законцовки крыла. Они экономят до 4 процентов топлива, так как при этом уменьшается размер и число образуемых за крылом вихрей, которые уносят с собой полезную кинетическую энергию (это так называемые волновые потери).



Аэродинамическая законцовка крыла на Boeing 747-400

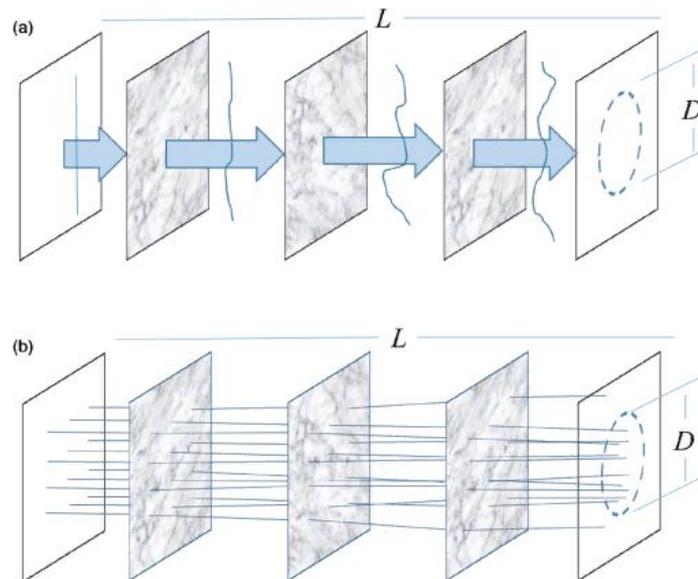


Сравнение вихрей на крыле с традиционной законцовкой и с аэродинамической



Турбулентность в оптике

Под оптической турбулентностью понимается ситуация, в которой при регулярном входном сигнале на выходе системы будет возникать хаотическое поведение сигнала как минимум в двух измерениях или возникновение не одномерных регулярных структур, спектр которых не связан со спектром входного сигнала.



Нелинейная среда в интерферометре Фабри-Перо

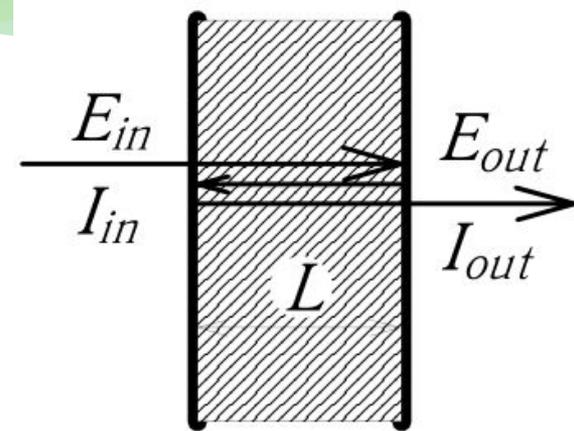
Рассмотрим нелинейную среду, помещенную между зеркалами интерферометра Фабри-Перо (рис.1) с коэффициентами пропускания и отражения T и R , соответственно. Если на вход интерферометра

падает когерентное световое поле с амплитудой E_{in} , то поле на выходе интерферометра в момент времени t может быть определено при помощи рекуррентной формулы $E_{out}(t) = TE_{in}(t) + Re^{i\Delta\varphi}E_{in}(t - \tau)$ (1), где $\tau = 2L/c$, L - расстояние между зеркалами

интерферометра, а $\Delta\varphi$ – набег фазы поля при двойном пробеге через интерферометр. Учитывая, что в интерферометре находится среда с керровской нелинейностью, а поле внутри интерферометра прямо пропорционально полю на выходе, можно записать набег фазы в виде:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 + \gamma|E_{out}|^2 \quad (2)$$

где φ_0 - набег фазы в интерферометре без нелинейной среды, а γ - коэффициент нелинейности.



Если интенсивность входного поля меняется медленно по сравнению со временем τ и временем реакции среды, то зависимость $I_{out}(I_{in})$, может быть найдена из стационарного решения уравнения (1):

$$\{1 - R \exp(i\varphi_0 + i\gamma|E_{out}|^2)\}E_{out} = TE_{in} \quad (3),$$

Умножая (3) на комплексно-сопряженное выражение, получаем искомое соотношение:

$$T^2 I_{in} = (1 + R^2 - 2R \cos(\varphi_0 + \gamma I_{out})) I_{out}. \quad (4)$$

Из графика полученной функции можно увидеть, что полученная зависимость оказывается многозначной и то, что ветви с отрицательным наклоном будут неустойчивы.

