

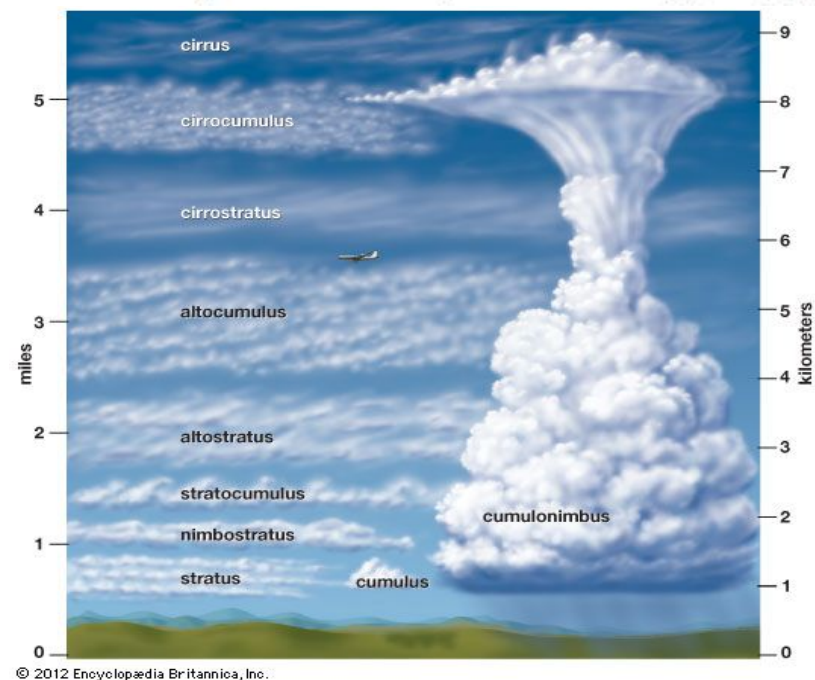
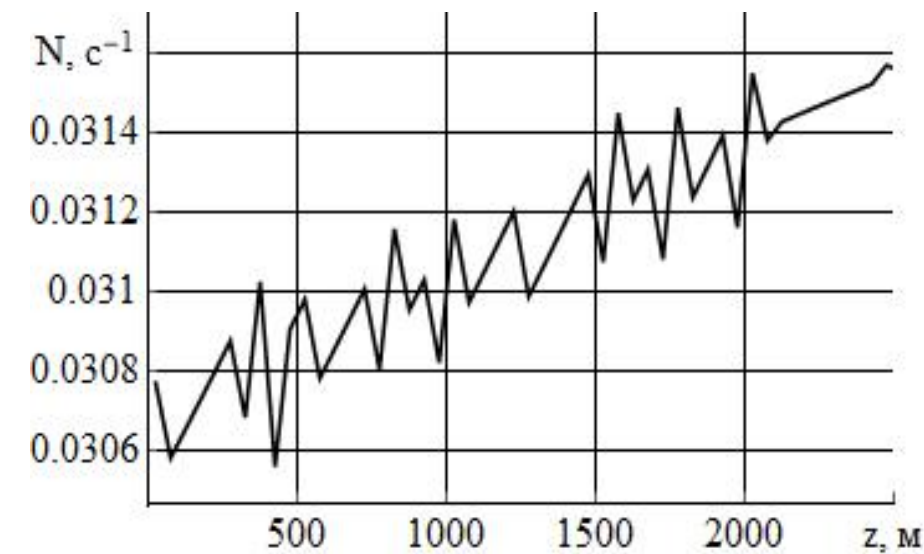
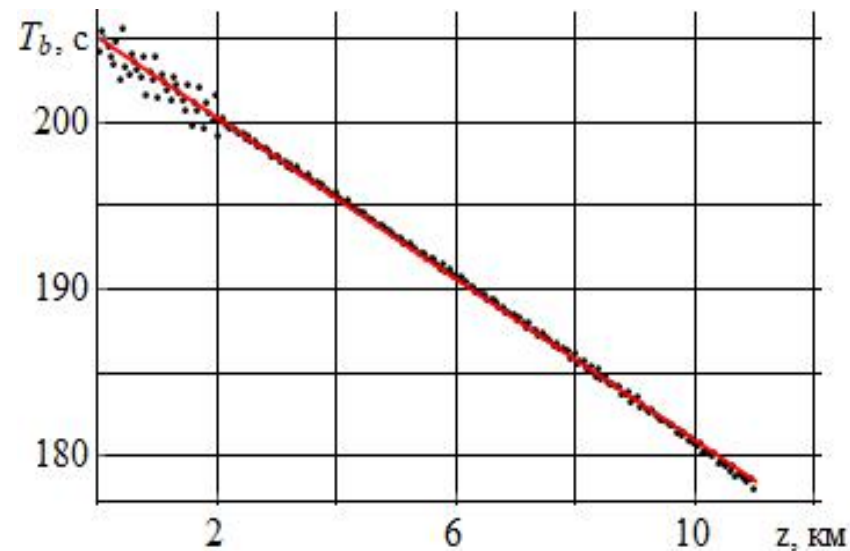
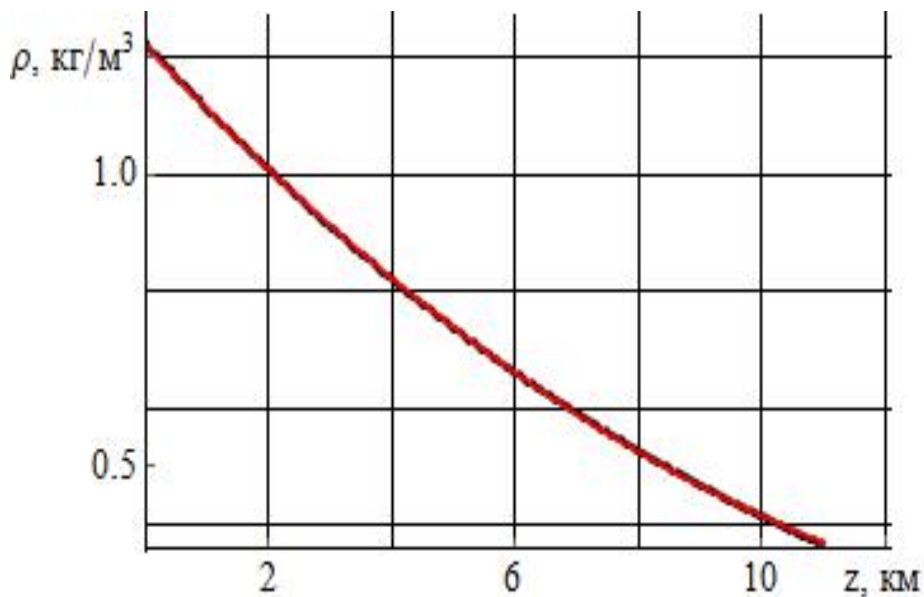


ДИНАМИКА, СТРУКТУРА, ЭНЕРГЕТИКА И МИКРОЭНЕРГЕТИКА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ (1974-2024 г) (ЛИГАМЕНТЫ И ВОЛНЫ В НЕПРЕРЫВНО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СРЕДАХ)

Природные аналоги - перистые облака и волны в атмосфере,
тонкая структура и волны в гидросфере

Ю.Д. Чашечкин

Эксперименты проведены на стендах УИУ "ГФК ИПМех РАН".



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Стратификация атмосферы : профили плотности и периода плавучести, тонкая структура частоты плавучести по данным ГОСТ 4401-81 и общая структура

Цель доклада – привести

- Краткую историю наблюдений лигандов и внутренних волн в природе, определить понятия и обосновать выбор физических величин, адекватно характеризующих периодические течения жидкостей на основе критерия – **наблюдаемости** – согласованности расчета и измерения физических параметров компонентов течений с оценками точности и погрешности.
- Уравнения, описывающие энергетику, динамику и структуру периодических течений жидкостей и газов, алгоритмы построения полных решений, удовлетворяющих начальным и граничным условиям, позволяющие рассчитывать ключевые физические величины;
- Требования к методике расчета, обеспечивающей выполнение критерия полноты описания

Основа описания: Концепция сплошной среды. Выбор вида непрерывных функций с учетом выполнения законов сохранения во всем диапазоне масштабов. Учет процессов трансформации внутренней энергии и гранулярного строения вещества.

Благодарность организаторам Конференции
за внимание к работа и приглашение

Течения включают струи, волны вихри и неотделимые лигаменты (связки)
Лигаменты (лиганды) – тонкие компоненты течения – 3D волокна или 2D прослойки

Rayleigh L. Some applications of photography // Nature. 1891. V. 44, 249–254. 1879. V.29.

В анатомии связка представляет собой волокнистую ткань, которая соединяет кости с другими костями и также известна как суставная связка, фиброзная связка или истинная связка.

К Связкам относятся: складка брюшины или других мембран. ▪

Фетальная остаточная связка: остатки внутриутробной структуры плода. ▪

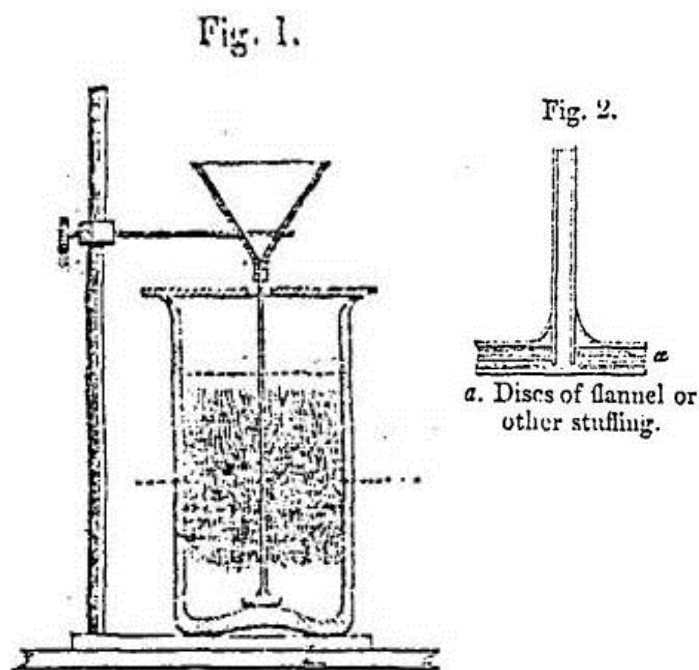
Периодонтальная связка: группа волокон, которые прикрепляют цемент зубов к окружающей альвеолярной кости.

Изучение связок известно как десмология. Связки похожи на сухожилия и фасции, поскольку все они сделаны из соединительной ткани. Различия в них заключаются в связях, которые они создают; связки соединяют одну кость с другой костью, сухожилия соединяют мышцы с костью, а фасции соединяют мышцы с другими мышцами.

Лигамент – аддент, апоневроз, волокно, выстилка, джут, жилка, жгутик, интерфейс, лигатура, мембрана, нить, оболочка, ость, пенька, перемычки, перепонка, прослойки, прутья, связки, спицы, струйки, сухожилие, триклы, тяжи, фасция, фибра, шипы...

1. Franklin, B. (1706—1790). Behavior of oil on water. Letter to J. Pringle. in Experiments and observations on electricity, London, 1769; 142–144.
2. Stokes G.G. (1819 -1903). On the theory of oscillatory waves. Transactions of Cambridge Philosophical Society. 1847. V.8. P. 441-445.
3. Jevons W.S. (1835 – 1882). On the Cirrus Form of Cloud, with Remarks on other Forms of Cloud // London, Edinburgh and Dublin Phil. Magazine J. Sci. 4th Ser. 1857. V. 14, 22-35.
4. Rayleigh, Lord. Investigation of the character of the Equilibrium of an Incompressible Heavy Fluid of Variable Density. Proceedings of the London Mathematical Society. 1883. V. 14, P. 170-177.
5. Nansen F. (1861-1930) The Norwegian north polar expedition 1893–1896. Scientific Results. 1906.
6. Ekman V.W. (1874 – 1954). On dead water. Being a description of the so-called phenomenon often hindering the headway and navigation of ships in Norwegian Fiords and elsewhere and experimental investigation of its etc. In: Nansen, F. (Ed.), The Norwegian north polar expedition 1893–1896. Scientific Results. 1906. V. V. P. 83–278, Christiania
7. Väisälä V. (1889—1969) Über die Wirkung der Windschwankungen auf die Pilotbrobachtungen // Sec. Sci. Fenn. Commentat. Phys.-Math.1925. 2. 19-37.
8. Brunt, D., (11886-1965). The period of simple vertical oscillations in the atmosphere // Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1927. V. 53, 30–32. DOI:[10.1002/qj.49705322103](https://doi.org/10.1002/qj.49705322103)
9. Prandtl L. (1875 – 1953) Lyra ...
10. Lighthill J. M. (1924 – 1998) Waves in Fluids. CUP. 1978.
11. Turner J.S. (1930 – 2022). Buoyancy effects in Fluids. CUP. 1973.
12. McEwan A. D. 1971 Degeneration of resonantly-excited standing internal gravity waves. J. Fluid. Mech. 50, 431–448.
13. McEwan A. D. 1973 Interactions between internal gravity waves and their traumatic effect on a continuous stratification. Boundary-Layer Met. 5, 159–175.
14. Teoh, S. G.; Ivey, G. N.; Imberger, J. Laboratory study of the interaction between two internal wave rays. J. Fluid Mech. 336(), 91–122. doi:10.1017/s0022112096004508
15. Chashechkin Y. D., Kistovich Yu.V., Smirnov S.A. Linear generation theory of 2D and 3D periodic internal waves in a viscous stratified fluid // Environmetrics. 2000. V. 12. P. 57-80.
16. Voisin B. Near-field internal wave beams in two dimensions // J. Fluid Mech.2020; 900: A3. doi:10.1017/jfm.2020.442
17. Chashechkin Yu.D. Singularly perturbed components of flows – linear precursors of shock waves // Math. Model. Nat. Phenom. 2018. Vol. 13. No. 2. P. 1-29. <https://doi.org/10.1051/mmnp/2018020>

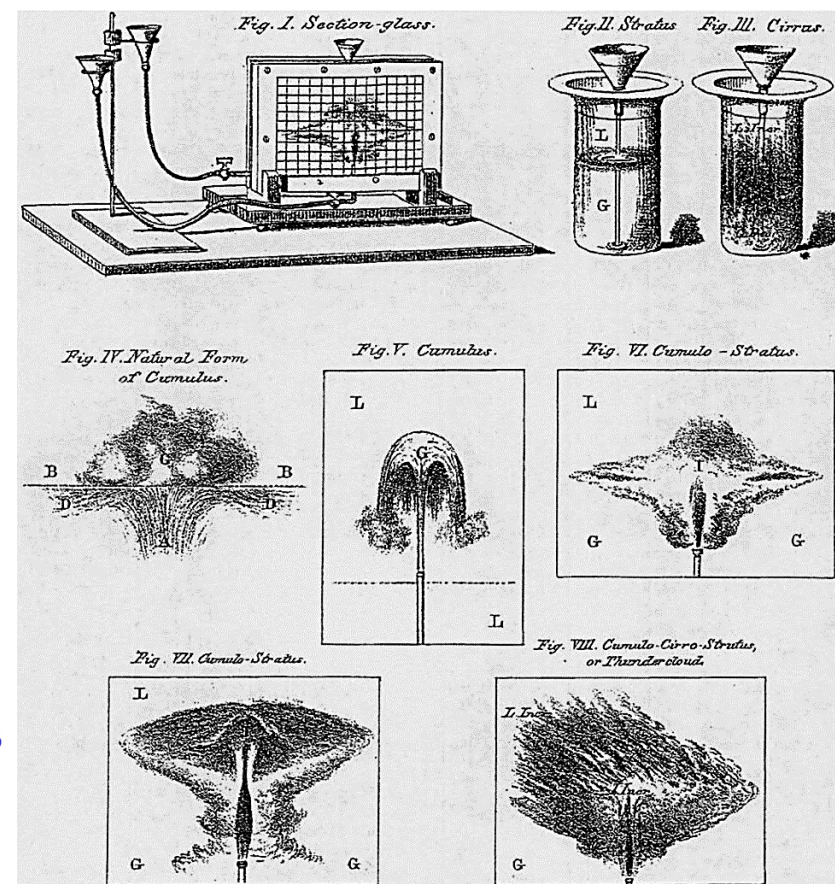
Jevons W.S. On the Cirrus Form of Cloud, with Remarks on other Forms of Cloud // London, Edinburgh and Dublin Phil. Magazine J. Sci. 4th Ser. 1857. V. 14, 22-35.



Cumulus

01.09. 1835 – 13.08. 1882

Cumulus cirro-stratus
Thunder clouds

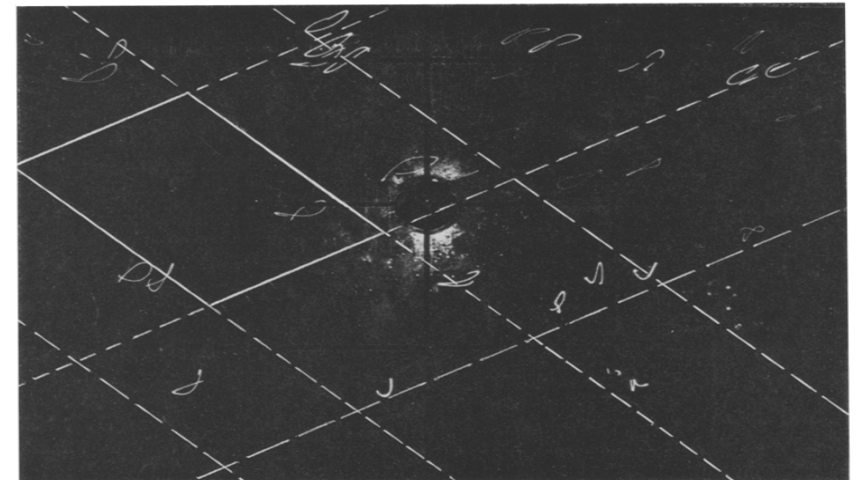
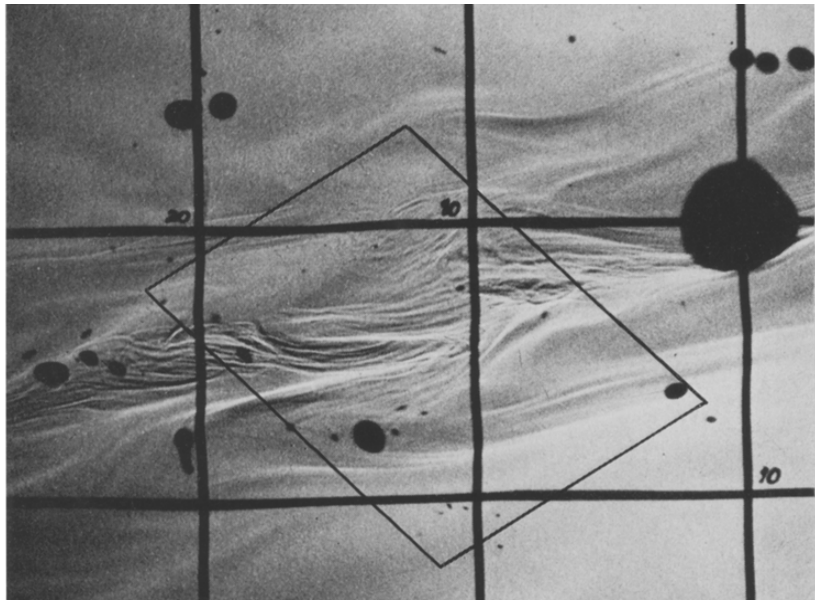
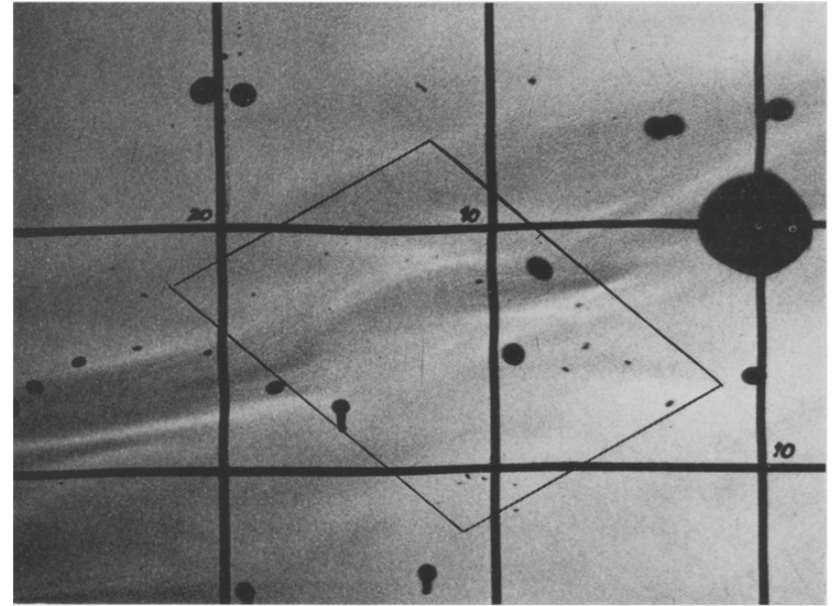
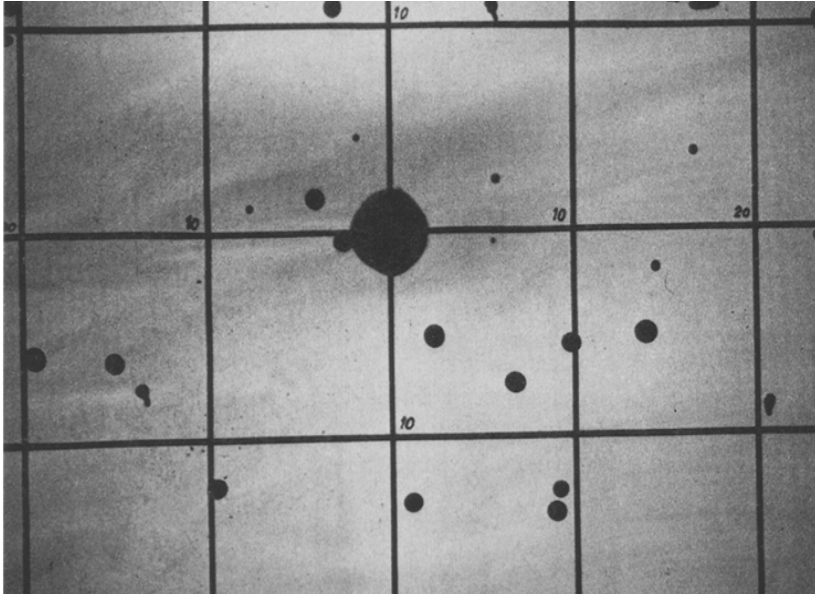


Considering that clouds are the only indications of those lofty and otherwise invisible currents and other atmospheric changes, producing ultimately those results which we take so much trouble to record on the surface of the earth, it is impossible to understand why their study has been so much neglected.

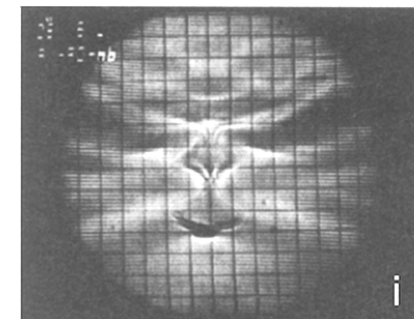
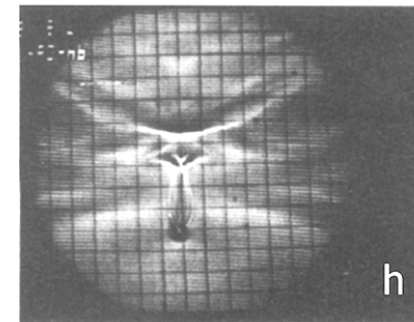
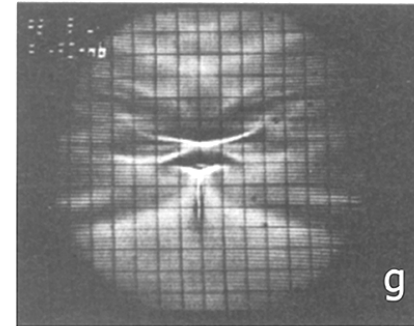
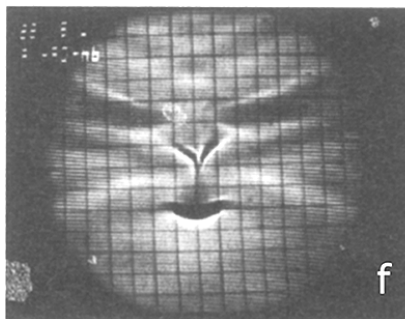
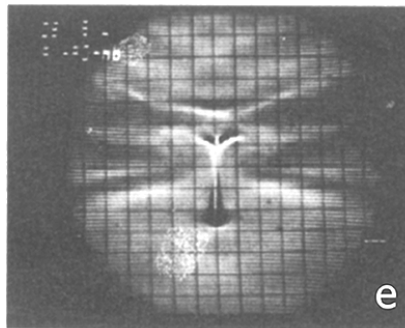
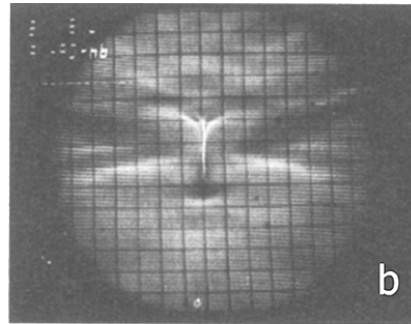
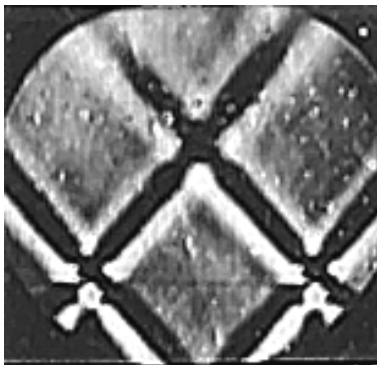
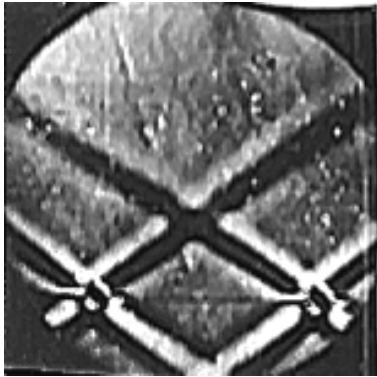
McEwan A.D. and Plumb P.A. Off-resonant amplification of finite internal wave packets // Dyn. Atmosph. and Oceans. 1977. V.2. P. 83-105.

Honji H., Matsunaga N., Sugihara Y., Sakai K. Experimental observation of internal symmetric solitary waves in a two-layer fluid // Fluid Dyn. Res. 1995. V.15. P. 89-102.

Teoh S.G., Ivey G.N. and Imberger J. Laboratory study of the interaction between two internal wave rays // J. Fluid Mech., 1997. v. 336. P. 91-121.

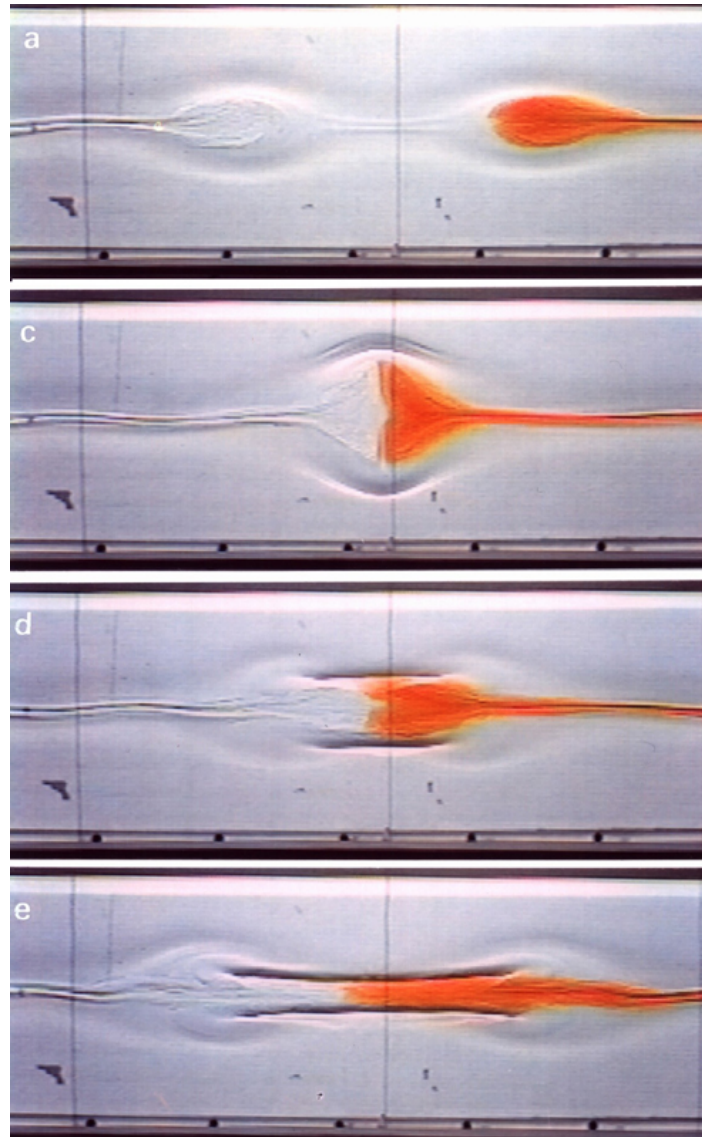


Пересечение пучков периодических внутренних волн

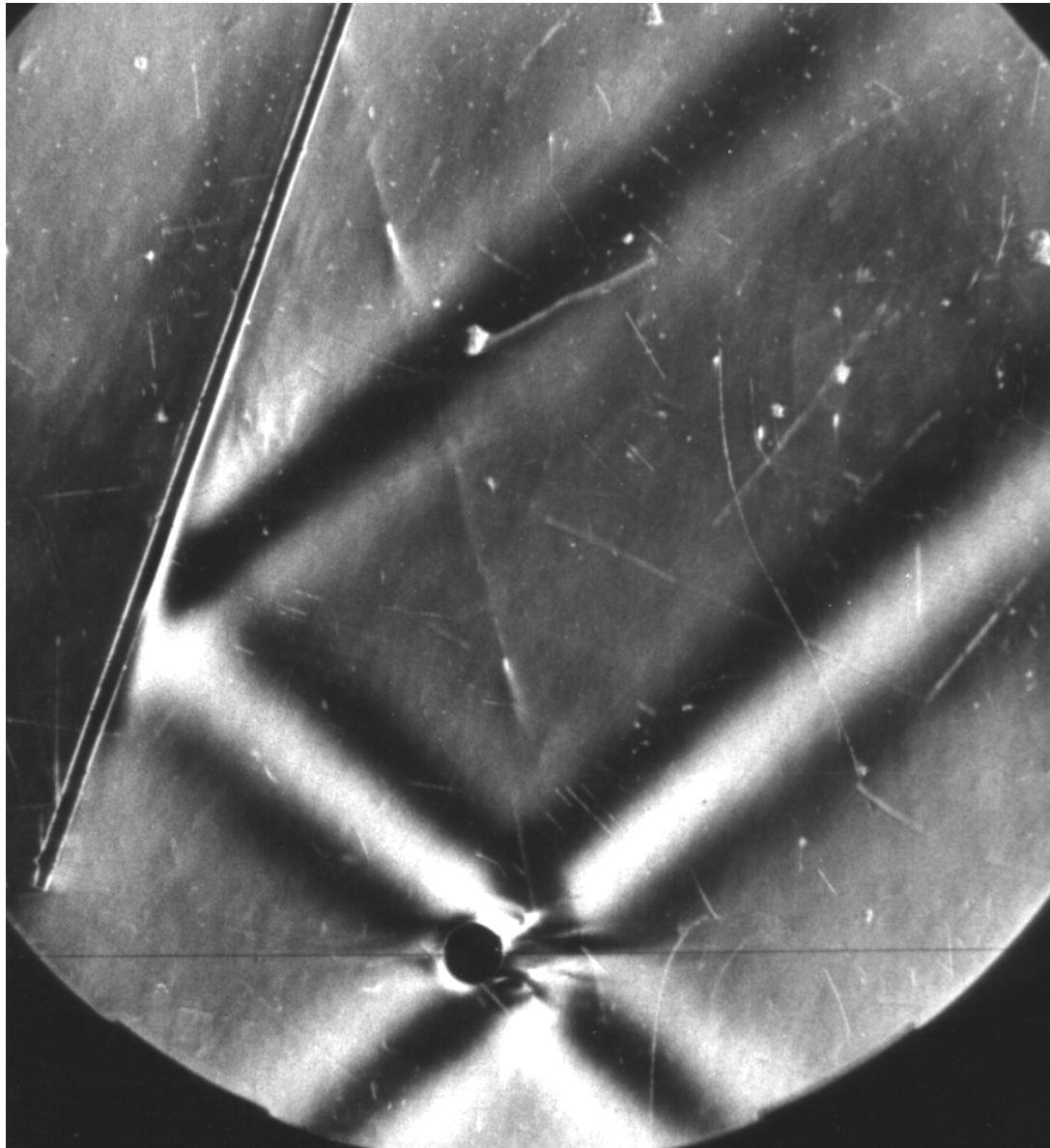


Teoh S.G., Ivey G.N., Imberger J., JFM, 1997

Collision of solitons on the interface between miscible fluids



Honji H., Matsunaga N., Sugihara Y., Sakai K., FDR, 1995



Отражение пучка периодических внутренних волн от наклонной стенки. 1970 г.

Числа – вещественные и комплексные;		
Конфигурационное пространство	$3L + 1t;$	Расширенное 12-ти мерное пространство математического описания течений жидкости 7
Фазовое пространство	$3L + 1t;$	
Расширенное пространство	$6L + 1t;$	Законы сохранения. 5
Масса	$1m;$	
8-М Пространство задачи	$6L + 1t + 1m;$	∞

$$x'_i = a_{ik} x_k \quad a_{ji} a_{jk} = 0 \quad i \neq k \quad a_{ji} a_{jk} = 1 \quad \text{при} \quad i = k$$
$$\|a_{ik}\| = +1 \quad \|a_{ik}\| = -1$$

Движение, как математическая (геометрическая) операция, определяется как непрерывное ортогональное преобразование пространства в себя с параметром при котором t , сохраняются расстояния между точками и относительное расположение объектов.

Расширенное 12-ти мерное пространство математического описания течений жидкости

Законы сохранения. Мера движения тела: траектория

Масса M , Импульс $\mathbf{p} = M\mathbf{v}$

Энергия $E_k = \frac{M\mathbf{v}^2}{2} = \frac{\mathbf{p}^2}{2M}$

$S_t(x, y, z)$

$\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z) = \frac{d\mathbf{R}}{dS} \frac{dS_t}{dt} = \boldsymbol{\tau} \frac{dS_t}{dt}$

скорость, ускорение

Замкнутая, самосогласованная и разрешимая система фундаментальных уравнений Даламбера – Фурье – Навье – Стокса – Фика – Менделеева – Гиббса

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = \rho(p, T, S_i) \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} = 0 \quad \rho = - \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{s,S}^{-1} \\ \frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \rho \mathbf{v} = -\nabla P + \mu \left(\Delta \mathbf{v} - \frac{2}{3} \nabla (\nabla \mathbf{v}) \right) + \nabla (\zeta (\nabla \mathbf{v})) - \rho \mathbf{g}; \\ \frac{\partial \rho T}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \rho T = \nabla (\kappa_T \nabla \rho T) + Q_i \\ \frac{\partial \rho S}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \rho S = \nabla (\kappa_T \nabla \rho S) + Q_S \end{array} \right.$$

Плотность – сложная величина механической, термодинамической, физической природы

+ Физически обоснованные граничные условия

Необходимы методики и инструменты для измерения импульса

$$\rho(z) = \rho_o \exp(-z / \Lambda) \quad \Lambda = |d \ln \rho / dz|^{-1} \quad N = \sqrt{g / \Lambda} \quad T_b = 2\pi / N$$

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика. М.: Наука. 1944. 646 с.

Muller P. The equations of oceanic motions. Cambridge: CUP. 2006. 292 p.

Симметрии системы фундаментальных уравнений

$$X_1 = \partial_t \quad X_2 = \partial_x \quad X_3 = \partial_y \quad X_4 = \partial_z$$

генераторы групп сдвигов

$$X_5 = y\partial_x - x\partial_y + v\partial_u - u\partial_v \quad \text{генераторы групп вращений}$$

$$X_6 = \left(z + \frac{gt^2}{2} \right) \partial_x - x\partial_z + (w + gt)\partial_u - u\partial_w$$

$$X_7 = \left(z + \frac{gt^2}{2} \right) \partial_y - y\partial_z + (w + gt)\partial_v - v\partial_w$$

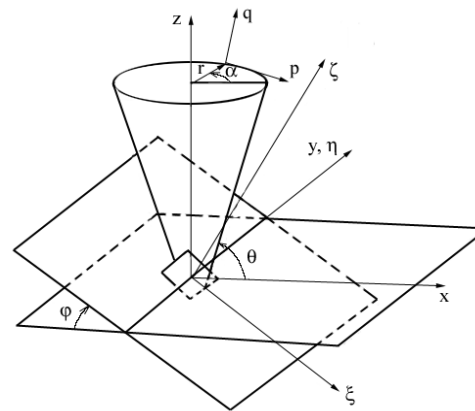
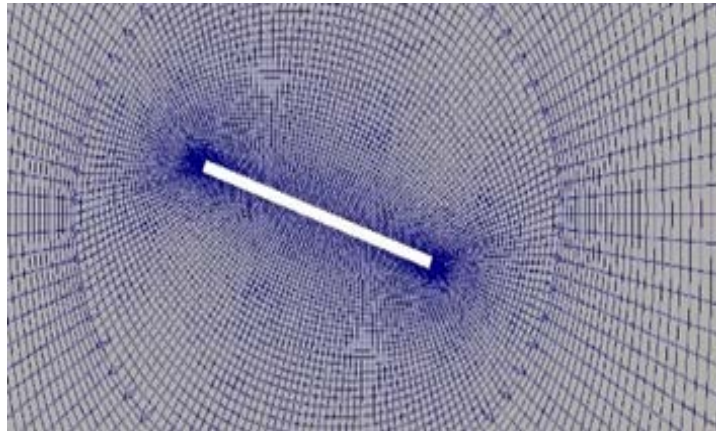
генераторы групп преобразований Галилея

$$X_8 = t\partial_x + \partial_u \quad X_9 = t\partial_y + \partial_v \quad X_{10} = t\partial_z + \partial_w$$

Система инвариантна относительно десятипараметрической группы Галилея

Замкнутая, самосогласованная и разрешимая система фундаментальных уравнений Даламбера – Фурье – Навье – Стокса – Фика - Менделеева согласуется с базовыми принципами физики

Периодические внутренние волны и сопутствующие лигаменты



Системы координат

$$\xi = x \cos \varphi + z \sin \varphi \quad \eta = y$$

$$\zeta = -x \sin \varphi + z \cos \varphi$$

$$x = r \cos \alpha \quad y = r \sin \alpha \quad z = z$$

$$p = r \sin \theta - z \cos \theta$$

$$q = r \cos \theta + z \sin \theta$$

Редуцированная система уравнений

$$\rho = \rho_{00} (\exp(-z/\Lambda) + s), \quad \text{div } \mathbf{v} = 0,$$

$$\frac{\partial(\rho_{00} \mathbf{v})}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla)(\rho_{00} \mathbf{v}) = -\nabla P + \mu \Delta \mathbf{v} - \rho_{00} \cdot s \cdot \mathbf{g},$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla s = \kappa_s \Delta s + \frac{\mathbf{v}_z}{\Lambda}.$$

$$\mathbf{v}|_{\xi=0} = \mathbf{u}(\xi, \eta)$$

Граничные условия

$$\mathbf{v}|_{t \leq 0} = \mathbf{v}_{dif}(x, z), \quad s|_{t \leq 0} = s_{dif}(x, z),$$

$$P|_{t \leq 0} = P_{dif}(x, z), \quad v_x|_{\Sigma} = v_z|_{\Sigma} = 0,$$

$$\left[\frac{\partial s}{\partial \mathbf{n}} \right]_{\Sigma} = \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial z}{\partial \mathbf{n}}, \quad \mathbf{v}|_{x, z \rightarrow \infty} = (U, 0, 0).$$

$$\delta_{\omega}^v = \sqrt{2\nu/\omega} \quad \delta_N^v = \sqrt{2\nu/N} \sim 1.0 \text{ мм}$$

Тороидально – полоидальная декомпозиция $\mathbf{v} = \nabla \times \mathbf{e}_z \Psi + \nabla \times (\nabla \times \mathbf{e}_z \Phi)$

$$\delta_N^{\kappa_s} = \sqrt{2\kappa_s/N} \sim 0.1 \text{ мм}$$

$$U = \sqrt{\nu N}$$

$$\omega = \mathbf{kU}$$

$$\begin{aligned} (\omega^2 \Delta - N^2 \Delta_{\perp} - i\omega \nu \Delta^2) \Delta_{\perp} \Phi &= 0 & (\omega - i\nu \Delta) \Delta_{\perp} \Psi &= 0 \\ (\omega^2 \Delta - N^2 \Delta_{\perp} - i\omega \nu \Delta^2) \Phi &= 0, & (\omega - i\nu \Delta) \Psi &= 0 \end{aligned}$$

Жидкость бароклинная, переменной плотности

$$\rho = \rho(S, T, p) = \rho_0(z) + \rho'(x, y, z, t) \quad \rho(z) = -\rho_0 \exp(z/\Lambda)$$

Периодические течения с действительной
положительной частотой

$$\omega = \operatorname{Re} \omega = \omega_0 + \mathbf{k} \mathbf{U}; \quad \omega_0 > 0$$

$$\mathbf{v}, p, \rho \sim A \exp i\Theta \quad \omega = \omega(\mathbf{k}), \quad \omega = \omega(\mathbf{k}, A\mathbf{k}) \quad \mathbf{k} = \mathbf{k}_1 + i\mathbf{k}_2$$

Разложения в регулярные ряды: $p = p_0 + \varepsilon p_1 + \varepsilon^2 p_2,$

$$\nu \Delta(\dots), \kappa_T \Delta(\dots), \kappa_S \Delta(\dots) \quad \mathbf{v}, p, \rho \sim A \exp i\Theta, \quad \operatorname{Re} \Theta \gg \operatorname{Im} \Theta, \quad \operatorname{Im} \Theta \sim \nu^\alpha, \alpha > 0$$

Крупномасштабные компоненты (волны и вихри) - регулярно возмущенные функции (волны)

Разложения в
сингулярные ряды:

$$P = \varepsilon^{-\gamma} \left(p_0 + \varepsilon p_1 + \varepsilon^2 p_2 \right), \quad \gamma > 0$$

Тонкоструктурные компоненты (богатое семейство поверхностей и линий в толще жидкости) - сингулярно возмущенные функции (Лигаменты)

$$\mathbf{v}, P, \rho \sim A \exp i\Theta, \quad \Theta \sim \sqrt{i}, \quad \operatorname{Re} \Theta \sim \operatorname{Im} \Theta, \quad \operatorname{Im} \Theta \sim \nu^{-\gamma}, \gamma > 0$$

Полное решение системы уравнений включает регулярные и сингулярно возмущенные функции:

Nayfeh, A.H. Introduction to
Perturbation Technique; John Wiley &
Sons: New York, NY, USA, 1993; 536p

Chashechkin Y.D. Foundations of
engineering mathematics applied for fluid
flows // Axioms. 2021. V. 10. Iss.4. 286.

Традиционная математическая ошибка,
заложенная в работах Стокса – расчет только регулярных возмущений

Полное решение ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ фундаментальной системы уравнений включает суммирование по **всем** корням дисперсионного уравнения (метод Бернулли – Фурье - Лайтхилла)

И описывает волны (процесс с функциональной связью параметра локальной временной изменчивости (частоты) и мгновенной пространственной структуры (волновой вектор)

$$A = \sum_j \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} a_j(k_x, k_y) \exp\left(i\left(k_{zj}(k_x, k_y)z + k_x x + k_y y - \omega t\right)\right) dk_x dk_y$$

Дисперсионное уравнение – факторизованное уравнение десятого порядка

$$D_v(k, \omega) \cdot F(k, \omega) = 0$$

Факторизованные сингулярные решения – типа решения Стокса

$$D_v(k, \omega) = -i\omega + \nu k^2 \quad D_{\kappa_T}(k, \omega) = -i\omega + \kappa_T k^2 \quad D_{\kappa_S}(k, \omega) = -i\omega + \kappa_S k^2$$

Волны и внутренние сингулярно возмущенные решения, зависящие от геометрии задачи

$$F(k, \omega) = -D_v(k, \omega)D_{\kappa_T}(k, \omega)D_{\kappa_S}(k, \omega) \left(k^2 + i \frac{k_z(\Lambda_T + \Lambda_S)}{\Lambda_T \Lambda_S} \right) +$$

$$+ D_{\kappa_T}(k, \omega) \left(\frac{\omega k_z}{\Lambda_S} D_v(k, \omega) - N_S^2 k_{\perp}^2 \right) + D_{\kappa_S}(k, \omega) \left(\frac{\omega k_z}{\Lambda_T} D_v(k, \omega) - N_T^2 k_{\perp}^2 \right)$$

$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad k_{\perp}^2 = k_x^2 + k_y^2$$

Регулярные и сингулярные компоненты периодических течений в стратифицированной жидкости

$$\omega = \operatorname{Re} \omega > 0 \quad \mathbf{k} = \mathbf{k}_1 + i\mathbf{k}_2 \quad \|k\| = \sqrt{\operatorname{Re}(k_x)^2 + \operatorname{Re}(k_z)^2}, \quad \lambda = \frac{2\pi}{\sqrt{\operatorname{Re}(k_x)^2 + \operatorname{Re}(k_z)^2}}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \\ \tilde{p} \\ \tilde{\rho} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_m \\ V_m \\ W_m \\ P_m \\ P_m \end{pmatrix} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r} - i\omega t)$$

$$D_v(k) \left(\omega^2 D_v^2(k) - \omega N^2 D_v(k) + c^2 k_{\perp}^2 N_c^2 - c^2 \omega k^2 D_v(k) \right) = 0,$$

$$D_v(k) = \omega + ivk^2, \quad k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2, \quad k_{\perp}^2 = k_x^2 + k_y^2, \quad N^2 = \frac{g}{\Lambda}, \quad N_c^2 = N^2 - \frac{g^2}{c^2}$$

$$\tau_b = N^{-1} \quad \delta_N^{gv} = (gv)^{1/3} N^{-1} \quad \varepsilon = \frac{\delta_N^v}{\delta_N^{gv}} = \frac{\sqrt{v/N}}{(gv)^{1/3} N^{-1}} = \frac{Nv^{1/3}}{g^{2/3}} \quad \eta = \frac{\tau_c^v}{\tau_b} = \frac{Nv}{c^2}$$

$$k_{*z} = \pm \sqrt{-k_{*\perp}^2 + \frac{i\omega_*}{\varepsilon}}$$

$$k_{*z} = \pm \sqrt{\frac{-\varepsilon\omega_* \left(\omega_* + 2k_{*\perp}^2 \varepsilon (i + \eta\omega_*) - i\eta(2\omega_*^2 - 1) \right) - \sqrt{-\varepsilon^2\omega_*^2 (\eta + i\omega_*) + 4\omega_* k_{*\perp}^2 (\varepsilon^3 - \eta) (i + \eta\omega_*)}}{2\varepsilon^2\omega_* (i + \eta\omega_*)}}$$

$$k_{*z} = \pm \sqrt{\frac{-\varepsilon\omega_* \left(\omega_* + 2k_{*\perp}^2 \varepsilon (i + \eta\omega_*) - i\eta(2\omega_*^2 - 1) \right) + \sqrt{-\varepsilon^2\omega_*^2 (\eta + i\omega_*) + 4\omega_* k_{*\perp}^2 (\varepsilon^3 - \eta) (i + \eta\omega_*)}}{2\varepsilon^2\omega_* (i + \eta\omega_*)}}$$

Чашечкин Ю.Д., Кистович А.В.

Классификация трехмерных периодических течений в жидкости // Доклады АН. 2004. 2004. Т. 395. № 1. С. 55-58.

Chashechkin, Y.D.; Ochirov, A.A. Periodic Flows in a Viscous Stratified Fluid in a Homogeneous Gravitational Field. // Mathematics – 2023, № 11, 4443. DOI: <https://doi.org/10.3390/math11214443>

Иерархия систем фундаментальных уравнений механики жидкостей

Фундаментальная система уравнений

10-го ранга, 2 рег. + 8 синг. возм. решений

$\rho, \rho, T, S, P, \mathbf{g}, \Lambda_T, \Lambda_S, \nu, \kappa_T, \kappa_S, \varphi$

A

Жидкость

СТРАТИФИЦИРОВАННАЯ

ОДНОРОДНАЯ

Неизотермическая

8-го ранга, 2 рег. + 6 синг. возм. решений

$\rho, \rho, T, P, \mathbf{g}, \Lambda_T, \nu, \kappa_T, \varphi$

$\rho, \rho, T, P, \mathbf{g}, \nu, \kappa_T$

B

(возможна потеря решений) **полной**

Вязкая изотермическая

Уравнения Навье-Стокса,

6-го ранга, 2 рег. + 4 синг. возм. решений

$\rho, \rho, P, \mathbf{g}, \Lambda_\rho, \nu, \varphi$

$\nu, P/\rho, \mathbf{g}, \nu$

C

(слияние решений)

Идеальная

Уравнения Даламбера - Эйлера, 2-го ранга

$\rho, \rho, P, \mathbf{g}, \Lambda_\rho, \varphi$

$\nu, P/\rho, \mathbf{g}$

D

Классификация моделей
по виду уравнения состояния

$$\rho(P, T, S_i)$$

Ранг полной системы – 10-й

$$\rho(P, T)$$

Ранг однокомпонентной - 8-й

$$\rho(\mathbf{x}) \quad \rho = \text{const}$$

Переменной или однородной
Плотности – 6-ой

Ранг переопределенной
системы Навье-Стокса – 6-ой

Ранг системы Эйлера – 2-ой

Вырожденные системы $\rho = \text{const}$

$$\begin{aligned}
 & \text{Разложения для потенциалов} \quad \omega > 0 \quad k_i = k_i(k_\xi, k_\eta) \quad k_1 = k_1^{(0)} + i v k_1^{(1)} \quad \text{Дисперсионное уравнение} \\
 & \Phi = \int_{-\infty}^{+\infty} [A(k_\xi, k_\eta) \exp(ik_1(k_\xi, k_\eta)\zeta) + B(k_\xi, k_\eta) \exp(ik_2(k_\xi, k_\eta)\zeta)] \times \\
 & \quad \times \exp(ik_\xi \xi + ik_\eta \eta) dk_\xi dk_\eta \quad \omega^2 (k_{1,2}^2 + k_\xi^2 + k_\eta^2) - N^2 [(k_\xi \cos \varphi - k_{1,2} \sin \varphi)^2 + k_\eta^2] + \\
 & \quad + i\omega v (k_{1,2}^2 + k_\xi^2 + k_\eta^2)^2 = 0 \\
 & \Psi = \int_{-\infty}^{+\infty} C(k_\xi, k_\eta) \exp(ik_3(k_\xi, k_\eta)\zeta + ik_\xi \xi + ik_\eta \eta) dk_\xi dk_\eta \quad k_3^2 = -\frac{\omega}{iv} - k_\xi^2 - k_\eta^2 \\
 & \quad \delta_N^v = \sqrt{\frac{v}{N}} \quad \delta_\omega^v = \sqrt{\frac{v}{\omega}} \quad \delta_\varphi^v = \sqrt{\frac{2v \sin \vartheta}{N|\mu|}} \quad \text{Im } k_1 > 0, \quad \text{Im } k_2 > 0, \quad \text{Im } k_3 > 0. \\
 & A(k_\eta^2 \sin \varphi + k_1 \beta_1) + B(k_\eta^2 \sin \varphi + k_2 \beta_2) + iCk_\eta \cos \varphi = U_\xi \quad \mathbf{U} = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{u}(\xi, \eta) \exp(-ik_\xi \xi - ik_\eta \eta) d\xi d\eta \\
 & -A k_\eta \gamma_1 - B k_\eta \gamma_2 + iC \gamma_3 = U_\eta \quad \beta_i = k_i \sin \varphi - k_\xi \cos \varphi \gamma_i = k_i \cos \varphi + k_\xi \sin \varphi \\
 & A(k_\eta^2 \cos \varphi - k_\xi \beta_1) + B(k_\eta^2 \cos \varphi - k_\xi \beta_2) - iCk_\eta \sin \varphi = U_\zeta \\
 & \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{31} \\ D_{21} & D_{22} & D_{32} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_\xi \\ U_\eta \\ U_\zeta \end{pmatrix} \\
 & k_2 = \frac{i + \text{sign } \mu}{\delta_\varphi} - \frac{k_\xi \sin 2\varphi}{2\mu} + k_2^{(1)} \delta_\varphi \\
 & k_2^{(1)} = \frac{i + \text{sign } \mu}{6\sqrt{2}} \frac{k_\xi^2 (\mu(\cos^2 \varphi - \sin^2 \vartheta) + 4 \sin \varphi \cos \varphi) + k_\eta^2 \mu \cos^2 \vartheta}{\mu^2} \\
 & \theta = \arcsin(\omega / N) \quad \delta_\varphi = \sqrt{\frac{2v \sin \theta}{N|\mu|}} \quad \delta_v = \sqrt{2v / \omega} \quad (\delta_N \ll \lambda_c) \quad (a, b \ll L_v) \quad L_v = (v\Lambda / N)^{1/3}
 \end{aligned}$$

Регулярно возмущенное решение – описание пучков внутренних волн

$$q \gg l \quad \lambda \gg \delta_N^{(v)} = \sqrt{\frac{v}{N}} \quad \lambda \gg \delta_N^{(\kappa_S)} = \sqrt{\frac{\kappa_S}{N}} \quad v \gg \kappa_S$$

$$(v_x^w, v_y^w, v_z^w) \approx A_i^w (-\sin 2\theta \cos \alpha, 2 \cos^2 \theta \cos \alpha, 2 \sin^2 \theta) F_i(p, q)$$

$$G(\mathbf{n}, p, q) = \frac{1}{\sqrt{p \sin \theta + q \cos \theta}} \int_0^{+\infty} dk_p k_p^{\mathbf{n}} \exp \left(ik_p p - \frac{k_p^3 \delta_N^2 q}{2 \cos \theta} \right)$$

$$F_i(p, q) = f(\alpha, \theta, \varphi) G(n, p, q) \quad \rho \approx \frac{2i\rho_0}{\omega\Lambda} A_i^w \sin^2 \theta F_i(p, q)$$

$$f = \cos \varphi \sin \theta - \sin(\pi/4 - \alpha) \sin \varphi \cos \theta$$

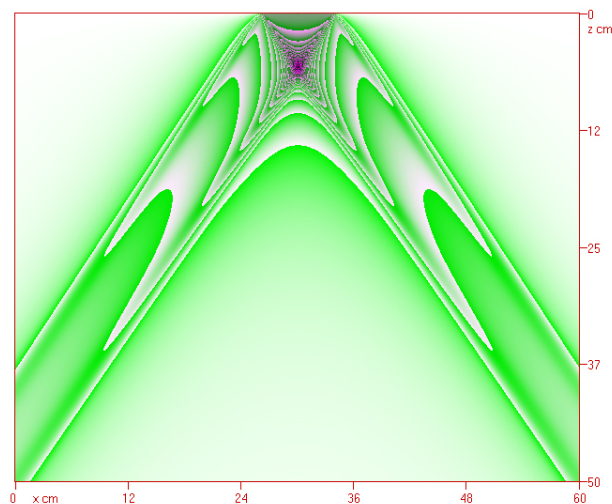
Rankine's sink-source models do not work in a viscous fluid as exponent n is not integer

Макаров С.А., Неклюдов В.И., Чашечкин Ю.Д. Пространственная структура пучков двумерных монохроматических волн в экспоненциально-стратифицированной жидкости // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 7. С. 744-754.

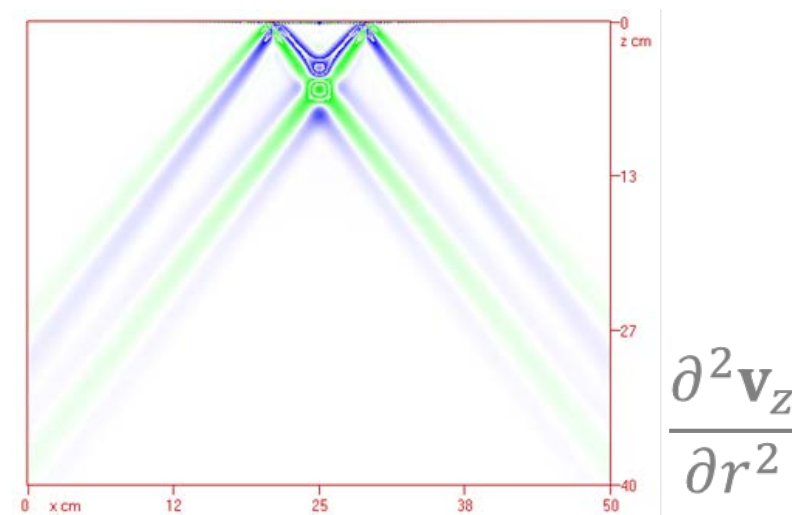
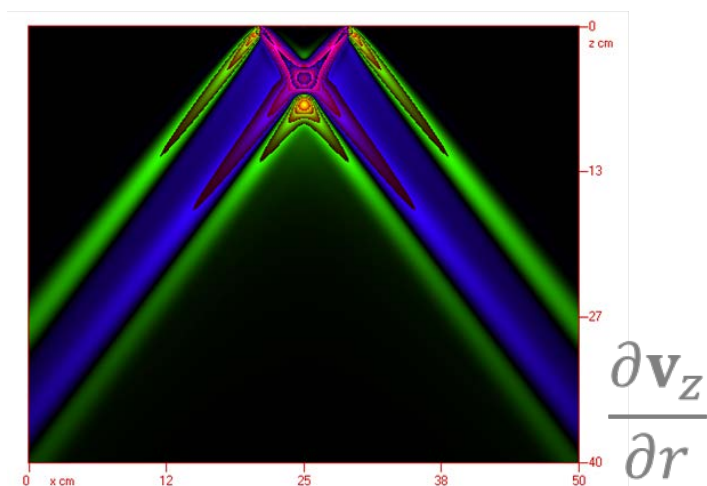
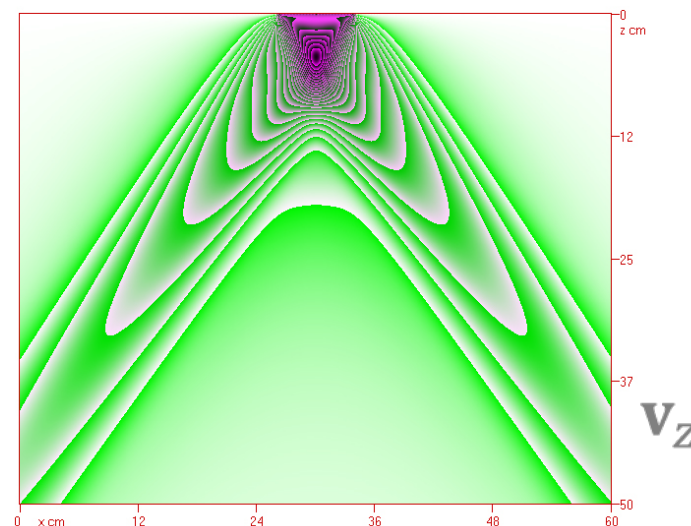
Чашечкин Ю. Д., Васильев А. Ю, Бардаков Р.Н. Тонкая структура пучков трехмерных периодических внутренних волн // Доклады АН 2004, Том 397, № 3, С. 404–407

Конические пучки внутренних волн (разные вязкости)

$$\nu = 0.001 \text{ cm}^2/\text{s}$$

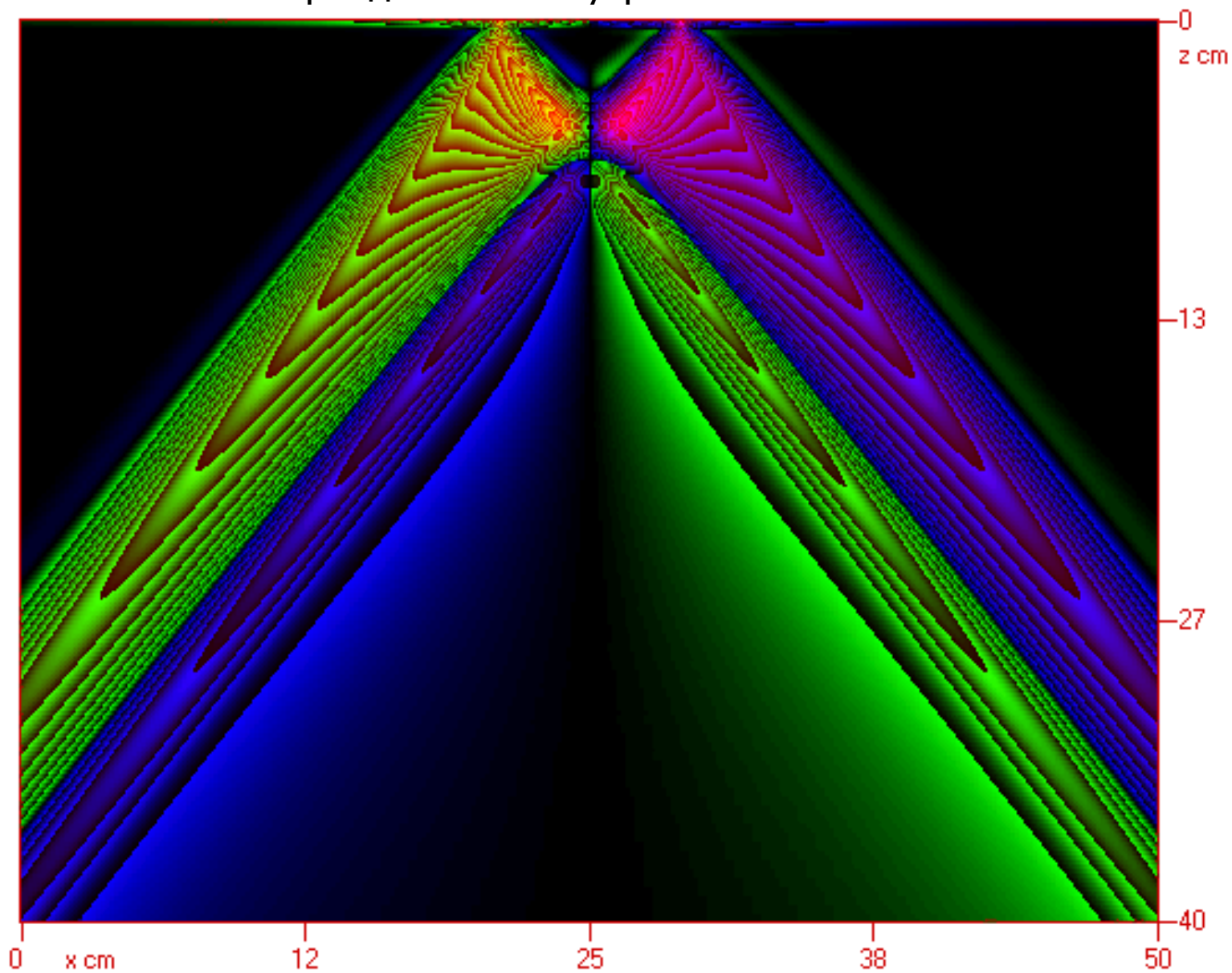


$$\nu = 0.4 \text{ cm}^2/\text{s}$$



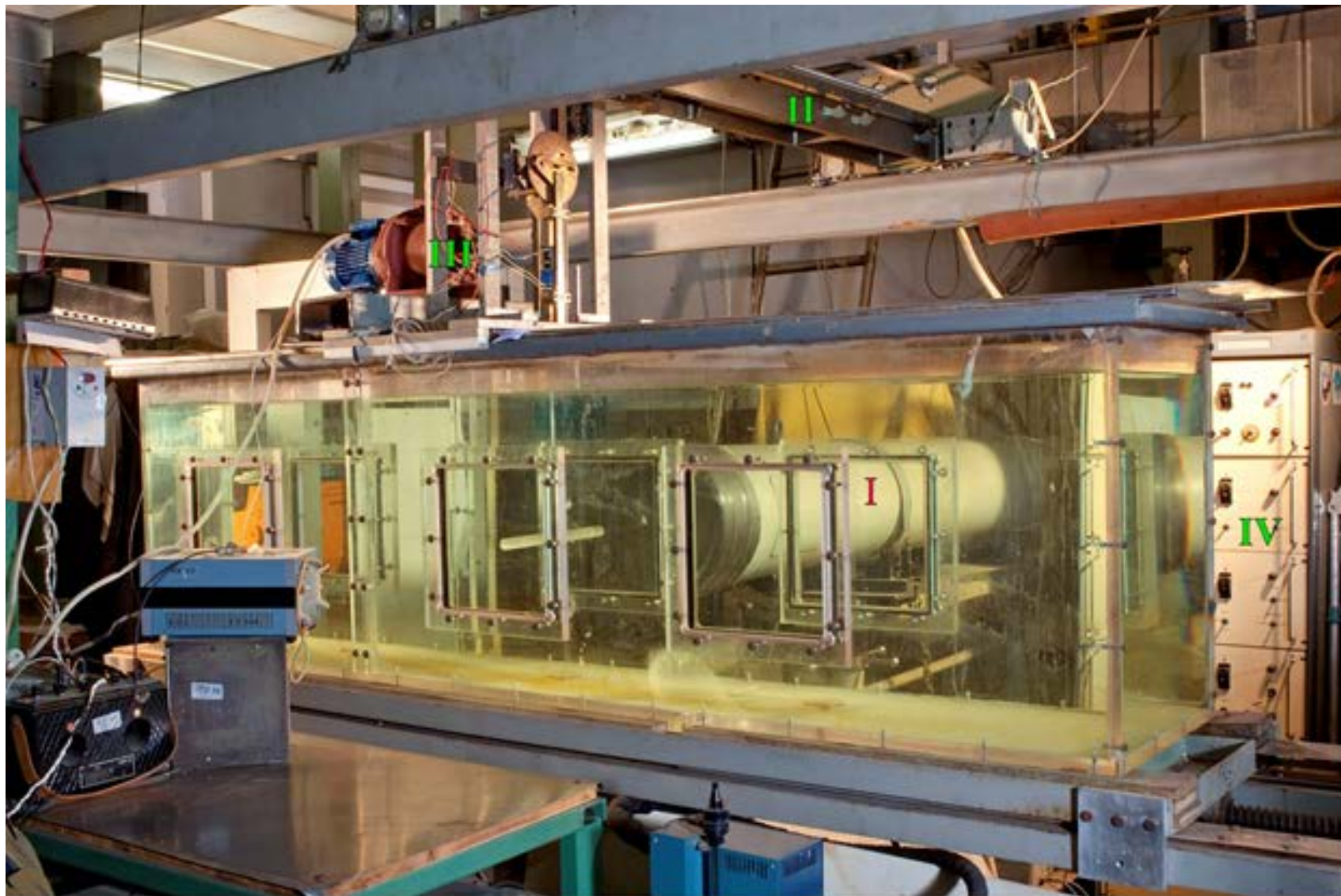
$$\omega = 1.0 \text{ s}^{-1}, \quad N = 1.2 \text{ 1/c} \quad U = 0.25 \text{ cm/s} \quad R = 4 \text{ cm}$$

Периодические внутренние волны



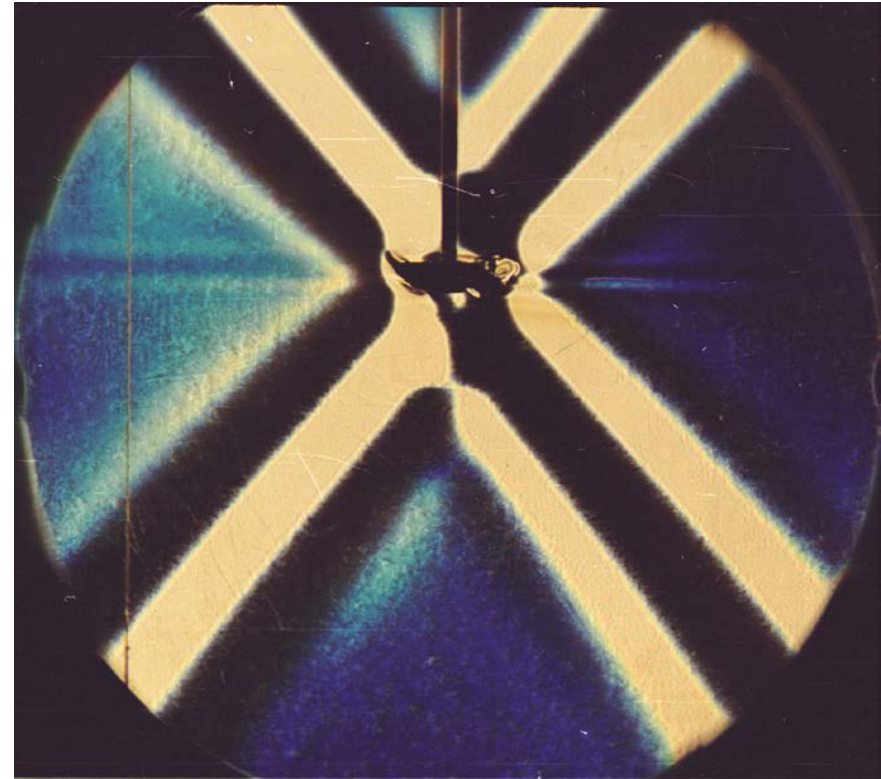
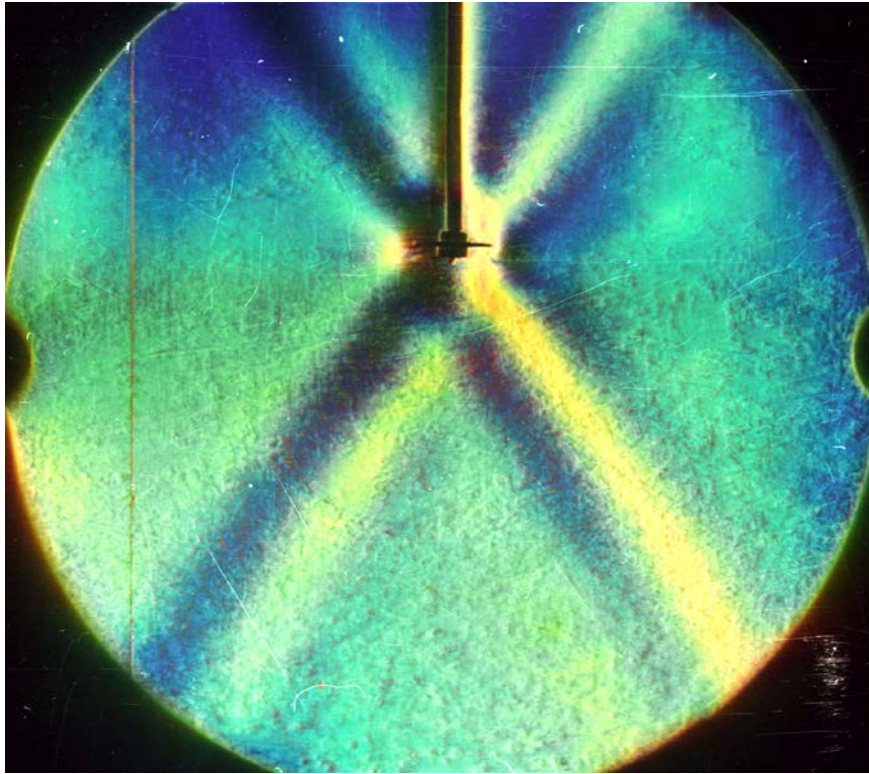
Динамика поля горизонтальной компоненты скорости жидкости

УИУ “Гидрофизический комплекс ИПМех РАН



Лабораторный передвижной бассейн с теньевым прибором ИАБ-458, Кареткой, генератором внутренних волн, блоком управления

Пучки периодических внутренних волн жидкости переменной плотности



$$\rho(z) = \rho_{00} \exp(-z/\Lambda) \quad \Lambda = \left| d \ln \rho / dz \right|^{-1} \quad N^2 = \left| \frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz} \right| \quad N^2 = \frac{g^2}{c^2} \left(\frac{c_p}{c_v} - 1 \right) \quad T_b = 2\pi/N$$

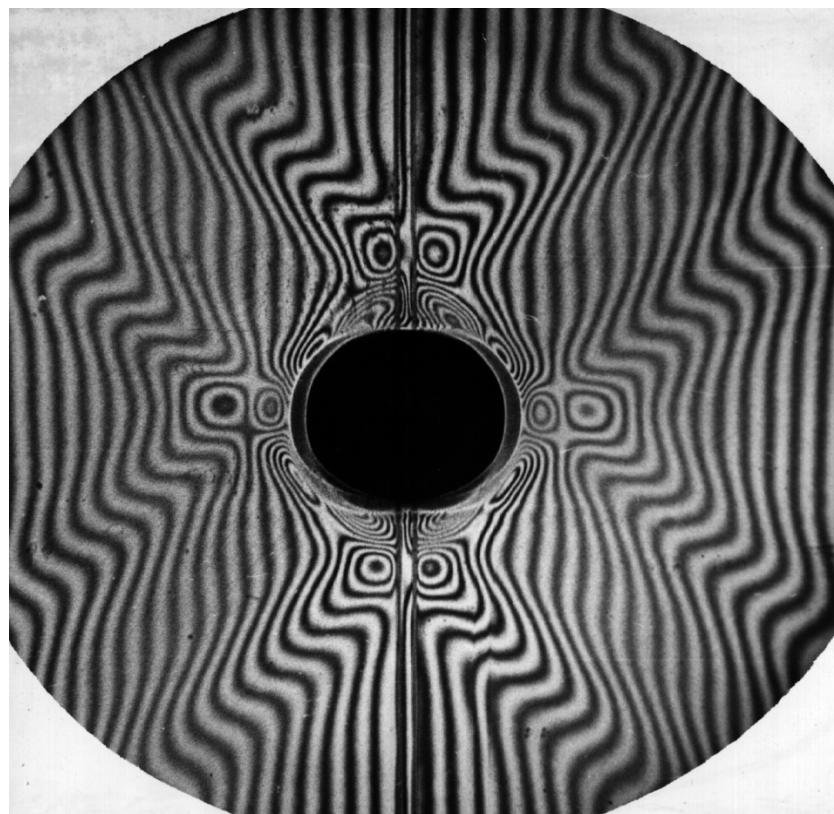
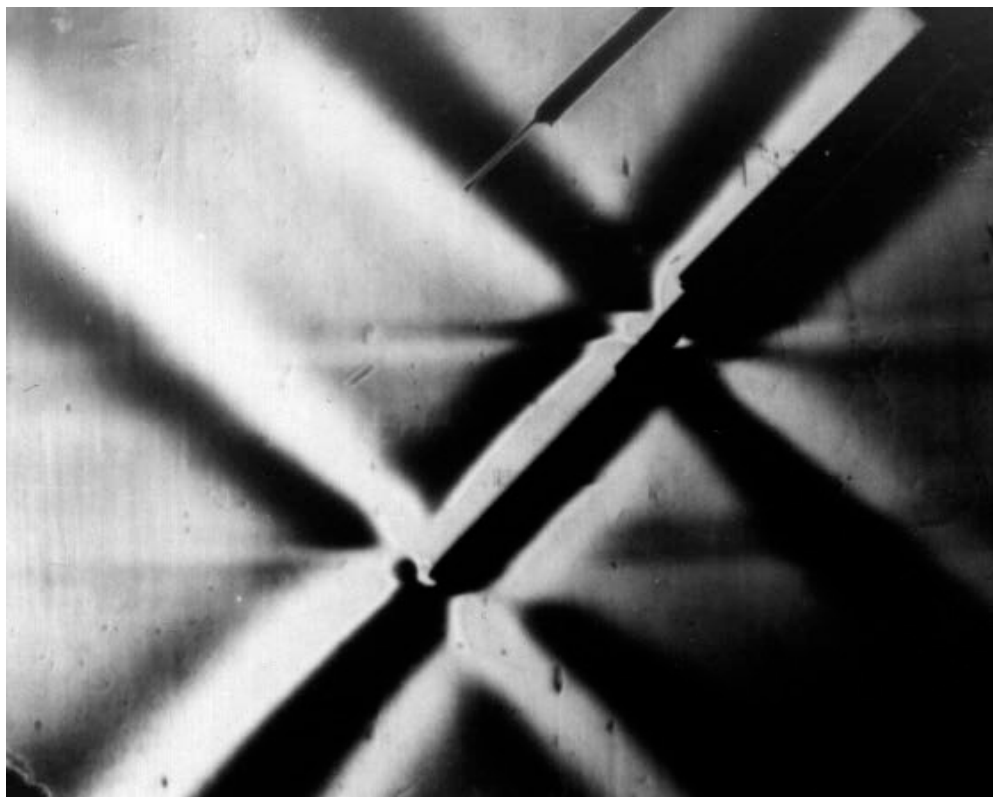
$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \eta + N^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \eta = 0 \quad \omega^2 k^2 - N^2 k_{\perp}^2 = 0 \quad \omega = \pm N \sin \vartheta$$

Одно- и бимодальные пучки периодических внутренних волн -
теневая и интерферометрическая визуализация

$$L_x = 6 \text{ cm}$$

$$N = 1.14 \text{ rad s}^{-1}$$

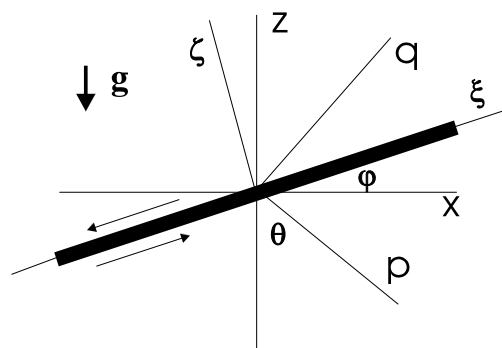
$$L_v = \sqrt[3]{g\nu} / N$$



Критический угол $\theta = \varphi$

$$d = 4 \text{ cm}$$

Генерация нелинейных периодических внутренних волн наклонной полосой



$$(\rho_0 + \rho) \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \nabla) \mathbf{u} - \nu \Delta \mathbf{u} \right] = -\nabla P - \rho g \mathbf{e}_z,$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{u} \nabla \rho = 0$$

$$\nabla \mathbf{u} = 0, \quad \rho_0(z) = \rho_{00} \exp(-z / \Lambda). \quad u_\xi = \partial \Psi / \partial \zeta \quad u_\zeta = -\partial \Psi / \partial \xi$$

$$U_\xi(\xi) = u_0 \vartheta(a/2 - |\xi|)$$

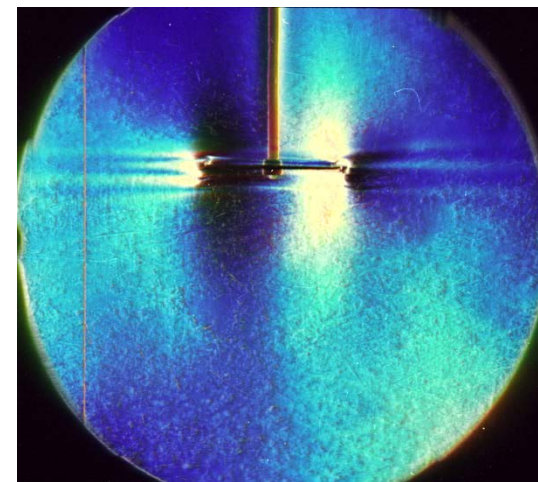
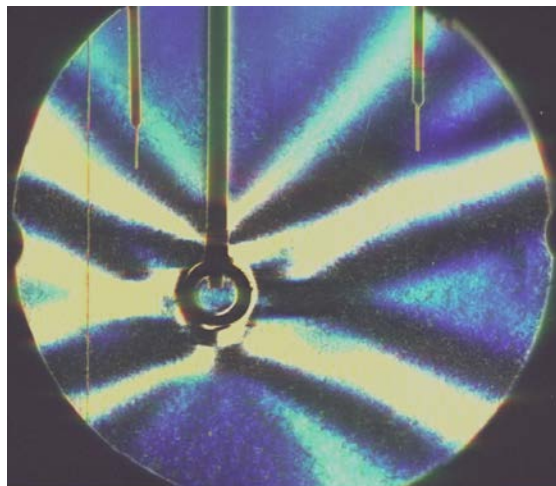
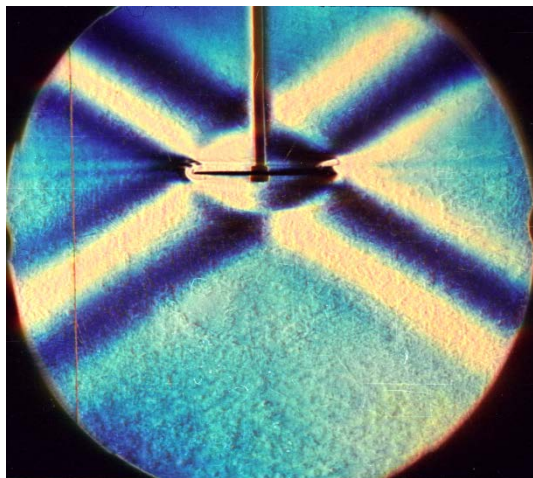
$$\Psi = -\frac{i\beta u_0}{\pi^2} \sqrt[3]{\frac{\nu^2 a^2}{2N^2 \cos^2 \theta}} \int_0^\infty \exp \left[-ik\zeta - \frac{\nu k^3 \xi}{2N \cos \theta} \right] dk \quad \beta = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin x}{\sqrt[3]{x|x|}} F(x) dx \quad h(\xi, 0) = \frac{\beta b \sin \theta}{3\pi^2} \Gamma\left(\frac{2}{3}\right) \sqrt[3]{\frac{2a^2}{\xi^2}}$$

Генерация нелинейных периодических внутренних волн осциллирующей вертикальной полосой с глубиной модуляции Ω

$$h(p, q) = \frac{3\omega b_1 b_2 (1+i) \sin^2 \theta}{8\pi \Omega} \sqrt{\frac{2\nu}{\Omega}} \int_0^\infty \kappa \sin \frac{\kappa a \cos \theta}{2} \exp \left(i\kappa p - \frac{\nu \kappa^3 q}{2N \cos \theta} \right) d\kappa \quad h_m(q) = \frac{\omega a b_1 b_2 \cos^2 \theta}{4\pi q} \sqrt{\frac{\sin \theta}{\nu N}}$$

Chashechkin Yu. D. Conventional partial and new complete solutions of the fundamental equations of fluid mechanics in the problem of periodic internal waves with accompanying ligaments generation // Mathematics. 2021. V. 9(6). No. 586.

$$\omega^2 = N^2 \sin^2 \vartheta$$



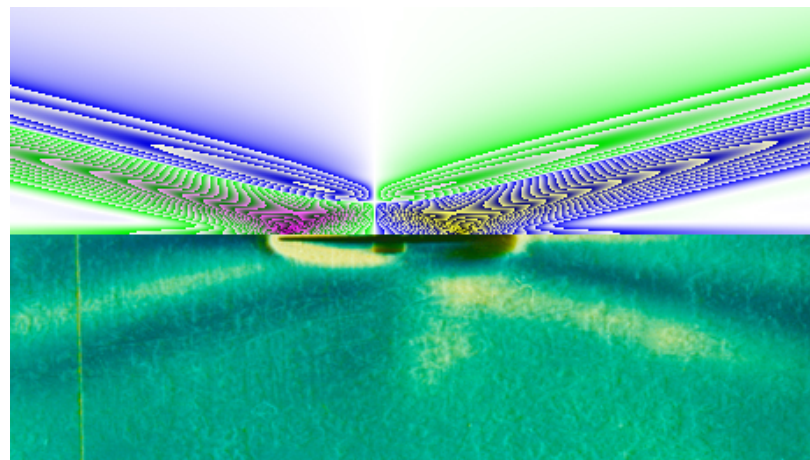
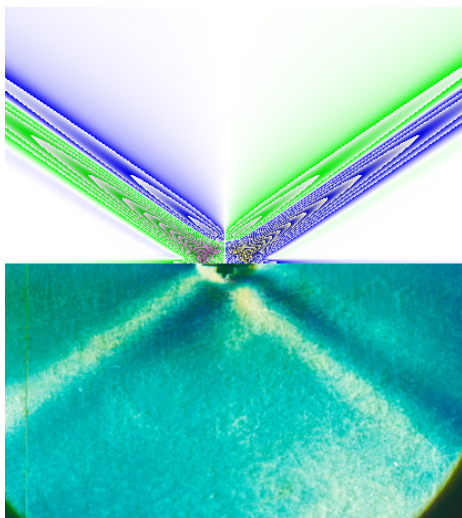
$$\omega / N = 0.55; 1.27. \quad D = 5 \text{ cm}$$

$$T_b = 6.4 \text{ s},$$

$$\omega = 0.6 \text{ s}^{-1},$$

$$R = 2.0 \text{ cm}$$

$$\omega / N = 0.6,$$

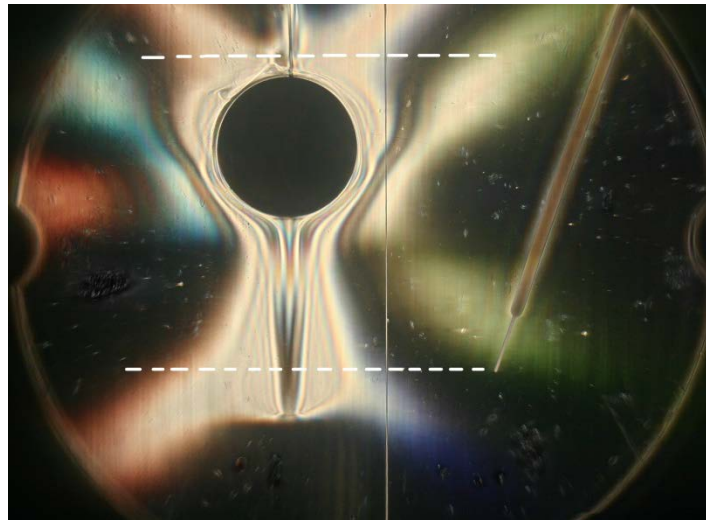
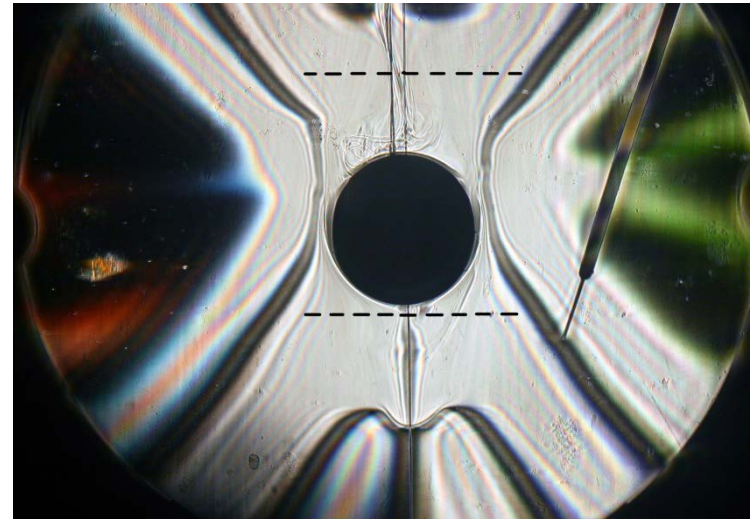
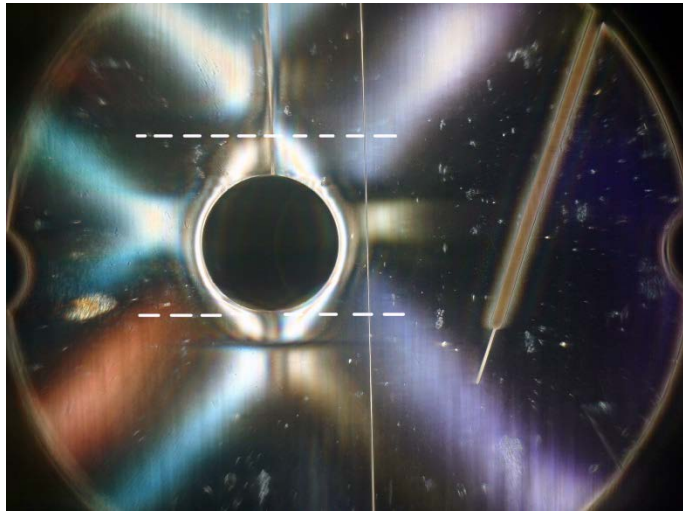


$$\omega = 0.3 \text{ s}^{-1},$$

$$\omega / N = 0.3,$$

$$R = 5.0 \text{ cm}$$

Пучки периодических внутренних волн

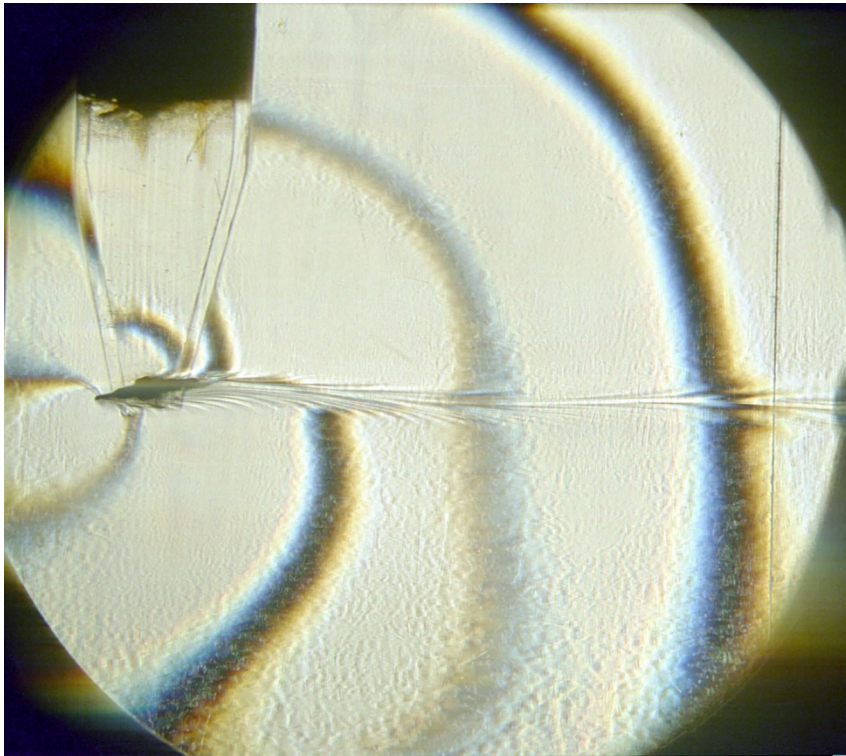


$$T_b = 11.2 \text{ s} \quad D = 4.5 \text{ cm} \quad A = 2.7 \text{ cm} \quad \omega / N = 0.68$$

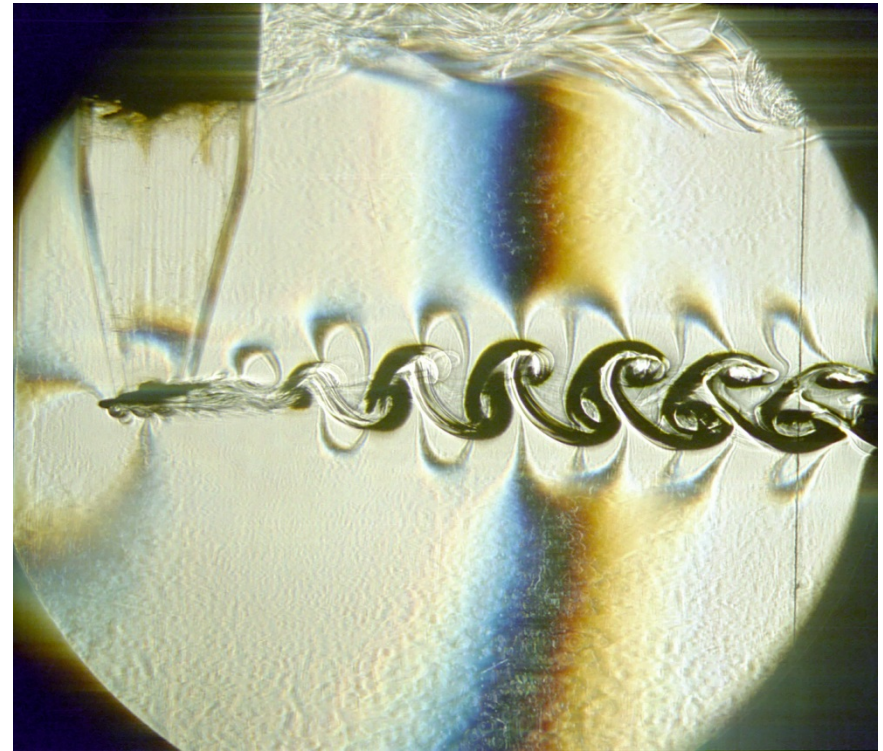
Singular envelopes and auto cumulative jets in the periodic internal wave cone

Теневая картина течения за наклонной пластиной

$$T_b = 7.55 \text{ с} \quad L = 2.5 \text{ см} \quad \alpha = 12.5^\circ \quad C = \frac{\Lambda}{L_x} = 560 \quad \text{Re} = \frac{UL_x}{\nu} \quad \text{Fr} = \frac{U}{NL_x} =$$



$$U = 3.6 \text{ см/с}, \text{Re} = 350, \text{Fr} = 0.67$$



$$U = 3.6 \text{ см/с}, \text{Re} = 900; \text{Fr} = 1.73.$$

1; 10^{-8} ; 10^{-13} ; 10^{-16} см и с

Среда: Жидкость, газ, плазма (механика, термодинамика, кинетика)

Движение и течение. Классификация компонентов течений.

Волна. Течение, мгновенные пространственные параметры которого $(\mathbf{l}, \mathbf{k})$ функционально связаны с локальными характеристиками временной изменчивости регулярной частью дисперсионного соотношения

$$\omega = \omega(\mathbf{k}, \mathbf{kA}, \dots)$$

Лигаменты - тонкие волокна или оболочки (высокоградиентные прослойки), теории функционально связаны с локальными характеристиками временной изменчивости сингулярной частью дисперсионного соотношения, характеризуются обшвенными масштабами

$$\delta_{\tau}^v = \sqrt{v \cdot \tau} \quad \begin{array}{|c|} \hline \square \\ \hline \square \\ \hline \square \\ \hline \end{array} \square \sqrt{\square} \square \quad \begin{array}{|c|} \hline \square \\ \hline \square \\ \hline \square \\ \hline \end{array} \square \square \square U$$

Вихри – локоны, образованные обрывками лигаментов, компактные нестационарные компоненты течений, в которых свободные твердые тела в толще или на поверхности жидкости переносятся потоком и закручиваются вокруг собственной оси, а «жидкие частицы» расщепляются на различные волокна

Физические параметры жидкостей и газов

International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS)

Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use (IAPWS-95, The saline part is formulated as a Gibbs free energy equation in terms of pressure and temperature)

IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97)

Advisory Note No. 5: Industrial Calculation of the Thermodynamic Properties of Seawater" (IAPWS- 2013)

IAPWS-2013 уравнение состояния для жидкой смеси «морская вода» в виде плотности потенциала Гиббса (удельной энтальпии) как функции давления P , температуры T , солёности S

$$G(P, T, S) = G_W(P, T) + G_S(P, T, S)$$

$$dG = -sdT + VdP - S_d d\sigma + \mu_i dS_i \quad E^2 = \mathbf{p}^2 c_l^2 + m^2 c_l^4$$

Все термодинамические величины ρ, s, P, T, S_i, C_P ,
Выражаются в производных термодинамических потенциалов

Уравнение состояния Стандартной морской воды со Стандартным солевым составом (Reference Composition) пригодно для использования в следующих диапазонах давления, температуры и солёности

$$0.3 \text{ kPa} < P < 100 \text{ MPa} , - 12 \text{ C} < T < 80 \text{ C} , \text{ and } 0 < S < 120 \text{ g/ kg}$$

Feistel, R. Thermodynamic properties of seawater, ice and humid air: TEOS-10, before and beyond. *Ocean Sciences*. **2018**, 14, 471–502.

Harvey, A. H; Hrubý, J.; Meier, K. Improved and Always Improving: Reference Formulations for Thermophysical Properties of Water. *J. of Phys. and Chem. Ref. Data*. 2023, 52, 011501.

Определение жидкости (газа, плазмы) $1; 10^{-6}; 10^{-8}; 10^{-14}$ cm

Текучая среда, которую определяют: полная энергия, термодинамические потенциалы, их производные (плотность, энтропия, давление, температура, концентрация компонентов), кинетические и другие физико-химические коэффициенты. Характерные скорости обмена энергией трансляционные, **волновые**, а/молекулярные (диффузионные, конверсионные - ДППЭ, химическая энергия).

$$\rho, s, P, T, S_i, C_P, v, \mu, \kappa_T, \kappa_S, Z_{\pm}, E, H$$

Зернистая ТД структура, уничтожение границ фаз - высокоградиентные прослойки передает энергию в тонкие компоненты течения с атомно-молекулярными масштабами:

ассоциаты, комплексы, клатраты, кластраты, войды, кластеры

$$\sim 10^{-8} \text{ cm} \quad \leftarrow dG = -sdT + VdP - S_d d\sigma + \mu_i dS_i \quad E_t, \mathbf{p}, \rho: \mathbf{v} = \mathbf{p} / \rho$$

Приповерхностные и структурные границы зерен толщиной порядка размера молекулярного кластера

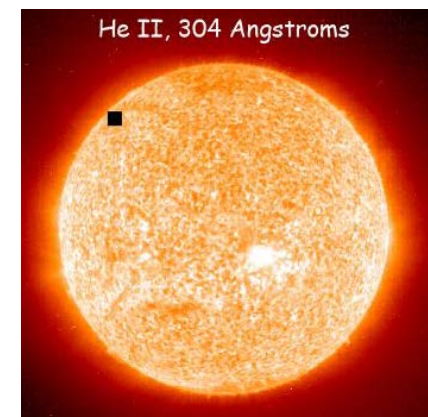
$$2.5 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \quad \leftarrow dG = -sdT + VdP + \sigma dS_d$$

Свободная энтальпия (потенциал Гиббса)

$$dG = -sdT + VdP \quad \rho = \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)^{-1}_{T, S}$$

В однородной

Зернистая ТД структура непрерывно перестраивается, в течениях и поставляет энергию в тонкие волокна и прослойки



Многокомпонентной среде

$$\delta_U^v = \frac{v}{U} \sim \delta_c \sim 10^{-6} \text{ cm} \quad U_{air} \sim 1.15 \text{ km/c} \quad U_{water} \sim 0.1 \text{ km/c} \quad + \text{ геометрия и потоки}$$

Механизмы переноса энергии в жидкостях и газах

Медленный диссипативный (диффузионный),
обусловленный диссипацией и разностью
термодинамических потенциалов
Характерное время $10^{-10} \dots 10^{17}$ с

$$\tau_v^L \sim L^2 / \nu \sim 10^2 \text{ с}$$

$$\tau_{\kappa_T}^L \sim L^2 / \kappa_T \sim 7 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$\tau_{\kappa_S}^L \sim L^2 / \kappa_S \sim 7 \cdot 10^6 \text{ с}$$

Трансляционный - (механический) с
импульсом $\mathbf{p}$ и скоростью $\mathbf{v} = \mathbf{p} / \rho$

$$\tau_p^L \sim \rho L / p = L / U \sim 1 \text{ с}$$

Волновой - с групповой скоростью $\mathbf{v} = \omega(\mathbf{k}, A\mathbf{k}, \dots)$
(звук $c_g^a = \sqrt{(\partial P / \partial \rho)_s}$ $\mathbf{c}_g^w = \partial \omega / \partial \mathbf{k}$)

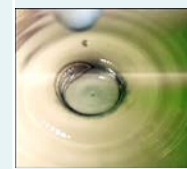
$$\tau_w^L \sim L / c_g^w \sim 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

$$3.0 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad \text{air}$$

Конверсия - освобождению и накоплению
потенциальной поверхностной или химической энергии

Радиационный перенос

$$\tau_w^L \sim 10^{-8} \dots 10^{-10} \text{ с},$$



Термодинамические величины – плотность, температура.... могут быть и «медленными», и «быстрыми» – зависит от масштабов механизма передачи энергии.

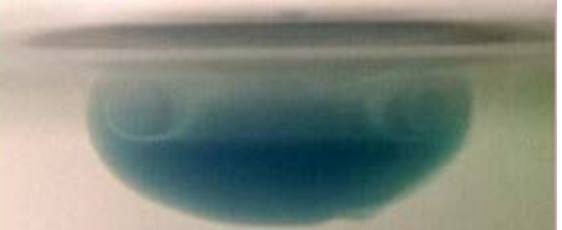
Интрузивный режим слияния отсутствуют шипы и брызги



0 мс



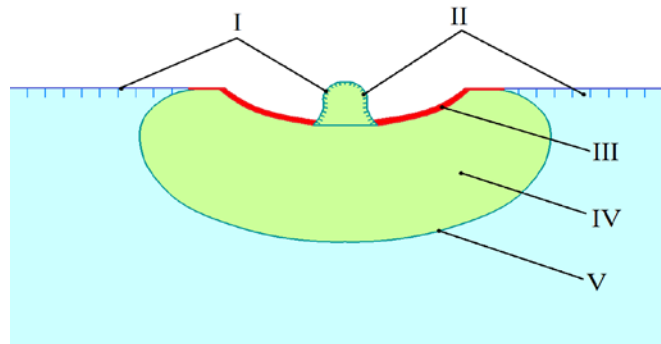
6.4 м/с



11.5 мс

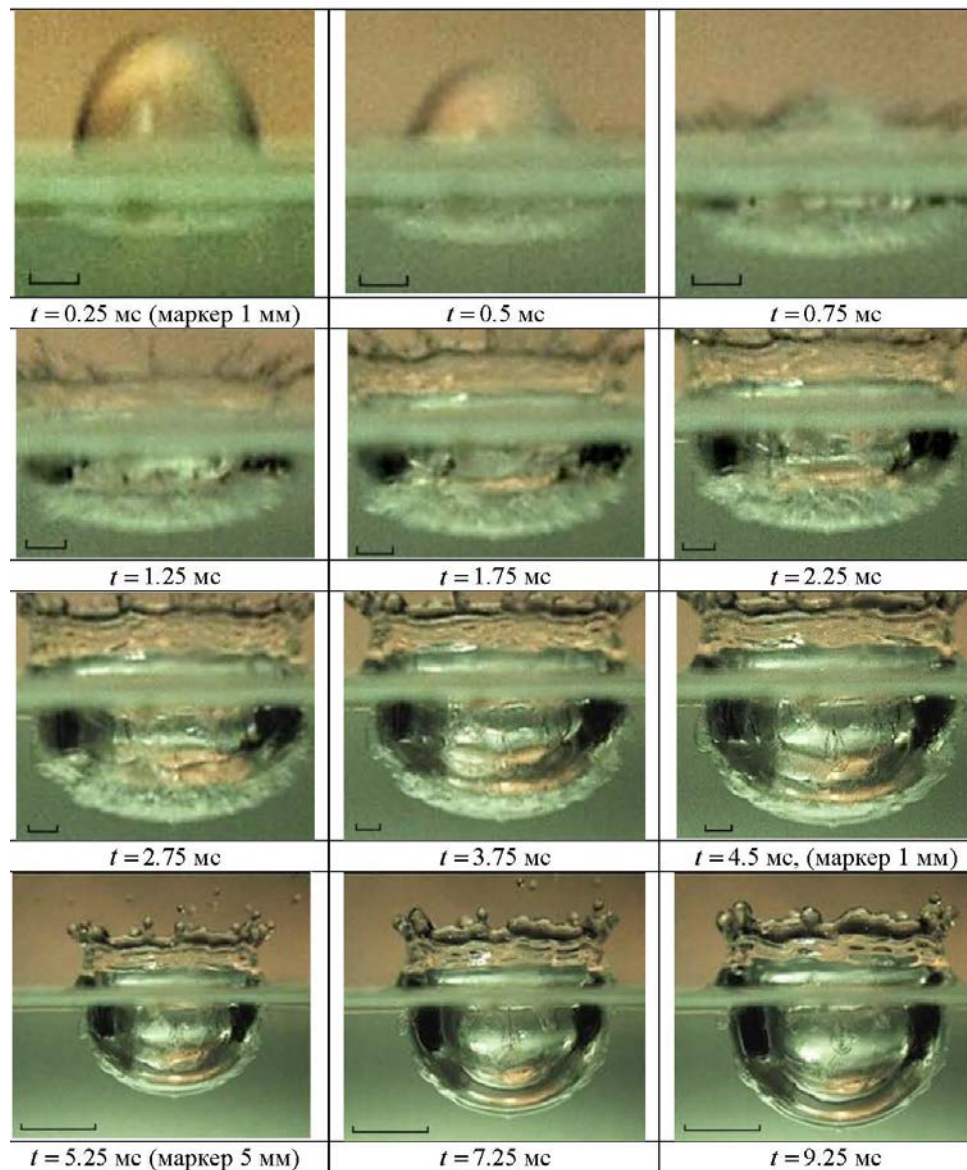


19.1 мс



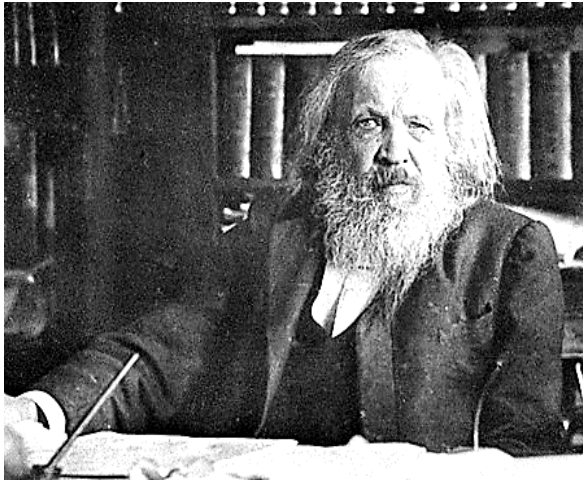
$$E_k < E_\sigma$$

Чашечкин Ю.Д., Ильиных А.Ю. Задержка формирования каверны в интрузивном режиме слияния свободно падающей капли с принимающей жидкостью // Доклады РАН. 2021. том 496, с. 34–39



Эволюция волокнистой структуры промежуточного слоя с веществом капли, образующего оболочку каверны (слияние капли воды с 20% раствором роданида аммония, $D = 0.43$ см, $U = 3.1$ м/с, $E_k = 200$ мкДж, $E_\sigma = 4.2$ мкДж, $Re = 13300$, $We = 570$, $Fr = 228$, $Bo = 2.5$, $Oh = 0.0018$, $E_R = 48$, $W_R = 1.7 \cdot 10^{-3}$, $R_p = 0.03$), скорость съемки 4000 к/с, экспозиция 1/4000 с, разрешение 50 мкм/пикс, кадр 512×512 пикс).

Д. И. Менделеев = D. Mendeleeff



1834 - 1907

1. Об упругости газов. СПб.: 1875. 262 с.)
1. Предисловие и перевод книги Г. Мона «Метеорология или исследования погоды» - "Meteorology or studies of weather" by G. Mohn (СПб. 1876).
3. О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании). СПб. 1880.
4. Исследование водных растворов по удельному весу). 1887. 520 р.
5. Mendeleeff D. The variation in density of water with temperature // Philosophical Magazine. 1892. V. 33. № 200 (S.5). P. 99-132.



1839 - 1903

J.W. Gibbs

**On the Equilibrium of Heterogeneous Substances
(1874–1878)**

Elementary Principles in Statistical Mechanics,
published in March 1902, 207 P.

Работы Д.И. Менделеева и Дж. Гиббса завершили формулировку базовых уравнений механики жидкостей, однако не имплементированы до сегодняшнего дня.

Замкнутая, самосогласованная и разрешимая система фундаментальных уравнений Даламбера – Фурье – Навье – Стокса – Фика – Менделеева – Гиббса

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = \rho(P, T, S_n), \quad G = G(x, y, z), \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{p}) = Q_m, \\ \frac{\partial S_i}{\partial t} + \nabla \cdot (S_i \mathbf{v} + \mathbf{I}_i) = Q(S_i), \\ \frac{\partial (p^i)}{\partial t} + \nabla_j \Pi^{ij} = \rho g^i + 2\rho \varepsilon^{ijk} v_j \Omega_k + Q^i(f), \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \nabla_i (E v^i) + \nabla_i \left(q^i + P v^i - \sigma^{ij} v_j + \frac{\partial w}{\partial S_n} I_n^i \right) = Q(e), \end{array} \right.$$

Плотность – быстрый параметр
термодинамической и
механической природы

$$\rho = \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)^{-1}_{T, \sigma, S_i}$$

$$\Pi^{ij} = \rho v^i v^j + p \delta^{ij} - \sigma^{ij}$$

$$\sigma^{ij} = \mu \left(\frac{\partial v^i}{\partial x^j} + \frac{\partial v^j}{\partial x^i} - \frac{2}{3} \delta^{ij} \frac{\partial v^k}{\partial x^k} \right) + \zeta \delta^{ij} \frac{\partial v^k}{\partial x^k}$$

$$E = \rho \left(\frac{v_i^2}{2} + \varepsilon + U \right)$$

Условия совместности и тождественности преобразований + начальные и граничные условия (прилипания и непротекания)

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика. М.: Наука. 1944. 646 с.

Muller P. The equations of oceanic motions. Cambridge: CUP. 2006. 292 p.

Течения жидкости определяются как перенос вещества, импульса и энергии, сопровождающийся самосогласованными изменениями физических параметров жидкости или сжимаемого газа, который описывается системой уравнений (1) с физически обоснованными начальными и граничными условиями.

Волны – периодические течения, в которых параметры локальной временной изменчивости физических полей (частота ω) и мгновенной пространственной структуры (волновое число k или длина волны λ) связаны функциональным (дисперсионным) соотношением $\omega = \omega(k, k_A, \dots)$ которое может включать и амплитуды возмущений A .

Лигаменты (струйки, триклы, волокна, филаменты, связки, оболочки, прослойки) – анизотропные компоненты – вытянутые в направлении групповой или переносной скорости) и тонкие в других. Поперечные масштабы лигаментов определяются диссипативными свойствами среды (коэффициентами кинематической вязкости ν , температуропроводности или диффузии) и характерными значениями временной изменчивости – частотой волны ω , временем установления процесса Δt , скоростью переноса импульса и энергии U :

$$\delta_\omega^\nu = \sqrt{\nu / \omega} \quad \delta_t^\nu = \sqrt{\nu \Delta t} \quad \delta_U^\nu = \nu / U$$

Вихри – нестационарные компоненты с относительно высоким значением завихренности $\omega = \text{rot } \mathbf{u}$. В компактном вихре свободные твердые тела в толще или на поверхности жидкости переносятся потоком и одновременно вертятся вокруг собственной оси, а «жидкие маркеры» расщепляются лигаментами на различные волокна.

Основные результаты:

Состояние среды характеризуют термодинамические потенциалы (базовый потенциал Гиббса G) и их производные, образующие набор уравнений состояния, а также кинетические и другие физические коэффициенты.

Энергия передается с течениями со скоростью среды, с групповой скоростью волн, диссипативными процессами, а также в ходе прямых атомно-молекулярных процессов на лигаментах.

Динамику жидкостей и газов полей характеризует фундаментальная система уравнений – набор дифференциальных форм - аналогов законов сохранения. Симметрии такой системы соответствуют основным принципам физики. Входящие в систему уравнений физические величины наблюдаемы.

В адекватном гидродинамическом эксперименте необходимо регистрировать крупномасштабные и разрешать микроструктурные компоненты процессов, контролировать полноту методики, оценивать погрешность данных непосредственно в процессе их получения.



Благодарю за внимание

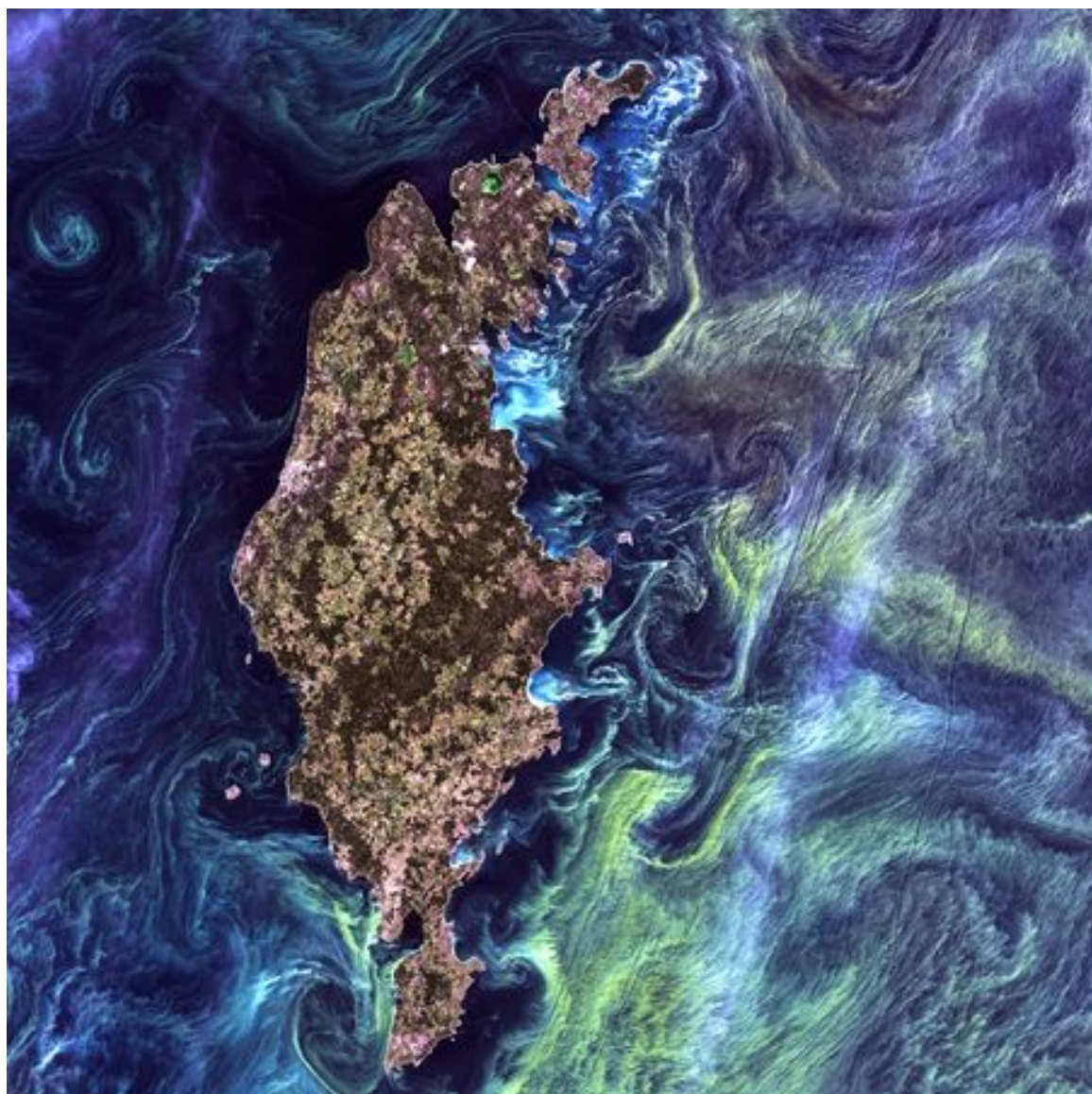
Основная причина наших заблуждений состоит в предрассудках нашего детства.

Вторая причина наших заблуждений состоит в том, что мы не можем изгладить из памяти эти предрассудки.

Третья причина состоит в том, что мы утомляемся, когда внимательно рассматриваем то, что непосредственно не дано нам в чувствах; отсюда возникает привычка судить об этих вещах не по данному нам восприятию, но на основе предвзятого мнения.

Существует и четвертая причина: мы закрепляем наши понятия в словах, неточно соответствующих вещам”.

Декарт Р. Principia Philosophiae (1644).



The best NASA Photo
“Plankton around the Gotland in Baltic Sea”



Photo : NASA ‘s image of Gotland which has been compared to Van Gogh “Starry night”