

О природе вязкости ньютоновской жидкости

В.В. Чернуха

Аннотация

В статье рассмотрено возникновение вязкости в жидкостях, обусловленное поляризационным квантовым механизмом взаимодействия с физическим вакуумом, и даётся вывод уравнения Навье–Стокса из уравнения Эйлера без использования феноменологически вводимого в классической механике вязкого тензора напряжений.

В настоящее время наиболее успешно описание структуры и свойств жидкости достигается в теории возмущений, в которой модель твёрдых сфер принимается в качестве нулевого приближения, а силы притяжения считаются возмущением [1]. Статистическая теория кинетических процессов в жидкости основана на исследовании неравновесных функций распределения для систем из разного числа молекул. Если в системе действуют парные силы, то эти функции удовлетворяют системе зацепляющихся интегро-дифференциальных уравнений Боголюбова [2]. Эти уравнения обратимы по времени, и, чтобы получить решения, описывающие необратимые кинетические процессы, функции распределения усредняют или «размазывают» по соответствующим образом подобранному малым интервалам времени. В итоге получают кинетические уравнения, необратимые во времени [1]. Однако фундаментальная физическая природа вязкости и здесь остаётся неясной.

В чём причина этого?

В современной теории все четыре фундаментальных взаимодействия являются потенциальными. В этом случае любое фундаментальное объяснение появления вязкости должно описываться потенциальным взаимодействием частиц жидкости. Однако при вихревом течении жидкости вызываемая вязкостью сила трения потенциалом не обладает. Потенциальное взаимодействие электронных оболочек атомов, движущихся в жидкости с разной скоростью, не может приводить к диссипации. Аналогичным образом, электроны в атоме не испытывают взаимного трения, несмотря на разную скорость. Как же тогда возникает в жидкости вязкость?

Возможность дать ответ на вопрос о природе вязкости на фундаментальном уровне – искать обуславливающее вязкость взаимодействие, не обладающее действительным потенциалом. Этот подход предложен в [3], где получен поляризационный вывод уравнения Навье–Стокса. В данной работе обсуждается скорректированный поляризационный механизм вязкости, позволяющий описать диапазон её изменения в реальных жидкостях.

Как известно, вязкое течение ньютоновской жидкости (в которой сдвиговая вязкость не зависит от скорости деформации) описывается уравнением Навье–Стокса с положительным коэффициентом трения. Сообщения, указывающие на его отрицательное значение, очень редки. Имеет место явно выраженная асимметрия опытных данных о диссипативных и антидиссипативных состояниях нуклонной материи. Для понимания природы диссипации рассмотрим поляризационный механизм появления вязкости в идеальной (бездиссипативной) жидкости.

В поляризационной теории Мироздания [3] все физические величины (включая пространство и время) в общем случае являются комплексными, а изменение их значений

происходит с нулевой суммой, т.е. реализуются соответствующие законы сохранения. В изучаемом классической физикой мире направление времени выделено термодинамической стрелой времени, тогда как направления координатных осей в сферически-симметричном пространстве физически эквивалентны (не поляризованы), а значит, равновесным является состояние вещества с нулевой скоростью. К нему должны релаксировать состояния с ненулевой скоростью, т.е. в таком мире коэффициент трения является положительной величиной. В физическом вакууме с поляризованным центрально-симметричным пространством, где направления координатных осей физически различны и определяют скорость рождающихся частиц [3], трение может иметь оба знака. Если система частиц имеет равновесное ненулевое значение скорости, то при меньших скоростях потока частиц трение будет отрицательным до тех пор, пока скорость не возрастет до равновесного значения.

В физическом вакууме Вселенной, где рождаются частицы и античастицы с положительной, отрицательной и мнимой массой, пространство является комплексным (число его действительных и мнимых измерений одинаково) и поляризованным (направления каждого измерения физически различны). Комплексное поляризованное d -мерное пространство имеет число физически различных подпространств (пространственных состояний), различающихся хотя бы одним направлением измерения, равное $k_d = 2^{(2^d)}$. Рождающиеся одинаковые частицы заполняют эти пространственные состояния, не взаимодействуя друг с другом. При полном заполнении пространственных состояний мультиплет частиц переходит в неполяризованное пространство Вселенной. Он, а не отдельные частицы, является объектом изучения квантовой механики. Таким образом, у частиц в неполяризованном пространстве Вселенной существуют скрытые индивидуальные характеристики их рождения – индивидуальные *пространственные состояния*, определяющие направления скорости рождающихся частиц. В общем неполяризованном пространстве становится возможным локальное взаимодействие между частицами. Рождение индивидуальных объектов в поляризационной теории невозможно, так как нарушает законы сохранения. Поэтому рождение частиц происходит парами [4], что приводит к увеличению числа пространственных состояний. В трехмерном комплексном пространстве оно равно $k_3^2 = k_4 = 65536$. Согласно [3, 4], число бозонов в заполненном мультиплете пространственных состояний равно πk_4 .

Вывод уравнения Навье-Стокса

Как известно из гидродинамики [5], выведенное без учета поляризационных эффектов уравнение движения потенциального течения имеет первый интеграл

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{P}{\rho} + \frac{\bar{v}^2}{2} + F(t) = -\varepsilon. \quad (2)$$

где $F(t)$ – произвольная функция времени, ϕ – потенциал скорости, ε – внутренняя энергия единицы массы, \bar{v} – скорость потока, P – давление, ρ – плотность жидкости, которая по сравнению с давлением меняется слабо. Для идеальной несжимаемой жидкости внутренняя энергия равна нулю.

Внутреннее трение жидкости возникает из-за ее взаимодействия с физическим вакуумом. Течение жидкости инициирует в нем коллективные возбуждения – потоки квазичастиц, движущихся с той же скоростью, что и жидкость. Это равновесное состояние потока квазичастиц поддерживается силовым эффектом, возникающим при рождении в физическом вакууме пар скалярных нейтральных частиц с разными знаками масс – *пленонов*. Это один из поляризационных механизмов в физическом вакууме. Масса пленонов вычислена в [3] и равна

$$m_{pl} = \frac{m_p}{k_6} \cos \frac{\pi}{4} \approx 0,468 \text{ ГэВ}/c^2, \quad (3)$$

где m_p – планковская масса. Как показано в [3, 6], образование пленонов является механизмом удержания кварков в адронах.

Образование потока квазичастиц происходит при поляризации действия между жидкостью и физическим вакуумом. Изменение действия жидкости приводит к появлению у нее внутренней энергии единицы массы ε , которая компенсирует энергию единицы массы потока квазичастиц. Это условие поляризации энергии между жидкостью и квазичастицами.

Согласно [3], рождение имеющих массу частиц приводит к появлению не зависящей от расстояния поляризационно-реактивной силы, и для существования равновесного потока жидкости силы, создаваемые квазичастицами с массами $\pm m_q$ и пленонами, должны компенсировать друг друга в каждой точке потока квазичастиц. Как показано в [3], поляризационно-реактивная сила пропорциональна квадрату ее массы и скорости перемещения рождающейся в физическом вакууме частицы. Поскольку квазичастицы и пленоны двигаются со скоростью потока жидкости, то отсюда следует, что равновесное течение жидкости возможно, если

$$m_{pl}^2 + s^2 m_q^2 = 0.$$

Здесь s – число рождающихся в физическом вакууме вместе с пленоном фазово-коррелированных квазичастиц, которое может варьироваться в диапазоне

$$1 \leq s \leq \pi k_4.$$

Таким образом, рождающиеся квазичастицы имеют мнимую массу, равную

$$m_q = \pm i m_{pl} / s. \quad (4)$$

Соответственно действие квазичастиц также является мнимой величиной. Поэтому поляризация действия приводит к появлению мнимого действия и у вещества жидкости. Оно и нарушает потенциальность ее течения. Этот механизм возникновения трения позволяет определить кинематический коэффициент вязкости.

Поток квазичастиц с плотностью n_q имеет ту же скорость и тот же потенциал скорости ϕ , что и поток жидкости. Поэтому уравнение неразрывности для потока квазичастиц имеет вид:

$$\frac{d \ln n_q}{dt} = -\Delta \phi. \quad (5)$$

Плотность n_q определяется волновой функцией квазичастиц $\Psi_q \sim e^{\pm i \Sigma_q / \hbar}$:

$$n_q \sim |\Psi_q|^2 \sim e^{\pm 2i \frac{\Sigma_q}{\hbar}}. \quad (6)$$

Здесь Σ_q – мнимое действие квазичастицы.

Условием поляризации энергии между потоками жидкости и квазичастиц является выполнение закона сохранения энергии:

$$\varepsilon = -\frac{\bar{v}^2}{2} = \frac{d \Sigma_q}{m_q dt}. \quad (7)$$

Так как действие пары квазичастиц с разными знаками масс равно нулю, то значение ε инвариантно относительно знака массы, и вклад в ε каждой из квазичастиц пары одинаков.

Из (4) - (7) получаем

$$\varepsilon = -v \Delta \phi, \text{ где } v = \frac{i \hbar}{2m_q} = \pm \frac{s \hbar}{2m_{pl}} \quad (s = 1, 2, \dots, \pi k_4)$$

Уравнение (2) принимает вид

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} - F + \frac{P}{\rho} = -\varepsilon = \nu \Delta \phi. \quad (8)$$

Применяя оператор $\vec{\nabla}$ к обеим частям (8), получаем уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \vec{\nabla}) \vec{v} = -\frac{\vec{\nabla} P}{\rho} + \nu \Delta \vec{v}.$$

Мы показали, что внутренняя энергия несжимаемой жидкости определяется ее внутренним трением, создаваемым поляризационным механизмом взаимодействия с физическим вакуумом. Кинематическая вязкость ν является поляризационным квантовым эффектом: ее величина пропорциональна размерности s мультиплета поляризационных возбуждений жидкости. Вязкость положительна, если $m_q = im_{pl} / s$. Если при течении жидкости возбуждаются несколько мод квазичастиц, то коэффициент кинематической вязкости будет определяться средним значением s . Положительная вязкость имеет место у жидкостей с термодинамически равновесным состоянием, т.е. слабо связанных с физическим вакуумом. При сильной связи с физическим вакуумом, когда стрела времени меняет направление, коэффициент кинематической вязкости будет отрицательным. Сообщений об экспериментах, где наблюдалось отрицательное трение жидкостей, крайне мало.

Вид коэффициента кинематической вязкости (8) не зависит от скорости деформации и должен описывать вязкость ньютоновской жидкости. С учетом массы плена (3) диапазон изменения кинематической вязкости определяется значениями:

$$\nu(1) \approx 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ст}; \nu(\pi k_4) \approx 125 \text{ Ст}. \quad (9)$$

Приведём некоторые экспериментальные значения вязкости в Ст ($\text{см}^2 / \text{с}$), взятые из [7]: ртуть – 0,0011 (15°C); эфир – 0,00327 (15°C); бензин – 0,0093 (15°C); вода – 0,01 (20°C); спирт этиловый – 0,0154 (20°C); керосин – 0,027 (15°C); глицерин безводный – 11,89 (около 20°C); патока – 600 (18°C).

Согласно [8], сдвиговая вязкость низкомолекулярных жидкостей, расплавленных металлов и солей не превышает несколько десятков Па.с. При более высоких вязкостях жидкости перестают вести себя как ньютоновские, и их поведение рассматривается с общих позиций реологии и вязкоупругости. Можно предположить, что вязкость в неньютоновских жидкостях возникает при поляризации не одного, а многих фазово-некоррелированных между собой πk_4 -плетов квазичастиц, что делает возможным зависимость вязкости от времени.

Кинематическая вязкость, соответствующая границе между ньютоновской и неньютоновской жидкостями, близка к верхнему значению диапазона (9). Поэтому можно говорить о примерном соответствии этого диапазона с вязкостью реальных ньютоновских жидкостей и, следовательно, о подтверждении поляризационного механизма появления у них внутреннего трения, возникающего при поляризации пленов вместе с s -плетами мнимых квазичастиц, определяющими величину вязкости. В представленной модели остается не рассмотренным вопрос, какие свойства жидкости определяют размерность s -плета коллективных возбуждений, и как эта размерность зависит от температуры и давления в жидкости. Можно предположить, что важным фактором здесь являются симметрия и размер молекул жидкости.

Рассмотренный поляризационный механизм вязкости жидкости – это один из квантовых эффектов, проявляющихся вне микромира [3].

Список литературы

1. Физическая энциклопедия, т. 2, стр. 40. –М.: Советская энциклопедия, 1990.
2. Боголюбов Н.Н., Проблемы динамической теории в статистической физике, Избр. труды, т.2. –К., 1970.
3. Чернуха В.В., Поляризационная теория Мироздания. –М.: Атомэнергоиздат, 2008.
4. Чернуха В.В., О природе массы и заряда фундаментальных частиц; www.ptm2008.ru
5. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т. 6. Гидродинамика. –М.: Наука, 1986.
6. Чернуха В.В., О поляризационной конфайнмента у адронов; www.ptm2008.ru
7. Вильнер Я.М., Ковалёв Я.Т. и др., Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам, 2-ое изд. –Минск: Высшая школа, 1985.
8. Физическая энциклопедия, т. 1, с. 374. –М.: Советская энциклопедия, 1988.

19.12.2013. Изменено 13.11.16.

On the nature of the viscosity of a Newtonian fluid

Annotation

The appearance of viscosity in liquids due to the polarization quantum mechanism of interaction with a physical vacuum is considered and the Navier-Stokes equation is derived from the Euler equation without the use of the viscous stress tensor introduced phenomenologically in classical mechanics.