

Замечание 1. В случае, когда H_n обладает осевой симметрией, полученные решения известны (см., например, [1]). Если $n = 1$, то автоматически имеет место симметрия относительно оси, задаваемой вектором $\text{grad } H_1$. Картина линий тока в меридиональном сечении для случая $n = k = 1$ представлена в [2].

Замечание 2. Пусть

$$H_n^m = r^n P_n^m(\cos \theta) \cos m\varphi \text{ при } 0 \leq m \leq n,$$

$$H_n^m = r^n P_n^{|m|}(\cos \theta) \sin |m|\varphi \text{ при } -n \leq m < 0.$$

Можно показать, что семейство векторных полей $\{\mathbf{v}_+^{(n)}, \mathbf{v}_-^{(n)}\}$ при всевозможных n , $k \geq 1$, $|m| \leq n$, $\lambda = \mu_k^{(n)} R^{-1}$, $H_n = H_n^m$ является ортогональным базисом в пространстве $J^0(\Omega)$ [3]. Собственный базис оператора $\tilde{\Delta}$ из [3] в шаре Ω также связан с полями $\mathbf{v}_+^{(n)}$ и $\mathbf{v}_-^{(n)}$. Он образован полями $\mathbf{v}_\pm^{(n)}$ при всевозможных n , k , m , $\lambda = \mu_k^{(n)} R^{-1}$ и полями

$$\mathbf{v}_\pm^{(n)} = \mathbf{v}_\pm^{(n)} - \Gamma \left(n + \frac{3}{2} \right) R^{-n-1/2} J_{n+1/2}(\mu_k^{(n+1)}) \text{grad } H_n^m$$

при всевозможных n , k , m , $\lambda = \mu_k^{(n+1)} R^{-1}$. При этом $\mathbf{v}_-^{(n)}$ отвечает собственному значению $-\nu[\mu_k^{(n)} R^{-1}]^2$, а $\mathbf{v}_+^{(n)}$ — собственному значению $-\nu[\mu_k^{(n+1)} R^{-1}]^2$. Этот базис дает возможность немедленно решить методом Фурье задачу Коши для системы уравнений движения вязкой жидкости в шаре в линеаризации Стокса.

Поступила 29 III 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярмацкий А. Г. Сфера в однородном винтовом потоке. — В кн.: Гидроаэромеханика и теория упругости. Вып. 19. Харьков, 1975.
2. Ярмацкий А. Г. Об одном пространственном аналоге вихревого столба Чаплыгина. — ПМТФ, 1974, № 5.
3. Ладыженская О. А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М., «Наука», 1970.

УДК 620.172.253

О ПОВЕДЕНИИ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ ШАРЕ

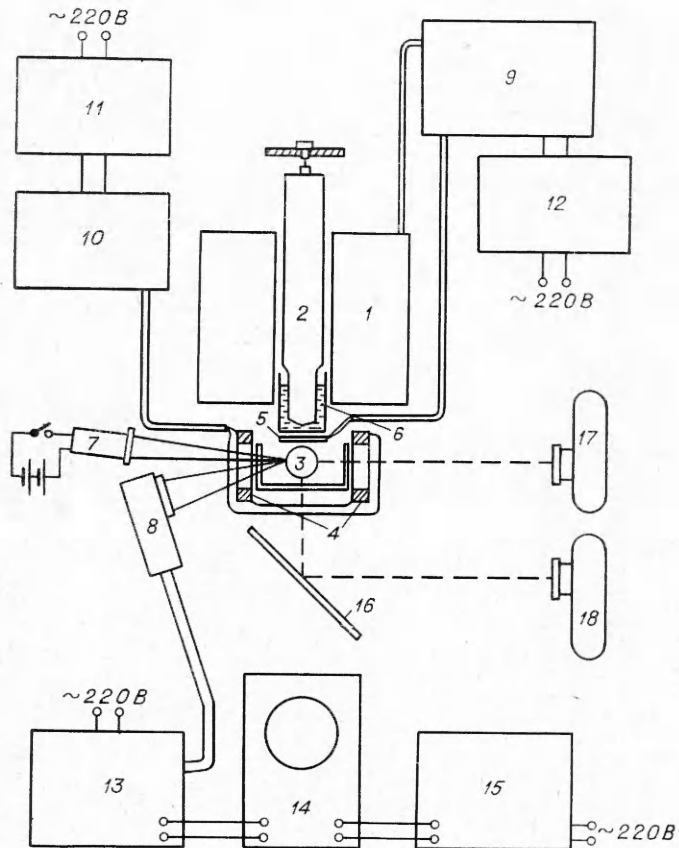
В. М. Понизовский

(Пермь)

В данной работе приводятся экспериментальные результаты наблюдений неустойчивости жидкой пленки на поверхности вращающегося шара.

В экспериментах применялась установка, блок-схема которой дана на фиг. 1. Установка состоит из устройства для магнитного подвешивания и раскручивания шара 1—6, поддерживающего генератора 9, генератора

вращающегося магнитного поля 10, стабилизированных источников питания 11, 12 и приспособления для определения скорости вращения шара. На шар 3, на который нанесена черная метка, фокусируется свет лампочки накаливания 7, отраженный свет от шара падает на фотокатод фотоумножителя 8. При вращении шара на фотоумножителе возникает переменный электрический сигнал, который усиливается усилителем 13 и подается на вход вертикального усиления осциллографа 14. На другие



Ф и г. 1

пластины подается сигнал с генератора стандартных сигналов 15. Измерение скорости вращения производится по наблюдениям за фигурами Лиссажу на экране осциллографа или может быть измерено частотомером.

При проведении нижеописанных опытов на магнитном подвесе подвешивался стальной шар. На нижней части шара помещалась капля смачивающей жидкости, и далее шар раскручивался вокруг собственной оси вращающимся магнитным полем до отрыва жидкости с шара.

Свободный подвес стальных шаров был осуществлен при помощи генератора магнитной подвески 9, описанного в работе [1]. Подвес шара на заданной высоте достигается регулировкой тока соленоида 1 при помощи следящей системы, датчиком которой служит катушка индуктивности 5.

Раскручивание шара осуществлялось при помощи вращающегося магнитного поля частотой 500 Гц, создаваемого катушками 4, питаемыми от генератора 10. Раскручивание шара происходит наподобие якоря асинхрон-

ного двигателя с большим скольжением относительно вращающегося магнитного поля с ускорением ~ 3 об/с².

Предварительные опыты показали, что при раскручивании шара его пространственное положение оси вращения становится неустойчивым и необходимо ввести силы, демпфирующие горизонтальные перемещения этой оси.

Прецессия оси вращения шара устранена так же, как в работе [2]. Для этой цели сердечник 2 соленоида подвешивался на короткой стальной проволоке, а его нижний конец опускался в тонкостенный неметаллический сосуд 6, наполненный маслом. Так как шар связан с сердечником общим магнитным потоком, то при успокоении сердечника происходит одновременно и успокоение шара.

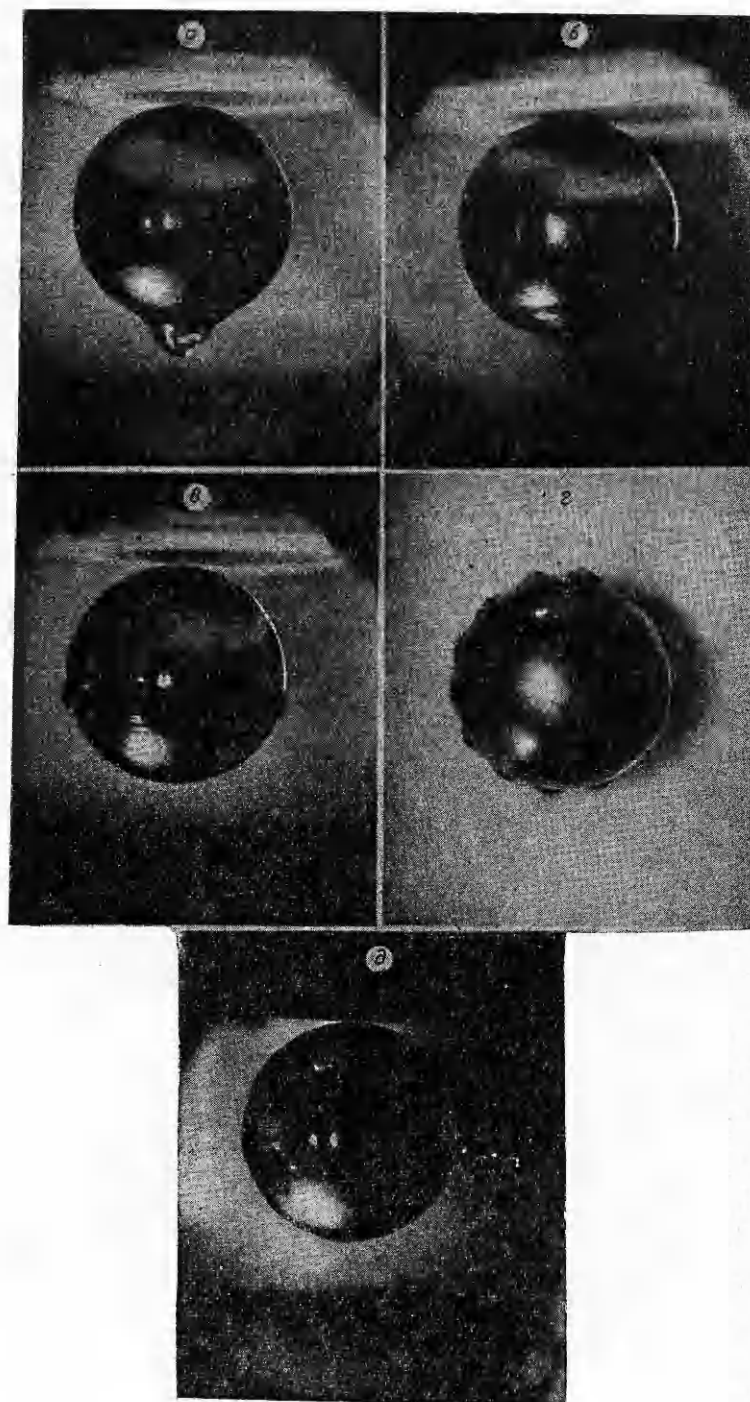
Опыты по отрыву жидкости вращающегося шара были проведены на шарах диаметром 17,5; 19,0; 22,2 мм. В качестве смачивающих жидкостей испробованы вода, глицерин, трансформаторное масло. Вода и глицерин оказались непригодными для таких опытов, так как их срыв с поверхности шара происходит раньше, чем жидкость достигает экватора шара. Самой подходящей смачивающей жидкостью оказалось трансформаторное масло с вязкостью 142 Н·с/м², на котором и проведены все опыты. Для предохранения аппаратуры от капель разлетающейся жидкости шар помещался в стеклянную кювету. Проведенные опыты показали, что отрыв первых капель с экватора шаров разных диаметров происходит примерно при одной и той же периферической скорости $\sim 1,1$ м/с.

Для фиксации поведения жидкости на поверхности шара при разной скорости его вращения сделаны моментальные фотографии перпендикулярно и по оси вращения шара со стороны дна при помощи физического зеркала 16, укрепленного под дном кюветы под углом 45°. Фотографирование проводилось при открытом затворе фотоаппаратов 17, 18 в полной темноте при помощи импульсной фотовспышки [3] длительностью срабатывания $1,1 \cdot 10^{-5}$ с.

На фиг. 2 показано поведение жидкости на шаре диаметром 19 мм на разных этапах его раскручивания вплоть до срыва с него жидкости. Фотографии фиг. 2, а — в, д сделаны перпендикулярно оси вращения шара, а фиг. 2, г — по оси вращения шара. Приведенные фотографии относятся к разным моментам времени (т. е. к разным скоростям вращения). Во всех опытах величину подвешенной капли старались брать одинаковой, объемом $\sim 0,03$ см³.

При неподвижном шаре жидкость под действием силы тяжести висит в виде капли внизу шара (фиг. 2, а). В начале раскручивания жидкость растекается по шару и поднимается к его экватору (фиг. 2, б). Далее в районе экватора начинает образовываться шнур, на котором сразу возникают возмущения в виде периодически расположенных капель (фиг. 2, в, г). В зависимости от величины подвешенной капли на экваторе шара образуется от 7 до 14 капель, чаще всего 11 капель. С увеличением скорости вращения капли растут и вытягиваются перпендикулярно к оси вращения, после чего наблюдается их срыв в виде шнуров с утолщением на конце (фиг. 2, д). После отрыва от шара шнур стягивается в капли.

Анализ проведенных опытов показывает, что конечная стадия отрыва жидкости от вращающегося шара отличается от выводов работы [4], где не рассматриваются условия устойчивости образующегося шнура на экваторе шара; кроме того, в этой работе не учитывается поле тяжести и рассматриваются лишь осесимметричные конфигурации. Проведенные опыты показали, что не происходит смачивания жидкостью верхней части шара выше экватора, так как центробежные силы на экваторе получают больше сил сцепления между жидкостью и шаром.



Ф и г. 2

Далее, по теории [4] на экваторе должно образовываться кольцо из жидкости. С увеличением скорости вращения между кольцом и шаром должен появляться постепенно сужающийся перешеек, после чего произойдет отрыв кольца от шара и в дальнейшем разрыв кольца на отдельные части.

Эксперимент показал, что жидкость под действием сил центробежного поля вращающегося шара стягивается к экватору, но уже в процессе формирования шнура начинает собираться в отдельные капли. Возможно, образование капель можно объяснить теорией [5] о неустойчивости столба жидкости. При формировании шнура на экваторе жидкость совершает вихревое движение, возникающее из-за малых возмущений, создаваемых трением жидкости о поверхность шара и окружающий воздух, что приводит к ее неустойчивости и образованию отдельных капель.

Поступила 5 V 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Понизовский В. М. Генератор для магнитной подвески ферромагнитных роторов ПТЭ, 1965, № 5.
2. Beams J. W., Boyle R. D., Hexner P. E. Magnetically suspended equilibrium ultracentrifuge. — «Rev. Scient. Instrum.», 1961, vol. 32.
3. Понизовский В. М., Ошканова Г. С. Фотоэлектрический датчик для измерения больших скоростей вращения. — В кн.: Радиоспектроскопия. Пермь, 1974 (Межвузовский сб. № 8).
4. Маурин Л. Н. О равновесии жидкой пленки на вращающейся сфере. — ПММ, 1969, т. 33, № 1.
5. Рэлея. Теория звука. Т. 2. М.—Л., ОГИЗ, 1944.

УДК 541.124 : 532.5

О СТРУКТУРЕ ПОЛНОСТЬЮ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В РЕЛАКСИРУЮЩИХ СМЕСЯХ

А. Л. Ни, О. С. Рыжов

(Москва)

Рассматриваются ударные волны в химически активных газовых смесях с произвольным числом реакций. Предполагается, что разность между замороженной и равновесной скоростями звука, вычисленная по невозмущенному состоянию вещества и отнесенная к одной из этих скоростей, представляет собой малую величину. Скорость потока на бесконечности считается заключенной в диапазоне между замороженной и равновесной скоростями звука; ударная волна не содержит тогда разрывов, т. е. обладает полной дисперсией. Последовательно изучаются различные случаи, которые могут встретиться при увеличении скорости набегающего потока. Для построения решения используется метод сращивания внешних и внутренних асимптотических разложений.

1. Формулировка задачи. Для изучения структуры слабых ударных волн в многокомпонентных релаксирующих смесях применим систему уравнений, которая описывает одномерный стационарный поток в трансзвуковом диапазоне скоростей