

О ГЕНЕРАЦИИ ВИХРЕЙ В He II МОЩНЫМ ТЕПЛОВЫМ ИМПУЛЬСОМ

С.К.Немировский, А.Н.Цой

Обнаружено затухание нелинейной волны второго звука при прохождении ее в следе мощного теплового импульса вызванное, по-видимому, образованием вихрей в He II. Их наличие влияет через затухание на время пробега зондирующей нелинейной волны.

1. При стационарных течениях в сверхтекучем гелии критические скорости вихреобразования порядка 0,1 см/с, в то же время известно, что в экспериментах по нелинейной акустике скорости достигали величин 2 м/с^{1, 2}, причем в² показано, что эволюция таких волн хорошо описывается уравнением Бюргера, следующим непосредственно из двухскоростной гидродинамики. Очевидно, это связано с тем, что для образования вихревой структуры – клубка вихревых нитей – требуется конечное время развития τ_c , которое в^{1, 2} не было достигнуто. Вайнен, изучая сверхтекучую турбулентность при стационарных течениях, исследовал вопрос о времени τ_c после включения постоянного теплового потока³:

$$\tau_c = a Q^{-3/2}, \quad (1)$$

коэффициент a порядка 0,1 Вт^{3/2}·сек/см³ – зависит от температуры и (слабо) от геометрии канала, Q [Вт/см²] – плотность теплового потока. Это соотношение справедливо для

потоков, начиная от критического 10^{-3} Вт/см² до величин 10^{-1} Вт/см². Экстраполяция Q в область 100 Вт/см² дает для τ_c значение 10^{-4} с, т.е. достижимое в экспериментах по нелинейной акустике; можно ожидать, что импульсы с такими параметрами будут генерировать вихри.

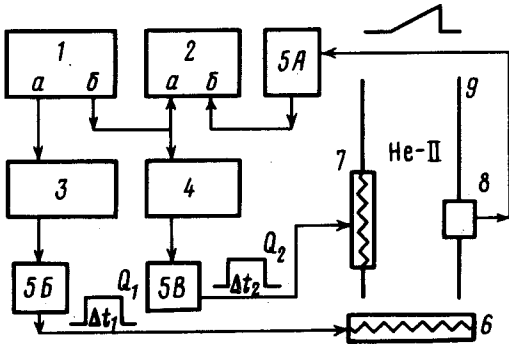


Рис.1. Схема эксперимента

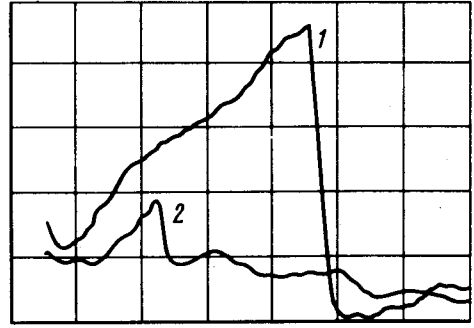


Рис.2. Осциллограммы зондирующей волны.

Для обнаружения и изучения явления был проведен эксперимент по схеме Вайнена: след прошедшего вдоль канала мощного теплового импульса зондируется поперечным импульсом второго звука, образующим нелинейную волну. Наличие вихрей в следе приводит к дополнительному затуханию, которое из-за связи амплитуды волны со скоростью распространения приводит к изменению времени пробега волной расстояния от эмиттера до датчика.

2. Эксперимент проводился по следующей методике (см. рис.1). С задающего генератора 1 с выхода "а" подается синхроимпульс на генератор 3, сформированный в 3 прямоугольный сигнал после усиления в усилителе 5Б идет на пленочный эмиттер 6, возбуждая первый тепловой импульс длительностью Δt_1 и мощностью Q_1 , распространяющийся по волноводу 9. С выхода "б" генератора 1, сигнал, сдвинутый относительно сигнала "а" на время t_{12} , через генератор 4, усилитель 5Б идет на пленочный эмиттер 7, возбуждает вторую волну с параметрами, соответственно Δt_2 и Q_2 , распространяющуюся поперек волновода в следе первого импульса. Одновременно этот сигнал подается на вход "а" — старт электронного секундомера 2. Приход поперечной волны на пленочный терморезистивный датчик 8 вырабатывает сигнал, после усиления в 5А подаваемый на вход "б" — стоп хронометра 2. Времена t_{12} выбираются такими, чтобы волны не пересекались. Для зондирующего импульса $\Delta t_2 = 20$ мкс и $Q_2 = 42$ Вт/см². Как первый, так и второй импульсы образуют нелинейную волну второго звука с треугольным профилем и разрывом на переднем или заднем фронте в зависимости от знака коэффициента нелинейности a_2 . Измерения проводились на линии насыщения при температуре 2,043 К, поддерживаемой с точностью $\pm 0,2$ мК. В измерениях регистрировался приход к датчику этого разрыва.

3. Результаты измерений представлены в таблицах 1 и 2 и рис.2. В таблице 1 приведены времена пробега зондирующего сигнала в зависимости от интенсивности Q_1 и длительности теплового импульса Δt_1 . Время пролета t_2 "зонда" в невозмущенном гелии 2015 мкс, при уменьшении амплитуды "зонда" $t_2 \rightarrow 1945$ мкс. Из таблицы видно, что затухание в следе импульсов больших амплитуд быстрее выходит на насыщение (ср. с формулой (1)).

В таблице 2 приведены времена пробега "зонда" t_2 в зависимости от t_{12} — времени сдвига "зонда" относительно импульса и от f — частоты запуска импульса. (В табл. 1 $t_{12} = 3$ мс, $f = 1$ Гц). Отчетливо видна монотонная зависимость от t_{12} вплоть до секунд; эксперимент с вариацией f подтверждает, что вихревая структура не исчезает в течение нескольких секунд. Параметры первого импульса для данных в таблице следующие: $Q_1 = 47$ Вт/см², $\Delta t_1 = 40$ мкс.

На рис.2 изображены осциллограммы зондирующего импульса, сделанные при температуре 2,043 К, при этом $a_2 = -2$. Осциллограмма 1 соответствует невозмущенному гелию, осциллограмма 2 снята через 3 мс после прохождения импульса с параметрами $Q_1 = 90$ Вт/см², и $\Delta t_1 = 50$ мкс. Видно сильное уменьшение амплитуды "зонда".

Таблица 1

Δt_1	$Q_1, \text{Вт/см}^2$						
	2,9	6,6	11,8	26,6	47,3	73,8	106,3
10	—	—	2013	2013	2013	2013	2013
40	—	2012	2008	1984	1970	1967	1967
60	2012	—	1998	1966	1956	1955	1956
80	2012	2009	1995	1962	1958	1957	1955
100	2013	2006	1976	1961	1954	1955	1953
200	2012	1976	1964	1954	1953	—	—
500	1988	1961	1958	1952	1952	—	—
1000	1965	1959	1955	—	—	—	—

Таблица 2

t_{12}	$f, \text{Гц}$			
	2	1	0,5	0,2
4	1967	1980	1990	2004
10	1974	1989	1995	2005
20	1976	1995	1998	2010
40	1993	2000	1999	2012
100	2002	2005	1994	2011
200	2006	2009	2010	2015
400	2007	2010	2010	2015

Вопрос о времени вихреобразования в мощных тепловых импульсах, в известной степени, был стимулирован при обсуждении работы одного из авторов на 11-ой Бакурианской школе.

Мы благодарим А.Ф.Андреева, С.В.Иорданского, Ю.Г.Мамаладзе, В.Л.Покровского, А.А.Собянина, Э.Б.Сонина, принимавших участие в обсуждении.

Литература

1. Межов-Деглин Л.П., Изнанкин А.Ю., Минеев В.П. Письма в ЖЭТФ, 32, 217, 1980.
2. Луцет М.О., Немировский С.К., Цой А.Н. ЖЭТФ, 81, 249, 1981.
3. Viney W.F. Proc. R. Soc., A240, 128, 1957.