

## К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И.Е. ТАММА

**Юбилейная научная сессия  
Отделения общей физики и астрономии  
и Отделения ядерной физики  
Российской академии наук**

(14–15 июня 1995 г.)

14–15 июня 1995 г. в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН состоялась Юбилейная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики РАН, посвященная 100-летию со дня рождения И.Е. Тамма. На сессии были заслушаны доклады:

- 1\*. **Фейнберг Е.Л.** Развитие физики в нашей стране и И.Е. Тамм.
2. **Романов Ю.А.** Воспоминания об учителе.
3. **Тамм Е.И.** Игорь Евгеньевич дома и на работе.
4. **Ригус В.И.** Эпизоды о И.Е. Тамме. Двадцать близких лет.
5. **Болотовский Б.М.** Работы И.Е. Тамма по электродинамике.
- 6\*. **Максимов Е.Г.** Микроскопические расчеты фононных спектров кристаллов.
7. **Кадомцев Б.Б.** И.Е. Тамм и управляемый термоядерный синтез.
8. **Киржниц Д.А.** Пульсары и вращение сверхтекучей жидкости.
- 9\*. **Гуревич А.В.** Крупномасштабная структура вещества во Вселенной. Аналитическая теория.
10. **Чернавский Д.С.** И.Е. Тамм и биологическая наука.
- 11\*. **Волков Б.А.** Спектры дефектов и примесей и их магнитные свойства в узкощелевых полупроводниках класса  $A^4B^6$ .
12. **Кадышевский В.Г.** Теория поля с искривленным импульсным пространством: история, статус, перспективы.
13. **Васильев М.А.** Калибровочные теории высших спинов и точнорешаемые модели квантовой механики.

Доклады Юбилейной сессии, отмеченные \*, представлены в этом номере УФН монографическими обзорами. Краткое содержание одного из докладов публикуется ниже.

PACS numbers: 97.60.Gb

**Пульсары и вращение  
сверхтекучей жидкости**

Д.А. Киржниц

Игорь Евгеньевич Тамм не успел оценить открытия пульсаров: сообщение об этом пришло в те дни (февраль 1968 г.), когда его болезнь приняла особенно острый характер. Не занимался он специально и сверхтекучестью (его вклад в эту область ограничивается введением термина "ротон" для коротковолнового возбуждения в гелии). Тем не менее открытие пульсаров — гигантских "капель" ядерного вещества, случись оно несколькими годами раньше, наверняка не оставило бы Игоря Евгеньевича равнодушным. Хочется думать, что его заинтересовали бы и описанные ниже парадоксы вращения сверхтекучей жидкости, связанные с пульсарной физикой.

К выводу о бездиссипативном движении вещества сердцевина пульсара ведет аномально большая величина времени релаксации его периода после сбоя. Это свидетельствует об аномально слабой динамической связи сердцевина (в ней сосредоточена основная масса звезды) и коры пульсара (ее вращение задает период). Для успеха такого объяснения необходима достаточно малая эффективность иных, отличных от вязкости механизмов связи сердцевина и коры. К их числу относится воздействие на сердцевину особых общерелятивистских магнитоподобных сил, порожденных вращением коры и ведущих к известным эффектам Лензе–Тирринга. Оценке эффективности такого механизма должен предшествовать ответ на более общий вопрос: вращается ли сверхтекучая жидкость в поле Лензе–Тирринга мед-

ленно вращающегося сосуда (как сверхпроводящая жидкость в магнитном поле) или же остается в покое (как жидкий гелий)? Этот в достаточной мере непростой вопрос и обсуждается в докладе.

1. Использование простых качественных аргументов ведет к ответам на поставленный вопрос, имеющим взаимно исключающий характер.

С одной стороны, ответ зависит от того, какой градиент волновой функции конденсата — "удлиненный" (в смысле калибровочной теории) или обычный — входит в выражение для вектора тока. Так, для сверхпроводника и гелия (см. выше) градиент имеет, соответственно, вид  $\nabla - ie\mathbf{A}$  и  $\nabla$ , а сверхтекучая скорость  $\underline{v}_s$  равна  $(\nabla\alpha - e\mathbf{A})/m$  и  $\nabla\alpha/M$  ( $\alpha$  — фаза волновой функции,  $\hbar = c = 1$ ). В осесимметричном случае это дает, соответственно, уравнение Лондонов и условие неувлекваемости жидкости:

$$\underline{v}_s = -\frac{e}{m} \mathbf{A}, \quad (1a)$$

$$\underline{v}_s = 0. \quad (16)$$

В общей же теории относительности "удлинение" состоит в замене обычной производной на ковариантную, которая при действии на скалярный параметр порядка совпадает с обычной. Поэтому силы Лензе–Тирринга неспособны привести сверхтекучую жидкость во вращение (см. (16)).

Однако, с другой стороны, имеется подобие уравнений общей теории относительности (для слабого поля) и электродинамики, проявляющееся, в частности, при замене  $e\mathbf{A} \rightleftharpoons m\mathbf{g}$ , где  $g_{ik}$  — метрический тензор,  $g_x = -g_{0x}$ . Отсюда следует подобие пост-ньютоновской физики вращения сверхтекучей жидкости и электродинамики сверхпроводников. В частности, уравнению Лондонов (1a) отвечает общерелятивистские уравнения Девитта

$$\underline{v}_s = -\underline{g}, \quad (2)$$

ведущее к противоположному выводу о необходимости вращения сверхтекучей жидкости в поле сил Лензе–Тирринга.

2. Выше мы не различали ко- и контравариантных компонент вектора. Между тем в общей теории относительности они не только не совпадают друг с другом, но, более того, одна из них может обратиться в нуль при отличии от нуля другой. Именно в этом и коренится возникшее противоречие.

Связанное с градиентом фазы уравнение (16) относится к ковариантной компоненте 4-скорости (координата  $x^3$  — азимутальный угол)

$$v_{s3} = 0. \quad (3)$$

Скорость же, входящая в (2), — контравариантная компонента 4-скорости  $u^i = (1, 0, 0, v^3)$  (для слабого поля), определяемая соотношением  $0 = g_{3i} u^i$ ,

$$v_s^3 = \frac{g_{03}}{g_{33}}. \quad (4)$$

Несовпадение (3) и (4) — неизбежное следствие неравенства  $g_{03} \neq 0$ . Эти особенности вращения сверхтекучей жидкости в поле сил Лензе–Тирринга имеют следующие физические проявления.

Соотношение (3) ведет к исчезновению соответствующего источника поля  $g_{03}$  (тензора энергии–импульса  $T_{03}$ ) в уравнениях Эйнштейна. Поэтому вращение сверхтекучей жидкости, описываемое формулой (4), не создает поля Лензе–Тирринга, единственным источником которого служит вращение нормальной компоненты вещества. Одновременно исчезает и вклад вращения сверхтекучей жидкости в момент количества движения системы. Тем самым, оказываются отсутствующими динамические проявления такого вращения, которые имеют первый порядок по угловой скорости вращения внешнего тела. В то же время во втором порядке по угловой скорости вращения сверхтекучей жидкости проявляет себя в образовании мениска на ее свободной поверхности: в соответствующее уравнение Бернулли входит квадрат скорости (4).

3. Для понимания только что сформулированных физических закономерностей полезно иметь в виду, что в общей теории относительности вращение массивного тела увлекает за собой инерциальную систему отсчета. Это означает, что существует такая система, вращающаяся относительно исходной, галилеевой на бесконечности системы отсчета, в которой сила Лензе–Тирринга точно компенсирует силу Кориолиса (инерциальность в первом порядке по угловой скорости). Скорость вращения такой инерциальной системы точно совпадает с величиной (4). Поэтому сверхтекучая жидкость покоится относительно исходной системы (с точки зрения ковариантной скорости) и относительно инерциальной системы (с точки зрения контравариантной скорости). Покой относительно инерциальной системы и ведет к отсутствию динамических проявлений вращения.

Существенно, что во втором порядке по угловой скорости свойство инерциальности теряется: соответствующие гравитационные силы не могут скомпенсировать центробежную силу. Неудивительно, что именно в этом порядке и возникают динамические проявления вращения (мениск, см. выше).

Подробнее, относящиеся к затронутым вопросам, можно найти в статьях: Андреев А.Ю., Киржниц Д.А., Юдин С.Н. *Письма в ЖЭТФ* (май 1995 г.); Киржниц Д.А., Юдин С.Н. *Парадоксы вращения сверхтекучей жидкости* (подготовлено к печати в УФН)