

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЖИДКОГО ВОДОРОДА

А.М.Трояновский, А.П.Володин, М.С.Хайкин

Обнаружена локализация электронов на стационарных уровнях в двумерной потенциальной яме над поверхностью жидкого водорода. Время жизни слоя электронов – порядка 1 минуты. Опыты с жидким неоном показали отсутствие долгоживущих состояний электронов.

В статье [1] рассмотрены стационарные "диэлектрические уровни" электронов, возникающие в потенциальных ямах близ частиц космической пыли, состоящих, в основном, из водорода. Диэлектрические уровни, собственные частоты которых лежат в интервале $10^{11} \div 10^{15}$ Гц, могут играть существенную роль в формировании космического излучения в субмиллиметровом диапазоне [2].

Стационарные уровни электронов в двумерной потенциальной яме над плоской поверхностью жидкого He^4 хорошо изучены [3, 5]; иссле-

довались также уровни электронов над поверхностью He^3 [4]. Такие уровни могут, в принципе, существовать у поверхностей ряда других диэлектриков [6]; однако, они до сих пор не наблюдались.

Сказанное объясняет интерес к изучению уровней электронов над поверхностью водорода. Электроны, находящиеся на нижнем уровне, должны образовывать двумерный слой на расстоянии 20 \AA от поверхности жидкого водорода; глубина нижнего уровня составляет $11,5 \text{ МэВ}$ или $3 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$. В данной работе такие уровни были обнаружены и сделаны опыты по наблюдению уровней электронов над поверхностью жидкого неона.

Для обнаружения двумерного слоя электронов над поверхностью жидкости (He , H_2 , Ne) в этой работе применен следующий "метод диода". Метод состоит в измерении вольт-амперной характеристики диода, образованного двумя плоскопараллельными горизонтальными электродами ($\varnothing 15 \text{ мм}$), в зазоре между которыми ($4,2 \text{ мм}$) располагается поверхность исследуемой жидкости. Электроны поступают в зазор из тлеющего разряда у острия разрядника, находящегося над верхним электродом — катодом, который изготовлен из сетки (ячейка 30 мкм). Диод помещен в герметичный стеклянный сосуд Дьюара с впаянным внизу холодопроводом. Температура в дьюаре регулируется его перемещением по вертикали в криостате относительно ванны жидкого He^4 и измеряется по давлению паров исследуемого газа в дьюаре. Количество сконденсированной жидкости и состояние ее поверхности контролируются визуально.

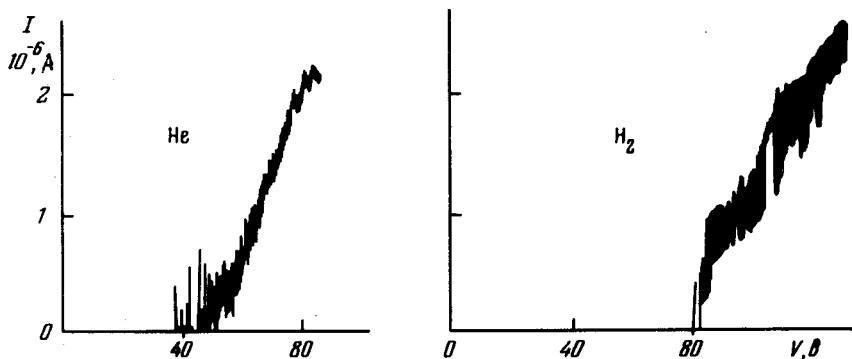


Рис.1. Вольт-амперная характеристика диода (V — напряжение на диоде), содержащего: *a* — He , давление 75 мм рт. ст. , температура $2,48 \text{ К}$; *б* — H_2 , давление 170 мм рт. ст. , температура $16,1 \text{ К}$.

Вольт-амперная характеристика диода, полученная в контрольном опыте с He^4 , показана на рис. 1, *a*. Ток через диод отсутствует, когда существует слой электронов над поверхностью жидкости при поле в зазоре $E < E_{\text{кр}}$, где $E_{\text{кр}}$ — критическое поле, при котором наступает неустойчивость заряженной поверхности жидкости [7, 8]. (Заметим, что $E_{\text{кр}}$ значительно меньше поля электрического пробоя слоя жидкос-

ти в зазоре). При $E \approx E_{кр}$ ток появляется и быстро растет с увеличением поля E , становясь равным по порядку величины току, текущему через диод, заполненный газом (когда поверхность жидкости опущена под нижний электрод — анод). При $E < E_{кр}$ поверхность жидкости спокойна и слегка продавлена действием поля E на слой электронов; при $E > E_{кр}$ и наличии тока через диод поверхность жидкости колеблется. Эта картина и измеренные значения $E_{кр}$ согласуются с результатами работы [8].

Вольт-амперная характеристика диода, полученная в опыте с H_2 , показана на рис. 1 справа: очевидно ее качественное совпадение с характеристикой диода, содержащего He^4 . Под действием поля $E = 1 \text{ кВ/см} < E_{кр}$ заряженная поверхность опускается по отношению к незаряженной поверхности (вне диода) на $\sim 0,2 \text{ мм}$. Измеренные значения $E_{кр}$ для H_2 соответствуют результатам расчета согласно работе [7] с учетом неоднородности поля в конденсаторе:

| | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|-------|
| $E_{кр}, \text{ кВ/см}$ | 1,30 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | -1,68 |
| $h, \text{ мм}$ | 0,96 | 1,21 | 1,35 | 1,49 | 1,79 |

(где h — толщина слоя жидкости).

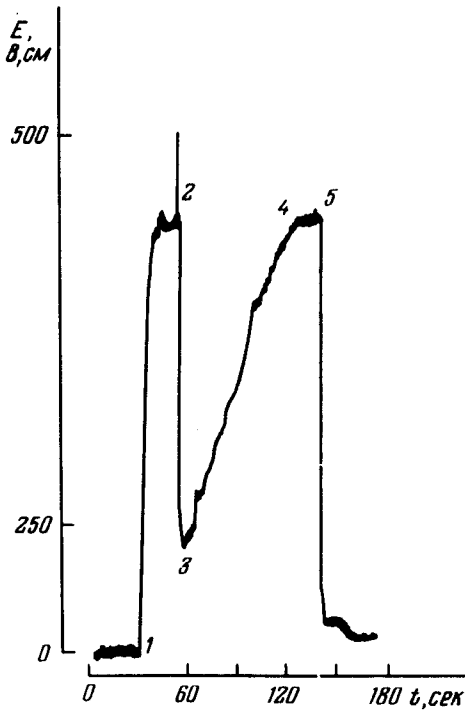


Рис. 2. Запись изменения электрического поля под верхним электродом (катодом) диода в опыте по измерению времени жизни электронов в двумерном слое над поверхностью H_2 . Давление 190 мм рт. ст., температура 16,3 К.

Для измерения времени жизни слоя электронов над жидким H_2 был использован прибор, описанный в работе [8]: на месте диода был помещен конденсатор с емкостным датчиком перемещения верхней пластины, подвешенной упруго и втягиваемой в электрическое поле E над жидкостью. Рис. 2 демонстрирует ход опыта. В момент времени 1 к конденса-

тору приложено напряжение, вызывающее изменение сигнала датчика, пропорциональное E^2 . В момент 2 на короткое время включен эмиттер электронов (выброс на записи), после чего поле над жидкостью оказывается почти полностью экранированным 3 слоем электронов над поверхностью H_2 . Число электронов уменьшается со временем и через ~ 80 сек они полностью исчезают 4. Выключение поля в момент 5 приводит к возврату сигнала датчика к исходному значению.

Уход электронов с поверхности H_2 объясняется, по-видимому, его кипением: микроскопические пузырьки газа, подходя к поверхности, захватывают электроны и, затем, движутся под действием электрического поля (подобно баблонам в сверхтекучем He^4 [8]) к аноду, на котором и разряжаются. Уход электронов с поверхности наблюдается также для He^4 выше λ -точки и для He^3 [3, 4].

Вольт-амперная характеристика диода в опыте с Ne получилась почти линейной, не показав существования заметного $E_{кр}$, хотя расчетное по [7] значение $E_{кр}$ для Ne имеет тот же порядок величины, что и для He и H_2 . В то же время ток через диод, при наличии поверхности жидкого Ne в зазоре, оказался на 2 порядка меньше, чем ток через диод с газообразным Ne . Таким образом, если уровни электронов над поверхностью Ne и существуют, то время их жизни оценивается величиной $\sim 1 \div 10$ мсек. Причина отсутствия стабильного слоя электронов над поверхностью жидкого неона пока не ясна и нуждается в выяснении.

Итак, в описанных экспериментах обнаружены стационарные уровни электронов в двумерной потенциальной яме над поверхностью жидкого водорода; характеристики устойчивости двумерного слоя электронов близки к ожидавшимся. Время жизни слоя электронов в условиях эксперимента оказалось порядка 1 минуты.

Авторы благодарны П.Л.Капице за внимание к работе, В.С.Эдельману — за полезное обсуждение, Г.С.Чернышеву — за техническую помощь.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 ноября 1978 г.

Литература

- [1] М.С.Хайкин. Письма в ЖЭТФ, 27, 706, 1978.
- [2] J.H.Elias, D.J.Ehnis, D.Y.Gezeri, et al. Astrophys. J., 220, 25, 1978.
- [3] В.Б.Шикин, Ю.П.Монарха. ФНТ, 1, 957, 1975.
- [4] В.С.Эдельман. Письма в ЖЭТФ, 26, 647, 1977.
- [5] В.С.Эдельман. Письма в ЖЭТФ, 25, 422, 1977.
- [6] M.W.Cole. Phys. Rev., B2, 4239, 1970.
- [7] Д.М.Черникова. ФНТ, 2, 1374, 1976.
- [8] А.П.Володин, М. С.Хайкин, В.С.Эдельман. Письма в ЖЭТФ, 26, 707, 1977.