

ИОННЫЕ "ГЕЙЗЕРЫ" НА ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ

А.
В.П.Володин, М.С.Хайкин

Механизм нарушения устойчивости поверхности сверхтекучего гелия, заряженной положительными ионами гелия, локализованными в жидкости близ поверхности, исследован кинематографически и электрически. Выяснено, что заряд с поверхности гелия уходит вместе со струями жидкого гелия, выбрасываемыми "гейзерами", возникающими на гребнях капиллярных волн.

В работе [1] изучены условия нарушения устойчивости поверхности сверхтекучего гелия, над которой находится двумерный слой электронов, локализованных на диэлектрических уровнях, и выяснен механизм ухода этих электронов. Электрометрические исследования и скоростная киносъемка показали, что в углублениях капиллярных волн, возникающих при нарушении устойчивости поверхности гелия, появляются заряженные электронами пузырьки – "бабланы", ныряющие в гелий и достигающие дна – анода.

У поверхности жидкого гелия со стороны жидкости [2] могут быть также локализованы положительные ионы гелия. В работе [3] проведены электрические исследования процесса разряда заряженной ионами поверхности гелия в интервале температур 3,24 + 5,13 К. Импульсный характер тока разряда интерпретирован в том смысле, что разряд происходит путем образования заряженных капель, улетающих с поверхности жидкости вверх на катод.

В данной работе механизм разряда поверхности сверхтекучего гелия, заряженной положительными ионами гелия, изучен путем съемки скоростной кинокамерой параллельно с изучением тока разряда. Исследования проводились в криостате с оптическими окнами при температуре жидкого гелия 1,2 К. Поверхность гелия располагалась между электродами конденсатора; верхний электрод-катод был присоединен к быстродействующему электromетру с разрешением по времени $\sim 10^{-5}$ сек.

Анод представлял собою сетку, сквозь которую в конденсатор вводились ионы, создаваемые расположенным ниже радиоактивным β -источником; поток ионов управлялся электрическим потенциалом источника. Проникшие в зазор конденсатора ионы прижимались к поверхности гелия полем конденсатора.

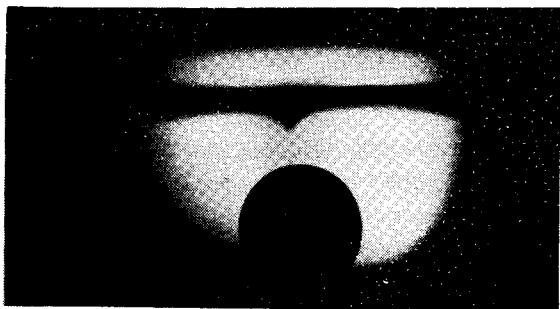


Рис.1.

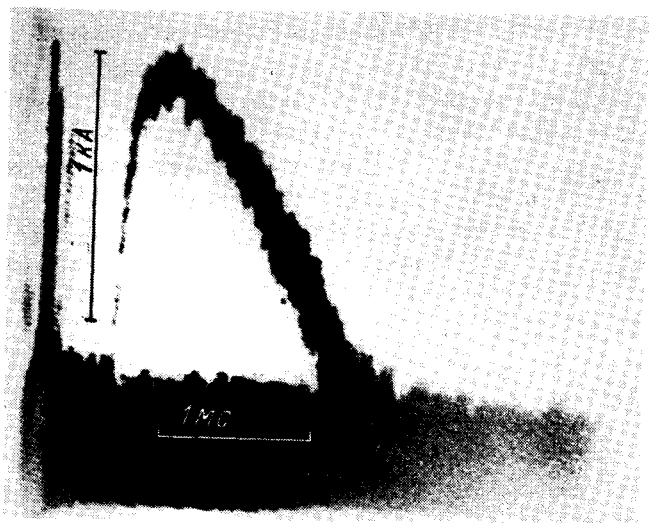


Рис.2.

В ходе эксперимента состояние поверхности жидкого гелия наблюдалось визуально и фотографировалось скоростной кинокамерой; ток разряда поверхности измерялся быстродействующим электрометром с осциллографом на выходе.

Появление слоя ионов у поверхности гелия вызывает подъем уровня гелия в конденсаторе на десятые доли миллиметра, аналогично опусканию уровня в случае заряда поверхности электронами [1]. Когда электрическое поле, действующее на поверхностный заряд $n = 4,4 \cdot 10^8$ электрон/см² достигает критической величины $E_K = 1900$ В/см, устойчивость поверхности нарушается и она теряет заряд (критические параметры системы изучены в работе [3]).

Возникновение неустойчивости приводит к возбуждению электрокапиллярных волн на поверхности гелия, на гребнях которых образуются

"гейзеры", выбрасывающие струи жидкого гелия, достигающие катода. На рис.1 приведен кадр кинофильма, показывающий такой "гейзер"; в этом опыте применен катод в форме сферы $\varnothing 2,5$ мм, позволивший локализовать "гейзеры". Диаметр струй гелия в ее верхней части $\sim 10^{-3}$ см. Время жизни отдельной струи $\sim 10^{-3}$ сек; в течение этого времени на катод стекает заряд $\sim 10^8 e$ (e — заряд электрона). Осциллограмма импульса тока струи приведена на рис.2; длительность импульса примерно на два порядка превышает разрешающую способность электромера. Таким образом, ток ионов гелия, движущихся со струей, представляется непрерывным.

Образование заряженных струй сверхтекучего жидкого гелия, очевидно, объясняется тем, что поток ионов гелия захватывает с собою нейтральную жидкость. Высокая подвижность ионов в сверхтекучем гелии (в $\sim 10^2$ раз больше, чем при 4,2 К) позволяет им стекаться к струе с довольно большого участка поверхности гелия (площадь ~ 10 мм², судя по величине заряда), ограничиваемого случайным распределением капиллярных волн и, таким образом, непрерывно питать струю все время ее жизни.

Итак, установлено, что двумерный слой ионов гелия, локализующихся у поверхности сверхтекучего гелия, теряется вследствие развития неустойчивости поверхности по отношению к электрокапиллярным волнам [4]. При этом процессе на поверхности гелия возникают "гейзеры", выбрасывающие струи заряженной жидкости. Причина такого качественно нового механизма разряда поверхности жидкого диэлектрика заключается в высокой подвижности ионов в сверхтекучем гелии.

Авторы благодарны П.Л.Капице за внимание к работе, В.С.Эдельману и В.Б.Шикину за обсуждения, П.С.Чернышеву за техническую помощь.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
3 сентября 1979 г.

Литература

- [1] А.П.Володин, М.С.Хайкин, В.С.Эдельман. Письма в ЖЭТФ, 26, 707, 1977.
- [2] L.Brushi, V.Maravilyia, F.E.Moss. Phys. Rev. Lett., 17, 682, 1966.
- [3] F.P.Boyle, A.J.Dahm. J. Low Temp. Phys. 23, No 3/4, 477, 1976.
- [4] Д.М.Черникова. ФНТ, 2, 1174, 1976.