

УДК 538.94

Фотоэмиттер в качестве источника электронов в газообразном и жидком гелии

Е.Д.Б. Пюрбеева¹, В.В. Завьялов^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²ИФП им. П.Л.Капицы РАН

Для создания объемных и поверхностных зарядов непосредственно в газовой или конденсированной фазах гелия обычно используют термоэлектронные [1] или газоразрядные (острийные) [2] эмиттеры, плохо удовлетворяющими условиям низкотемпературного эксперимента. Высокая рабочая температура (~2000К) термоэлектронного эмиттера приводит к возникновению паразитных тепловых потоков, а необходимый для работы острийного эмиттера потенциал иглы (~кВ) приводит к возникновению в гелии большого количества высокоэнергетичных возбуждений, – ионов, димеров, эксимеров. В жидком гелии картина еще более усложняется из-за возбуждения ротонов и вихрей, в результате чего физическая картина процессов сильно усложняется и становится запутанной. Так например, при исследовании подвижностей электронов в жидком гелии, авторы работы [3] наблюдали многочисленные (до восемнадцати) «экзотические» зарядовые возбуждения (exotic ions), для описания которых им потребовалась не менее экзотическая модель (критическое обсуждение которой см. в [4]). В этой связи, разработка альтернативных, более деликатных методов для создания объемных и поверхностных зарядов в гелии является достаточно важной.

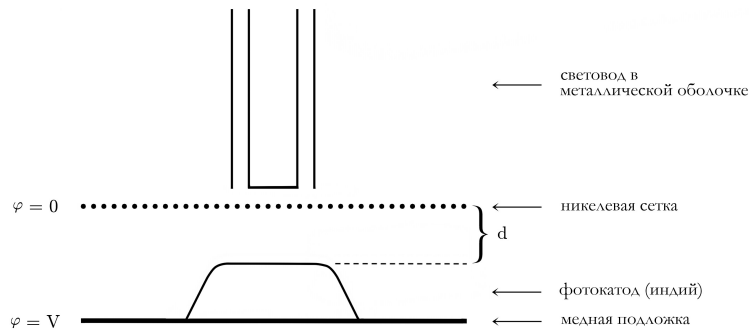
Такой альтернативой может служить, в частности, метод фотоэлектронной эмиссии [5]. Однако этот метод до настоящего времени не использовался для напуска электронов в конденсированный гелий, когда фотоэмиттер помещается непосредственно в жидкую фазу. Нам удалось наладить методику фотоэмиссионного напуска электронов в гелий, в том числе и с погруженного в его жидкую сверхтекучую фазу фотокатода.

Схема эксперимента.

В качестве источника излучения использовалась ртутная лампа ПРК с сильной коротковолновой линией излучения на длине волны 254 нм. Излучение лампы фокусировалось на верхний торец кварцевого световода, по которому поступало в рабочую ячейку, находящуюся в криостате, заполненном жидким гелием. Излучение лампы можно было перекрывать при помощи механической заслонки, управляемой сигналом TTL-уровня.

Схема расположения электродов в ячейке приведена на рис.1. Излучение, исходящее из нижнего конца световода, проходит через никелевую сетку (периодом 130 мкм и прозрачностью 70%) и попадает на фотокатод. В качестве фотокатода мы использовали индий, капля которого наносилась на медную подложку и зачищалась для образования плоской поверхности. Расстояние между сеткой и фотокатодом – 0.3мм. Электроны, выбитые из индия, вытягиваются вверх электрическим полем между никелевой сеткой и подложкой. В процессе измерений выяснилось, что индий достаточно быстро окисляется и необходимо периодически зачищать его поверхность.

Подача напряжения на фотоэмиттер и регистрация фототока проводилась одним прибором: субфемтоамперным источником-измерителем Keithley-6430, снабженного блоком предусилителя. Этот же прибор позволял управлять и механической заслонкой, прерывавшей поток УФ-излучения на фотоэмиттер и позволявшей, таким образом, выделять сигнал фототока на фоне неизбежного, при измерении токов на уровне $\sim 10^{-15}$ А, дрейфа.

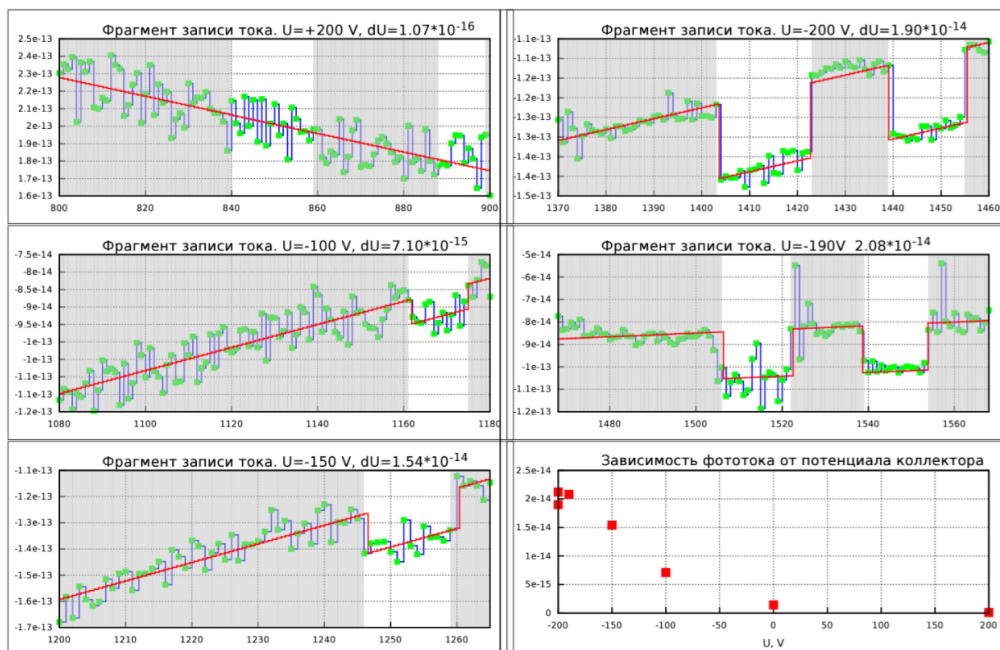


Отладка методики проводилась в диапазоне температур от комнатной до гелиевой как в вакууме, так и в атмосфере гелия. После отладки нам удалось наблюдать эмиссию электронов на уровне $2 \cdot 10^{-13}$ А с In-фотокатода, погруженного в свертекущий гелий.

Измерение вольт-амперной характеристики фотоэмиттера производилось следующим образом. Потенциал фотоэмиттера изменяли ступенчатым образом в диапазоне от -200 до +200 В. На каждой ступени регистрировался ток как при закрытой, так и при открытой заслонке. Значением фототока считалась разность между этими двумя показаниями. Специально контролировалось, чтобы измерения происходили при установившейся, после ступенчатого изменения потенциала, величине тока, что позволяло исключить паразитные токи, возникавшие из-за перезарядки емкостей подводящих кабельных линий.

В процессе эксперимента весь цикл измерения исполнялся программой LabView, управлявшей приборами и заслонкой. Цикл измерения был следующим:

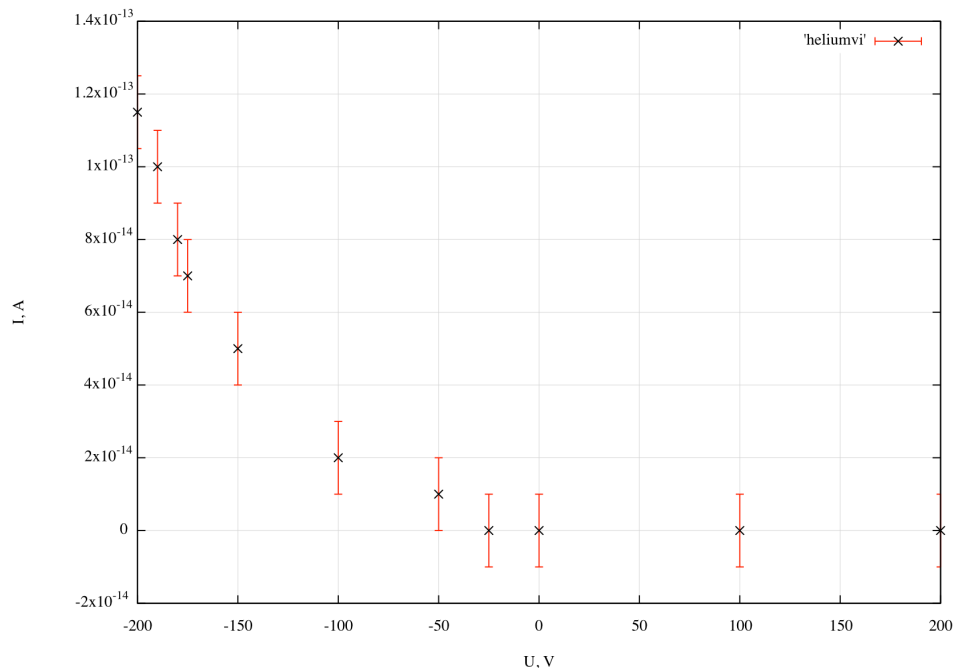
1. Открыть заслонку



2. Произвести N_0 измерений тока с интервалом t (в большинстве случаев $t = 1$ с).

3. Закрыть заслонку (на графиках зависимости тока от времени, области, соответствующие закрытому положению заслонки, отмечены серым фоном).
4. Изменить потенциал фотокатода.
5. Произвести N_C измерений тока тока с тем же интервалом времени t , но уже при закрытой заслонке.

1. Результаты



В результате измерений были получены вольт-амперные характеристики фотоэмиссии в вакууме (для определения мощности ультрафиолетового излучения, доходящего до In-фотокатода), атмосфере гелия и в сверхтекучем жидком гелии. Нужно отметить, что в жидком гелии, находящемся в нормальном (не сверхтекучем) состоянии, измерение фототока не было возможным на фоне сильных шумов, возникавших из-за его кипения.

По измерениям фотоэмиссии в вакууме была получена оценка в $\sim 1.5 \cdot 10^{-10}$ А на максимальную величину фототока, которая может быть получена в режиме насыщения при данной геометрии опыта и мощности излучения лампы.

Измеренная нами зависимость величины фототока от потенциала погруженного в сверхтекучий гелий фотокатода приведена на рис.3. Как видно из графика, максимальный фототок, который нам удалось зарегистрировать в сверхтекучем гелии, достигал величины $2 \cdot 10^{-13}$ А.

Таким образом нами была показана возможность изготовления простого фотоэммиттера, работающего, также, и в жидком гелии. Такой эмиттер может быть полезен при изучении подвижности электронов в гелии, свободном от высокоэнергичных возбуждений и зарядовых состояний при сверхнизких температурах.

Литература

1. Fang, J.; Dementyev, A. E.; Tempere, J. & Silvera, I. F. Thermionic emission and a novel electron collector in a liquid helium environment. // Review of Scientific Instruments, 80, 043901-043901 (2009)
2. Li, Z.; Bonifaci, N.; Denat, A. & Atrazhev, V. Negative corona discharge in liquid helium.// Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, v.13, 624-631(2006)
3. Wei, W.; Xie, Z.; Cooper, L. N. & Maris, H. J. Exotic Ions in Superfluid Helium. // JLTP, v.185, p.313, (2016)
4. Путаевский Л. П., Может ли пузырек в жидком гелии содержать половину электрона? //Усп. физ. Наук, т.177, с.115 (2007).
5. Shankar, S.; Sabouret, G. & Lyon, S. A Low Power Photoemission Source for Electrons on Liquid Helium.// JLTP, v. 161, 410-416 (2010)