

## ОСОБЕННОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ ЭЛЕКТРОНОВ С АТОМАМИ АРГОНА В ТРИОДЕ

*Гайнутдинов Дамир Камилевич (gaynutdinovdk@stud.kai.ru),  
Кальскова Екатерина Алексеевна, Юнусов Ринат Файзрахманович*

КНИТУ-КАИ, г. Казань, республика Татарстан

В работе представлены результаты экспериментального исследования особенностей движения электронов в триоде. Между сеткой и анодом прикладывалось слабое задерживающее электрическое поле. Были получены характерные вольтамперные характеристики разряда в аргоне, что позволило также определить первый потенциал возбуждения атома аргона.

**Ключевые слова:** триод, столкновения электронов, атомы аргона, вольтамперная характеристика, первый потенциал возбуждения.

## FEATURES OF COLLISIONS OF ELECTRONS WITH ATOMS OF ARGON IN THE TRIODE

*Gaynutdinov Damir Kamilevich (gaynutdinovdk@stud.kai.ru),  
Kalskova Ekaterina Alekseevna, Yunusov Rinat Fayzrakhmanovich*

KNRTU-KAI, Kazan, Republic of Tatarstan

The paper presents the results of an experimental study of the features of the motion of electrons in a triode. A weak retarding electric field was applied between the grid and the anode. The characteristic current-voltage characteristics of the discharge in argon were obtained, which also made it possible to determine the first excitation potential of the argon atom.

**Key words:** triode, electron collisions, argon atoms, current-voltage characteristic, first excitation potential.

### Введение

Экспериментальные исследования столкновений электронов с атомами газа привели к открытию строения атомов и их энергетических уровней, практически к открытию принципов и постулатов квантовой механики и атомной физики [1, 2]. Опыты обычно проводились в газовых разрядах как самостоятельных, так и несамостоятельных [3, 4]. В несамостоятельных разрядах источником электронов служил накаливаемый электрод. Вылетевшие из него электроны попадали сначала в ускоряющее электрическое поле между катодом и сеткой, величину которого можно было регулировать. Приемник электронов на пути от сетки служил третий электрод – анод. Между сеткой и анодом прикладывалось слабое задерживающее электрическое поле. Опыты показали,

что электроны, сталкиваясь с атомами газа могут испытывать как упругие, так и неупругие соударения. При упругом соударении кинетическая энергия системы электрон – атом сохраняется (рис. 1).

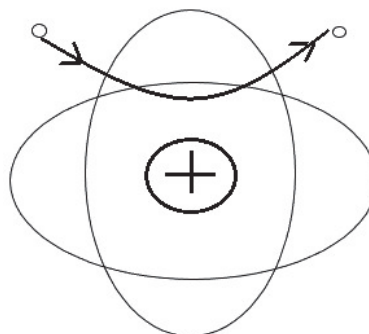


Рис. 1. Схема упругого соударения электрона с атомом

Учитывая малую массу электрона по сравнению с атомом, электроны практически не теряют своей энергии и могут преодолеть слабое тормозящее электрическое поле. В случае неупругих соударений электрон теряет свою кинетическую энергию и переводит атом в возбужденное состояние (рис. 2).

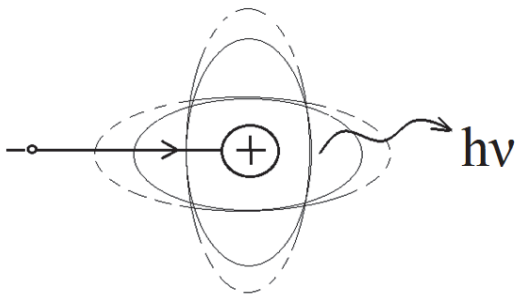


Рис. 2. Схема неупругого соударения электрона с атомом

Возбужденное состояние атома показано на рис. 2 пунктирной линией. Возвращаясь в основное состояние атом изучает квант света. При этом некоторые электроны уже не могут преодолеть даже слабое тормозящее электрическое поле. При малой энергии электрона неупругое соударение с атомом не происходит. Только когда энергия электронов достигнет определенного значения могут происходить неупругие столкновения. Это значение энергии электронов зависит от природы атомов. Такие опыты с использованием паров ртути провели Джеймс Франк и Густав Герц. Они получили вольтамперные характеристики и нашли первое возбужденное состояние атома ртути. Эти эксперименты напрямую подтвердили существование дискретных энергетических уровней в атоме, за что указанные авторы в 1925 году были удостоены Нобелевской премии по физике.

Целью данной работы является опытное исследование особенностей столкновений электронов с атомами аргона в триоде. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

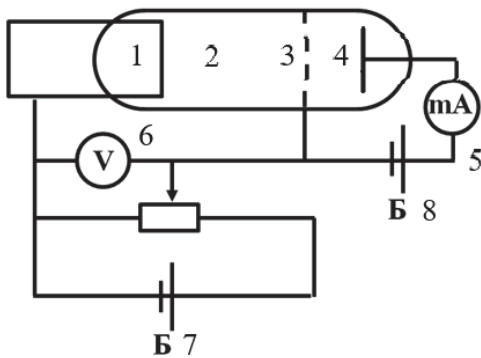


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – накаливаемый катод, 2 – вакуумная лампа с аргоном, 3 – сеточный электрод, 4 – анод, 5 – миллиамперметр, 6 – вольтметр, 7 – регулируемый источник питания для напряжения на участке катод-сетка, 8 – источник запирающего напряжения на участке сетка-анод

Основным элементом экспериментальной установки является трехэлектродная лампа типа ПМИ-2, заполненная аргоном при низком давлении. Сетка 3 (рис. 3) имеет положительный потенциал относительно катода 1 и играет роль ускоряющего электрода. Электроны, вылетевшие из катода за счет термоэлектронной эмиссии, ускоряются разностью потенциалов  $U$ , величина которой можно изменять с помощью потенциометра и измерять вольтметром 6. Изменяя напряжение на участке катод-сетка от 0 до 40 В, фиксировали значения силы тока в анодной цепи. Несмотря на увеличение напряжения, в некоторый момент сила тока не увеличивается, а уменьшается. Это обусловлено тем, что при определенных напряжениях упругие столкновения электронов с атомами аргона сменяются неупругими, электроны при этом теряют энергию и не могут преодолеть тормозное электрическое поле на пути от сетки 3 к аноду 4. В отличие от классического опыта в нашем случае вольтамперная характеристика измерялась с помощью электронного осциллографа. Зависимость силы тока в анодной цепи от напряжения на участке катод – сетка, снятая на осциллографе, имеет следующий вид (рис. 4).

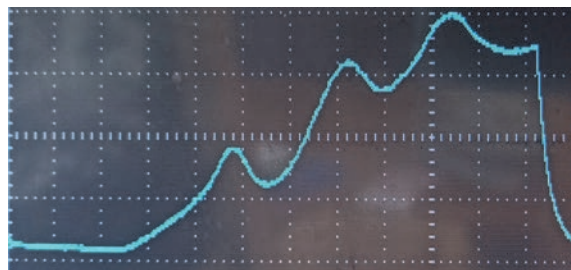


Рис. 4. Осциллограмма вольтамперной характеристики газонаполненного триода

Из рис. 4 видно, что отчетливо наблюдаются три максимума тока. Обычный для термоэлектронных приборов возрастающий участок осциллограммы связан с тем, что атомы аргона не испытывают неупругих соударений, электроны при этом не теряют энергии и достигают анода. Только при определенном напряжении  $U$  порядка 11,6 В электроны на сетке теряют энергию, а атом аргона переходит на первый возбужденный уровень. Электроны не могут преодолеть тормозящее электрическое поле, и сила тока уменьшается. Далее эта ситуация повторяется при напряжениях  $U$ , кратных указанному значению. Вольтамперная характеристика триода (зависимость силы анодного тока триода  $I$  от напряжения  $U$ ) приведена на рис. 5.

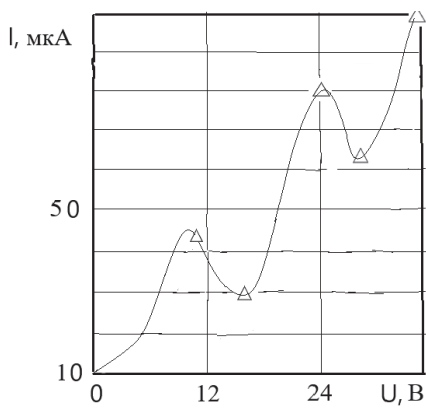


Рис. 5. Вольтамперная характеристика триода

Полученные результаты согласуются с имеющимися данными, а также позволяют определить первый потенциал возбуждения атома аргона, ко-

торый составляет 11,6 В с точностью 10 %. Ход кривой (рис. 5) объясняется тем, что атомы аргона могут поглощать энергию определенными порциями, что подтверждает постулаты, выдвинутые в свое время Н. Бором.

### Список литературы

1. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1989.
3. Timerkaev V. A., et al. Longitudinal distribution of electrical parameters in normal glow discharge// J. of Phys.: Conf. Series 567 (2014) 012036.
4. Yunusov R. F., Garipov M. M. Experimental study of the energy characteristics of a longitudinal Glow Discharge//J. of Phys.: Conf. Series 1328 (2019) 012102.