

УДК 533.9

## Характеристики дрейфа электрона в постоянном электрическом поле для инертных газов

Р. И. Голятина, С. А. Майоров

*Приведены результаты расчетов энергобаланса электронов и характеристик дрейфа в электрическом поле при напряженностях  $0,1 < E/N < 1000$  Тд с учетом неупругих столкновений. Результаты расчетов представлены в виде удобных для использования таблиц для всех инертных газов. Проанализированы особенности энергобаланса электронов, в частности приведены соотношения между потерями энергии в упругих и различного вида неупругих столкновениях.*

PACS: 51.50.+v, 51.10.+y, 52.80.Dy, 52.25.Fi

*Ключевые слова:* электрон, дрейф, неупругие столкновения, упругие столкновения, инертный газ, энергетический баланс.

### Введение

Задача о дрейфе электрона в постоянном электрическом поле редко может служить моделью для описания реальных экспериментальных условий, которые обычно характеризуются сложной геометрией физического объекта и наличием большого количества дополнительных физических явлений, важных для его правильного описания. В случае газоразрядной плазмы это могут быть, например, образование метастабильных атомов и перенос резонансного излучения, ионизационная неустойчивость и т. д.

Тем не менее, характеристики дрейфа электрона в постоянном и однородном электрическом поле представляют интерес для понимания свойств широкого класса физических систем, начиная с астрофизических плазменных систем и атмосфер планет, и заканчивая большим числом прикладных плазменных задач, таких как газоразрядные лазеры, плазменные процессы в микроэлектронике и медицине, термоядерный синтез, микроплазменные системы, плазма в нанотехнологиях и биомедицинских приложениях.

Диффузия и дрейф электронов в газах исследованы достаточно подробно во многих работах (см., например, книги [1—3]), где приводятся также и табличные данные по характеристикам дрейфа электрона в электрическом поле. Однако в нас-

тоящее время имеющихся данных о характеристиках дрейфа и диффузии электронов оказывается недостаточно для анализа различных новых технологий, использующих новые газы и смеси: источники света на основе ксенона, разряд в плазменных панелях, флуоресцентные лампы без содержания ртути и многие другие новые приложения низкотемпературной плазмы. Многочисленные экспериментальные данные и результаты подробного численного моделирования приводятся в огромном числе работ, но ясности в вопросах влияния различных процессов на характеристики разряда нет. В качестве примера важности этой проблемы сошлемся на недавние обзоры [4—6].

Как показывает анализ литературных данных, имеется недостаток в систематических табличных данных, позволяющих проводить анализ характеристик газового разряда. Например, в большинстве работ по пылевой плазме (см. обзор [7]) полагается, что электроны в газовом разряде имеют максвелловское распределение с температурой, определяемой из эксперимента. Хорошо известно, что функция распределения электронов по энергии (ФРЭЭ) в газовом разряде постоянного тока при пониженном давлении газа сильно отличается от распределения Максвелла. Особенно велики отличия в области энергий, в несколько раз превышающих среднюю энергию электронов (температуру).

В настоящей работе рассмотрена модель электрон атомных столкновений, позволяющая правильно учитывать энергобаланс электронов, в том числе и при неупругих столкновениях. На основе численного эксперимента, моделирующего дрейф в постоянном однородном электрическом поле с учетом упругих и неупругих столкновений электрона с атомами, протабулированы характери-

---

Голятина Русудан Игоревна, научный сотрудник.  
Майоров Сергей Алексеевич, ведущий научный сотрудник.  
Институт общей физики РАН.  
Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.  
Тел. (499) 135-02-47.  
E-mail: mayorov\_sa@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29 октября 2010 г.

---

© Голятина Р. И., Майоров С. А., 2011

ки функции распределения электронов по скоростям, энергетические характеристики дрейфа электронов в постоянном электрическом поле.

Рассчитаны значения скорости дрейфа, средней энергии электронов, характеристической энергии Таунсенда, средние энергии электрона, приводящие к актам возбуждения и ионизации атомов, соотношение между энергопотерями в упругих и неупругих столкновениях, первый ионизационный коэффициент Таунсенда. Приведенные данные могут использоваться при анализе экспериментов с газоразрядной пылевой плазмой.

Процессы возбуждения, ионизации и рекомбинации в реальных экспериментальных условиях чаще всего не могут быть учтены в рамках пространственно-однородной модели. Тем не менее, примем следующую модель, в которой рассматривается пространственно-однородный стационарный поток электронов при следующих предположениях:

1) атомы газа имеют максвелловское распределение по скоростям и не меняют своей температуры из-за столкновений с электронами;

2) упругие электрон-атомные столкновения происходят как столкновения твердых сфер, т. е. при столкновении происходит изотропное рассеяние в системе центра масс, но сечение столкновения полагается зависящим от энергии их относительного движения;

3) потери электронов на возбуждение атомных уровней невозполнимы, т. е. полагается, что возбужденные атомы теряют энергию возбуждения в режиме объемного высвечивания, метастабильные атомы диффундируют за границы рассматриваемого объема;

4) при ионизации электронным ударом налетающий на атом электрон теряет энергию, равную сумме энергий ионизации  $I$  и кинетической энергии выбитого электрона. После акта ионизации его энергия полагается равной:  $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1 - I - \varepsilon'_2$ . Предположено, что энергия налетающего электрона после столкновения с равной вероятностью принимает все возможные значения:

$$\varepsilon'_1 = (\varepsilon_1 - I)R, \quad (1)$$

где  $0 < R < 1$  — случайное число, тогда энергия выбитого электрона  $\varepsilon'_2 = (\varepsilon_1 - I)(1 - R)$ ;

5) процессы рекомбинации электронов и атомов, тушения возбужденных уровней и переноса резонансного излучения не меняют энергии электронов.

Влияние соотношения энергий между налетающим и выбитым при ионизации электронным ударом электронами обсуждается в работе [8], где рассмотрено 4 различных модели. Приближение о равновероятном распределении энергий выбрано

из-за наилучшего соответствия ситуации газового разряда, где поля невелики. Этот важный вопрос будет рассмотрен в отдельной работе.

### Энергобаланс электронов

При дрейфе в электрическом поле электроны приобретают энергию от электрического поля. В постоянном и однородном электрическом поле в единицу времени за счет джоулева нагрева электрон в среднем приобретает энергию, равную

$$Q_{EW} = eEW, \quad (2)$$

здесь  $e$  — заряд электрона;

$E$  — напряженность электрического поля;

$W$  — скорость дрейфа.

Рассмотрим случай, при котором энергия электронов значительно превышает энергию атомов. Тогда в стационарном, пространственно-однородном случае энергия, получаемая электроном, теряется в упругих столкновениях с атомами, затрачивается на возбуждение атомных уровней и ионизацию. Кроме того, электроны уносят или приобретают энергию при рекомбинации:

$$Q_{EW} = Q_{ea} + Q_{ex} + Q_{ion} + Q_{rec}. \quad (3)$$

Здесь в правой части представлены соответствующие средние энергопотери одного электрона за единицу времени (при рекомбинации электрон может и приобретать энергию, например, при тройной рекомбинации). В приведенных ниже расчетах пренебрегалось влиянием процессов рекомбинации на энергобаланс электронов, т. е. полагалось, что  $Q_{rec} = 0$ .

### Результаты расчетов характеристик дрейфа электрона в благородных газах

Для расчета характеристик дрейфа электронов в газе использовался метод Монте-Карло, аналогичный тому, который использовался в работе [9] для моделирования ион-атомных столкновений. После каждого столкновения проводилось интегрирование уравнения движения электрона в постоянном поле и, в соответствии с известными сечениями упругих и неупругих процессов, определялась вероятность того или иного события. Результаты расчетов для неона приведены в работе [10], много аналогичных расчетных данных приведено в [11]. В настоящей работе, в отличие от [10], использовались сечения упругих столкновений из работы [12], что дает лучшее совпадение результатов расчетов с более точными экспериментальными данными.

В табл. 1—5 приведены результаты расчетов характеристик дрейфа электрона в инертных газах при температуре 293 К и различных приведенных напряженностях электрического поля  $E/N = 0,1—1000$  Тд (1 Тд =  $3,03 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{Торр}^{-1}$ , концентрация газа  $N$  выражена в единицах давления

Торр). В большей части справочников и книг приводятся лишь скорость дрейфа электронов и наблюдаемая в экспериментах величина  $eD/\mu$ , называемая также характеристической энергией Таунсенда (здесь  $D$  — коэффициент диффузии,  $\mu$  — подвижность электрона).

Таблица 1

Характеристики дрейфа электрона в гелии,  $E_1 = 20$  эВ,  $I = 24,6$  эВ

$E/N$ , Тд	$W$ , км/с	$eD_{\perp}/\mu$ , эВ	$\langle \varepsilon \rangle$ , эВ	$\frac{Q_{ca}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ion}}{Q_{EW}}$	$\langle \varepsilon - E_1 \rangle$ , эВ	$\langle \varepsilon - I \rangle$ , эВ	$\alpha/N_a$ , $10^{-16} \text{ см}^2$
0,1	1,4	0,06	0,08	1,00	0	0	0	0	0
0,2	2,1	0,1	0,13	1,00	0	0	0	0	0
0,5	3,3	0,2	0,29	1,00	0	0	0	0	0
1	4,8	0,4	0,55	1,00	0	0	0	0	0
2	6,7	0,8	1,0	1,00	0	0	0	0	0
5	11,1	1,8	2,7	1,00	0	0	0	0	0
10	20,8	3,9	6,0	0,67	0,33	0,002	2,5	2	0,0001
20	43,5	4,8	7,7	0,23	0,75	0,03	4,1	3,3	0,002
50	113	5,8	9,9	0,11	0,80	0,09	8,0	7,5	0,02
100	270	7,2	12,9	0,07	0,79	0,15	15	14,7	0,06
200	663	10,3	19,1	0,12	0,70	0,18	29	28	0,15
500	2070	14,0	41,9	0,24	0,58	0,18	66	64	0,37
1000	3860	15,8	78,9	0,37	0,48	0,16	115	112	0,63

Таблица 2

Характеристики дрейфа электрона в неоне  $E_1 = 16,7$  эВ,  $I = 21,6$  эВ

$E/N$ , Тд	$W$ , км/с	$eD_{\perp}/\mu$ , эВ	$\langle \varepsilon \rangle$ , эВ	$\frac{Q_{ca}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ion}}{Q_{EW}}$	$\langle \varepsilon - E_1 \rangle$ , эВ	$\langle \varepsilon - I \rangle$ , эВ	$\alpha/N_a$ , $10^{-16} \text{ см}^2$
0,1	2,0	0,49	0,54	1,00	0	0	0	0	0
0,2	2,6	0,79	0,83	1,00	0	0	0	0	0
0,5	3,5	1,4	1,5	1,00	0	0	0	0	0
1	4,5	2,2	2,5	1,00	0	0	0	0	0
2	5,9	3,8	4,2	1,00	0	0	0	0	0
5	10	5,8	7,0	0,63	0,37	0,0005	1,5	0,7	0,00001
10	19	6,3	7,8	0,21	0,78	0,016	2,7	1,5	0,0008
20	35	7,5	8,7	0,09	0,82	0,09	4,1	2,9	0,008
50	73	8,6	10,6	0,11	0,66	0,23	6,9	5,6	0,054
100	131	10,7	13,2	0,10	0,57	0,34	11,2	9,8	0,16
200	215	13,6	17,3	0,17	0,45	0,38	17,8	16	0,36
500	383	19,4	27	0,30	0,34	0,36	33,8	32	0,85
1000	559	29,3	40	0,42	0,26	0,32	54,8	52	1,5

Таблица 3

Характеристики дрейфа электрона в аргоне  $E_1 = 11,5$  эВ,  $I = 15,8$  эВ

$E/N$ , Тд	$W$ , км/с	$eD_{\perp}/\mu$ , эВ	$\langle \varepsilon \rangle$ , эВ	$\frac{Q_{ca}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ion}}{Q_{EW}}$	$\langle \varepsilon - E_1 \rangle$ , эВ	$\langle \varepsilon - I \rangle$ , эВ	$\alpha/N_a$ , $10^{-16} \text{ см}^2$
0,1	2,9	0,72	0,66	1,00	0	0	0	0	0
0,2	1,9	1,8	1,2	1,00	0	0	0	0	0
0,5	2,5	2,7	1,7	1,00	0	0	0	0	0
1	3,2	3,6	2,3	1,00	0	0	0	0	0
2	3,3	5,4	3,3	1,00	0	0	0	0	0
5	4,6	7,5	4,8	0,84	0,16	0	0,6	0	0
10	9,5	7,5	5,4	0,27	0,73	0	1,1	0	0
20	18	7,0	5,7	0,10	0,89	0,01	1,8	0,9	0,001
50	38	7,2	6,5	0,09	0,77	0,14	3,0	2,0	0,05
100	73	7,4	7,4	0,06	0,58	0,36	4,7	3,7	0,2
200	136	7,6	8,7	0,12	0,39	0,49	7,3	6,5	0,6
500	343	8,0	11,8	0,27	0,22	0,51	15,8	15,4	1,6
1000	767	9,1	17,2	0,42	0,15	0,44	29,6	28,9	2,8

Таблица 4

Характеристики дрейфа электрона в криптоне  $E_1 = 12,0$  эВ,  $I = 14,6$  эВ

$E/N$ , Тд	$W$ , км/с	$eD_{\perp}/\mu$ , эВ	$\langle \varepsilon \rangle$ , эВ	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ion}}{Q_{EW}}$	$\langle \varepsilon - E_1 \rangle$ , эВ	$\langle \varepsilon - I \rangle$ , эВ	$\alpha/N_a$ , $10^{-16}$ см <sup>2</sup>
0,1	2,8	0,46	0,49	1,00	0	0	0	0	0
0,2	2,1	1,4	1,1	1,00	0	0	0	0	0
0,5	1,8	3,3	1,6	1,00	0	0	0	0	0
1	1,9	5,0	2,1	1,00	0	0	0	0	0
2	2,3	6,5	2,9	1,00	0	0	0	0	0
5	2,9	8,8	4,1	0,97	0,03	0	0,4	0	0
10	4,8	8,7	4,8	0,44	0,56	0	0,7	0	0
20	9,7	7,9	5,1	0,15	0,85	0,0004	1,2	0,2	0,000056
50	19	8,2	5,5	0,12	0,86	0,02	1,9	1,0	0,006
100	35	8,4	6,2	0,05	0,77	0,18	3,0	1,9	0,1
200	58	8,4	7,1	0,08	0,56	0,37	4,4	3,2	0,5
500	116	8,8	8,8	0,16	0,33	0,51	7,6	6,6	1,8
1000	209	9,3	11,2	0,27	0,22	0,51	13	12	3,7

Таблица 5

Характеристики дрейфа электрона в ксеноне  $E_1 = 10$  эВ,  $I = 14$  эВ

$E/N$ , Тд	$W$ , км/с	$eD_{\perp}/\mu$ , эВ	$\langle \varepsilon \rangle$ , эВ	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ex}}{Q_{EW}}$	$\frac{Q_{ion}}{Q_{EW}}$	$\langle \varepsilon - E_1 \rangle$ , эВ	$\langle \varepsilon - I \rangle$ , эВ	$\alpha/N_a$ , $10^{-16}$ см <sup>2</sup>
0,1	1,0	0,09	0,11	1,00	0	0	0	0	0
0,2	2,5	0,3	0,37	1,00	0	0	0	0	0
0,5	1,3	2,4	1,3	1,00	0	0	0	0	0
1	1,6	3,2	1,6	1,00	0	0	0	0	0
2	1,8	4,2	2,3	1,00	0	0	0	0	0
5	2,6	5,9	3,3	0,65	0,35	0	0,4	0	0
10	5,7	4,9	3,5	0,16	0,84	0	0,8	0	0
20	11	5,0	3,8	0,07	0,93	0,002	1,3	0,5	0,0004
50	25	5,1	4,2	0,06	0,86	0,07	2,4	1,6	0,03
100	51	4,4	4,9	0,05	0,67	0,28	3,7	3,1	0,23
200	112	4,3	5,8	0,12	0,43	0,45	6,1	5,8	0,75
500	354	4,7	8,4	0,28	0,22	0,50	13,6	13,3	2,0
1000	850	5,6	13,1	0,42	0,15	0,43	24	23	3,6

В случае максвелловского распределения характеристическая энергия Таунсенда совпадает с температурой электронов. Но для реальных распределений электронов по энергии соответствия между средней энергией электронов и значением характеристической энергии Таунсенда нет, поэтому, помимо значений  $eD_{\perp}/\mu$ , в таблице приведены также значения средней энергии электронов  $\langle \varepsilon \rangle = \int_0^{\infty} \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon$ . Здесь функция распределения электронов по энергии нормирована на единицу, т. е.  $1 = \int_0^{\infty} f(\varepsilon) d\varepsilon$ .

Энергобаланс электронов характеризуют столбцы 5—7 табл., в которых приведены относительные потери энергии электронов в упругих столкновениях на возбуждение и ионизацию атомов. Величина  $Q_{ion}/Q_{EW}$  является ионизационным коэффициентом Таунсенда, нормированным на потенциал ионизации, и соответствует доли ионизационных потерь.

При наличии актов возбуждения атомов и их ионизации проводилось также и вычисление сред-

ней энергии превышения порога соответствующей реакции по всем происшедшим актам возбуждения и ионизации:

$$\langle \varepsilon - E_1 \rangle = \frac{\int_{E_1}^{\infty} (\varepsilon - E_1) f(\varepsilon) \sigma_{ex}(\varepsilon) v d\varepsilon}{\int_{E_1}^{\infty} f(\varepsilon) \sigma_{ex}(\varepsilon) v d\varepsilon}; \quad (4)$$

$$\langle \varepsilon - I \rangle = \frac{\int_I^{\infty} (\varepsilon - I) f(\varepsilon) \sigma_{ion}(\varepsilon) v d\varepsilon}{\int_I^{\infty} f(\varepsilon) \sigma_{ion}(\varepsilon) v d\varepsilon}. \quad (5)$$

Средняя кинетическая энергия появляющегося в результате акта ударной ионизации электрона, равна

$$\langle \varepsilon'_1 \rangle = \langle \varepsilon'_2 \rangle = \frac{1}{2} \langle \varepsilon - I \rangle. \quad (6)$$

Множитель 1/2 в (6) появляется из-за перераспределения энергии между налетающим и выбитым из атома электроном в соответствии с (1). Поскольку сечения возбуждения и ионизация хорошо аппроксимируются линейной функцией от энергии

столкновения и имеют примерно одинаковый наклон, то и значения  $\langle \varepsilon - E_1 \rangle$  и  $\langle \varepsilon - I \rangle$  оказываются близкими. Столбцы 8 и 9 табл., в которых приведены значения  $\langle \varepsilon - E_1 \rangle$  и  $\langle \varepsilon - I \rangle$ , характеризуют скорость спада ФРЭЭ за порогами возбуждения и ионизации, соответственно.

**Обсуждение результатов расчетов**

Приведенные в табл. 1—5 дрейфы позволяют не только получать с помощью интерполяции данные о характеристиках дрейфа при каких-либо конкретных параметрах разряда, но и дают полную картину о количественных и качественных характеристиках дрейфа электронов в электрическом поле.

Для наглядности на рисунке в виде графиков *a*, *b* и *в* представлены зависимости различных характеристик дрейфа от приведенной напряженности. В качестве примера выбраны расчеты дрейфа в гелии, жирными точками отмечены экспериментальные данные [12, 13].

Конечно же, результаты различаются довольно сильно для различных инертных газов, но имеются общие закономерности в зависимости характеристик дрейфа от напряженности поля. На примере результатов расчетов дрейфа электрона в гелии укажем на следующие закономерности.

• При напряженности электрического поля  $E/N < 2$  Тд дрейф электрона в гелии определяется только упругими столкновениями с атомами. При значениях  $E/N > 0,1$  Тд средняя кинетическая энергия электрона значительно превышает энергию (температуру) атомов, а функция распределения электрона по модулю скорости имеет вид:

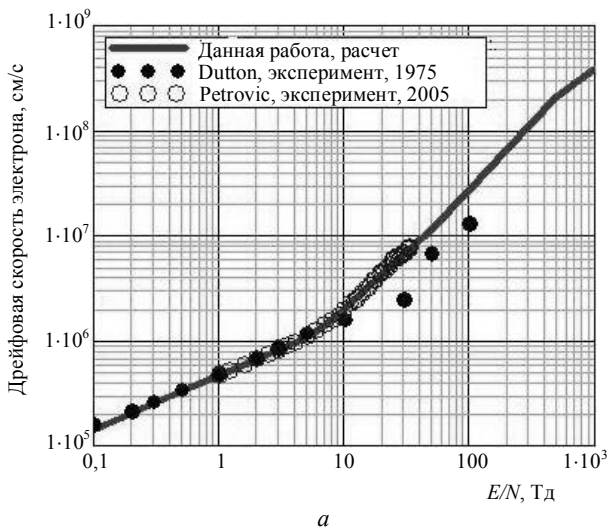
$$f_0(v) = A \exp\left(-\frac{3m}{M} \left(\frac{mN}{eE}\right)^2 \int_0^v c^2 \sigma_{el}^2(c) dc\right), \quad (7)$$

здесь  $m, M$  — массы электрона и атома;

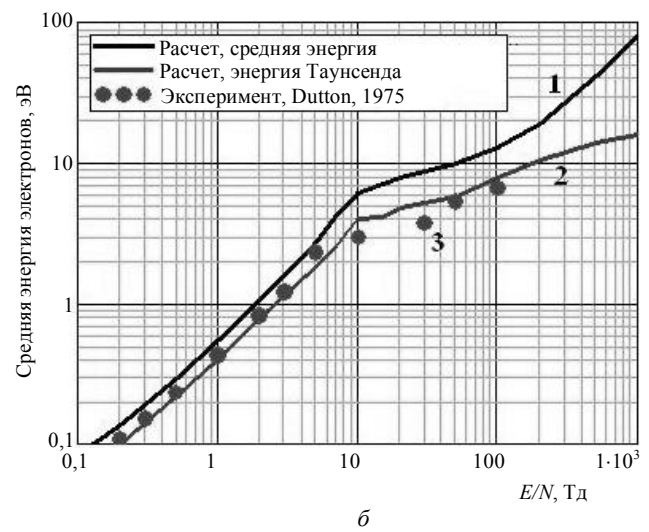
$\sigma_{el}$  — сечение упругих столкновений, константа  $A$  — определяется из условия нормировки

$$1 = 4\pi \int_0^\infty c^2 f(c) dc.$$

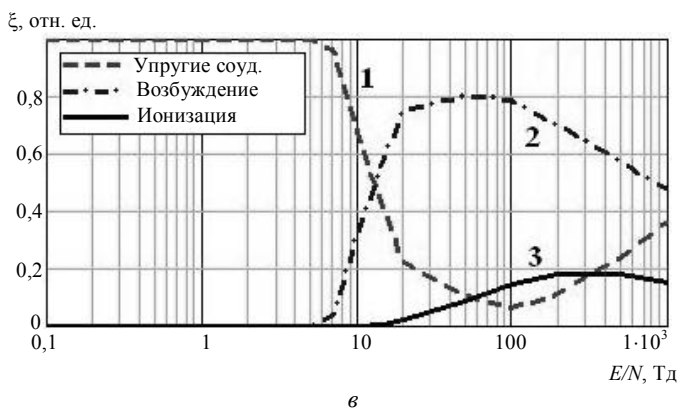
При степенной зависимости се-



*a*



*b*



*в*

**Характеристики дрейфа электрона в зависимости от приведенной напряженности поля:**

*a* — скорость дрейфа электронов; *b* — средняя энергия электронов — жирная сплошная кривая 1; характеристическая энергия Таунсенда — тонкая сплошная кривая 2 представляет результаты расчета; точки 3 — результаты экспериментов; *в* — относительная доля  $\xi$  энергопотерь электронов в упругих столкновениях с атомами — кривая 1, на возбуждение атомов — кривая 2, на ионизацию — кривая 3

чения от скорости:  $\sigma_{el}(c) = \sigma_0(c/c_0)^f$  — интеграл в (6) вычисляется. При  $\sigma_{el}(c) = \sigma_0(c/c_0)^{-1/2}$ , когда частота столкновений постоянна, (6) переходит в распределение Максвелла. При постоянном сечении:  $\sigma_{el}(c) = \sigma_0$  распределение (6) переходит в распределение Дрювестейна [1, 2].

- При напряженности электрического поля  $2 < E/N < 20$  Тд дрейф электрона в гелии сопровождается возбуждением резонансных и метастабильных состояний атомов. Средняя кинетическая энергия электрона в этом диапазоне напряженностей поля слабо зависит от него, в то время как скорость дрейфа зависит от поля почти линейно.

- При напряженности электрического поля  $20 < E/N < 200$  Тд дрейф электрона в гелии сопровождается преобладающим влиянием на энергобаланс неупругих столкновений. Но при  $E/N > 1000$  Тд доля упругих столкновений с увеличением поля начинает расти и энергопотери за счет упругих столкновений при сильных полях преобладают (при условии правильности экстраполяции упругих сечений на диапазон энергий, больший 20 эВ).

### Заключение

Полученные результаты расчетов характеристик дрейфа электрона в постоянном электрическом поле в инертных газах показывают основные закономерности в формировании функции распределения электронов по скоростям и влияние на энергобаланс различных процессов. Соответственно, эти результаты могут быть полезны при анализе экспериментальных данных, в частности,

экспериментов с пылевой плазмой в разряде постоянного тока. Такая работа ведется в настоящее время и будет представлена в отдельной публикации.

---

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 08-02-00791-а, 08-02-01172-а) и Нидерландского научного общества NWO (грант 047.017.2006.007).*

### Литература

1. Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. — М.: Мир, 1977.
2. Биберман Л. М., Воробьев В. С., Якубов И. Т. Кинетика неравновесной плазмы. — М.: Наука, 1982.
3. Смирнов Б. М. Физика слабоионизованного газа в задачах с решениями. — М.: Наука, 1985.
4. Petrovic Z. Lj., Dijko S., Marec D. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2009. V. 42. P. 194002.
5. Смирнов Б. М. // УФН. 2009. Т. 179. С. 591.
6. Цендин Л. Д. // Там же. 2010. Т. 180. С. 139.
7. Фортвов В. Е., Храпак А. Г., Храпак С. А., Молотов В. И., Петров О. Ф. // Там же. 2004. Т. 174. С. 495.
8. Tzeng Y., Kunhardt E. E. // Physical Review A. 1986. V. 34. P. 2148.
9. Майоров С. А. // Физика плазмы. 2009. Т. 35. № 9. С. 3.
10. Майоров С. А. // Кр. сообщ. по физике. ФИАН. 2010. № 10. С. 29.
11. Тарасенко В. Ф., Яковленко С. И. // УФН. 2004. Т. 174. С. 953.
12. Sasic O., Jovanovic J., Petrovic Z. Lj. et al. // Phys. Rev. E. 2005. V. 71. P. 046408.
13. Dutton J. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1975. V. 4. P. 577.

## Characteristics of the electron drift in a dc field for inert gases

*R. I. Golyatina, S. A. Mayorov*

Prokhorov General Physics Institute of RAS, 38 Vavilov str., Moscow, 119991, Russia

E-mail: may@fpl.gpi.ru

*The results of the calculation for energy balance and characteristics of the electron drift in inert gases are submitted for the  $0.1 < E/N < 1000$  Td dc field.*

PACS: 51.50.+v, 51.10.+y, 52.80.Dy, 52.25.Fi

*Keywords:* electron, drift, electron, inelastic collisions, elastic collisions, inert gas, energy balance.