



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم

قسم الفيزياء

"دراسة تأثير إضافة الغازات النبيلة الى النيتروجين على EEDF ومعاملات النقل الالكتروني"

رسالة مقدمة الى

كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم - جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل الطالب

خالد سلمان جبر

بكالوريوس علوم فيزياء / 2000

بإشراف

أ.م. د. مصطفى كامل جاسم

2019 م

1440 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ
دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

صدق الله العلي العظيم


(المجادلة من الآية/ ١١)

إقرار المشرف على الرسالة

أقر أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ(دراسة تأثير اضافة الغازات النبيلة الى النيتروجين على EEDF ومعاملات النقل الالكتروني) التي قدمها الطالب (خالد سلمان جبر) تم بإشرافي في قسم الفيزياء كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم/ جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.

اسم المشرف : أ. م. د. مصطفى كامل جاسم

المرتبة العلمية : استاذ مساعد

التوقيع : 

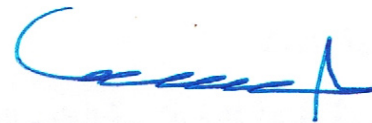
التاريخ : ٢٠١٩/٥/٩

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصية المقدمة من قبل الأستاذ المشرف أحيل هذه الرسالة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

الاسم : أ. د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية : أستاذ

التوقيع : 

التاريخ : ٢٠١٩ / ٥ / ٩

إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة الموقعين ادناه نشهد اننا قد اطلعنا على رسالة الماجستير الموسومة بـ (دراسة تأثير إضافة الغازات النبيلة الى النيتروجين على EEDF ومعاملات النقل الالكتروني) التي تقدم بها الطالب (خالد سلمان جبر). وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وكل ما له علاقة بها فوجدناها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير علوم في الفيزياء وبتقدير (امتياز) ولأجله وقعنا.

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. بشرى جودة حسين

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية/ ابن الهيثم

التاريخ: 2019 / 9 / ٨

رئيس اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. حيدر عبد الرضا صالح

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة التكنولوجية/ قسم العلوم التطبيقية

التاريخ: 2019 / 9 / 4

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. ايناس احمد جواد


الدرجة العلمية: مدرس

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية

للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم

التاريخ: 2019 / 9 / ٤

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع: 

الاسم: د. مصطفى كامل جاسم

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم الصرفة/

ابن الهيثم

التاريخ: 2019 / 9 / ١

مصادقة عميد كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد

التوقيع: 

الاسم: د. حسن احمد حسن

الدرجة العلمية: استاذ

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم

التاريخ: 2019 / 9 / 16

الاهداء

الى من كنت انامله ليقدّم لنا لحظة سعادة.....الى من ازاح الاشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم.....الى من علمني العطاء من دون انتظار.....الى من احمل اسمه بكل افتخار.....

ارجو من الله العلي القدير ان يمد في عمره ليرى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار.

والذي العزيز

الى ملاكي في الحياةالى معنى الحب والحنان والتفاني.....الى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي.....الى القلب الناصع وباب رحمة رب العالمين.

والدتي الحبيبة

الى الشموع التي أضاءت لي طريق العلمأساتذتي الكرام

الى سندي ورفيقة دربي.....زوجتي الغالية

الى ثمرة فؤادي وقرّة عينياولادي

الى من بهم اكتسب قوة ومحبة.....اخواني واخواتي

الى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء.....زملائي وزميلاتي

الى محبي العلم والمعرفة اهدي ما وفقني اليه ربي ردا للجميل الذي احمله لهم جميعا.

شكر وتقدير

قال رسول الله (صلى الله عليه واله وسلم): ((من علمني حرفا ملكني عبدا)).

الحمد لله رب العالمين الذي من علينا بنعمه حمدا واثمنا له الجود والفضل الكبير على توفيقه لنا لإتمام هذه الرسالة.

أقدم شكري وتقديري وكامل احترامي واعتزازي وثقتي للأستاذي الغالي ومشرف رسالتي **الأستاذ المساعد الدكتور مصطفى كامل جاسم** الذي ساندني بكل خطوة في رسالتي، وإلى **الدكتورة ايناس احمد جواد** والدكتور **عقيل رزاق صلح** لنا قشتم المثمرة معي خلال مدة البحث.

واعتزافا مني بالجميل، أقدم فائق الشكر والتقدير إلى اخوتي واصدقائي كل من **الأستاذ احمد طعمة الكعبي والأستاذ سماح عادل الزبيدي والست م.م. بلقيس عادل احمد** لما أبدوه من دعم لي.

ختاما أقدم شكري وتقديري إلى كل من ساعدني من اهلي واصدقائي وزملائي لكم مني كل معاني الحب والاحترام والشكر والتفضل والتقدير، وبارك الله لكم وجعل ايامكم واثمة بأحسن حال، وكتب الله لكم التوفيق.

خالد

الخلاصة

تم حل معادلة نقل بولتزمان (BTE) نظرياً باستخدام برنامج EEDF لغرض محاكاة حركة الإلكترونات تحت تأثير مجال كهربائي منتظم في بلازما غاز النيتروجين N_2 وخلائطه مع الغازات النبيلة مثل (غاز الهليوم He، غاز النيون Ne، غاز الأرجون Ar، غاز الكريبتون Kr، غاز الزينون Xe) ضمن النطاق (10-600) Td حيث $Td = 1 \times 10^{-17} V \cdot cm^2$.

كما درسنا تأثير إضافة كل غاز من الغازات النبيلة إلى غاز النيتروجين N_2 النقي على دالة التوزيع الإلكتروني (EEDF) ومعلمات النقل الإلكتروني (ETC) من خلال رسم مخططات بيانية لحسابات مختلفة باستخدام برنامج (2017) MATLAB.

استخدم برنامج Igor.Pro لعمل ملائمة (Fitting) لجميع معلمات النقل للغازات النقية المستخدمة لغرض الحصول على معادلة شبه تجريبية.

لوحظت اعتمادية كل من دالة التوزيع الإلكتروني ومعلمات النقل (معدل طاقة الإلكترون، الطاقة المميزة، سرعة الانجراف، تنقلية الإلكترون، معامل الانتشار الإلكتروني) على نسبة مكونات الغاز في الخليط وشدة المجال الكهربائي المختزل E/N إضافة إلى نوع الغاز.

دور المقاطع العرضية مهم ورئيسي في عمليات تصادم الإلكترون مع الذرات المتعادلة وأنها تؤدي إلى تغيير كل من دالة التوزيع الإلكتروني EEDF ومعلمات النقل الإلكتروني لجميع الخلائط الغازية. ووفقاً للمقاطع العرضية المستخدمة والتي وفرها برنامج EEDF فإن هناك توافقاً جيداً لنتائجنا مع نتائج بعض الباحثين، كما يوجد بعض الاختلاف مع نتائج أخرى يعزى إلى اختلاف المقاطع العرضية المستخدمة إضافة إلى اختلاف تركيز الإلكترونات.

لوحظت أن التراكيز الصغيرة من الغاز الجزيئي N_2 لها دور أساسي على دالة التوزيع الإلكتروني وعلى معلمات النقل الإلكتروني، إذ يؤدي تقليل تركيز غاز النيتروجين N_2 في خلأته مع الغازات النبيلة إلى تطور EEDF نحو معدل طاقة العالي باستثناء خليطه مع الزينون عند $E/N > 50 Td$ ، لذا فإن تقليل تركيز غاز النيتروجين N_2 في الخليط (N_2+Xe) يؤدي دور متباين اعتماداً على المجال الكهربائي المختزل وعلى نسبة غاز النيتروجين في ذلك الخليط.

تأثير الخلط بنسب متساوية أولاً ثم بنسب مختلفة ثانياً وبشبات المجال الكهربائي المختزل عند قيم معينة لجمع الغازات النبيلة مع غاز النيتروجين أوضحت تأثير كبير لدالة التوزيع EEDF لغازي الهليوم والنيون بإضافة كميات صغيرة من غاز النيتروجين إلى الخليط.

أجريت العمليات الحسابية في ظروف قياسية ثابتة ($P=760 Torr$) و $T=273K$ ، $N=1 \times 10^9 cm^{-3}$ حيث T و P و N هي تمثل ضغط الغاز ودرجة الحرارة وتركيز الإلكترونات على التوالي.

المحتويات

الصفحة	العنوان	التسلسل
الفصل الأول / مقدمة عامة		
1-3	تمهيد	1-1
4	غاز النيتروجين	1-2
4	الخصائص الفيزيائية للنيتروجين	1-2-1
4-5	تفاعلات النيتروجين	1-2-2
5	استخدامات النيتروجين	1-2-3
6	الغازات النبيلة	1-3
6-7	الخصائص المهمة للغازات النبيلة	1-3-1
7	الفعالية الكيميائية للغازات النبيلة	1-3-2
8	أنواع الغازات النبيلة وتطبيقاتها	1-4
8	غاز الهيليوم	1-4-1
8-9	تطبيقات غاز الهيليوم	1-4-1-1
9	غاز النيون	1-4-2
10	تطبيقات غاز النيون	1-4-2-1
10	غاز الاركون	1-4-3
10-11	تطبيقات غاز الاركون	1-4-3-1
11	غاز الكربون	1-4-4
11	تطبيقات غاز الكربون	1-4-4-1
11	غاز الزينون	1-4-5
11	تطبيقات غاز الزينون	1-4-5-1
12-17	الدراسات السابقة	1-5
18	الهدف من الدراسة	1-6
الفصل الثاني / معادلة بولتزمان ودالة التوزيع		
19	المقدمة	2-1
19-20	دالة التوزيع	2-2
20-23	معادلة بولتزمان	2-3
24-26	الحل العددي لكود EEDF	2-4
26-30	التصادمات	2-5
الفصل الثالث (النتائج والمناقشة والاستنتاج)		
31	المقدمة	3-1
32-35	المقاطع العرضية لغاز N_2 والغازات النبيلة	3-2

36-39	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز N ₂	3-3
40-43	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز He	3-4
44-47	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز Ne	3-5
48-51	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز Ar	3-6
52-55	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز Kr	3-7
56-59	دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز Xe	3-8
60-62	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +He) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N	3-9
63-64	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +He) بتراكيز مختلفة وثابت E/N	3-10
65-67	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Ne) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N	3-11
68-69	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Ne) بتراكيز مختلفة وثابت E/N	3-12
70-72	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Ar) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N	3-13
73-74	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Ar) بتراكيز مختلفة وثابت E/N	3-14
75-77	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Kr) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N	3-15
78-79	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Kr) بتراكيز مختلفة وثابت E/N	3-16
80-82	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Xe) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N	3-17

83-84	دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Xe) بتراكيز مختلفة وثابت E/N	3-18
85	تأثير الخلط بنسب متساوية وبنسب مختلفة لجميع الغازات النبيلة مع النتروجين	3-19
86-88	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز الغازات النبيلة ولمدى متغير من E/N	3-20
89	معلمت النقل الالكتروني لغاز N ₂ وللغازات النبيلة وخلائطها	3-21
89-93	معلمت النقل الالكتروني لغاز النيتروجين N ₂ النقي	3-21-1
94-98	معلمت النقل الالكتروني لغاز الهيليوم He النقي	3-21-2
99-101	معلمت النقل الالكتروني لخليط (N ₂ +He) بتراكيز مختلفة	3-21-3
102-104	معلمت النقل الالكتروني لغاز النيون Ne النقي	3-21-4
105-107	معلمت النقل الالكتروني لخليط (N ₂ +Ne)	3-21-5
108-112	معلمت النقل الالكتروني لغاز الاركون Ar النقي	3-21-6
113-115	معلمت النقل الالكتروني لخليط (N ₂ +Ar)	3-21-7
116-118	معلمت النقل الالكتروني لغاز الكريبتون Kr النقي	3-21-8
119-123	معلمت النقل الالكتروني لخليط (N ₂ +Kr)	3-21-9
124-126	معلمت النقل الالكتروني لغاز الزينون Xe النقي	3-21-10
127-131	معلمت النقل الالكتروني لخليط (N ₂ +Xe)	3-21-11
132-133	الاستنتاجات	3-22
134	الاقتراحات والمشاريع المستقبلية	3-23

الإشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
33	المقاطع العرضية لغاز النتروجين N ₂ النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-1)
33	المقاطع العرضية لغاز الهيليوم He النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-2)
34	المقاطع العرضية لغاز النيون Ne النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-3)
34	المقاطع العرضية لغاز الأركون Ar النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-4)
35	المقاطع العرضية لغاز الكريبتون Kr النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-5)
35	المقاطع العرضية لغاز الزينون Xe النقي كدالة لطاقة الإلكترون	(3-6)
37	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النتروجين N ₂ النقي لمدى E/N= (10-100) Td	(3-7)
37	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون للنتروجين N ₂ النقي لمدى E/N= (110-200) Td	(3-8)
38	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون للنتروجين N ₂ النقي ولمدى (210-300) Td	(3-9)
38	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النتروجين N ₂ النقي لمدى E/N= (310-400) Td	(3-10)
39	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النتروجين N ₂ النقي لمدى E/N= (410-500) Td	(3-11)
36	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النتروجين N ₂ النقي لمدى E/N= (510-600) Td	(3-12)
41	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He النقي لمدى E/N= (10-100) Td	(3-13)
41	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He لمدى E/N= (110-200) Td	(3-14)
42	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He النقي لمدى E/N= (210-300) Td	(3-15)
42	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He النقي لمدى E/N= (310-400) Td	(3-16)
43	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He النقي لمدى E/N= (410-500) Td	(3-17)
43	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز الهيليوم He النقي لمدى E/N= (510-600) Td	(3-18)
45	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النيون Ne النقي لمدى E/N= (10-100) Td	(3-19)
45	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النيون Ne النقي لمدى E/N= (110-200) Td	(3-20)
46	دالة توزيع طاقة الإلكترون مقابل طاقة الإلكترون لغاز النيون Ne النقي لمدى E/N= (210-300) Td	(3-21)

46	دالة توزيع طاقة الالكترن مقابل طاقة الالكترن لغاز النيون Ne النقي لمدى $E/N = (310-400) Td$	(3-22)
47	دالة توزيع طاقة الالكترن مقابل طاقة الالكترن لغاز النيون Ne النقي لمدى $E/N = (410-500) Td$	(3-23)
47	دالة توزيع طاقة الالكترن مقابل طاقة الالكترن لغاز النيون Ne النقي لمدى $E/N = (510-600) Td$	(3-24)
49	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (10-100) Td	(3-25)
49	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (110-200) Td	(3-26)
50	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (210-300) Td	(3-27)
50	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (310-400) Td	(3-28)
51	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (410-500) Td	(3-29)
51	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Ar لمدى E/N (510-600) Td	(3-30)
53	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (10-100) Td	(3-31)
53	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (110-200) Td	(3-32)
54	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (210-300) Td	(3-33)
54	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (310-400) Td	(3-34)
55	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (410-500) Td	(3-35)
55	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Kr لمدى E/N (510-600) Td	(3-36)
57	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Xe لمدى E/N (10-100) Td	(3-37)
57	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Xe لمدى E/N (110-200) Td	(3-38)
58	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Xe لمدى E/N (210-300) Td	(3-39)
58	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Xe لمدى E/N (310-400) Td	(3-40)
59	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن لغاز Xe لمدى E/N (410-500) Td	(3-41)

59	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون لغاز Xe لمدى E/N (510-600) Td	(3-42)
60	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 80% He + 20% N ₂	(3-43)
61	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 60% He + 40% N ₂	(3-44)
61	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 50% He + 50% N ₂	(3-45)
62	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 40% He + 60% N ₂	(3-46)
62	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 20% He + 80% N ₂	(3-47)
64	دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترتون u لخليط (N ₂ +He)	(3-48)
65	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 80% Ne + 20% N ₂	(3-49)
63	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 60% Ne + 40% N ₂	(3-50)
66	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 50% Ne + 50% N ₂	(3-51)
67	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 40% Ne + 60% N ₂	(3-52)
67	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 20% Ne + 80% N ₂	(3-53)
69	دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترتون u لخليط (N ₂ +Ne)	(3-54)
70	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 80% Ar + 20% N ₂	(3-55)
71	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 60% Ar + 40% N ₂	(3-56)
71	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 50% Ar + 50% N ₂	(3-57)
72	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 40% Ar + 60% N ₂	(3-58)
72	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 20% Ar + 80% N ₂	(3-59)
74	دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترتون u لخليط (N ₂ +Ar)	(3-60)
75	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ لخليط 80% Kr + 20% N ₂	(3-61)

76	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 60% Kr + 40% N ₂	(3-62)
76	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 50% Kr + 50% N ₂	(3-63)
77	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 40% Kr + 60% N ₂	(3-64)
77	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 20% Kr + 80% N ₂	(3-65)
79	دالة التوزيع الالكتروني لغاز الكربتون كدالة لطاقة الالكترون لخليط (N ₂ +Kr)	(3-66)
80	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 80% Xe + 20% N ₂	(3-67)
81	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 60% Xe + 40% N ₂	(3-68)
81	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 50% Xe + 50% N ₂	(3-69)
82	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 40% Xe + 60% N ₂	(3-70)
82	دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط 20% Xe + 80% N ₂	(3-71)
84	دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترون u لخليط (N ₂ +Xe)	(3-72)
85	دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لخليط النتروجين مع الغازات النبيلة بتراكيز متناسفة	(3-73)
85	دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لخليط النتروجين مع الغازات النبيلة بتراكيز معينة	(3-74)
86	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز الهيليوم في خليط (N ₂ + He)	(3-75)
87	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز النيون في خليط (N ₂ + Ne)	(3-76)
87	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز الاركون في خليط (N ₂ + Ar)	(3-77)
88	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز الكربتون في خليط (N ₂ + Kr)	(3-78)
88	معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز الزينون في خليط (N ₂ + Xe)	(3-79)
89	معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل لغاز N ₂	(3-80)
90	الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل لغاز النتروجين N ₂	(3-81)

91	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين N_2	(3-82)
92	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين N_2	(3-83)
93	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز N_2	(3-84)
94	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم	(3-85)
95	الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم	(3-86)
96	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He	(3-87)
97	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He	(3-88)
98	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He	(3-89)
99	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He)	(3-90)
99	الطاقة المميزة كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He)	(3-91)
100	سرعة الانجراف كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He)	(3-92)
100	تنقلية الإلكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He)	(3-93)
101	معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He)	(3-94)
102	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ne	(3-95)
103	الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ne	(3-96)
103	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne	(3-97)
104	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne	(3-98)
104	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ne	(3-99)
105	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+Ne)	(3-100)
105	الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N_2+Ne)	(3-101)
106	سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط $(N_2+ Ne)$	(3-102)
106	تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط $(N_2+ Ne)$	(3-103)
107	معامل الانتشار D_e كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+Ne)	(3-104)
108	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون	(3-105)
109	الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ar	(3-106)

110	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ar	(3-107)
111	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ar	(3-108)
112	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال المختزل E/N لغاز Ar	(3-109)
113	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Ar)	(3-110)
113	الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Ar)	(3-111)
114	سرعة الانجراف كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Ar)	(3-112)
114	تنقلية الإلكترون مقابل المجال المختزل لخليط (N ₂ + Ar)	(3-113)
115	معامل الانتشار كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Ar)	(3-114)
116	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال المختزل E/N لغاز Kr	(3-115)
116	الطاقة المميزة كدالة للمجال المختزل E/N لغاز الكريبتون Kr	(3-116)
117	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال المختزل E/N لغاز الكريبتون Kr	(3-117)
117	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال المختزل E/N لغاز الكريبتون Kr	(3-118)
118	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Kr	(3-119)
119	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Kr)	(3-120)
120	الطاقة المميزة مقابل المجال المختزل لخليط (N ₂ + Kr)	(3-121)
121	سرعة الانجراف كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Kr)	(3-122)
122	تنقلية الإلكترون مقابل المجال المختزل لخليط (N ₂ + Kr)	(3-123)
123	معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N ₂ + Kr)	(3-124)
124	معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون	(3-125)
124	الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe	(3-126)
125	سرعة الانجراف v_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe	(3-127)
125	تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe	(3-128)
126	معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال المختزل E/N لغاز Xe	(3-129)
127	معدل طاقة الإلكترون مقابل المجال المختزل لخليط (N ₂ + Xe)	(3-130)
128	الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N ₂ + Xe)	(3-131)
129	سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N ₂ + Xe)	(3-132)
130	تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N ₂ + Xe)	(3-133)
131	معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال المختزل لخليط (N ₂ + Xe)	(3-134)

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الفقرة
6	الخصائص المهمة للغازات النبيلة	(1-1)
89	معاملات الملائمة لمعدل طاقة الإلكترون لغاز النيتروجين N ₂ النقي	(3-1)
90	معاملات الملائمة لتنتقلية الإلكترون لغاز النيتروجين N ₂ النقي	(3-2)
94	معاملات الملائمة لمعدل طاقة غاز الهيليوم He النقي	(3-3)
96	معاملات الملائمة لسرعة انجراف غاز الهيليوم He النقي	(3-4)

الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى
EEDF	دالة توزيع طاقة الالكترتون
E/N	المجال الكهربائي المختزل
eV	الكترتون-فولت (وحدة قياس الطاقة)
u	الطاقة الحركية للإلكترون الساقط
σ	المقطع العرضي للتصادم
u	وحدة الكتلة الذرية
DNA	الحامض النووي
RNA	الحامض النووي الرايبوي
BTE	معادلة نقل بولتزمان
C^0	الدرجة السيليزية (وحدة قياس درجة الحرارة)
NH ₃	غاز الامونيا
O ₂	غاز الاوكسجين
NO	أوكسيد النتروجين
N ₂	غاز النيتروجين
CO ₂	غاز ثاني أوكسيد الكربون
He	غاز الهيليوم
Ne	غاز النيون
Ar	غاز الاركون
Kr	غاز الكربتون
Xe	غاز الزينون
g/l	وحدة قياس الكثافة
Ne*	ذرة نيون متهيجة
Td	Townsend
TOF	Time of flight زمن الطيران
(MC)	محاكاة مونت كارلو
CH ₄	غاز الميثان
ETC	معاملات النقل الالكتروني Electron Transfer Coefficient
P	الضغط
Torr	وحدة قياس الضغط
T	درجة الحرارة
K	كلفن
N	تركيز الالكترونات
SF ₆	غاز سداسي فلوريد الكبريت
E/P	نسبة المجال الكهربائي الى ضغط الغاز
$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_c$	تغير دالة التوزيع بالنسبة للزمن في حالة التصادم
DC	المجال الكهربائي المستمر

المجال الكهربائي المتناوب	AC
معادلة بولتزمان	BE
تمثل التدرج في فضاء السرعة	∇_v
تمثل التدرج في فضاء الموضع	∇_r
نسبة شحنة الالكترون الى كتلته	e/m
دالة التوزيع في الموقع المكاني r والسرعة v والزمن t	f(r, v, t)
تمثل الزخوم في الاتجاهات X, Y, Z	P_x, P_y, P_z
تمثل تعجيل الالكترونات	γ
المقطع العرضي لنقل الزخم	Q_m
سرعة الانجراف	v_D
تمثل تردد تصادم نقل الزخم	ν_m
تنقلية الالكترون	μ_e
معدل طاقة الالكترون	\bar{u}
الطاقة المميزة	E_k
معامل الانتشار الالكتروني	D_e
تمثل الجزء المتناظر لدالة التوزيع الالكتروني	$f_0(u)$
تسخين الالكترونات في المجال الكهربائي	$I_E(u)$
التصادمات المرنة	$I_{el}(u)$
التصادمات غير المرنة	$I_{in}(u)$
تصادمات (الكترن - الكترن)	$I_{ee}(u)$
تردد التأين	ν_i
تردد الارتباط	ν_{at}
تردد اعادة الالتحام	ν_{rec}
ثابت بولتزمان	K_B
المقطع العرضي للتهيج لـ j-th	Q_i^j
عتبة الطاقة المقابلة	Δ_i^j
عدد لحالة j-th للأنواع i-th	N_i^j
المقطع العرضي المقابل	Q_i^{j*}
المقطع العرضي للتهيج لمستوى الاهتزاز v-th للأنواع i-th	Q_i^v
عتبة الطاقة المقابلة	Δ_i^v
عدد لمستوى الاهتزاز للأنواع i-th	N_i^v
طاقة التأين	Δ_i^{ion}
دالة دلتا ديراك	$\delta(u)$
ثابت معدل التأين	k_i^{ion}
كثافة عدد الايونات الجزئية لـ k-th	N_k
المقطع العرضي المقابل في حالة الارتباط	Q_{att}^k
المقطع العرضي الفعال لتهيج المستويات الدورانية لأنواع i-th	Q_{rot}^i
الثابت الدوراني	B_i

الفصل الأول

مقدمة عامة

1-1 تمهيد preface

في طور الغاز، ان ارتباط الالكترونات بالجزيئات لتكوين الايونات السالبة هو موضوع البحث منذ قرنين. وقد تم جمع كميات كبيرة من البيانات ووصف مفصل لترتيب جزيء الالكترون [1].

هناك عدد كبير من التطبيقات العملية، على سبيل المثال، ليزر الغاز، ترسيب الأفلام الرقيقة، تلفزيون البلازما. وتكنولوجيا المواد التي تستخدم تفريغ الوهج [2-4] والتفريغ هو نوع من البلازما التي يتم تشكيلها عن طريق جهد كهربائي بين الكاثود والانود في أنبوب يحتوي على غاز [5] ويبعث الكاثود الالكترونات بسبب القصف الايوني باتجاه الانود مسببا تصادمات مع ذرات محايدة ويؤينها.

تؤدي دالة توزيع طاقة الالكترون EEDF دوراً أساسياً في انموذج البلازما، لأنه من المهم حساب معدلات التفاعل [6-7]. وتفترض دوال التوزيع مثل معادلات Druyvesteyn ، و Maxwellian، و Boltzmann ان التصادمات المرنة هي المسيطرة وبالتالي فإن تأثير التصادمات غير المرنة (التأين او التهيج) على دالة التوزيع غير مهم [8].

وفي الغازات ضعيفة التأين مثل النيتروجين، تكون أكثر حالات التصادم بين (الالكترونات – الذرات المتعادلة)، اما التصادمات بين (الالكترونات – الايونات)، او بين (الالكترون – الكترون) فتكون نادرة [9].

توجد بعض البرامج التي تعمل على حل معادلة بولتزمان للحالة المستقرة وتعطي رؤية تفاعلية واضحة للحل، وعلى سبيل المثال NOMAD الذي يستخدم لغة الفورتران ويحل معادلة بولتزمان في فضاء الطاقة و BOLSIG الذي يستخدم طريقة مونت كارلو حيث يعد مكونات البلازما كمنع وبرنامج ELENDIF بالإضافة الى برنامج EEDF الذي يحل معادلة بولتزمان عددياً باستخدام (two-term approximation)، وقد تم توظيف برنامج EEDF في هذه الدراسة، يعطي هذا البرنامج نتائج معاملات النقل الحركية في خليط الغاز بعد حل معادلة بولتزمان لإيجاد دالة توزيع طاقة الالكترونات. وهو برنامج سهل الاستخدام للحل العددي في البلازما منخفضة التأين في المجال الكهربائي. يتم استخدامه لحسابات نقل الالكترون والمعاملات الحركية للغازات النقية وكذلك عند خلط الغازات المختلفة [10]. ويعد EEDF مفتاحاً مهماً في المساعدة على تقييم معاملات النقل الحركية [11]، وتم استخدامه لإجراء الحسابات اللازمة مع الاستفادة من البرنامج العالمي (2017) MATLAB في برمجة البيانات المأخوذة منه لغرض توضيحها على شكل رسوم وملاحظة سلوك البيانات ولغرض المقارنة فيما بعد.

تمثل دالة التوزيع EEDF العمود الفقري للسلوك الالكتروني للغاز النقي وخليط الغازات في تفريغ البلازما [9]. إن حركة جسيمات الغاز أو البلازما التي تعد نقية أو كمزيج يتم وصفها بالكامل من خلال معادلة بولتزمان، أو تسمى في بعض الأحيان معادلة النقل. من خلال حل هذه المعادلة عددياً يمكننا الحصول على دالة التوزيع المعتادة التي تؤدي أدواراً مهمة في حساب معاملات نقل الالكترونات [12]، وتعد دالة توزيع طاقة الالكترون EEDF مؤشراً جيداً لحالة

البلازما، إذ ان الإلكترونات لا تكون في حالة توازن حراري مع الغاز وايوناته (التي هي بشكل عام أكثر برودة من الإلكترونات) ودرجة حرارة الإلكترونات تصف معظم توزيع الإلكترون الذي ليس بالضرورة ان يمتد الى ذيل منحنى الطاقة [1]. ويمكن تحديد دالة التوزيع EEDF عن طريق التوازن بين كسب طاقة الإلكترونات (نتيجة لزيادة المجال الكهربائي) وفقدان الإلكترونات (نتيجة التصادمات) [9].

ان السلوك الاحصائي للإلكترونات يكون مرتبطاً بدالة توزيع طاقة الإلكترون EEDF. إذ ان خصائص النقل تعتمد بشكل رئيسي على دالة التوزيع EEDF. ومن الناحية النظرية يمكن إيجاد دالة التوزيع EEDF عن طريق حل معادلة بولتزمان، وتصف معادلة النقل لبولتزمان ظواهر نقل الجسيمات المشحونة والمحايدة. وان الحل العددي لمعادلة بولتزمان يمكن تطبيقه في مجالات مختلفة مثل التدريع الإشعاعي، وتصميم المفاعل النووي، وفي الطب لعلاج الأورام بالإشعاع وغيرها [1].

ويمكن الحصول على معاملات النقل الإلكتروني وذلك باستخدام معادلة بولتزمان والتي تسمى أيضاً بمعادلة النقل او عن طريق محاكاة مونت كارلو [12].

في حساب معاملات نقل الإلكترون فإن شدة المجال الكهربائي المختزل E/N هي معلمة حرجة تفرض اختلافات على خصائص نقل الإلكترون في النتروجين مثلاً [11]. عندما تتم محاكاة حركة الإلكترونات في النتروجين في المجالات الكهربائية باستخدام معادلة النقل لبولتزمان فإنه يمكننا قياس معاملات النقل للإلكترون مثل معدل الطاقة، والطاقة المميزة، وسرعة الانجراف، وتنقلية الإلكترون، ومعامل الانتشار الإلكتروني. كما تعد سرعة الانجراف احدى اهم معاملات النقل المستخدمة لوصف السلوك الفيزيائي لتفريغ الغاز، وقد درست على نطاق واسع للعديد من الغازات ذات الأهمية العملية [13].

ان دور معاملات parameters النقل مهم لأنه يوفر رابطاً بين المقطع العرضي لتصادم الكترولون الغاز، وظواهر تفريغ الغاز ونموذج تفريغ الوهج الموجود في أجهزة ليزر الغاز، المصابيح، لوحات البلازما [11]، وبالنسبة لمدى واسع من المجال الكهربائي، يجب دراسة معاملات النقل، هذه المعلمات هي معروفة في تصادم الإلكترون وتجسيد أساسي في تفريغ البلازما لسلوك نقل الإلكترونات في الغاز [14].

يعمل المجال الكهربائي على الجسيمات المشحونة وينقل الطاقة لها، وان الجسيمات المتعادلة (التي تشكل الجزء الأكبر من الغاز) لا تتأثر مباشرة من هذا المجال، الإلكترونات بسبب كتلتها الخفيفة يتم تسريعها على الفور الى سرعات اعلى من الايونات الثقيلة [15].

في الطاقات العالية للغازات أحادية الذرة مثل الغازات النبيلة، التصادمات غير المرنة تعطي الإلكترونات تأيناً او تهيجاً للذرات حيث تصبح تلك التصادمات مهمة في تحديد سلوك الإلكترون واما في الغازات الجزيئية مثل النيتروجين، ففي أي طاقات فان التصادمات المرنة وغير المرنة تكون مهمة [16].

ان اغلب عمليات التأين الغازية ناتجة عن التصادمات بين الجسيمات الثقيلة البطيئة والالكترونات المتحركة بسرعة، إذا كان الالكترون يقصر عن الطاقة الحركية المطلوبة لإثارة جسيم ثقيل (ذرة او جزيء)، يمكنه ان يتبادل الزخم مع نظيره، وهذا ما نشير اليه بـ (التصادم المرن). تهيمن هذه العملية على جميع التصادمات المحتملة الأخرى، حيث ان جزءاً صغيراً جداً من الالكترونات يمتلك طاقة حركية تتجاوز عتبة الاثارة [17].

عندما تعجل الالكترونات بطاقة كافية، فإن الطاقة الحركية للإلكترون تنتقل الى ذرات متعادلة وترفعها الى مستوى متهيج. ولذلك فإن الطاقة الحركية هي ليست محفوظة في هذا التصادم وهذه تدعى بـ (التصادمات غير المرنة)، عموماً فإن تصادمات التهييج تتطلب طاقة حركية للإلكترون من بضعة الى كثير من eV.

تمتلك معظم الجزيئات عدداً كبيراً من حالات التهييج الممكنة، ولكن تمتلك طاقة عتبة مختلفة. لذلك فإن الطاقة الحركية للإلكترون الوارد يجب ان تفوق طاقة العتبة لتفاعلات التهييج الفردية لكي يكون التهييج ممكناً. واما تصادمات التأين فإن وجود طاقة حركية كافية قد يؤدي الى انفصال الالكترون عن المتعادلة. مما يؤدي الى تكوين الكترون حر ثانوي وايون موجب. ان الطاقة اللازمة لهذا التفاعل نحو 10-20 eV وتدعى طاقة التأين. لذلك فإن الالكترون الحر الساقط يجب ان يملك طاقة أكبر من طاقة التأين لإنشاء ايون. وهذا ما يسمى بتأين التأثير الالكتروني. وهذه هي الطريقة السائدة التي يتم فيها انتاج الالكترونات في عملية التفريغ الكهربائي.

وبشكل عام ان هذه التصادمات لها احتمالية، أي انه حتى لو كان الالكترون يمتلك طاقة كافية لخلق حالة تهييج او تأين. فهناك احتمال ضعيف ان يحدث هذا، اذ يتم تحديد هذه الاحتمالات من خلال المقطع العرضي للتصادم الذي يرمز اليه $\sigma(u)$ بوحدات cm^2 والتي هي دالة للطاقة الحركية للإلكترون الساقط u .

في طاقات الالكترون الساقط الواطئة (1eV) التصادمات المرنة فقط هي الممكنة. وفي الطاقات المتوسطة 1-10 eV تحدث التصادمات المرنة والمتهيجة. واما في الطاقات العالية ($> 10 eV$) فإن التفاعلات المرنة والمتهيجة والتأين هي الممكنة. ومن المثير للاهتمام لان المقطع العرضي للتصادم يعتمد على الطاقة الحركية للإلكترون الساقط $\sigma = f(u)$ يكون التأين اكثر احتمالاً عندما $u \cong 70 eV$ على الرغم من ان طاقة العتبة هي 10-20 eV فقط [18].

1-2 غاز النيتروجين N₂

الرمز: N

العدد الذري: 7

الكتلة الذرية: 14.007u حيث u هي وحدة الكتلة الذرية.

النيتروجين عنصر غير معدني وهو على رأس المجموعة الخامسة عشر من الجدول الدوري للعناصر. وهو غاز ثنائي الذرة. يمتلك 6 نظائر مشعة. اكتشف عن طريق العالم السويدي الكيميائي Daniel Rutherford عام 1772 وكان يطلق عليه اسم "azote" والتي معناها "بدون حياة" وأطلق عليه اسم النيتروجين من قبل العالم Chaptal عام 1790. والنيتروجين هو المكون الأساسي للهواء. يوجد في الغلاف الجوي للأرض حيث يشكل 78% من حيث الحجم. ويوجد في الكائنات الحية في الجزيئات العضوية المعقدة مثل الأحماض الأمينية والبروتينات. كما يوجد في الغازات البركانية في مياه الينابيع. إضافة إلى ذلك يوجد في الغلاف الجوي للمريخ [19].

يعد النيتروجين أحد أهم العناصر على الأرض فكل الحياة تعتمد على النيتروجين فهو المكون الرئيس للحامض النووي DNA , الحامض النووي الرايبوس RNA والجزيئات العضوية مثل البروتينات [20].

1-2-1 الخصائص الفيزيائية للنيتروجين [19]

يتسم النيتروجين بجملة من الخصائص هي:

- ١- غاز عديم اللون والطعم والرائحة.
- ٢- ضعيف النفاذية المغناطيسية.
- ٣- كثافته 1.229 g/l حيث ان g هي وحدة الغرام و l تمثل وحدة الحجم باللتر.
- ٤- يتحول إلى سائل عديم اللون عند $0^{\circ}C -195.79$
- ٥- يتصلب عند $0^{\circ}C -210$
- ٦- درجة الحرارة الحرجة $0^{\circ}C -146.94$
- ٧- قابل للذوبان بشكل طفيف في الماء.
- ٨- قابل للذوبان في الأمونيا السائلة.
- ٩- غير قابل للذوبان في الكحول.

1-2-2 تفاعلات النيتروجين [19]

يكون النيتروجين مستقرًا وخاملاً في درجات الحرارة الاعتيادية، ولكنه يمكن ان يتحد مع مواد أخرى في ظروف أخرى مثل درجات الحرارة العالية وضغط عالي او بوجود اشعاع تأين.

فمثلا يمكن ان يتفاعل النتروجين مع الهيدروجين عند درجة حرارة 400 C° ، عند وجود محفز مثل أكسيد الحديد لتشكيل الامونيا(عملية هابر).



كما يتفاعل النيتروجين N_2 مع الاوكسجين O_2 بوجود حرارة عالية او امرار شرارة كهربائية لتشكيل اكاسيد النتروجين.



ينتج النيتروجين توهجاً اصفر مخضراً عند الضغط المنخفض وفي ظروف التفريغ الكهربائي ويستمر بعد التفريغ في التوهج. حيث يتم تحويل النيتروجين الجزيئي الى نيتروجين نشط يتفاعل كيميائياً بسهولة مع العديد من العناصر غير الفعالة في البرودة مثل الزئبق والكبريت [19].

على الرغم من ان الغلاف الجوي يحتوي على 78% نيتروجين الا ان معظم الكائنات الحية لا تستطيع استخدامه مباشرة. كما هو الحال مع الاوكسجين O_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وذلك يعود الى الرابطة الثلاثية بين ذرتي النتروجين التي تجعله غير متفاعل في حين ان الكائنات الحية تستخدم النيتروجين التفاعلي.

وفي السنوات الأخيرة ازداد تركيز النيتروجين في الغلاف الجوي وتغيرت دورة النتروجين بشكل كبير نتيجة للأنشطة البشرية مثل انتاج الأسمدة واستهلاك الوقود الاحفوري ولغرض تقليل تأثير النتروجين على تغير المناخ ينبغي اتخاذ الإجراءات اللازمة.

1-2-3 استخدامات النيتروجين [20,21]

- ١- للأغراض الطبية: حيث يستخدم في العديد من الصناعات الدوائية. وعلى سبيل المثال يستخدم أكسيد النيتروز (nitrous oxide) كمخدر. ويمكن استخدام النتروجين نفسه للحفاظ على العينات البيولوجية مثل الحيوانات المنوية والبيض والدم.
- ٢- انتاج المعادن: يعد النتروجين عنصراً أساسياً في عملية انتاج المعادن وعلى سبيل المثال في انتاج الفولاذ، حيث يتطلب النتروجين اثناء العملية لتقوية الفولاذ ومنع التآكل.
- ٣- عامل تغطية: بسبب الخاصية الفريدة للنتروجين كغاز خامل. يستخدم النتروجين لفصل العناصر غير المستقرة من الاتصال بالهواء لمنع التفاعلات الخطرة.
- ٤- الحفاظ على الأغذية والمشروبات: بسبب انخفاض درجة حرارة النتروجين بشكل كبير فهو عامل فعال في عملية تبريد الطعام وتجميده.
- ٥- الأسمدة النيتروجينية هي المغذيات الرئيسية التي تحتاجها النباتات لذلك تضاف الى التربة لتغذيتها.
- ٦- النتروجين عنصر ضروري للإنتاج الصناعي للأمونيا وحامض النتريك.
- ٧- يستعمل بمثابة جو خامل في تكرير النفط.

1-3 الغازات النبيلة

تحتوي المجموعة الاخيرة من الجدول الدوري على ستة عناصر وهي عناصر غير فعالة بحيث لا تشكل سوى مجموعة محدودة للغاية من المركبات. أدى اكتشافها الى إعادة ترتيب الجدول الدوري، كما ان لها دوراً رئيسياً في تطوير نظريات الترابط.

ان عناصر المجموعة الثامنة عشر (الغازات النبيلة) وهي (الهيليوم، النيون، الاركون، الكربتون، الزينون، الرادون المشع) جميعها غازات أحادية الذرة، وهي العناصر الأقل تفاعلا في الجدول الدوري للعناصر.

أعطيت لهذه الغازات تسميات مختلفة، فسميت بالغازات الخاملة أولاً ثم بعد ذلك بالنادرة والان تسمى بالغازات النبيلة، واسم الغازات النبيلة هو الاسم المقبول لهذه الغازات لأنه يعطي إحساساً بغازات تفاعلها منخفضة ولكنها مهمة، كما سميت هذه العناصر بتسميات تعكس طبيعتها الغريبة، فمثلا لفظة "هيليوم" مشتقة من الكلمة اليونانية "Helios" للشمس، ونيون من "Neos" تعني الجديد، والاركون من "Argos" تعني غير نشط، والكربتون من "Kryptos" تعني المخفي، والزينون من "Xenos" تعني الغريب، والرادون من الراديوم، لأنه ناتج ثانوي لذلك العنصر الاشعاعي. اذ هو نتاج محطات الطاقة النووية والتحلل الاشعاعي لليورانيوم والثوريوم الذي يحدث بشكل طبيعي.

وتستخدم الغازات النبيلة على نطاق واسع في مصادر الضوء المختلفة بما في ذلك المصادر التقليدية (مصابيح الفلورسنت، مصابيح فلاش النيون، إشارات النيون) والليزر (الهيليوم - نيون)، (ايون - اركون)، (ايون - كربتون)، وفي كل حالة يؤدي التفريغ الكهربائي عبر الغاز الى تأين بعض الذرات ويعزز كل من الايونات والذرات المتعادلة في حالات متهيجة ثم تصدر اشعاعاً كهرومغناطيسياً عند العودة الى المستوى الأرضي [21].

1-3-1 الخصائص المهمة للغازات النبيلة:

الجدول ادناه يبين بعض الخصائص المهمة للغازات النبيلة [22].

العنصر	الرمز	العدد الذري	الوزن الذري g/mol	التركيب الالكتروني	نصف قطر الذرة (A^0)	درجة الانصهار (منوية)	درجة الغليان (منوية)	جهد التأين	نسبة وجوده في الجو
الهيليوم	He	2	4.0026	$1S^2$	1.22	-272.8	-268.9	24.6	$5 \cdot 10^{-4}$
النيون	Ne	10	20.2	$2S^2 2P^6$	1.60	-248.6	-245.9	21.6	$2 \cdot 10^{-3}$
الارجون	Ar	18	39.91	$3S^2 3P^6$	1.92	-189.3	-185.8	15.8	0.94
الكربتون	Kr	36	83.7	$4S^2 4P^6$	1.97	-157	-152.9	14.0	$1 \cdot 10^{-4}$
الزينون	Xe	54	131.3	$5S^2 5P^6$	2.17	-112	-107.1	12.1	$8 \cdot 10^{-6}$

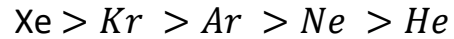
الجدول (1-1)

نلاحظ من خلال الجدول السابق الصفات والخصائص المميزة للغازات النبيلة والتي هي:

- ١- جميع الغازات النبيلة هي ذات درجة انصهار وجليان واطئة، وذلك يدل على ضعف قوى التجاذب بين ذرات الغاز النبيل، وتسمى تلك القوى بـ (قوى فاندرفالز) الناتجة من حركة الإلكترونات.
- ٢- درجة انصهار كل عنصر تساوي تقريبا درجة غليانه، وهذا يدل على ان هذه العناصر توجد في الحالة السائلة لمدى صغير ومحدود من درجات الحرارة.
- ٣- درجة غليانها وانصهارها تزداد بزيادة اعدادها الذرية.
- ٤- تناقص جهد تأينها بزيادة العدد الذري.
- ٥- تزداد فعاليتها الكيميائية بزيادة اعدادها الذرية.
- ٦- لها انصاف اقطار كبيرة نسبيا نتيجة لضعف الارتباط بينها.
- ٧- تذوب في الماء وتزداد قابلية ذوبانها بزيادة العدد الذري.

1-3-2 الفعالية الكيميائية للغازات النبيلة

تزداد انصاف اقطار ذرات العناصر النبيلة بزيادة اعدادها الذرية، كما تقل جهود تأينها بزيادة اعدادها الذرية وذلك فعاليتها في تكوين المركبات الكيميائية تكون على النحو الاتي [22].



وبما ان الهيليوم له اقل عدد ذري فهو يمتلك جهد تأين اعلى، لذلك فهو اقل الغازات النبيلة فعالية كيميائية، ثم النيون ثم الاركون ثم الكربتون وأخيرا الزينون الذي هو يملك أكبر فعالية كيميائية من بين الغازات النبيلة [23].

يمكن خلط غاز من الغازات النبيلة بغاز معين لغرض الحصول على خاصية محددة تستخدم في بعض التطبيقات العملية مثل التفريغ الكهربائي وتكنولوجيا البلازما، اذ تؤدي إضافة غازات نبيلة مثل الهليوم، النيون، الاركون، الكربتون، الزينون، في بلازما النتروجين الى تعزيز تركيز الأنواع النشطة من خلال تأثير عمليات التأين والتهدج، ويمكن تفسير عمليات التصادم وتفاعلات البلازما في الخليط من خلال معرفة العديد من معلمات البلازما [24].

بما ان الغازات النبيلة هي أحادية الذرة وذراتها ذات هيكل مغلق (هيكلها الذري مكتمل بالإلكترونات)، فأن تصادم الإلكترون مع ذرات الغاز النبيل هي الحالة الأكثر انتشارا لعمليات تصادم الإلكترون- ذرة، وقد تمت دراسته بالتفصيل من قبل (Soulem et al 1996) [25].

ان ظروف درجات الحرارة المرتفعة التي تحدث فيها تقطيع المعادن تؤدي في غياب الغاز الوقائي الى تفاعل بين المعدن المنصهر وغازات الغلاف الجوي بما في ذلك الاوكسجين والنتروجين، وتعد الغازات النبيلة مثل الهيليوم او الاركون خيارا مناسباً للغطاء الواقي [26].

1-4 أنواع الغازات النبيلة وتطبيقاتها

1-4-1 غاز الهيليوم He:

يعد غاز الهيليوم ثاني أخف الغازات في الكون بعد الهيدروجين، ويشكل 7% من حيث الحجم في الغاز الطبيعي ويوجد في العديد من المعادن التي تحتوي على نظائر غير مستقرة [26]. كما يوجد في النجوم وفي الغلاف الجوي للأرض وفي حقول الغاز الطبيعي بتراكيز مختلفة.

غاز الهيليوم عديم اللون والرائحة، ويذوب في الماء بشكل طفيف، ولا يملك مركبات كيميائية، اكتشف عام 1868 من قبل العالمين Janssen and Norman Lockyer [19].

في السنوات الماضية تلقت بلازما الهيليوم في ضغط جوي ودرجة حرارة الغرفة اهتماما كبيرا بسبب إمكاناتها المهمة للتطبيقات الطبية الحيوية، ويمكن ان تؤدي الى انتاج أنواع حيوية عندما تتفاعل مع النيتروجين N_2 او الاوكسجين O_2 في الهواء الطلق او عند إضافة غاز جزيئي لتعزيز توليد الجذور التفاعلية والايونات من خلال التصادمات بين الالكترونات والذرات المتعادلة. وتم تخصيص معظم التجارب لدراسة عمود البلازما الذي ينتشر في الهواء، ولكن للمعالجة بالمنظار، من المهم ان نفهم بشكل أفضل عمليات التفريغ في انابيب عازلة طويلة مثل القسطرة، وفي الأونة الأخيرة أجريت تجارب مختلفة لدراسة ديناميكية هذه البلازما في الانابيب، وفي هذا السياق اكتسبت المخالط التي تحتوي على كميات صغيرة من النيتروجين او الاوكسجين أهمية كبيرة [27].

ان ميزة إضافة الهيليوم في تفريغ النيتروجين على الغازات النبيلة الأخرى هي ان لديه كفاءة اقل لحرق الكاثود بسبب كتلته المنخفضة، لذا فإنه يمكن اضافته في بلازما النيتروجين لتعزيز انتاج الأنواع النشطة دون التسبب في زيادة كبيرة في مستوى الشوائب [24].

1-4-1-1 تطبيقات غاز الهيليوم [19]

لغاز الهيليوم تطبيقات مهمة منها:

١. للهيليوم الكثير من التطبيقات في الكيمياء التحليلية، أبحاث الفضاء، في الثلجات المخبرية لحفظ درجة الحرارة ثابتة تحت 3K.
٢. يستخدم غاز الهيليوم في رفع المناطيد والبالونات. وبما في ذلك بالونات الطقس وبالونات البحث التابعة لناسا.
٣. يستخدم لصنع الترانزستورات والثنائيات لغرض توفير جو حامل (مناسب) لزراع بلورة السيليكون والجرمانيوم.
٤. يستخدم في الليزر، وفي النشرات الضوئية المستخدمة للإعلان.
٥. في التفاعلات الكيميائية لتوفير جو حامل لهذه التفاعلات.
٦. في الطب:

(أ) لغرض تشخيص بعض الامراض في أجهزة الرنين المغناطيسي.

(ب) في العلاج عن طريق خلطه مع الاوكسجين لمعالجة امراض الجهاز التنفسي والربو الحاد [19].

٧- يخلط مع O₂ للغواصين في البحار، لكونه اقل قابلية للذوبان في الدم من الاوكسجين [26].

1-4-2 غاز النيون Ne:

اكتشف غاز النيون عام 1898 من قبل العالم Ramsay والعالم Travers والنيون غاز عديم اللون والطعم والرائحة، كثافته 0.9002g/l في درجة الصفر السيليزي ويزوب في الماء بدرجة 20 C⁰، ويمتلك النيون ثلاث نظائر مستقرة وهي Ne(20), Ne(21), Ne(22) ويوجد النيون بتركيز قليلة في الغلاف الجوي، وكما يوجد كذلك في النجوم [19].

ان ضوء غاز النيون عادة ما ينظر اليه في المحلات التجارية واعلانات الدعاية والمطاعم ودور السينما، وغاز النيون عديم اللون كلياً في الوضع الطبيعي، وتتوهج أضواء النيون وذلك لأنها تبعث الضوء في ظروف مناسبة، وتكون ذرات النيون متعادلة ولا تستطيع توصيل الكهرباء، لكن تأين طور غاز النيون يشكل ايونات Ne⁺



لذلك يحتوي الانبوب على خليط من الالكترونات والايونات، وان تفريغ الغازات في ظروف معينة يعني انها تستقطب، بمعنى اخر ان التيار الكهربائي يمر خلالها.

ان التصادمات المتضمنة انتقال الالكترتون تكون بصورة عامة مرنة، لكن جزءاً صغيراً من هذه الالكترونات يخضع لتصادمات غير مرنة مع ذرات النيون غير المتأينة مما يتسبب في نقل جزء من طاقة الالكترتون الى ذرات النيون، ثم بعد ذلك يتحرك الالكترتون بعيداً عن التصادم وهو يمتلك طاقة اقل، وتسمح التصادمات غير المرنة بين Ne⁺ و e⁻ بأطلاق الطاقة كضوء مرئي، وان ناتج التصادمات غير المرنة هو ذرة نيون متهيجة Ne*



حيث Ne* تعني ان الذرة في حالة متهيجة، وهذه الذرة المتهيجة الساخنة يجب ان تبعث الطاقة للرجوع الى المستوى الأرضي، وتملك الذرة المتهيجة الالكترتون في مدار الطاقة الأعلى، ويؤدي استرخاء الالكترتون الى إطلاق فوتون ضوئي، يبعث ضوء النيون مشرقاً باللون الوردي-الأحمر، في مصابيح الغاز التي تحتوي على كمية صغيرة من الكربتون تبعث بوميض اخضر، واما المصابيح التي أساسها الهيليوم He فتبعث بلون ازرق فاتح [28].

1-4-2-1 تطبيقات غاز النيون [19]

يستخدم غاز النيون في العديد من المجالات ومنها:

- ١- انه يستخدم في النشرات الضوئية للإعلانات وفي مصابيح أضواء الشوارع.
- ٢- يستخدم النيون في العداد الوميضي.
- ٣- يخلط مع بعض الغازات النبيلة الأخرى مثل الاركون Ar او الكربتون Kr او الزينون Xe في أضواء الفلورسنت.
- ٤- في اللحام حيث يوفر جو خامل لغرض منع التفاعل مع الهواء [19].
- ٥- يستعمل النيون في ملئ المصابيح الكهربائية اذ يقلل معدل تبخر الغاز المتوهج [22].

1-4-3 غاز الاركون Ar

اكتشف الاركون عام 1894 من قبل العالمين Lord Raleigh و Sir W. Ramsay ويحتل المرتبة الأولى في وفرته من بين الغازات النبيلة والمرتبة الثالثة من حيث وفرته في الغلاف الجوي، ويوجد كذلك في المريخ، وهو غاز عديم الطعم والرائحة، اقل من الهواء، ولا يملك مركبات كيميائية، ولديه جزيئات ايون تتكون في انابيب التفريغ الكهربائي مثل (ArH)، (ArK)، (ArXe) وله نظائر مستقرة وهي (Ar(36), Ar(38), Ar(40) وأكثرها وفرة هو Ar(40) حيث يشكل 99.6% واما نظائره غير المستقرة فهي (Ar(35), Ar(37), Ar(39), Ar(41), [19] Ar(42)

1-4-3-1 تطبيقات غاز الاركون [19]

يستخدم غاز الاركون في عدة مجالات ومنها:

- ١- يستخدم في انابيب تفريغ الغاز منخفضة الضغط.
- ٢- يخلط مع الغازات الخاملة الأخرى لغرض استخدامه في مصابيح الزئبق وبخار الصوديوم.
- ٣- يستخدم في المعادن لحماية وتدريب اقواس اللحام الكهربائي، إضافة الى استخدامه في تنظيف وتحليل المعادن.
- ٤- يستخدم في عداد كايكر والذي غالبا ما يخلط مع غاز اخر، وكذلك يستخدم مع العداد الوميضي.
- ٥- يستخدم في تحليل الملوثات العضوية في الهواء.
- ٦- يستخدم في صناعة الالكترونيات في اشباه الموصلات فائقة النقاوة [19].
- ٧- للاركون أهمية صناعية كبيرة ويستخدم في لحام السبائك ومجموعة من المعادن، الاركون أكثر كثافة من الهيليوم وبالتالي يوفر حماية أفضل [26].

في عدد من التقنيات يعد الاركون غازاً جيداً ونموذجي يسمح بالتحكم في درجة حرارة الالكترون ودراسات السرب الالكتروني (Electron swarm) لخليط الغازات، وعلى سبيل المثال، كانت دراسات سرب الالكترون في مخاليط الغاز المحتوية على الاركون مفيدة للغاية ولها تطبيق واسع، وتتأثر معلمات نقل الالكترون في الاركون بشدة وذلك بإدخال كمية صغيرة من

الذرات أو الجزيئات ذات عتبات منخفضة [12]، وان إضافة الاركون في بلازما النيتروجين يجعل عملية التفريغ مستقرة ويوفر تحكم أفضل في معاملات البلازما [24].

1-4-4 غاز الكريبتون Kr

اكتشف غاز الكريبتون عام 1898 من قبل العالمين William Ramsay و M. W. Travers والكريبتون غاز عديم اللون والرائحة والمذاق، كثافته هي 3.733g/l عند درجة صفر سيليزي، فهو قليل الذوبان في الماء، ويوجد في الغلاف الجوي بتراكيز قليلة نحو (1.14) جزءاً لكل مليون، ويوجد كذلك في الوقود الناتج عن انشطار اليورانيوم أو البلوتونيوم، ويوجد بتراكيز قليلة في غلاف المريخ الجوي. للكريبتون 6 نظائر طبيعية ومستقرة وهي Kr(78), Kr(80), Kr(82), Kr(83), Kr(84), Kr(86) وأكثر هذه النظائر وفرة هو Kr(84) [19]

1-4-4-1 تطبيقات غاز الكريبتون [19]

للكريبتون تطبيقات مهمة ومنها:

- ١- يستخدم بشكل أساسي في أضواء الفلورسنت، حيث يمزج مع غاز الاركون لتعزيز سطوع هذه الانابيب.
- ٢- يستخدم في التصوير الفوتوغرافي في انابيب الفلاش عالية السرعة وفي المصابيح المتوهجة.

1-4-5 غاز الزينون Xe

اكتشف غاز الزينون عام 1898 من قبل العالمين Ramsay , Travers عن طريق التقطير الجزيئي للكريبتون، والزينون غاز عديم اللون والطعم والرائحة، وهو أثقل من الهواء، كثافته 5.761g/l ، ويتم انتاج الزينون عن طريق التسييل والتقطير الجزيئي للهواء، ويوجد الزينون بتراكيز ضئيلة في الغلاف الجوي، كما يوجد في الغلاف الجوي للمريخ. وهو أحد نواتج اليورانيوم والبلوتونيوم، وله العديد من المركبات، كما يملك 9 نظائر طبيعية مستقرة وهي Xe(124), Xe(126), Xe(128), Xe(129), Xe(130), Xe(131), Xe(132), Xe(134), Xe(136) [19].

1-4-5-1 تطبيقات غاز الزينون [19]

- ١- يستخدم في الصناعة للإضاءة وفي التصوير الفوتوغرافي.
- ٢- يستخدم الزينون Xe في الطب كمخدر ليس فقط بسبب تأثيره المفيد ولكن لكونه غاز غير سام. ويستخدم أيضا في التصوير الطبي.
- ٣- يستخدم Xe في تكنولوجيا الليزر الحديثة، وخاصة في طب العيون.
- ٤- يستخدم كغاز تعبئة في المصابيح عالية الكثافة.
- ٥- يستخدم في ليزر الياقوت للحصول على ضوء متماسك.

1-5 الدراسات السابقة

أجرى عدد من الباحثين حسابات نظرية وعملية على دالة توزيع طاقات الإلكترون EEDF ومعاملات النقل الإلكتروني (معدل طاقة الإلكترون، الطاقة المميزة، سرعة الانجراف، تنقلية الإلكترون، معامل الانتشار الإلكتروني) في غازات ضعيفة التأين وذلك باستخدام طريقة حل معادلة بولتزمان. فعلى سبيل المثال:

في عام 1981 حصل كل من Kucukarpaci H. N., Lucas J. على قياسات تجريبية لسرعة الانجراف ونسبة معامل الانتشار الطولي الى تنقلية الإلكترون في المدى Td (2.8 – 566) للأرجون و Td (14-849) للكربتون (حيث ان Td هي وحدة شدة المجال الكهربائي المختزل ويساوي $1 \times 10^{-17} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$)، وتم تسجيل البيانات التجريبية لسرعة الانجراف ونسبة معامل الانتشار الإلكتروني الى تنقلية الإلكترون لكل من غاز الكربتون وغاز الأركون، وتمت محاكاة معاملات نقل الإلكترون بشكل كاف عن طريق مجموعة مشتركة من المقاطع العرضية لتصادم الإلكترون- الذرة، وتم تحديد معدل طاقة الإلكترون وحساب خسائر الطاقة عن طريق عمليات التصادم [29]، وتمت في هذا الدراسة النظرية مقارنة نتائجنا مع الباحث. ووجدنا توافقاً بشكل جيد لنتائجنا مع هذه الدراسة.

وفي عام 1989 استخدم كل من Date et., al. الحل العددي لمعادلة نقل بولتزمان لقياس المقطع العرضي لتصادم الإلكترونات ومعلمات النقل الإلكتروني لخليط $(\text{Kr}-\text{SF}_6)$ [30].

في عام 1990 قام كل من H. Itoh, et al., بحساب معاملات نقل الإلكترون لغاز الأرجون لقيم مختارة للمجال الكهربائي المختزل E/N باستخدام التقريب لثلاثة حدود-three term approximation. [11].

وفي العام نفسه اظهر كل من Braglia, et. al., انه لا يوجد أي تغيير في جميع معاملات النقل للزئبق عند الانتقال من توسع حدين الى أربعة حدود two-term to four-term expansion. [11].

وكذلك في العام نفسه حسب كل من Pnentrante B., M., et, al, التطور الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترون في خليط الغازات المتأينة جزئياً مع او من دون مجال كهربائي مطبق، تم استخدام الحساب عن طريق كود برنامج "ELENDF" من خلال حل معادلة بولتزمان، وحسب الكود معدل طاقة الإلكترون، وسرعة الانجراف، ومعامل الانتشار، ومعدل تدفق الطاقة [31].

وفي عام 1993 اظهر Li and Chen ان التوسع في دالة التوزيع لثلاثة حدود-three term expansion of distribution function سيضيف جزءاً صغيراً الى الحد الأول من معادلة بولتزمان التي اشتقت من قبل كل من Frost and Phelps عام 1962 [11].

في عام 1997 قام كل من Sang, et, al بحساب معلمات سرب الالكترتون في خليط (SF₆ - Ar) عن طريق محاكاة مونت كارلو لمدى E/N = (30-300)Td عن طريق معادلة بولتزمان بأخذ بنظر الاعتبار احدث مقطع عرضي، وتم تحليل وحساب معلمات النقل الالكتروني في Ar النقي وخليط (SF₆ - Ar) بطريقة (TOF)[32].

في عام 1999 حدد كل من Xiao D., M., et, al تجريبيا مجموعة من معلمات السرب في مخاليط غاز He وغاز SF₆ بطريقة Townsend النبضية لمدى E/N = (32.24-564.2)Td، معامل التأين، وسرعة الانجراف، ومعامل الانتشار، قيم E/N المقاسة لخليط (He - SF₆) حيث اشتقت من التجربة ووجدت انها تتفاوت بشكل خطي مع تركيز SF₆ في الخليط[33].

في عام 2001 ، Kremnev, V., V., أجرى محاكاة عددية لخليط (N₂-SF₆) واطهر إمكانية تحسين تشغيل المولد، وتم حل معادلة بولتزمان لتحديد معلمات خليط الغاز، وتبين ان كفاءة تشغيل المولد بمزيج (N₂-SF₆) يمكن زيادتها بنسبة 1.5 مقارنة مع غاز N₂[34].

وفي 2002 Karditsas, و P., J., قاما بالتحقيق لمعالجة معادلة بولتزمان لتحديد دالة توزيع طاقة الالكترتون للغازات النبيلة مع خلائط مثل غاز SF₆ [35].

وقام العالم Masek عام 2006 بحساب دالة توزيع طاقة الالكترتون في تفرغ غاز CF₄ عدديا لمدى (15-300) Td باستعمال معادلة بولتزمان الحركية[9].

في السنة نفسها عمل كل من Zhang, et, al باستخدام طريقة مونت كارلو تم حساب معلمات سرب الالكترتون من معامل التأين، سرعة الانجراف، معامل الانتشار لغاز CF₄، SF₆، N₂ حسبت خلائط الغاز لمدى E/N=(150-500)Td [36].

في عام 2007 قاس كل من Jovanvic J., et, al سرعة انجراف الالكترتون، معامل الانتشار، معامل التأين، في خليط (Ar-N₂) لمدى المجال الكهربائي المختزل من 0.8Td الى 200Td وتم اجراء الحسابات من خلال كود 'ELENDF' وكود مونت كارلو وتمت مطابقة حساباتنا بشكل مقبول مع الكود الثاني لخليط (80%Ar – 20%N₂) الذي استخدمه الباحث[37].

وفي العام نفسه Wang Feng, et, al حسبوا معلمات النقل الالكتروني لغاز N₂ و SF₆ باستخدام طريقة محاكاة تصادمات مونت كارلو (MC) المحسنة، واطهرت النتائج ان طريقة المحاكاة المحسنة يمكن ان تقدم نتائج اكثر دقة [38].

وفي عام 2008 قدم كل من Andronic A., Biagi S., Braun P., et. al قياسات لسرعة الانجراف في مخاليط Xe, Ar مع CO₂ و CH₄ و N₂ وقد بين اعتماد سرعات الانجراف للأرجون وثنائي أوكسيد الكربون والزينون على كمية النتروجين في الغاز في مدى مجال كهربائي مختزل يصل الى 1Td [39].

وفي عام 2009 قام كل من Petrovic Z. L., et.al بقياس معاملات النقل الإلكتروني وتفسيرها وتطبيقاتها في نموذج البلازما وتمت مناقشة الوضع الحالي لفيزياء اسراب الجسيمات المشحونة وخاصة الإلكترونات مع وضع نماذج البلازما في الاعتبار [40].

وفي العام نفسه، Tulio C. Vivaldini, et al قاموا بقياسات سرعة الانجراف الكهربائي في النتروجين النقي ومقارنتها مع المحاكاة العددية لكود Bolsig، وقد وجدنا تطابقا جيدا لنتائجنا لسرعة الانجراف مع الكود الذي استخدمه الباحث [13].

وفي العام نفسه أيضا قاما Mohammed Y., Edurdo B. بدراسة معاملات سرب الإلكترون في خليط $(CO_2 - N_2)$ وخليط $(CO_2 - O_2)$ وذلك باستخدام تقنية تاوسند النبضية وحل معادلة بولتزمان والمدى المستخدم $(0.01 - 1000)$ Td حيث وجد ان هناك اتفاقا بين القياسات والحسابات سواء بالنسبة للغازات النقية او للخلائط الغازية [41].

وفي العام نفسه قامت Nissan S. بحسابات نظرية لمعاملات النقل الإلكتروني في غاز SF6 وخليطه مع الغازات النبيلة باستخدام الحل العددي لمعادلة النقل لبولتزمان، وكانت نتائجنا لمعدل طاقة الإلكترون وسرعة الانجراف الإلكتروني لغازي الاركون والزنون متوافقة مع نتائج الباحثة [1].

وفي عام 2010 قاما Nabhan A., K., Wallah G., M. بدراسة نظرية لدالة توزيع طاقة الإلكترون ومعاملات نقل الإلكترون في غاز النتروجين النقي ضعيف التأين تحت تأثير مجال كهربائي مختزل على معاملات النقل الإلكتروني $E/N = (0.1-200)$ Td. وقد أظهرت حسابات دالة التوزيع EEDF لعملية التفريغ النتروجين انها غير ماكسويلية للغاية باستثناء قيم صغيرة جدا لطاقة الإلكترون وحدث تأين ذرات النتروجين. والذي يعني ان الإلكترونات تكتسب الطاقة المطلوبة لتأين ذرات النتروجين بقيم اقل للمجال الكهربائي المختزل [11] وقد حصلنا على توافق مع نتائج الباحث لمعدل طاقة الإلكترون.

في عام 2010 عرض كل من Sasic o., et, al مجموعة واسعة من الدراسات عن سرب الإلكترون في العديد من الغازات وخلائط الغازات. تتضمن هذه الدراسات تحديد المقطع العرضي للإلكترونات في $C_2H_2F_2$ بناء على قياسات حديثة لبيانات النقل. وإعادة تحليل المقاطع العرضية للإلكترونات في N_2O وخلائطه مع N_2 و SF_6 . وأخيرا تحليل نقل الإلكترون في خلائط $(Xe-N_2)$ و $(Ar-N_2)$ [42].

وفي العام نفسه قام Stano M., Pinhao N., Donko Z., Kucera M. بقياس سرعة انجراف الإلكترون في الارجون مع خليط صغير من النتروجين، الهيدروجين، الاوكسجين. لمدى المجال الكهربائي المختزل $E/N = (0.5 - 2.5)$ Td [43].

في عام 2011 بين Raad H. M., اعتماد دالة توزيع طاقة الإلكترون ومعاملات النقل على تركيز الغاز العازل Xe في خليط SF₆-Xe واطهر تأثير إضافة غاز الزينون العازل الى غاز SF₆ في زيادة سرعة الانجراف نتيجة التغير في أنواع مختلفة لعمليات التصادم [44].

وفي العام نفسه قاموا Stojanovic V., et al بدراسة نماذج توزيع طاقة الإلكترون في تفريغ (Ar-H₂) وتم استخدام أحدث المقاطع العرضية للإلكترونات، وبينت النتائج ان زيادة نسبة H₂ في الخليط يقلل معدل طاقة الإلكترون وعدد الإلكترونات في ذيل الطاقة العالية [45].

في عام 2012 قام كل من Mansour M., et al بدراسة تأثير خلط الغاز النبيل على خصائص التفريغ الكهربائي لغاز النتروجين N₂ ومعلمات البلازما، وظهرت النتائج ان خصائص الامبير فولت تكون مختلفة في خليط (N₂+He) وخليط (N₂+Ar) مقارنة بغاز النتروجين النقي، كما يمكن رفع كل من درجة حرارة وكثافة الإلكترون او خفضهما بشكل كبير عن طريق خلط الهيليوم He او الاركون Ar في تفريغ النيتروجين [24].

في عام 2013 قام كل من Alves L., et al., بمقارنة بين مجموعات مختلفة من المقاطع العرضية لاستطارة الكترون- المتعادلة من ذرات الغاز النبيل. يقارن العمل بين مجموعات المقطع العرضي للهيليوم والنيون والتي تم تحديدها بشكل مستقل. وتستخدم المقاطع العرضية كبيانات مدخلة الى معادلة بولتزمان او محاكاة مونت كارلو لحساب معلمات نقل مختلفة. ثم تمت مقارنة الكميات المحسوبة مع القياسات القياسية لتقييم جودة المقاطع العرضية في توفير بيانات لنموذج البلازما ذات درجة الحرارة المنخفضة [46].

وفي العام نفسه وكما في العمل السابق قام كل من Pitchford L. C., et. al., بمقارنة بين مجموعات مختلفة من المقاطع العرضية لاستطارة الكترون – المتعادلة من ذرات الغاز النبيل. ويقارن بين مجموعات المقطع العرضي للاركون Ar والتي يتم تحديدها بشكل مستقل. وتستخدم المقاطع العرضية كبيانات مدخلة الى معادلة بولتزمان ومقارنة القيم المحسوبة مع القياسات [47].

في عام 2014 درس Mayorov S. A. خصائص انحراف الإلكترون في خليط (He-Xe) بتأثير مجال كهربائي مختزل $E/N = (1-100) \text{ Td}$ وظهرت الدراسة ان إضافة كمية (تركيز) قليلة من الزينون الى الهيليوم له تأثير كبير على التفريغ الكهربائي وعلى وجه الخصوص على خصائص العمليات غير المرنة [48].

في عام 2015 درس كل من Maher B., Pierre F., Emil P. اساسيات النظرية الحركية للغازات والالية الأساسية وراء ظاهرة النقل تحت ظروف البلازما وقدموا مقدمة موجزة عن الجسيمات والتصادم. تم ادخال مفاهيم المقطع العرضي للتصادم. ثم يتبع ذلك عمليات أولية للتصادمات المرنة وغير المرنة بما في ذلك التآين والتهيج [49].

وفي العام نفسه قام كل من Kitajima M., Shigemura K., Hosaka K., بعرض المقطع العرضي الكلي لاستطارة الإلكترونات من ذرات الغاز النبيل (He, Ne, Ar, Kr, Xe) في تصادمات طاقة الإلكترون المنخفضة جدا. وتم الحصول على المقاطع العرضية باستخدام مصدر العتبة الالكتروضوئية [50].

وفي عام 2016 قاما M. K. Jassim, R. H. Jassim بدراسة دالة توزيع طاقة الإلكترون EEDF ومعلومات نقل الإلكترون في خليط (SF₆- He) عن طريق حل معادلة بولتزمان لمدى (0-500)Td حيث تشير النتائج الى ان معدل طاقة الإلكترون لـ SF₆ النقي ومخاليطه مع He ينخفض بشكل كبير مع زيادة محتوى SF₆ ، وان تأثير خفض تركيز SF₆ في الخليط هو رفع EEDF مقابل E/N [51].

وفي العام نفسه اجرت Enas A. Jawad, حسابات نظرية لمعاملات النقل الإلكتروني في خليط (CH₄-Ar) وخليط (CH₄-Ne) باستخدام طريقة مونت كارلو، حيث قدمت الباحثة نتائج عدة معلمات لمخاليط مختلفة من الميثان في الأرجون والنيون ولمدى واسع من المجال الكهربائي المختزل E/N = (1-800) Td ولوحظ اعتماد سلوك معلمات النقل مثل سرعة الانجراف ومعدل الطاقة على نسبة مكونات الخليط [52].

في العام نفسه قاما Golyatina R., I., Maiorov S. A., بدراسة خصائص سرعة الانجراف في خليط الأركون – الزئبق بتأثير مجال كهربائي مختزل (1-100) Td وتبين انه حتى الإضافات القليلة للزئبق في الأركون تؤثر بشكل كبير على التفريغ الكهربائي [53].

وفي العام نفسه قامت الباحثة Dhuha S. A., بحساب سرعة انجراف الإلكترون لغاز الزينون Xe النقي عن طريق حل معادلة بولتزمان لمدى واسع جدا من المجال الكهربائي المختزل E/N من 0.001Td الى 1000Td ، وقد وجدت الباحثة ان سرعة الانجراف للإلكترون في غاز الزينون تكون واطئة نسبيا. وتمت مقارنة حساباتنا مع نتائج الباحثة ووجدنا توافقا جيدا مع النتائج [54].

في عام 2017 قام كل من Mohammad M. O., Sherzad A. T., and Jwan J. بدراسة معاملات نقل الإلكترون في خليط (He-Ar) وتم حساب دالة التوزيع ومعاملات النقل الإلكتروني بوساطة المجال الكهربائي المعجل لمدى E/N = (0.1-1) Td عند درجة حرارة 300 K ولاحظوا ان خصائص طاقة الإلكترون تقل مع زيادة تركيز الهيليوم في الخليط. ويظهر هذا التأثير دور خلط الغاز في التحكم في معلمات نقل الإلكترون والذي يخدم في ظواهر التفريغ الكهربائي في الغازات نتيجة لعمليات التأين والتهيج [12].

في عام 2018 قام كل من Enas A. Jawad, M. K. Jassim بدراسة تأثير إضافة غازات عازلة لغاز ثاني أكسيد الكربون، حيث درسا معلمات نقل الإلكترون لمزيج (Xe-CO₂) و (Kr-CO₂) المستخدم في ليزر CO₂. وتمت الدراسة في ظروف قياسية من درجة حرارة الغرفة، وضغط 760 Torr و E/P = (35-350) V/Cm. Torr ووظف برنامج EEDF لإيجاد هذه الحسابات وتبين تأثير إضافة غاز عازل (زينون او كربتون) الى غاز CO₂ يعطي افضل النتائج في قيم معلمات النقل. والذي يفسر اعتماد سلوك معلمات النقل الإلكتروني على نسبة مكونات الخليط ونوع الغاز في الخليط [14].

وفي العام نفسه قامت Enas A. Jawad بحساب نظري لمعاملات نقل الإلكترون ودالة التوزيع للغازات النبيلة مع CF_3 باستخدام محاكاة مونت كارلو، ولاحظت الباحثة ان تأثير CF_3 في خليط الغازات النبيلة واضح بقوة في قيم معدل طاقة الإلكترون، ومعامل الانتشار الالكتروني، وتنقلية الإلكترون [55].

وفي العام نفسه تمت دراسة معاملات نقل الإلكترون للأرجون والاكسجين وخليطهما وذلك باستعمال EEDF عن طريق Abdul M., B. J. Hussien, M., K., Jassim، ووجدوا ان إضافة كمية صغيرة من غاز الأرجون الى الاوكسجين الجزيئي يعطي نتائج افضل في قيم معاملات النقل [56].

1-6 الهدف من الدراسة

ان الهدف الرئيس من هذه الدراسة هو دراسة تأثير إضافة الغازات النبيلة (He, Ne, Ar, Kr, Xe) الى النيروجين النقي ضعيف التأين على دالة توزيع طاقة الالكتران ومعلومات النقل الالكتراني (معدل طاقة الالكتران، الطاقة المميزة، سرعة الانجراف الالكتراني، تنقلية الالكتران، معامل الانتشار الالكتراني)، إضافة الى تأثير المجال الكهربائي المختزل E/N على دالة التوزيع ومعلومات النقل الالكتراني، ويتم ذلك من خلال حل معادلة بولتزمان باستخدام برنامج EEDF ومقارنة النتائج التي توصلنا اليها مع النتائج العملية المتوفرة. اذ ان مثل هذه الدراسة لها أهمية كبيرة في حياتنا اليومية كما في أجهزة التفريغ الكهربائي التي تستخدم في كثير من التطبيقات العملية.

الفصل الثاني

معادلة بولتزمان

ودالة التوزيع

معادلة بولتزمان ودالة التوزيع

2-1 مقدمة

ان الهدف الأساسي من النظرية الحركية هو معرفة التطور الزمني لأجل توزيع الجسيمات (الالكترونات مثلاً)، وتوجد العديد من المعادلات الحركية كل منها محدد بنظام خاص، والشكل الخاص لهذه المعادلات يتم تحديده وفقاً لطبيعة النظام (صلب، سائل، غاز، بلازما) وطبيعة التفاعلات بالإضافة إلى الكميات الأخرى (الكثافة، درجة الحرارة، ...). في حالة الغاز الكلاسيكي، معادلة بولتزمان هي المعادلة الحركية الملائمة [57].

افترض بولتزمان عدة فرضيات مبسطة لغرض إيجاد تعبير صريح لدالة التوزيع $\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_c$ وهذه الافتراضات هي:

- ١- تأثير جدران الحاوية يمكن إهماله.
- ٢- التصادمات الثنائية بين الجسيمات فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار.
- ٣- تأثير القوى الخارجية على معدل التصادم مهمل negligible.
- ٤- سرعة وموقع الجزيء تكون غير مرتبطين [1].

يعبر عن تأثير التصادمات الثنائية من حيث المقطع العرضي للتشتت التفاضلي "differential scattering cross section" والذي يصف كثافة الاحتمالية لتغير معين للسرعة [58]، ويخضع سلوك تصادم الالكترونات مع جزيئات الغاز لتوزيع الالكترونات في الفضاء والطاقة والزمن للغازات النقية او للخلائط الغازية [11].

وتستند النظرية الكلاسيكية لعمليات النقل على معادلة نقل بولتزمان والتي تعد أداة قوية لتحليل ظواهر النقل داخل الأنظمة التي تنطوي على الكثافة ودرجة الحرارة او احدهما. ولغرض فهم معادلة نقل بولتزمان، فمن الضروري لفهم دالة التوزيع.

(2-2) دالة التوزيع:

توصف دالة التوزيع كيفية توزيع الالكترونات او الأنواع الأخرى من الجسيمات في الفضاء الحقيقي والزخم على مدار الوقت، ودالة التوزيع التي تشمل المجال الكهربائي المستمر او المتناوب يمكن اشتقاقها من معادلة بولتزمان تحت عدد من التقريبات (approximations) التي قد تؤثر على الحل، وهذه الحلول هي غير صحيحة إذا كانت التقريبات غير صحيحة.

الافتراض الرئيس هو ان جسيمات التفاعل تتصرف ككرات صلبة وطاقة الالكترونات هي أكبر بكثير من الطاقة الحرارية للغاز، ومع ذلك إذا كان التوزيع، في حالة المجال المستمر DC او المتناوب AC فإنه يُقرب بحيث يحتوي على جزء (عامل) تصحيح مضاف صغير، وهذا الجزء يكون متباين الخواص ليتم احتسابه لحركة اتجاه صغيرة للإلكترونات نتيجة للمجال الكهربائي المطبق [1].

ان النظرية الجزيئية الحركية، تستخدم لتحديد حركة جزيئات الغاز المثالي تحت مجموعة محددة من الحالات، اذ من المستحيل قياس سرعة كل جسيم في كل لحظة من الزمن. لذلك يستخدم توزيع Maxwell-Boltzmann لتحديد عدد الجسيمات التي تتحرك بين السرعات v و $v+dv$. بافتراض ان التوزيعات أحادية البعد مستقلة بعضها عن بعض فإن السرعة v في اتجاهي Y و Z لا تؤثر على السرعة باتجاه X [59] ، ويتم توزيع سرع الغاز في حالة التوازن الحراري بواسطة توزيع ماكسويل [60].

(2-3) معادلة بولتزمان:

تصف معادلة بولتزمان (BE) السلوك الاحصائي لنظام ديناميكي حراري كما تستخدم لتحديد الكمية التي تتغير بها الكميات الفيزيائية، كالطاقة الحرارية والزخم [25]. وتؤدي (BE) دوراً مهماً في انموذج النقل الالكتروني، وتصف الظواهر الفيزيائية التي غالباً ما تكون ذات أهمية كبيرة للتطبيقات الهندسية والتكنولوجية [56].

معادلة ماكسويل-بولتزمان، التي تشكل أساس النظرية الحركية للغازات، تحدد توزيع سرع الغاز عند درجة حرارة معينة [59]، اذ يمكن وصف توزيعات التوازن (السرعة والانطلاق والطاقة) للجزيئات باستخدام الأساليب الإحصائية والتي تسمى توزيعات ماكسويل-بولتزمان [18].

يحل كود EEDF معادلة بولتزمان (BE) الحالة المستقرة للجزء المتناظر لدالة توزيع سرعة الالكترونات في البلازما المتجانسة باستخدام التقريب ذي الحدين [10].

ولغرض حساب دالة توزيع طاقة الالكترونات ومعلمات النقل الالكتروني في مزيج الغازات يمكن ان نستخدم الحل العددي لمعادلة بولتزمان في بلازما منخفضة التأين [14].

لأجل توضيح خصائص الغازات المخففة، قام بولتزمان بتحليل عمليات التصادم الأولية بين أزواج من الجسيمات، اذ يتم وصف دالة التوزيع $f(r, v, t)$ في الفضاء عن طريق معادلة بولتزمان.

في حالة عدم وجود تصادم فإن الجسيمات تتدفق على وفق العلاقة الاتية:

$$f\left(r + vdt, v + \frac{k}{m} dt, t + dt\right) = f(r, v, t) \quad (2 - 1)$$

حيث k يشير الى القوة الخارجية التي تعمل على الجسيمات عند النقطة (r, v) وبالتالي فإن المشتقة الزمنية لـ f تكون على النحو الاتي:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + v \cdot \nabla_r + \frac{k}{m} \cdot \nabla_v\right) f(r, v, t) = 0 \quad (2 - 2)$$

حيث ∇_v تمثل التدرج في فضاء السرعة

∇_r تمثل التدرج في فضاء الموضع

$$v \cdot \nabla_r f \equiv v_x \frac{\partial f}{\partial x} + v_y \frac{\partial f}{\partial y} + v_z \frac{\partial f}{\partial z} \quad (2-3)$$

وان:

$$\frac{k}{m} \cdot \nabla_v f \equiv (k_x \frac{\partial f}{\partial v_x} + k_y \frac{\partial f}{\partial v_y} + k_z \frac{\partial f}{\partial v_z}) \quad (2-4)$$

للتدفق الحر (عدم وجود تصادم)، فإن الجسيمات في أنبوب رفيع (لا تغيير في السرعة)، الفضاء له بعدين x و v_x ، التغير الزمني لـ $f(x, v_x)$ يكون على النحو الاتي:

$$\frac{\partial f(x, v_x)}{\partial t} = -v_x \frac{\partial f(x, v_x)}{\partial x} \quad (2-5)$$

$$\therefore \frac{\partial f(x, v_x)}{\partial t} + v_x \frac{\partial f(x, v_x)}{\partial x} = 0 \quad (2-6)$$

ويتم تعميمها لعدة قوى فتصبح على ما يأتي:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v_x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{k_x}{m} \frac{\partial f}{\partial v_x} = 0 \quad (2-7)$$

وفي حالة التصادم، يضاف الجزء $(\frac{\partial f}{\partial t})_{coll}$ للجانب الأيمن من المعادلة (2-7) الاتية [58]

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + v \cdot \nabla_r + \frac{k}{m} \cdot \nabla_v \right) f(r, v, t) = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{collision} \quad (2-8)$$

ان سلوك تفاعل الالكترونات مع ذرات الغاز محكوم عن طريق توزيع الالكترونات في الفضاء والطاقة والزمن للغازات النقية او للخلائط الغازية، وان الهدف الرئيسي لمعادلة نقل بولتزمان (BE) هو التنبؤ عن التوزيع الذي يعبر عنه بـ $f(r, v, t)$ [11].

والشكل العام لمعادلة نقل بولتزمان للإلكترونات في الغاز يمكن ان تكتب بالشكل الاتي [14].

$$\frac{\partial f(r, v, t)}{\partial t} + v \cdot \nabla_r f(r, v, t) + \frac{eE}{m} \cdot \nabla_v f(r, v, t) = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{collision} \quad (2-9)$$

يصف الجانب الايسر من المعادلة كيف تتغير الدالة $f(r, v, t)$ بحكم حركة مستقلة من دون تصادمات، واما الجانب الأيمن من المعادلة فيصف كيف تتغير الدالة نتيجة للتصادمات الثنائية للجسيمات المشحونة مع الجسيمات المتعادلة.

ويمثل التعبير $(v \cdot \nabla_r)$ ذلك الجزء من التغيير نتيجة للقوة الخارجية .

e/m نسبة شحنة الالكترون الى كتلته والتي تشير الى تعجيل الالكترونات نتيجة للمجال الكهربائي المطبق، E المجال الكهربائي.

تمثل $f(r, v, t)$ دالة التوزيع في الموقع المكاني r والسرعة v والزمن t . ولجسيم يتحرك في فضاء ثلاثي الابعاد، فضاء الطور يتكون أساسا من كل النقاط

$$X = (X, Y, Z, P_x, P_y, P_z)$$

حيث ان X, Y, Z هي ثلاثة اتجاهات في الفضاء.

وان P_x, P_y, P_z تمثل الزخم في الاتجاهات X, Y, Z .

لذلك فإن فضاء الطور لجسم واحد يملك 6 ابعاد. واما لنظام يحتوي جسامين فهو جمع كل النقاط

$$X = (X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, P_{x1}, P_{y1}, P_{z1}, P_{x2}, P_{y2}, P_{z2})$$

وتمثل X_1, Y_1, Z_1 مواقع خاصة بالجسيم الأول، بينما X_2, Y_2, Z_2 هي للجسيم الثاني.

$P_{x1}, P_{y1}, P_{z1}, P_{x2}, P_{y2}, P_{z2}$ هي الزخوم في الاتجاهات المعنية للجسيم الأول والثاني، لذا فإن فضاء الطور لمثل هذا النظام له 12 ابعاد.

$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)$ تعني ان دالة التوزيع تتغير مع الزمن بقيم ثابتة من v و t .

وتكتب معادلة بولتزمان [61,62] على النحو الاتي:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \cdot \nabla_r \cdot f - \gamma \cdot \nabla_v f = B(f) \quad (2-10)$$

حيث $\gamma = -e E/m$ تمثل تعجيل الالكترونات، وعامل التصادم هو B .

وتعد سرعة الانجراف V_D من اعظم معاملات النقل الالكتروني التي تستخدم لوصف سلوك الالكترونات في الغاز، وتحدد هذه المعلمة عن طريق نوع الغاز وقيمة المجال الكهربائي المختزل E/N [13]، وهي معلمة مهمة في السرب، لأنها مفيدة للتحكم في الطاقة وتستخدم كذلك لوصف موصلية الغاز ضعيف التأين [25] وباستخدام دالة التوزيع يمكننا الحصول على سرعة الانجراف الالكتروني والتي ترتبط معها بالعلاقة الاتية [10].

$$v_D = -\frac{1}{3} \sqrt{\frac{2e E}{m N}} \int_0^\infty \frac{1}{q_m(u)} \frac{df_0}{du} u du \quad (2-11)$$

حيث u طاقة الإلكترون بوحدة (eV) ، N كثافة الغاز بوحدة (cm^{-3}) ، E/N المجال الكهربائي المختزل بوحدة ($\text{V}\cdot\text{cm}^2$) ، q_m المقطع العرضي لنقل الزخم مقاسا بوحدة (cm^2) .

ان قابلية الإلكترون للتحرك في وسط تحت تأثير المجال الكهربائي تدعى بـ (تنقلية الإلكترون) μ_e وتقاس بوحدة $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ وتعطى بالعلاقة الآتية [63,64].

$$\mu_e = \frac{v_D}{E} = -\frac{1}{3} \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{1}{N} \int_0^\infty \frac{1}{q_m(u)} \frac{df_0}{du} u du \quad (2-12)$$

وتستخدم المعادلات ادناه في البرنامج [10]

معدل طاقة الإلكترون \bar{u}

$$\bar{u} = \int_0^\infty u^{3/2} f_0(u) du \quad (2-13)$$

والعلاقة بين دالة التوزيع ومعامل الانتشار الإلكتروني هي:

$$D_e = \frac{1}{3} \frac{2}{m} \int_0^\infty \frac{u^{3/2}}{q_m(u)} f_0 du \quad (2-14)$$

q_m تمثل تردد تصادم نقل الزخم

الطاقة المميزة E_k تمثل النسبة بين معامل الانتشار الإلكتروني الى تنقلية الإلكترون

$$E_k = e \frac{D_e}{\mu_e} \quad (2-15)$$

(2-4) الحل العددي لكود (EEDF):

يوظف برنامج (EEDF) لحساب دالة توزيع طاقة الإلكترون ومعاملات النقل الإلكتروني عن طريق حل معادلة بولتزمان، وتصف هذه المعادلة التطور الزمني لدالة التوزيع في فضاء الطاقة [65].

ويمكن كتابة معادلة بولتزمان بالشكل الآتي [65]:

$$u^{1/2} f_0(u) \left(\frac{dn_e}{dt} \right) = I_E(u) + I_{el}(u) + I_{in}(u) + I_{ee}(u) \quad (2 - 16)$$

حيث $f_0(u)$ تمثل الجزء المتناظر لدالة التوزيع الإلكتروني. u طاقة الإلكترون.

تمثل $I_E(u)$ تسخين الإلكترونات في المجال الكهربائي.

تمثل $I_{el}(u)$ ، $I_{in}(u)$ ، $I_{ee}(u)$ التصادمات المرنة وغير المرنة وتصادمات (الكثرون – الكثرون) على التوالي.

ويمثل الجزء $\frac{dn_e}{dt}$ من المعادلة (2-16) المحافظة على كثافة الإلكترونات والذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\frac{dn_e}{dt} = n_e (v_i - v_{at} - v_{rec}) \quad (2 - 17)$$

حيث v_i و v_{at} و v_{rec} هي ترددات التأين Ionization، الارتباط attachment، إعادة الالتحام recombination على التوالي والتي يمكن التعبير عنها من حيث التكامل المناسب لـ $f_0(u)$ ويحل كود (EEDF) معادلة بولتزمان بدءاً من المعادلة (17) والتي تعوض في المعادلة (16) وكما موضح أدناه:

- ١- بالنسبة الى الدالة f_0^n يحسب الجزء $\left(\frac{dn_e}{dt}\right)^n$ من المعادلة (17)، وتمثل (n) رقم تكراري.
- ٢- حساب قيمة $\left(\frac{dn_e}{dt}\right)^n$ يعوض في المعادلة (16) والمعادلة تحل بطريقة تكرارية للحصول على الدالة f_0^{n+1} .

- ٣- الكود مقيد بقيمة معيارية لإنهاء إجراءات التكرار. والدالة f_0^{n+1} تعد هي الحل، وبعد وجود دالة التوزيع، يتم حساب بعض خصائص البلازما [65].

في حال المجال الكهربائي للحالة المستقرة steady-state فأن

$$I_E(u) = \frac{2}{m} \frac{e^2 E^2}{3} \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{u^{3/2}}{v_m(u)} \frac{\partial f_0}{\partial u} \right) \quad (2-18)$$

حيث $v_m(u)$ هو يمثل تردد نقل الزخم ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$v_m(u) = \left(\frac{2u}{m} \right)^{1/2} \sum q_m(u) N_i \quad (2-19)$$

وان e هي شحنة الالكترون، m هي كتلة الالكترون، E المجال الكهربائي، q_m المقطع العرضي لنقل الزخم، N_i كثافة عدد الايونات.

اجراء التكرار يتوقف عندما يكون التغير النسبي لـ f_0 في جميع نقاط الشبكة هو اقل من المعلمة u .

$$|f_0^{m+1} - f_0^m| / f_0^m < u \quad (2-20)$$

حيث تمثل m عدد التكرار الثاني.

في برنامج EEDF ، عدد التكرارات يتم تقييدها بوساطة القيمة M_{max} التي يحددها مستخدم البرنامج. إذا لم يوجد تقارب لـ $m > M$ البرنامج يتوقف.

٤- باستخدام الدالة f_0^{n+1} التي تم الحصول عليها، يحسب الجزء $(\frac{dn_e}{dt})^{n+1}$ ويكرر الحساب. ويتم انهاء التكرار عندما تكون:

$$\left(\left(\frac{dn_e}{dt} \right)^{n+1} - \left(\frac{dn_e}{dt} \right)^n \right) / \left(\frac{dn_e}{dt} \right)^n < 0.001 \quad (2-21)$$

والدالة f_0^{n+1} تعد الحل المطلوب.

بعد وجود دالة التوزيع، يتم حساب المعلمات المميزة للبلازما.

ان المعادلة (16) تضرب بـ u وتكامل عددياً (باستخدام القيمة المحسوبة f_0) لذلك تدخل قدرة المجال الكهربائي (W_E) وتحسب مساهمات توازن الطاقة من العمليات المختلفة (W).

وان توازن الطاقة هو معيار جيد لدقة الحل الذي يتم الحصول عليه.

في الكود، القيمة Δ تقديرية حيث تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\Delta = (\sum |W| - |W_E|) / |W_E| \quad (2-22)$$

إذا كانت هذه القيمة تملك مقداراً صغيراً، بمعنى آخر ان $\Delta < 1\%$ فيمكن اعتبار الحل الذي تم الحصول عليه صحيحاً، وإذا لم يتحقق هذا الأمر فمن الضروري تغيير مدة الطاقة $[0, u_{max}]$ الذي من خلاله تم حل معادلة بولتزمان.

وعلى الرغم من ذلك فإن تنفيذ الشرط السابق لا يعني ان الحل الناتج هو صحيح، إذ هناك شرط إضافي يجب ان يتحقق ويرتبط ذلك الشرط بتصادمات (الالكترون-الالكترون) في معادلة بولتزمان، وكما هو معروف فإن تصادم (الالكترون-الالكترون) لا يغير طاقة الالكترون الكلية، لذا في معادلة توازن الطاقة يجب ان يتلاشى المصطلح المقابل W_{ee} ، عموماً فإن الحل العددي W_{ee} هو كمية محدودة والتي تتغير من الصفر.

في الكود، فإن القيمة Δ_{ee} هي تقديرية والتي يمكن ايجادها من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta_{ee} = \frac{W_{ee}}{W_E} \times 100\% \quad (2-23)$$

W_{ee} تمثل الطاقة لتصادمات (الالكترون-الالكترون)

W_E قدرة المجال الكهربائي

إذا كانت القيمة $\Delta_{ee} < 1$ فيمكن اعتبار الحل الناتج صحيحاً [10].

2-5 التصادمات Collisions:

أ- التصادمات المرنة (الالكترون-جزينة):

كمية الحركة توزع بين الجسيمات ولا يطرأ تغيير على الطاقة الحركية الكلية، وفي هذا النوع من التصادم، فإن الالكترونات ذات الكتلة m يمكن ان تعطي الكثير من الطاقة الى الجسيمات الثقيلة ذات الكتلة M [49]. من خلال العلاقة الآتية:

$$I_{el} = n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \frac{\partial}{\partial u} \left(u^2 \sum_i \frac{2m}{M_i} q_m^i(u) N_i \left(f_0(u) + K_B T_g \frac{\partial f_0}{\partial u} \right) \right) \quad (2 - 24)$$

I_{el} يمثل التصادمات المرنة

q_m^i تمثل المقطع العرضي لنقل الزخم للأنواع i-th

حيث M_i تمثل كتلة للأنواع i-th

T_g هي درجة حرارة الغاز

يمثل K_B ثابت بولتزمان.

ب- التصادمات غير المرنة (الالكترون-جزيئة):

توزع كمية الحركة بين الجسيمات ولكن جزءاً من الطاقة الحركية يتحول الى الطاقة الداخلية لجسيمة او عدد من الجسيمات (اذ تتشكل الايونات المتهيجة) [55]. من خلال العلاقة الاتية:

$$I_{elec} = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_i \sum_j [u Q_i^j(u) N_i f_0(u) - (u + \Delta_i^j) Q_i^j(u + \Delta_i^j) N_i f_0(u + \Delta_i^j)] \quad (2 - 25)$$

I_{elec} تمثل التهيج للمستويات الدورانية من المستوى الارضي

حيث Q_i^j المقطع العرضي للتهيج للحالة الالكترونية j-th للأنواع i-th و Δ_i^j هي عتبة الطاقة المقابلة.

تظهر تصادمات النوع الثاني مع جزيئات وذرات متهيجة الكترونياً (إزالة التهيج الى المستوى الأرضي) وذلك من خلال المعادلة الاتية:

$$I_{elec}^* = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_i \sum_j [u Q_i^{j*}(u) N_i^j f_0(u) - (u - \Delta_i^j) Q_i^{j*}(u - \Delta_i^j) N_i^j f_0(u - \Delta_i^j)] \quad (2 - 26)$$

I_{elec}^* تمثل تصادمات النوع الثاني مع ذرات متهيجة الكترونياً

حيث N_i^j هو عدد لحالة j-th للأنواع i-th

Q_i^{j*} المقطع العرضي المقابل ويحسب من المقطع العرضي Q_i^j

$$I_{vib} = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_i \sum_v [u Q_i^v(u) N_i f_0(u) - (u + \Delta_i^v) Q_i^v(u + \Delta_i^v) N_i f_0(u + \Delta_i^v)] \quad (2 - 27)$$

I_{vib} تمثل التهيج للمستويات الاهتزازية

حيث Q_i^v المقطع العرضي للتهيج لمستوى الاهتزاز v-th للأنواع i-th

Δ_i^v عتبة الطاقة المقابلة

كما تظهر تصادمات النوع الثاني مع جزيئات متهيجة اهتزازياً (إزالة التهيج الى حالة اهتزاز $v=0$) من خلال العلاقة الاتية:

$$I_{vib}^* = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_i \sum_j [u Q_i^{v*}(u) N_i^v f_0(u) - (u - \Delta_i^j) Q_i^{v*}(u - \Delta_i^v) N_i^v f_0(u - \Delta_i^v)] \quad (2-28)$$

I_{vib}^* تمثل تصادمات النوع الثاني مع جزيئات متهيجة اهتزازياً

حيث N_i^v عدد لمستوى الاهتزاز v -th للأنواع i -th ، المقطع العرضي المقابل Q_i^{v*} يحسب من المقطع العرضي Q_i^v .

ج- التأين عن طريق التأثير الالكتروني من المستوى الأرضي:

عند امتصاص الجزيئات او (الذرات) كمية كافية من الطاقة، فإن الكتروناً من هذه الالكترونات سوف يبتعد الى ما لانهاية، عندئذ تصبح الذرة او الجزيئة متأينة، ولذلك تكون طاقتها الداخلية مساوية لطاقة التأين حيث $\Delta V = ev_i$ [57].

$$I_{ion} = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_i [u Q_i^{ion}(u) N_i f_0(u) - (u + \Delta_i^{ion}) Q_i^{ion}(u + \Delta_i^{ion}) N_i f_0(u + \Delta_i^{ion})] + n_e \delta(u) \sum_i N_i k_i^{ion} \quad (2-29)$$

I_{ion} تمثل التأين عن طريق التأثير الالكتروني من المستوى الأرضي

حيث Δ_i^{ion} طاقة التأين.

$\delta(u)$ دالة دلتا ديراك.

k_i^{ion} ثابت معدل التأين، هو يفترض ان طاقة الالكترونات الثانوية تساوي صفر.

د- الترابط (التركيب) Attachment:

يمكن اسر جسيم حر عن طريق جسيم متعاذل لتشكل ايون سالب، وفي هذا النوع من التصادم يمكن ان تفقد الالكترونات كل طاقتها الحركية مع جزيئات (ذرات) الغاز، وان الجزيئات المتعاضلة تمتص كل الطاقة الحركية التي يحملها الالكترون، ويعتمد هذا التصادم على طاقة الالكترون u وطبيعة الغاز [57]. من خلال المعادلة الاتية:

$$I_{att} = -n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \sum_k u Q_{att}^k(u) N_k f_0(u) \quad (2 - 30)$$

I_{att} تمثل إعادة الالتحام الإلكترونات مع الجزيئات

حيث N_k كثافة عدد الايونات الجزيئية لـ k-th

Q_{att}^k المقطع العرضي المقابل.

هـ - التهيج للمستويات الدورانية:

$$I_{rot} = n_e \sqrt{\frac{2}{m}} \frac{\partial}{\partial u} \left[u \sum_i B_i Q_{rot}^i(u) N_i \left(f_0(u) + k_B T_g \frac{\partial f_0(u)}{\partial u} \right) \right] \quad (2 - 31)$$

I_{rot} يمثل التهيج للمستويات الدورانية

حيث Q_{rot}^i المقطع العرضي الفعال لتهيج المستويات الدورانية للأنواع i-th، B_i الثابت الدوراني

وفي بعض الحالات، يوصف تهيج المستويات الدورانية عن طريق المقطع العرضي الفعال وطاقة التهيج الفعالة.

و - تصادمات (الالكترون - الكترون):

يمكن لإلكترون معين ان يتصادم مع الكترون اخر عن طريق المقطع الفعال ل كولوم [57]. من خلال المعادلة الاتية:

$$I_{ee} = n_e \sqrt{\frac{2}{m}} 2v_{ee} u^{\frac{3}{2}} \frac{\partial}{\partial u} \left(p_1 f_0 + p_2 \frac{\partial f_0}{\partial u} \right) \quad (2 - 32)$$

حيث يمكن إيجاد p_1 و p_2 و v_{ee} من العلاقات الاتية:

$$p_1(u) = \int_0^u u^{1/2} f_0 du \quad (2 - 33)$$

$$p_2(u) = \frac{2}{3} \left(\int_0^u u^{\frac{3}{2}} f_0 du + \int_u^\infty f_0 du \right) \quad (2 - 34)$$

$$v_{ee} = \frac{4\pi e^4 n_e}{m^2 (2u/m^3)^{\frac{3}{2}}} \ln(\Lambda) \quad (2 - 35)$$

حيث يمكن إيجاد $\ln(\Lambda)$ من العلاقة الاتية:

$$\ln(\Lambda) = \ln \left(\frac{r_d}{r_0} \right) \quad (2 - 36)$$

نجد r_0 و r_d

$$r_d = \sqrt{\frac{\frac{2\bar{u}}{3}}{8\pi e^2 n_e}} \quad (2 - 37)$$

$$r_0 = \frac{e^2}{u} \quad (2 - 38)$$

$$\bar{u} = \int_0^\infty u^{\frac{3}{2}} f_0(u) du \quad (2 - 39)$$

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

والاستنتاجات

النتائج والمناقشة

3-1 المقدمة

اجريت في هذا الفصل دراسة تأثير تطبيق المجال الكهربائي المختزل E/N على دالة التوزيع الالكتروني وعلى معلمات النقل الالكتروني (معدل طاقة الالكترون \bar{u} ، الطاقة المميزة E_k ، سرعة انجراف الالكترونات V_D ، تنقلية الالكترون μ_e ، معامل الانتشار الالكتروني D_e) لغاز النيتروجين الجزيئي N_2 وللغازات النبيلة (He, Ne, Ar, Kr, Xe) وخلائطهم بتراكيز مختلفة.

وفي دراستنا هذه أيضا نستكشف نظريا تأثير إضافة كل غاز من الغازات النبيلة الى النيتروجين N_2 ومخالطها بتراكيز مختلفة والمستخدم في التفريغ الكهربائي على دالة التوزيع الالكتروني EEDF والذي بدوره ينتج معلمات النقل الالكتروني (ETC) من غاز نقي او خليط من الغازات.

ان دالة التوزيع ومعلمات النقل الالكتروني جديرتان بالاعتبار كجزء أساسي في نموذج تفريغ الوهج بوساطة المقاطع العرضية لتصادم الكترون الغاز [66].

ان معلمات النقل الرئيسية المذكورة أعلاه تمت دراستها كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N ولقيم مختلفة (10-600) Td ، وقمنا بعمل ملائمة (Fitting) لجميع هذه المعلمات للحصول على معادلة شبه تجريبية.

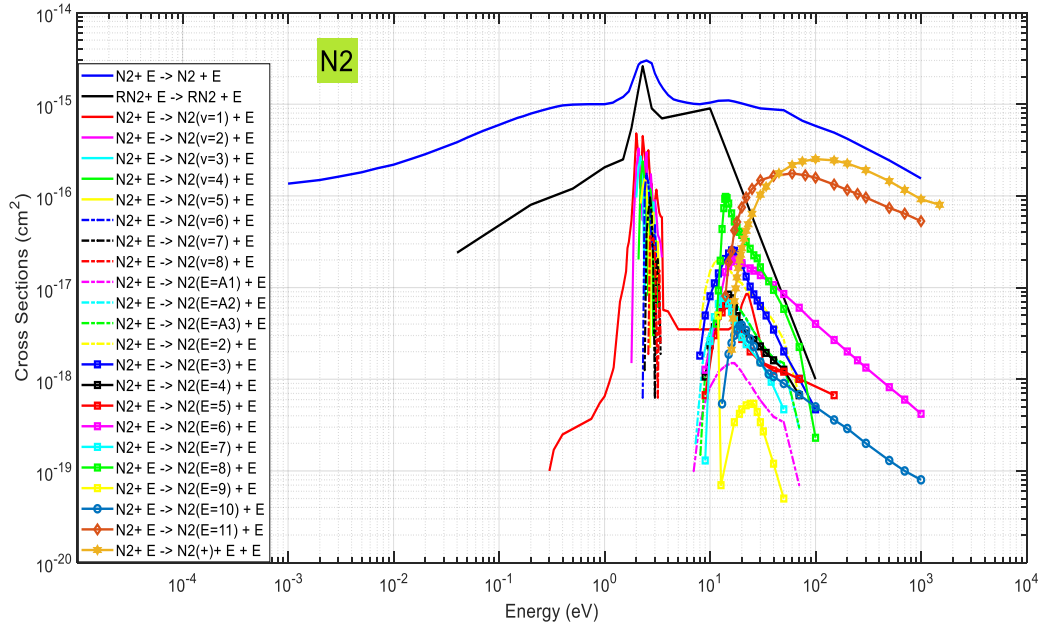
وقد رسمت جميع بيانات برنامج EEDF في برنامج (2017) MATLAB لغرض المقارنة بين الحسابات المختلفة الناتجة عن بيانات ادخال مختلفة.

تمت مطابقة حساباتنا لمعدل طاقة الالكترون وسرعة الانجراف الالكتروني مع النتائج النظرية والعملية المتوفرة وقد وجدنا توافقاً مقبولاً مع تلك النتائج.

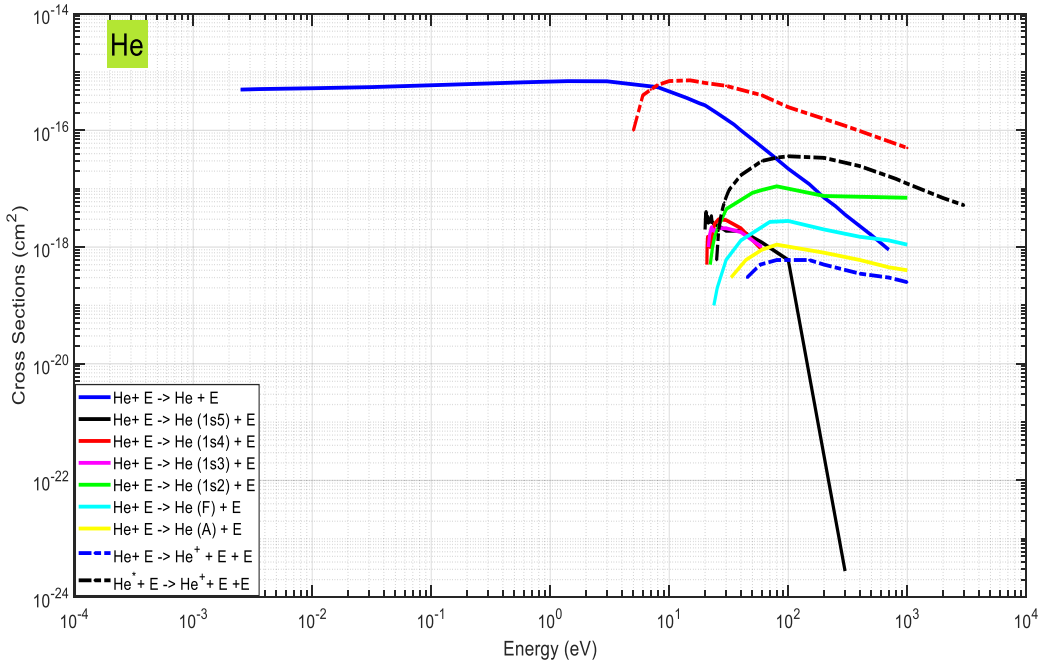
3-2 المقاطع العرضية لغاز النتروجين N_2 وللغازات النبيلة

تمثل الاشكال (3-1), (3-2), (3-3), (3-4), (3-5), (3-6) المقاطع العرضية مقابل طاقة الالكترون لغاز النتروجين النقي وللغازات النبيلة (He,Ne,Ar,Kr,Xe) لكامل التفاعلات المعنية.

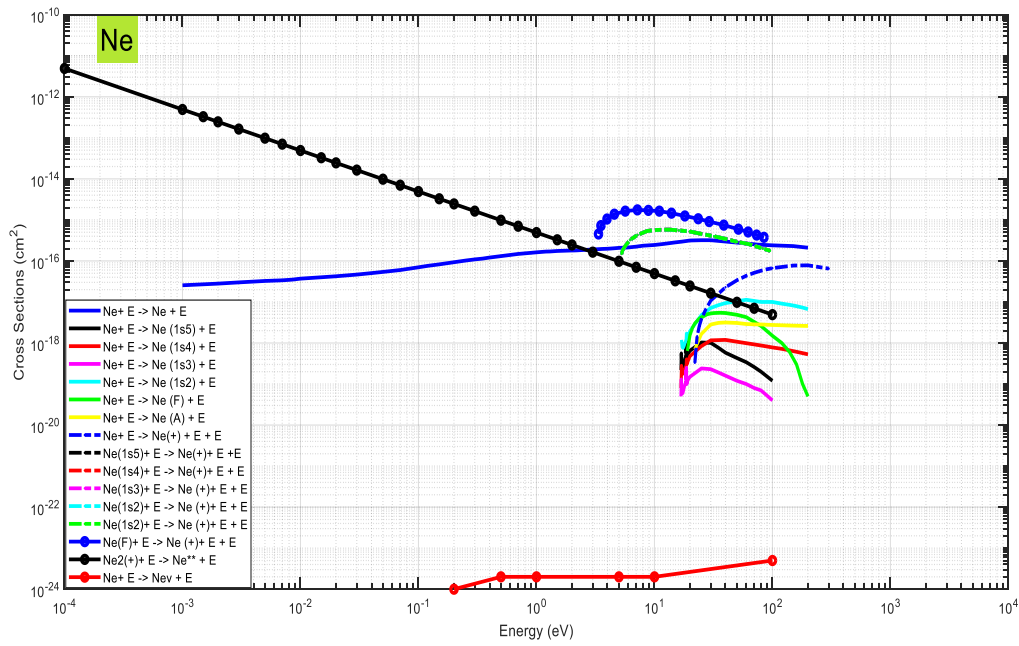
ويحتاج حل معادلة بولتزمان الى معرفة أساسية بالمقاطع العرضية في الغازات النقية وخلائط الغازات، وبيانات المقاطع العرضية الداخلة في الحسابات الحالية موضحة في الاشكال البيانية اعلاه. وهذه المقاطع العرضية متوفرة في برنامج EEDF على شكل بنك مجلد لبيانات المقاطع العرضية للغازات بأكملها، وقد اشير الى المصادر المعتمدة في هذه الحسابات في البرنامج والتي يمكن الرجوع اليها من البرنامج.



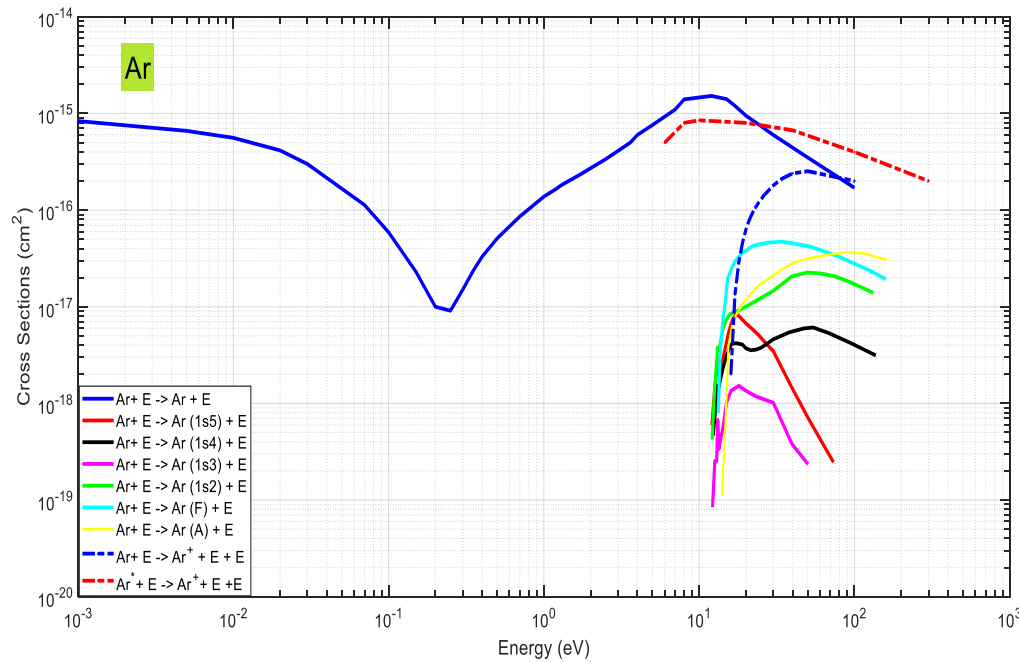
الشكل (3-1) المقاطع العرضية لغاز النتروجين N₂ النقي كدالة لطاقة الإلكترون u(eV).



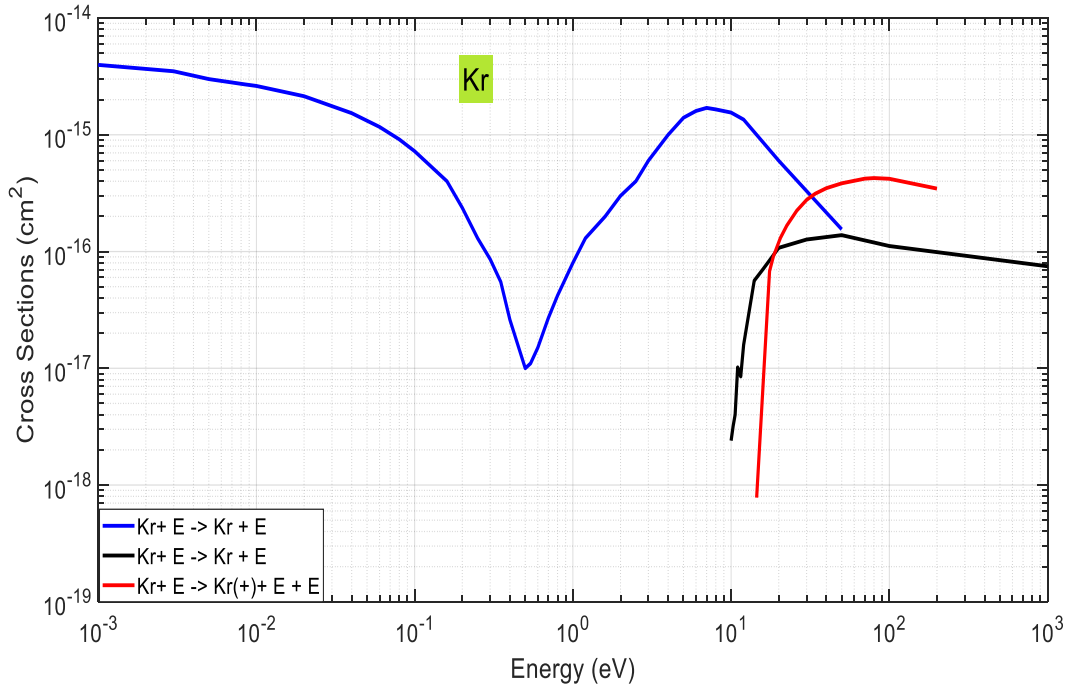
الشكل (3-2) المقاطع العرضية لغاز الهيليوم He النقي كدالة لطاقة الإلكترون u(eV).



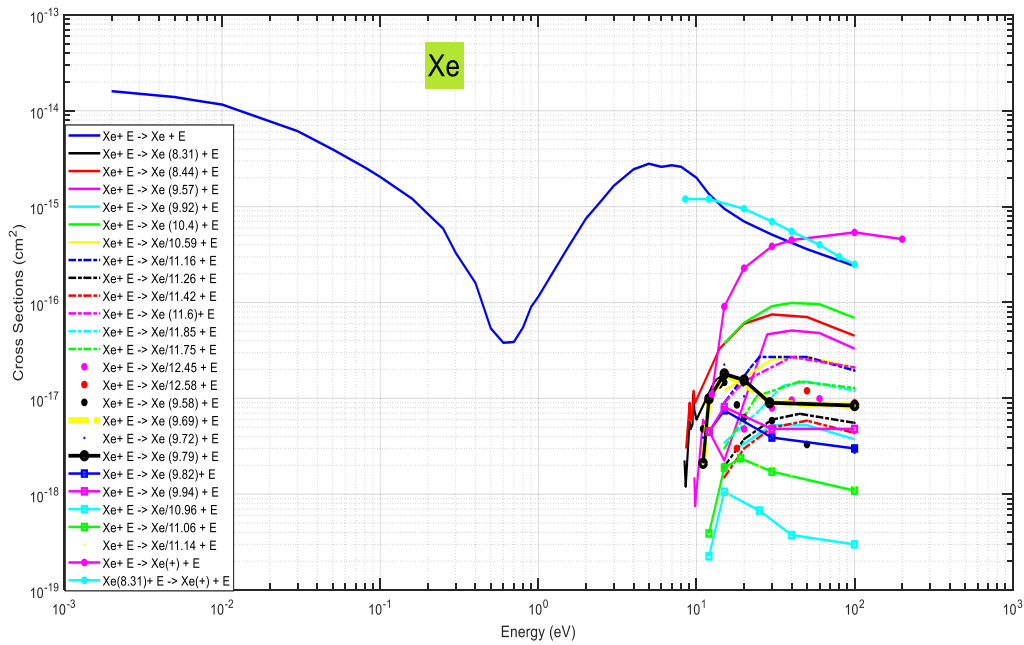
الشكل (3-3) المقاطع العرضية لغاز النيون Ne النقي كدالة لطاقة الإلكترون (eV).u



الشكل (3-4) المقاطع العرضية لغاز الاركون Ar النقي كدالة لطاقة الإلكترون (eV).u



الشكل (3-5) المقاطع العرضية لغاز الكريبتون Kr النقي كدالة لطاقة الإلكترون (eV).



الشكل (3-6) المقاطع العرضية لغاز الزينون Xe النقي كدالة لطاقة الإلكترون (eV).

3-3 دالة توزيع طاقة الإلكترون لغاز النيتروجين النقي

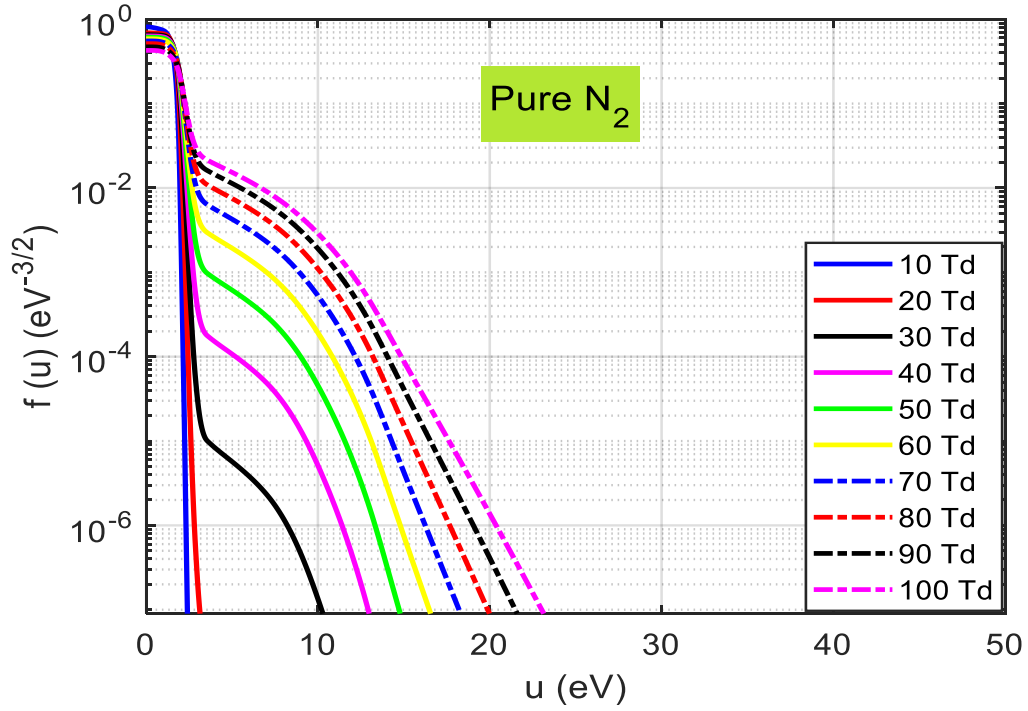
تم حساب دالة التوزيع EEDF مقابل طاقة الإلكترون $u(eV)$ عن طريق حل تقريب ذي الحدين لمعادلة بولتزمان في الغاز الجزيئي N_2 لقيم مختلفة للمجال الكهربائي المختزل $E/N = (10-600) Td$ كما في الأشكال (3-7), (3-8), (3-9), (3-10), (3-11), (3-12). وان تركيز الإلكترون ودرجة الحرارة وضغط الغاز هي $760Torr, 273K, 1 \times 10^9 cm^{-3}$ على التوالي.

في قيم E/N القليلة، يظهر ان دالة التوزيع تبلغ ذروتها عند طاقة الإلكترونات القليلة، وتنخفض مع زيادتها والذي يشير الى هيمنة عمليات الارتباط "attachment"، وكلما زادت معدل طاقة الإلكترون u تكون منحنيات EEDF مع قيم E/N الأقل هي أقرب الى بداية مجال الطاقة لأنها تحصل على طاقة الكترون قليلة من المجال الكهربائي المختزل E/N . كما نلاحظ أيضا هبوط منحنيات EEDF لغاز النيتروجين N_2 بسرعة كبيرة في قيم الطاقة المنخفضة والذي يعزى الى التصادمات غير المرنة للإلكترونات.

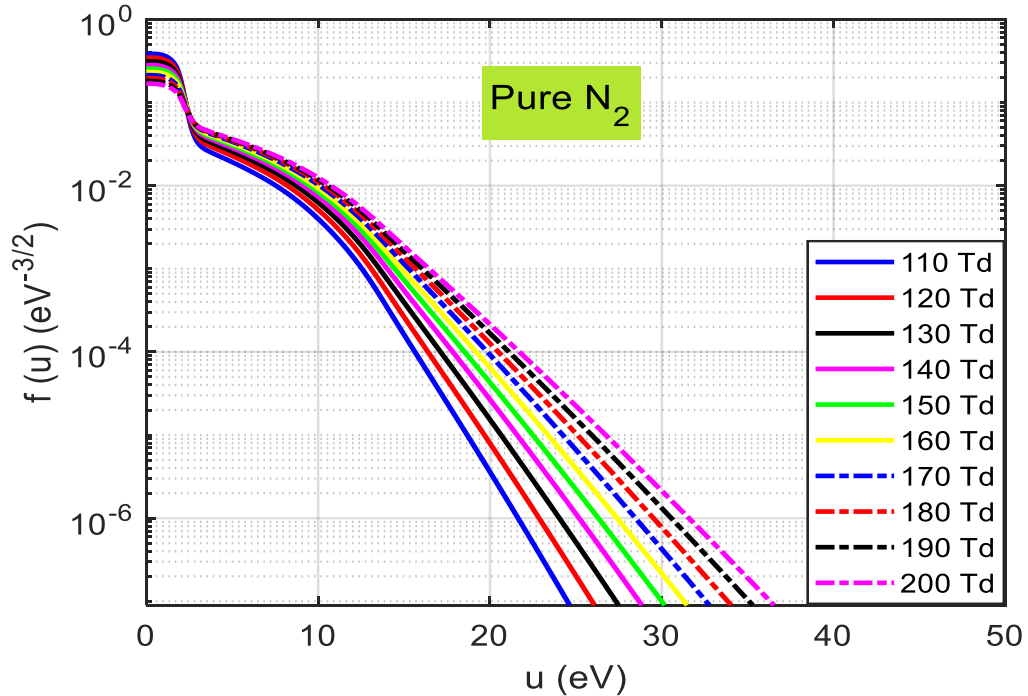
وعند زيادة قيم E/N ، فإن منحنيات EEDF تنتقل قليلا باتجاه ذيل الطاقة الأعلى مع توسع الذيل وتناقص قيمتها القصوى وذلك لتناقص عمليات الارتباط وزيادة معامل التأين إضافة الى عمليات تبادل الطاقة بين الإلكترونات والذرات، كما تتداخل منحنيات EEDF بزيادة المجال الكهربائي المختزل E/N في قيمة معينة لـ u اذ يقود ارتفاع E/N الى منحنيات بعيدة في نطاق u .

كما تملك EEDF منحنيات بارزة مع معدل طاقة الإلكترون التي تعتمد على المجال الكهربائي المختزل E/N ، وأسباب هذا السلوك الفردي هو انه عند حدوث التصادمات غير المرنة بين الإلكترونات مع الذرات، تفقد الإلكترونات طاقتها، إضافة الى ذلك فإن زيادة E/N ستؤثر على اشكال EEDF نتيجة لتسخين الإلكترونات مما يؤدي الى زيادة طاقتها لقيمة ثابتة لـ u .

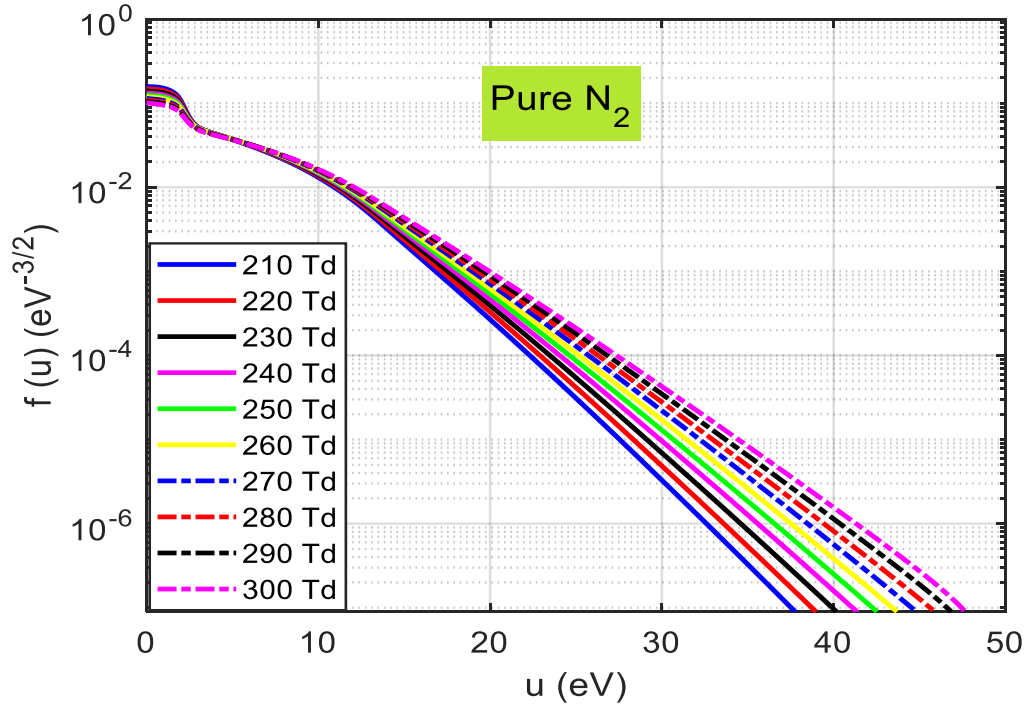
تبدو دالة التوزيع EEDF في المجال الكهربائي الواطئ هي شبه لوغاريتمي مع ميل يساوي $(K_B T)^{-1}$ (حيث K_B ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة) وهذا يشير الى توزيع ماكسويل، بينما في المجال الكهربائي العالي فإن التوزيع يصبح غير ماكسويلي نتيجة لاكتساب الإلكترونات الطاقة خلال تطبيقات المجال الكهربائي والتي تتعجل ثم تنجرف نتيجة لكسب الطاقة العالية [11].



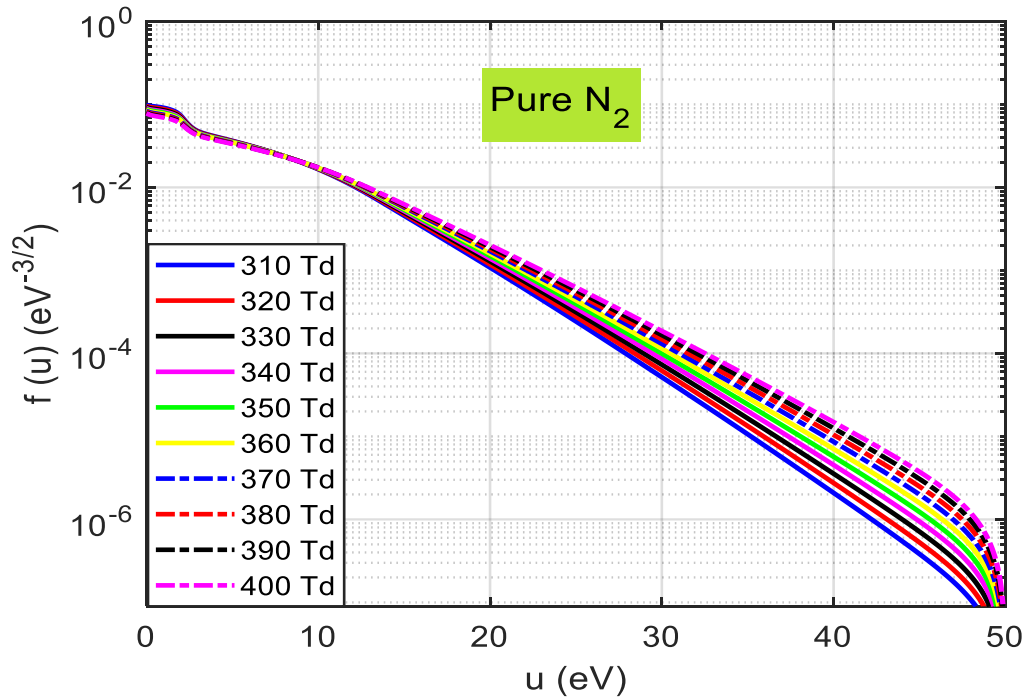
الشكل (3-7) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النتروجين N_2 النقي لمدى $E/N = (10-100)$ Td



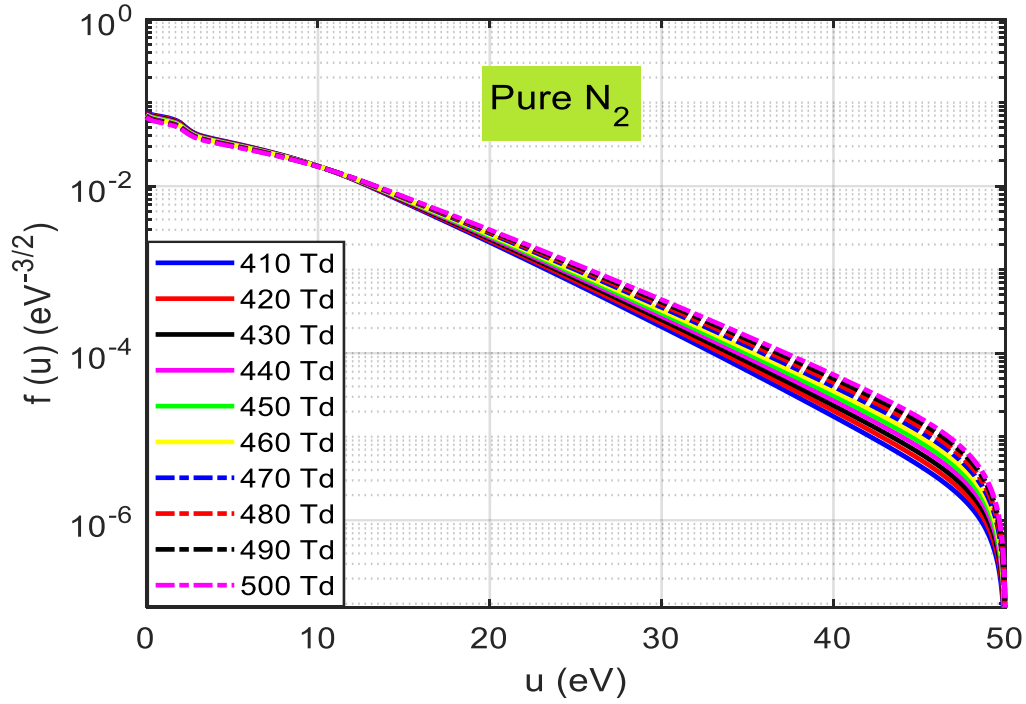
الشكل (3-8) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون للنتروجين N_2 النقي لمدى $E/N = (110-200)$ Td



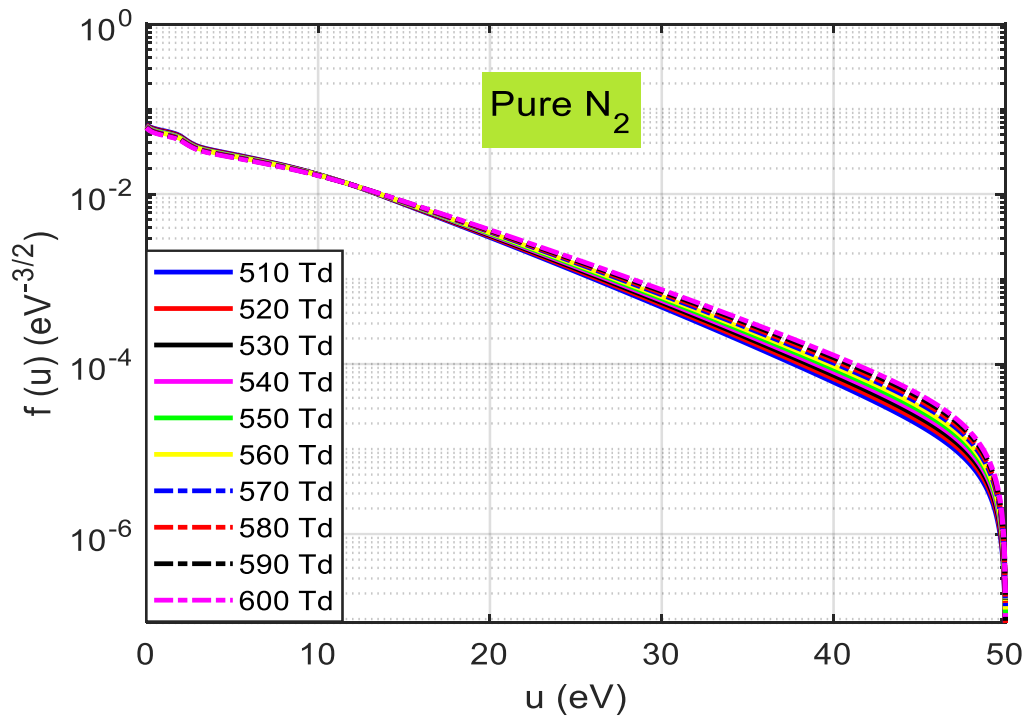
الشكل (3-9) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون للنتروجين النقي ولمدى $E/N = (210-300) \text{ Td}$



الشكل (3-10) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النتروجين النقي لمدى $E/N = (310-400) \text{ Td}$.



الشكل (3-11) يمثل دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النتروجين N₂ النقي لمدى E/N= (410-500) Td.



الشكل (3-12) يمثل دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النتروجين N₂ النقي لمدى E/N= (510-600) Td.

3-4 دالة توزيع طاقة الالكترون لغاز الهيليوم He النقي

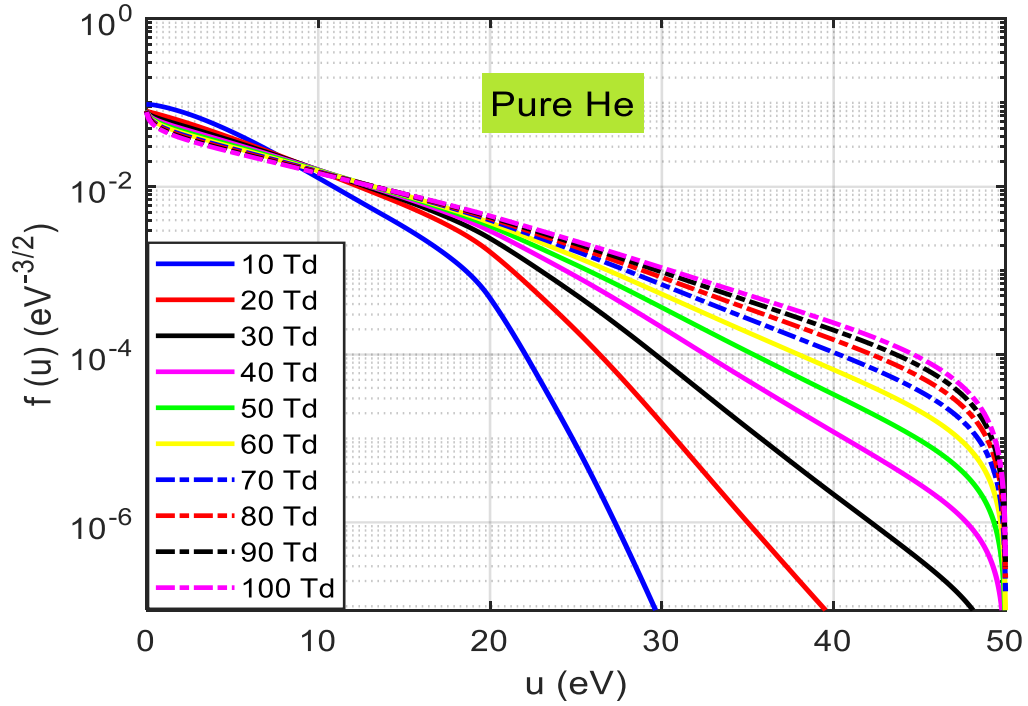
ان دالة التوزيع $f(u)$ المبينة في الاشكال (3-13), (3-14), (3-15), (3-16), (3-17), (3-18) كدالة لطاقة الالكترون $u(eV)$ لغاز الهيليوم He النقي في الظروف نفسها القياسية السابقة تظهر تأثير كبير جدا وواضح بزيادة المجال الكهربائي المختزل E/N .

فعند قيم المجال الكهربائي القليلة فإن دالة التوزيع تكون في قيمتها القصوى عند طاقة الالكترون $u(eV)$ القليلة وتنخفض مع زيادتها والذي يعزى الى عمليات الارتباط.

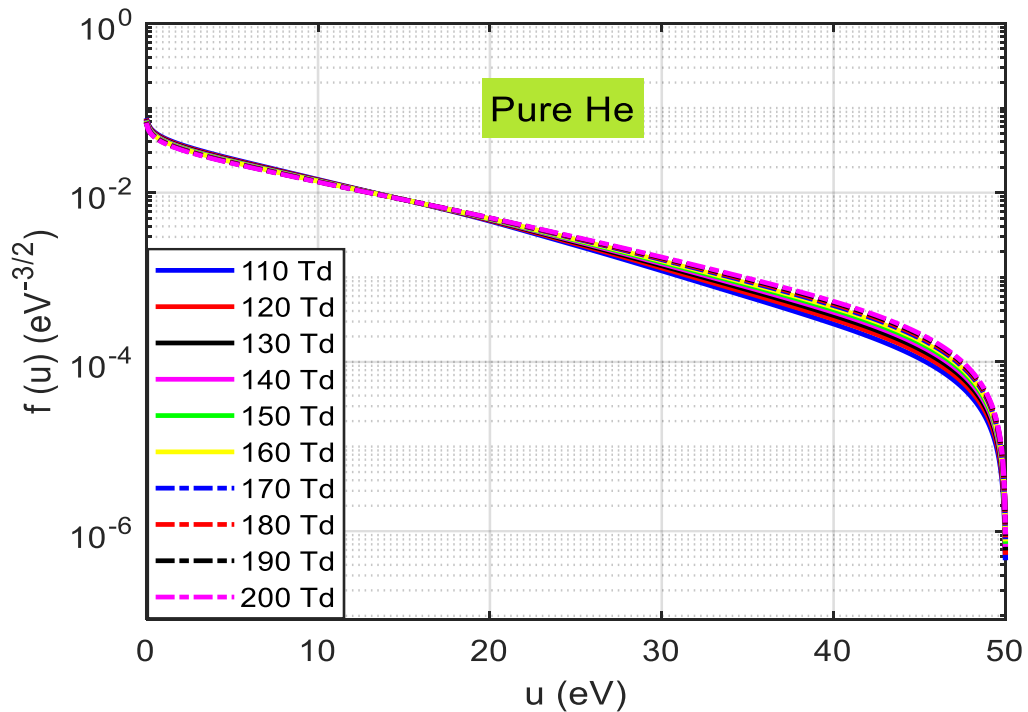
ونتيجة لاكتساب الالكترون الطاقة القليلة عند قيم E/N ، فإن منحنيات EEDF تكون أقرب الى بداية مجال الطاقة.

واما عند زيادة قيم E/N ، فإن منحنيات EEDF تبتعد عن أصل مجال الطاقة باتجاه معدل الطاقة الأعلى وتتناقص قيمتها القصوى وتداخلها بشكل كبير وبالخصوص عندما $E/N > 200$ ، T_d ، وان تداخل منحنيات EEDF ينتج بسبب زيادة المجال الكهربائي المختزل الذي يؤدي لتسخين الالكترونات وزيادة طاقتها.

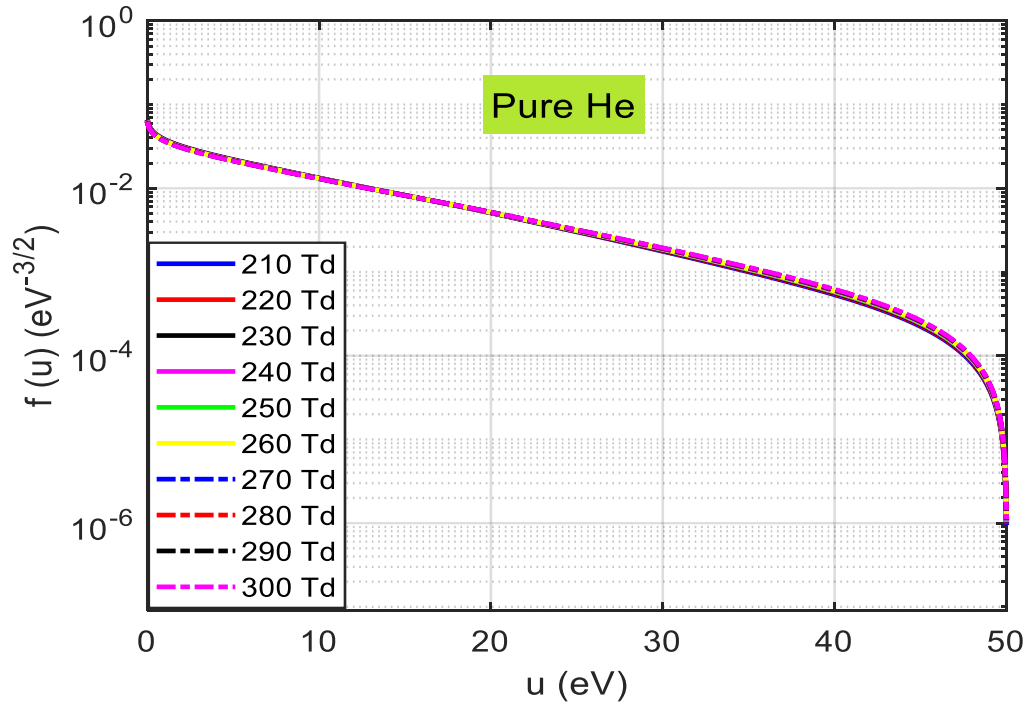
وتكون دالة التوزيع غير ماكسويلية لجميع قيم المجال الكهربائي المختزل E/N المختارة نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة ومن ثم انجرافها نحو ذيل الطاقة العالية.



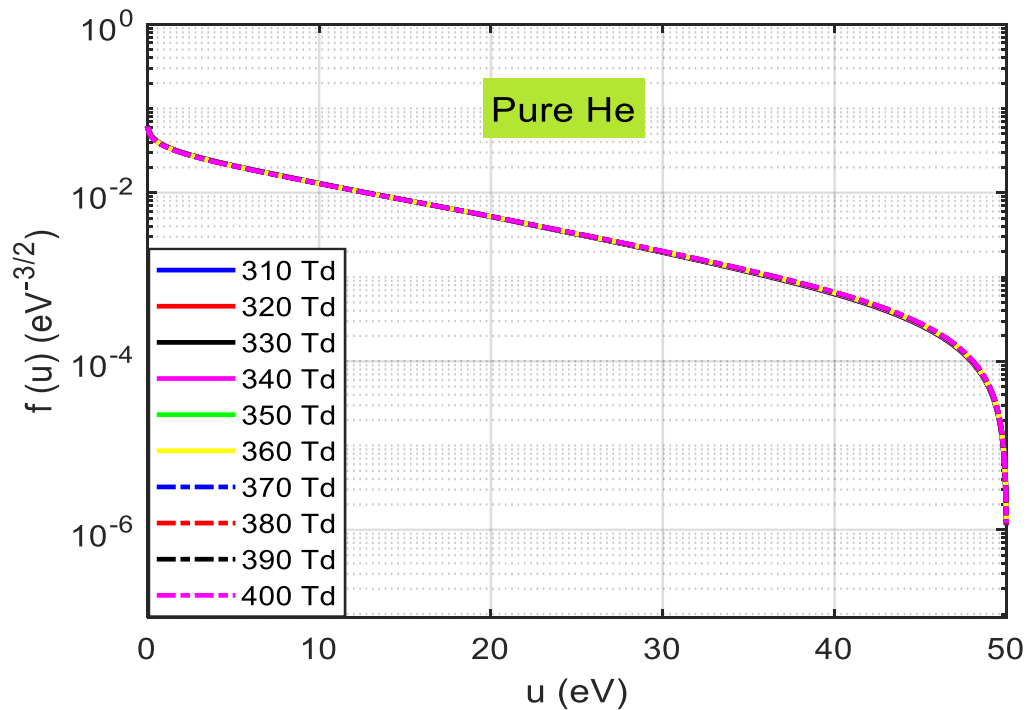
الشكل (3-13) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز هيليوم He النقي لمدى $E/N = (10-100)$ Td



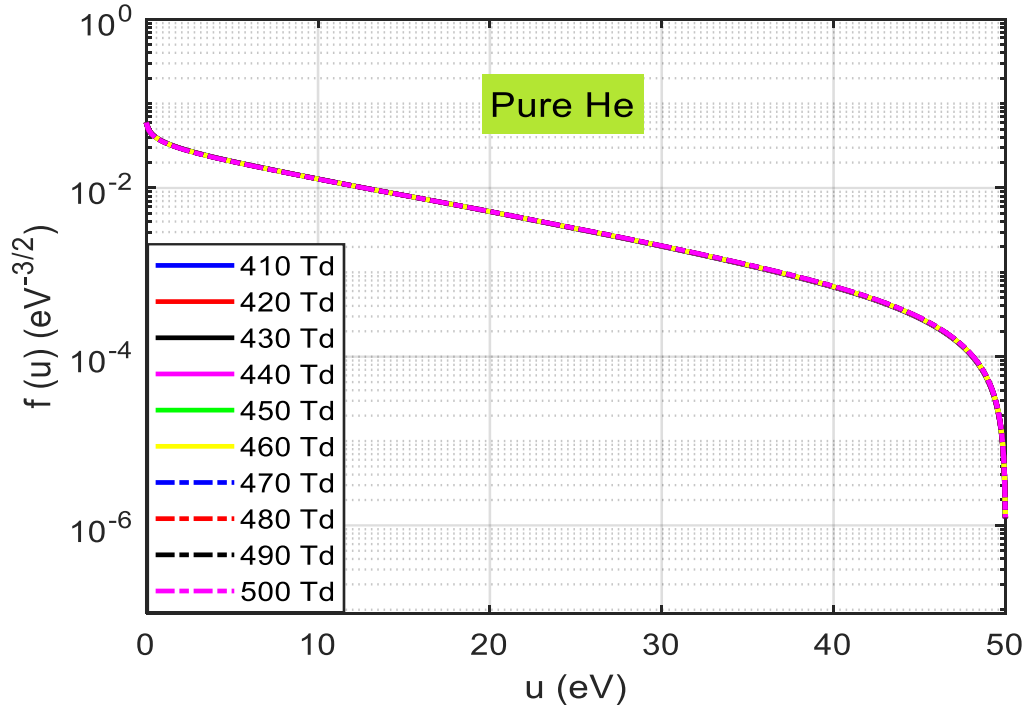
الشكل (3-14) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز الهيليوم He لمدى $E/N = (110-200)$ Td



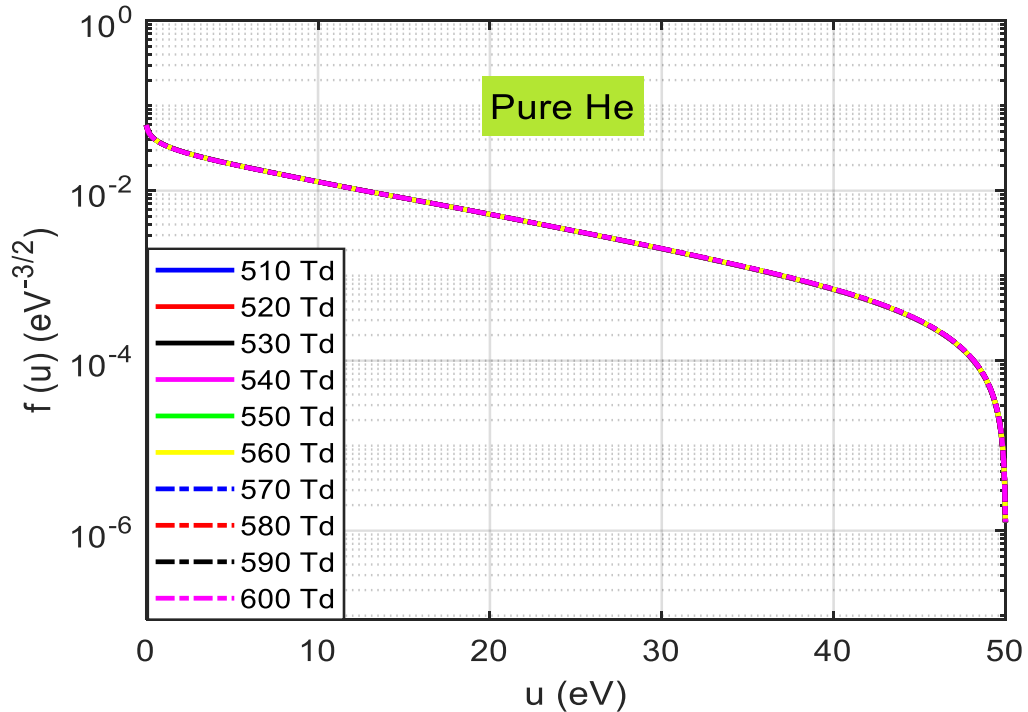
الشكل (3-15) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز الهيليوم النقي $E/N = (210-300)$ Td لمدى



الشكل (3-16) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز الهيليوم النقي $E/N = (310-400)$ Td لمدى



الشكل (3-17) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز الهليوم He النقي لمدى $E/N = (410-500) \text{ Td}$



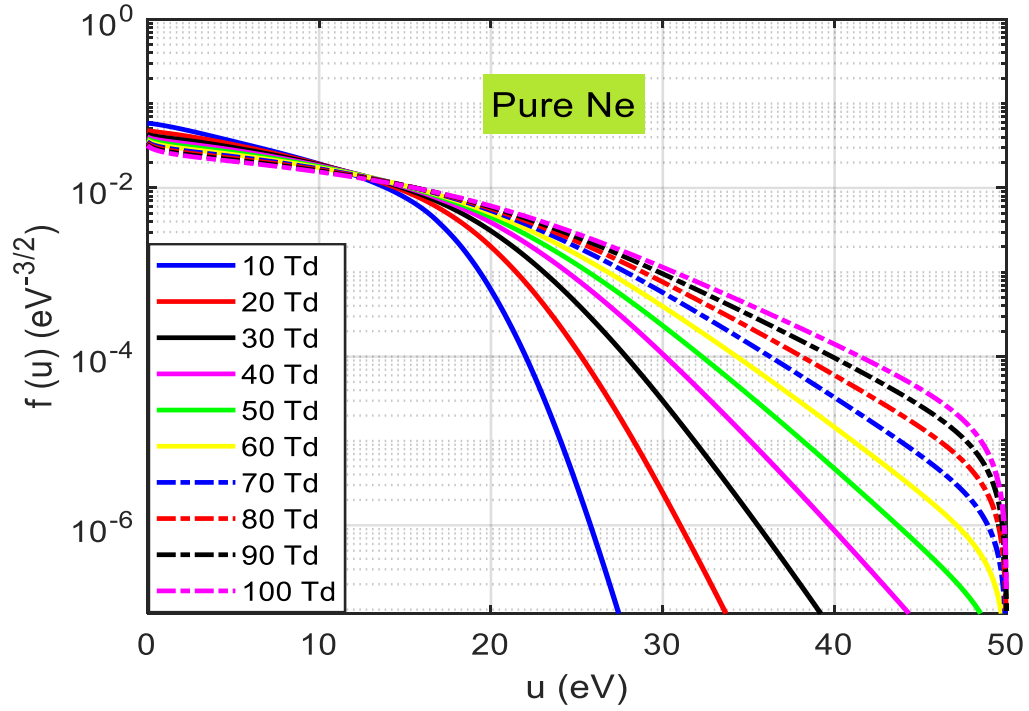
الشكل (3-18) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز الهليوم He النقي لمدى $E/N = (510-600) \text{ Td}$

3-5 دالة توزيع طاقة الالكترتون لغاز النيون Ne النقي

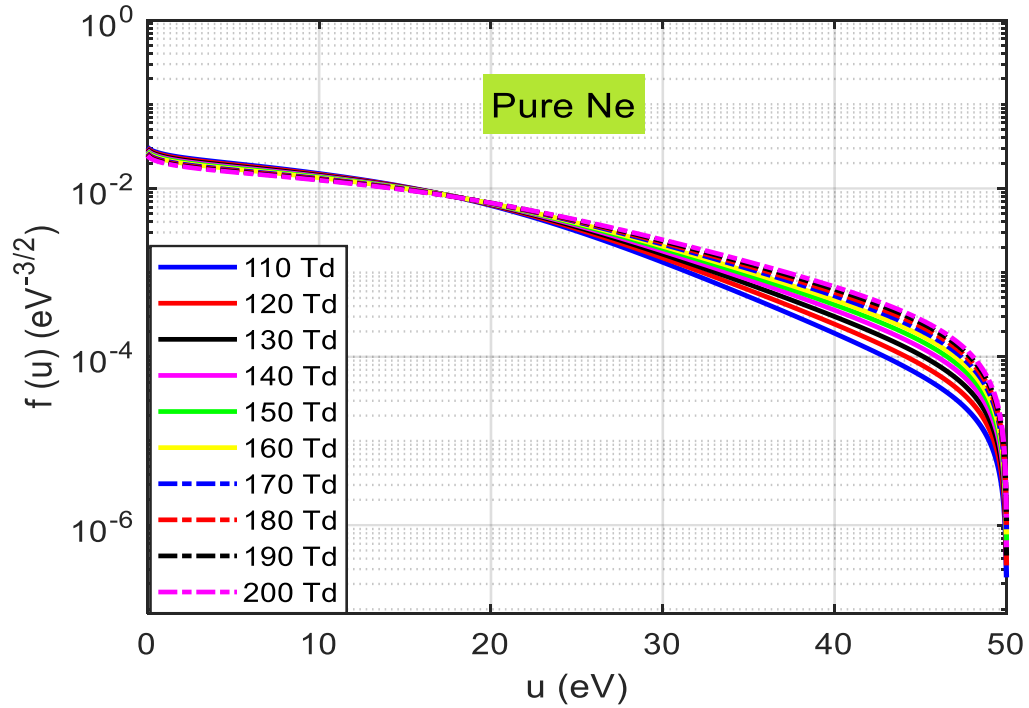
يظهر في الاشكال (3-19), (3-20), (3-21), (3-22), (3-23), (3-24) ادناه دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ المحسوبة لغاز النيون Ne النقي مقابل طاقة الالكترتون $u(eV)$ هي غير ماكسويلية بشكل كبير ولها اختلافات في الطاقة تعزى الى عمليات تبادل الطاقة في جزي الالكترتون كما ويظهر تأثرها بالمجال الكهربائي المختزل نتيجة لاكتساب الالكترونات الطاقة وزيادة درجة حرارتها.

عندما $E/N < 100 Td$ المبين في الشكل (3-19) فإن دالة التوزيع تتأثر بشكل كبير جدا وواضح نتيجة لزيادة المجال الكهربائي المختزل واكتساب الالكترونات الباردة الطاقة. وعند زيادة المجال الكهربائي المختزل فإن اشكال EEDF سوف تتأثر وتتداخل بشكل كبير عند قيم E/N العالية وبالأخص عندما $E/N > 300Td$.

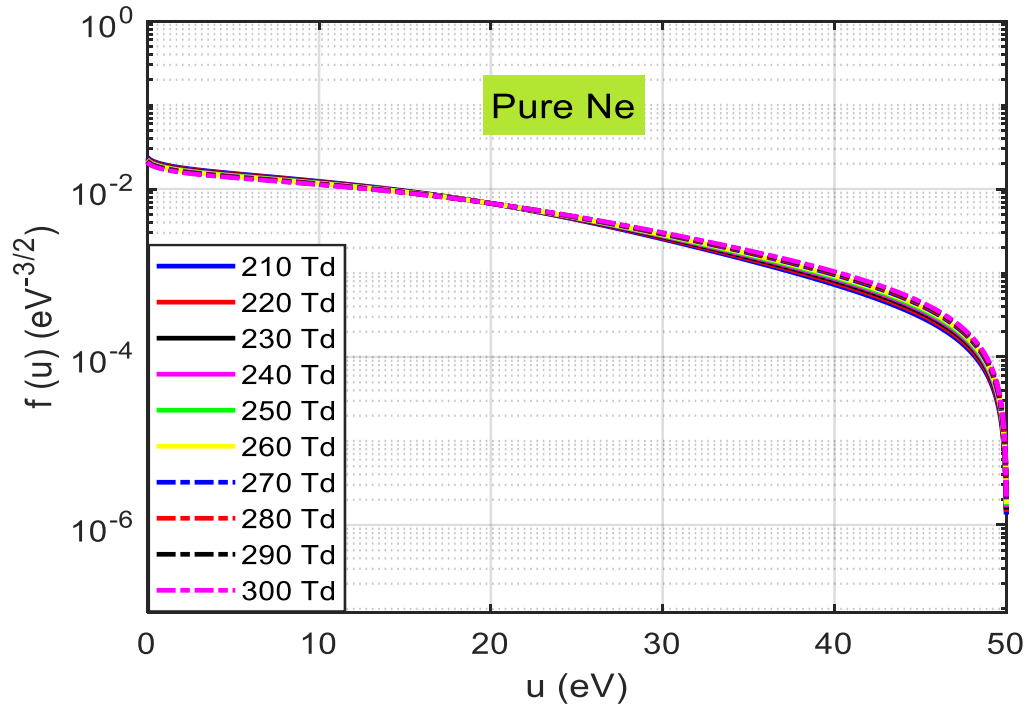
وكنتيجة لزيادة معدل طاقة الالكترتون، EEDF تتجه نحو اليمين باتجاه ذيل الطاقة العالية نتيجة لزيادة E/N .



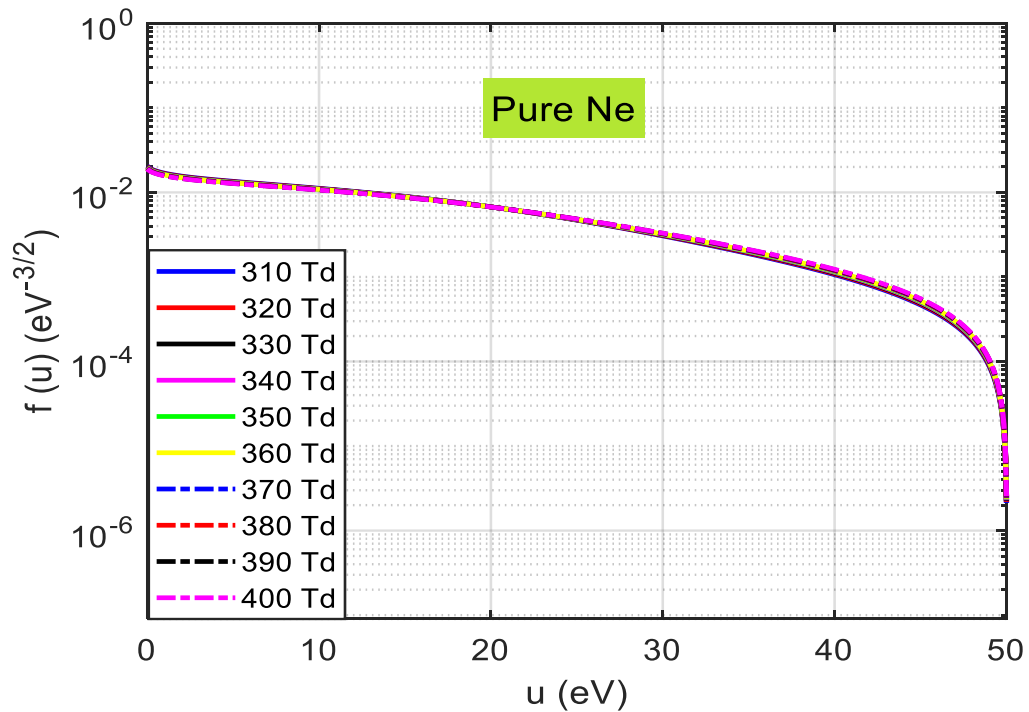
الشكل (3-19) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي لمدى $E/N = (10-100)$ Td



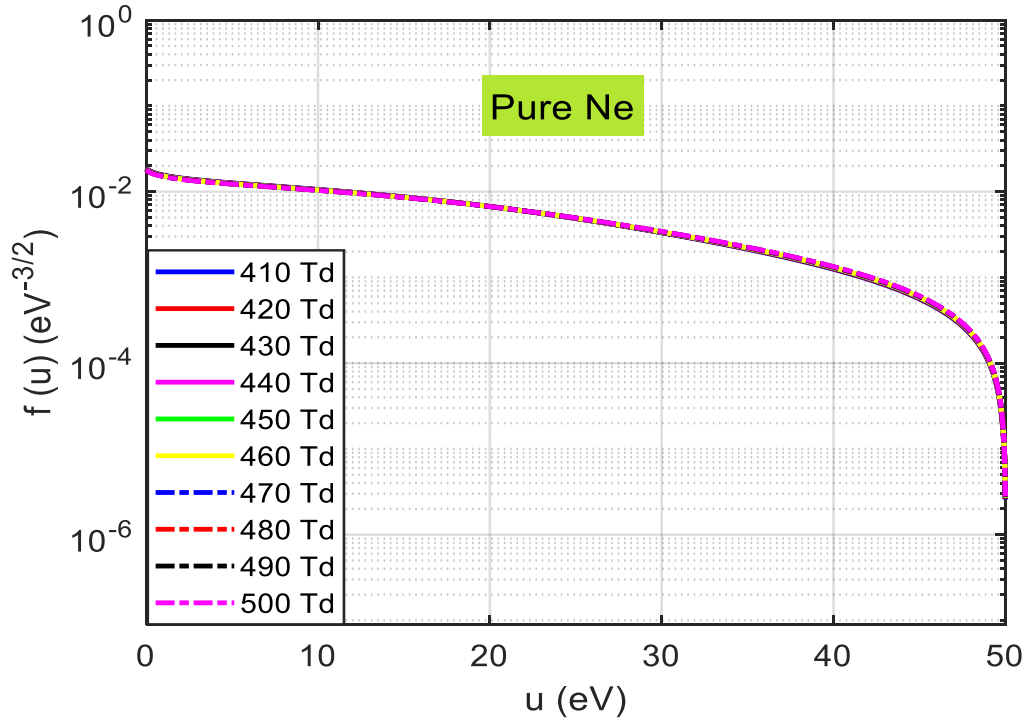
الشكل (3-20) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي لمدى $E/N = (110-200)$ Td



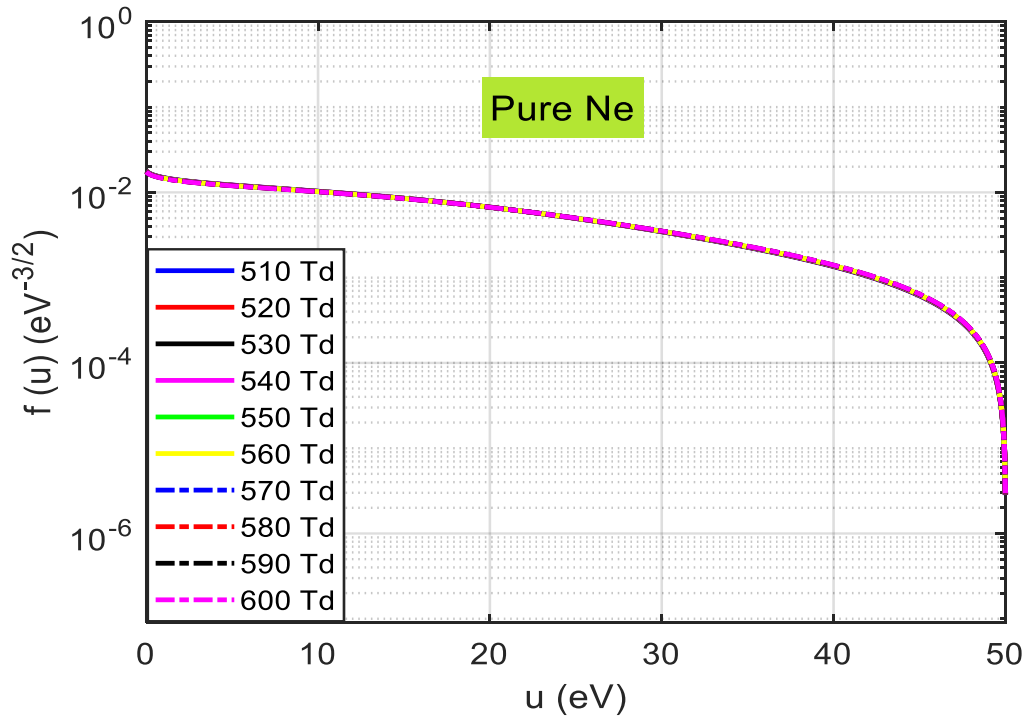
الشكل (3-21) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي
لمدى $E/N = (210-300) \text{ Td}$



الشكل (3-22) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي
لمدى $E/N = (310-400) \text{ Td}$



الشكل (3-23) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي
لمدى E/N= (410-500) Td



الشكل (3-24) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لغاز النيون Ne النقي
لمدى E/N= (510-600) Td

3-6 دالة توزيع طاقة الإلكترون لغاز الاركون Ar النقي

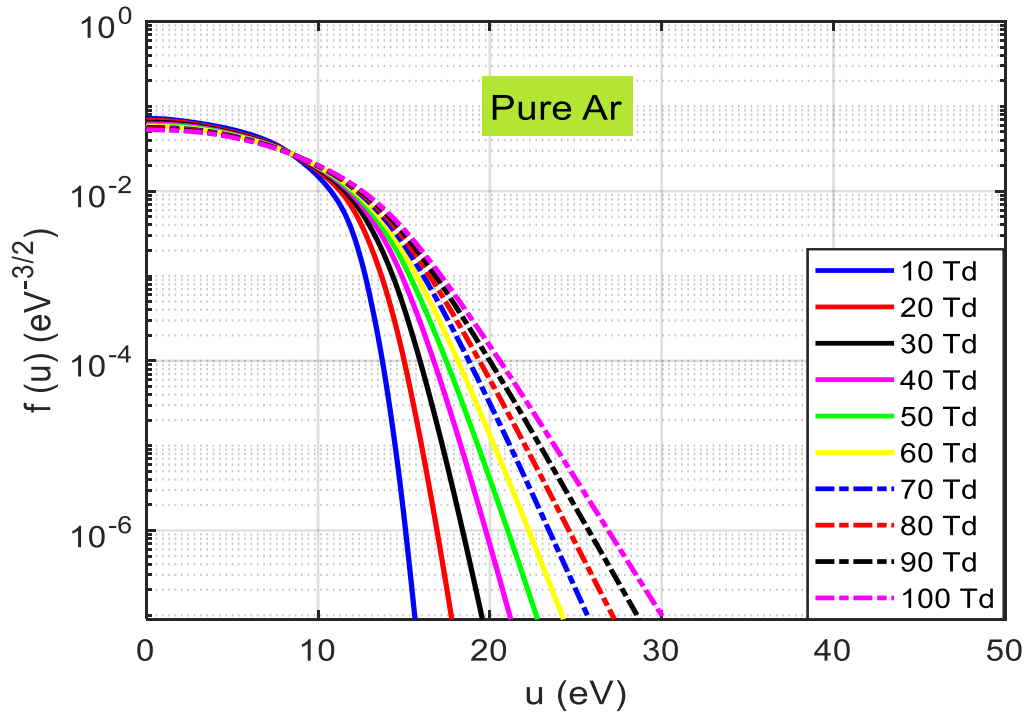
يلاحظ من خلال الاشكال (3-25), (3-26), (3-27), (3-28), (3-29), (3-30) دالة التوزيع الالكتروني مقابل طاقة الإلكترون لغاز الاركون Ar النقي والظروف المذكورة نفسها سابقا، وان من الواضح ان EEDF تتأثر بقوة عن طريق زيادة المجال الكهربائي المختزل E/N ، لذلك سوف تكون معلمات النقل الالكتروني متأثرة بذلك.

وفي قرب نقطة أصل الطاقة، عند قيم u القليلة فإن منحنيات EEDF تكون واطئة نتيجة لزيادة العمليات غير المرنة لتصادمات الالكترونات مع الذرات.

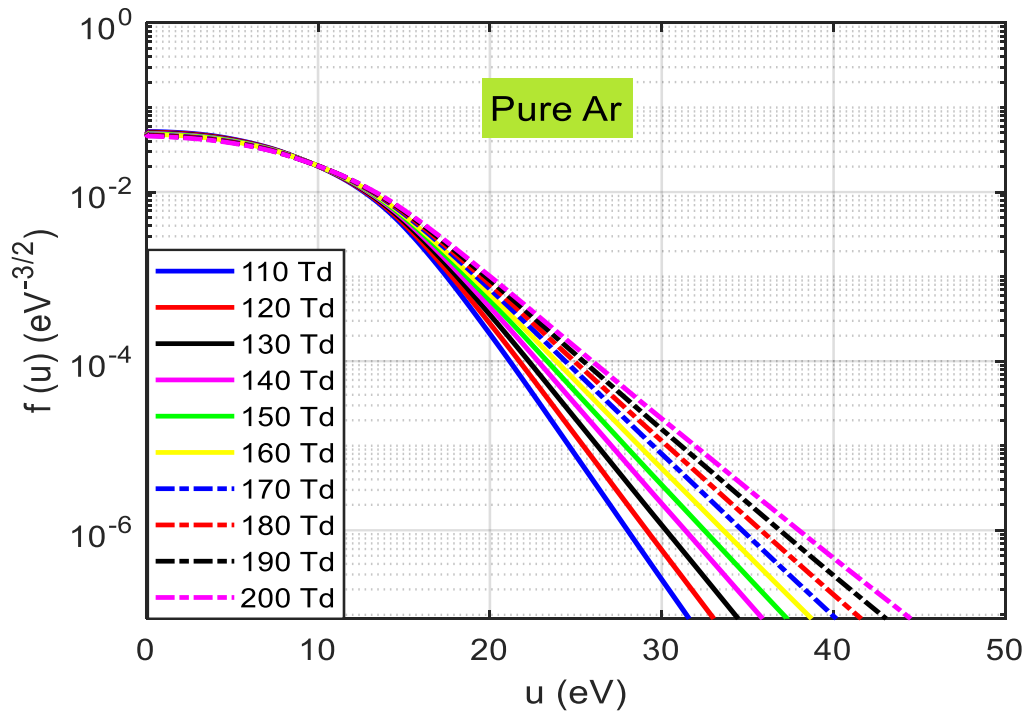
وتملك دالة التوزيع EEDF منحنيات مميزة مع معدل طاقة الالكترون التي تعتمد على المجال الكهربائي المختزل E/N ، اذ ان هذا السلوك الفردي يحدث نتيجة لفقدان الالكترونات طاقتها في التصادمات مع الذرات.

وان زيادة E/N تؤدي الى تأثر اشكال EEDF نتيجة لتسخين الالكترونات والذي يقود الى زيادة طاقتها لقيمة ثابتة لمعدل طاقة الالكترون. ولذا فإن تطبيق المجال العالي E/N يؤدي الى تطور دالة التوزيع نحو ذيل الطاقة الأعلى متأثراً بزيادة E/N .

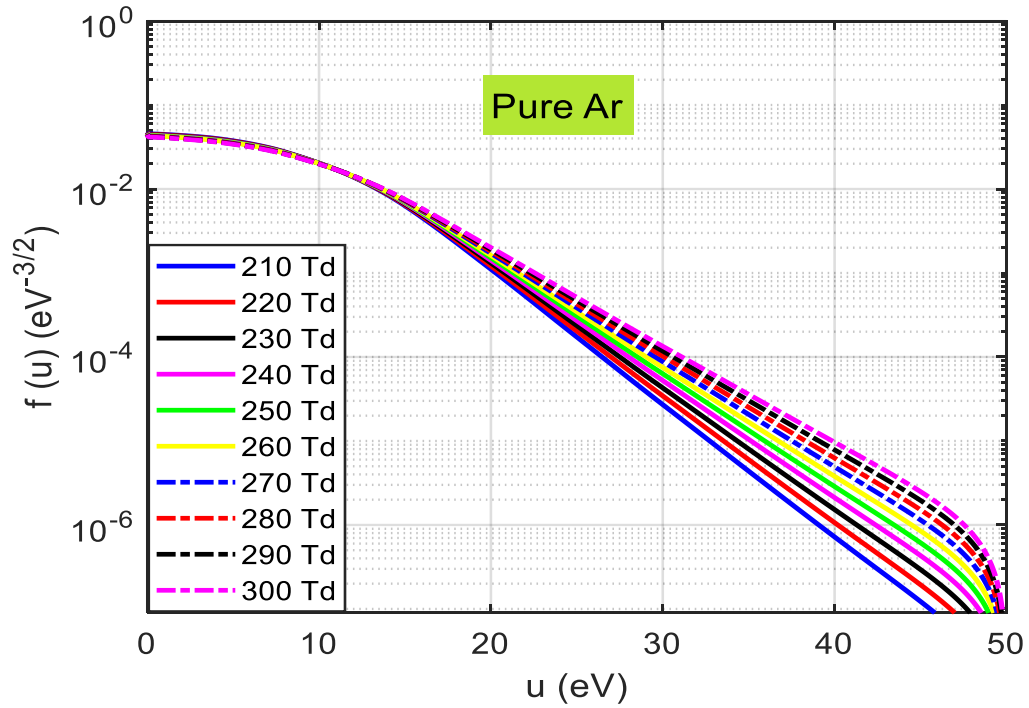
كما تؤدي زيادة E/N الى تداخل منحنيات EEDF بعضها لبعض وابتعادها عن بداية أصل الطاقة نتيجة لاكتساب الالكترونات الباردة الطاقة ومن ثم تنجرف نحو ذيل الطاقة العالية.



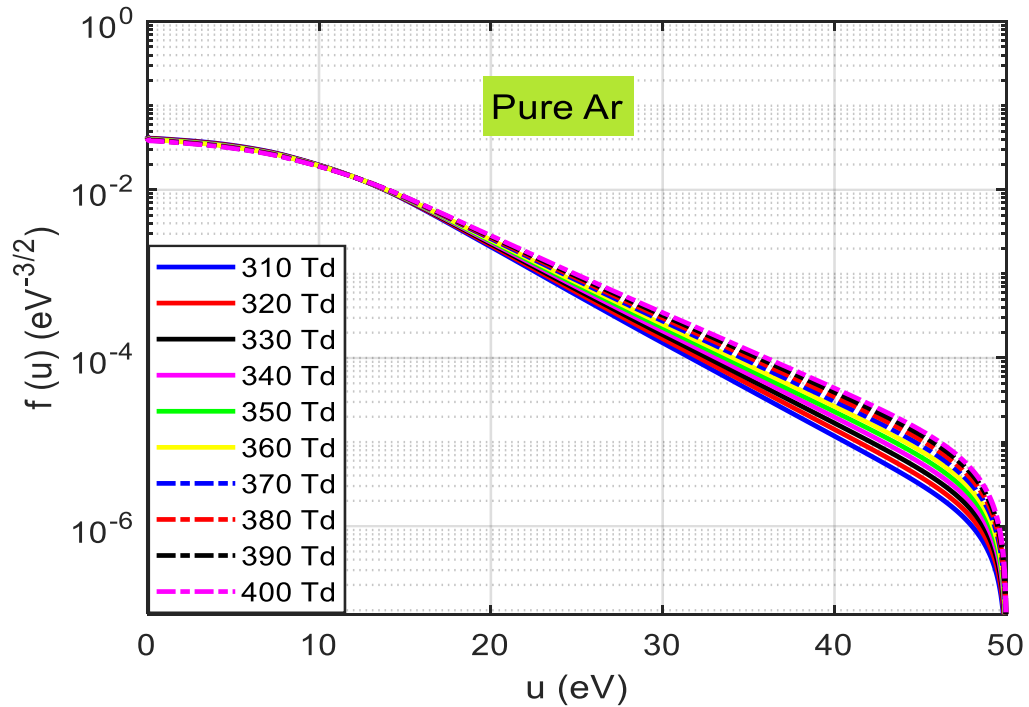
الشكل (3-25) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Ar لمدى E/N (10-100) Td



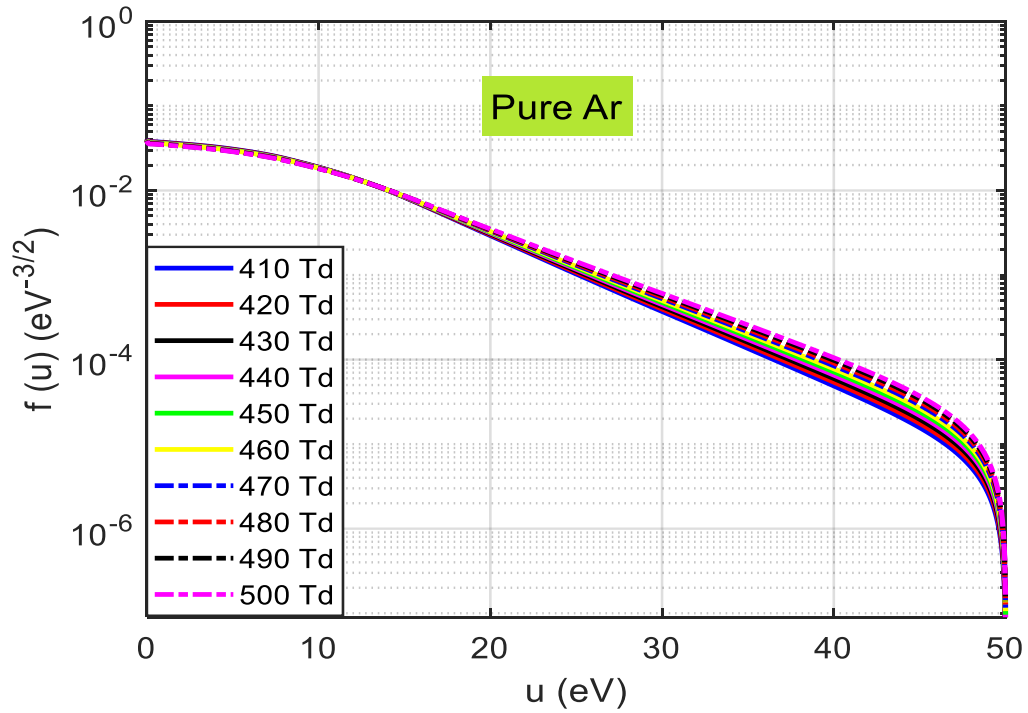
الشكل (3-26) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Ar لمدى E/N (110-200) Td



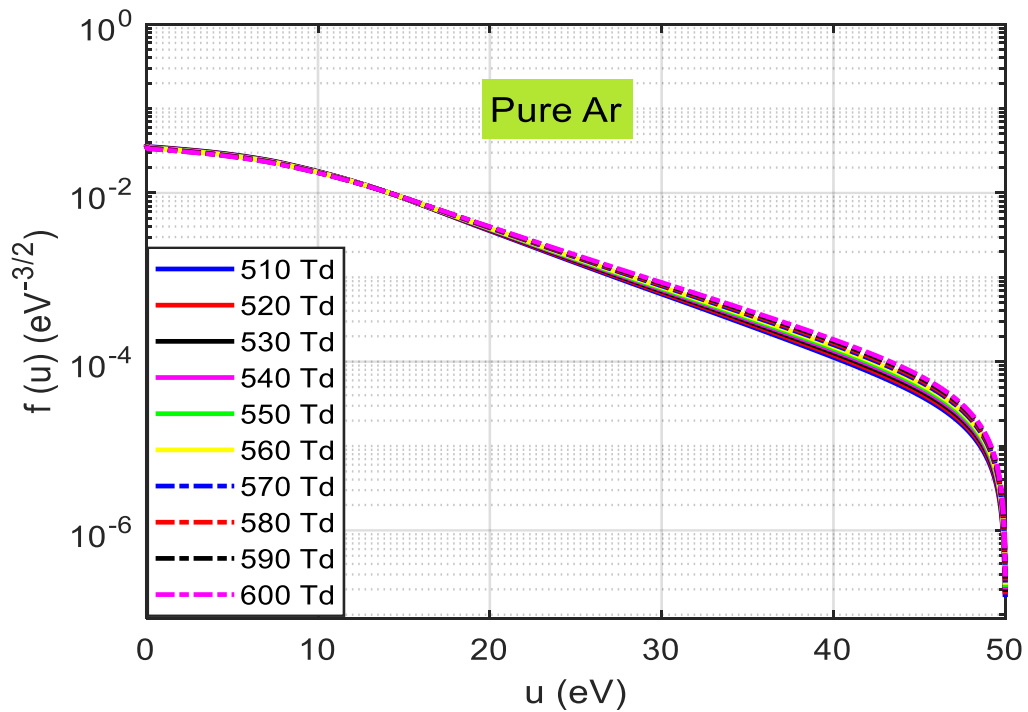
الشكل (3-27) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Ar لمدى $E/N(210-300)$ Td



الشكل (3-28) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Ar لمدى $E/N(310-400)$ Td



الشكل (3-29) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترونون لغاز Ar لمدى E/N (410-500) Td



الشكل (3-30) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترونون لغاز Ar لمدى E/N(510-600)

Td

3-7 دالة توزيع طاقة الالكترين لغاز الكربتون Kr النقي

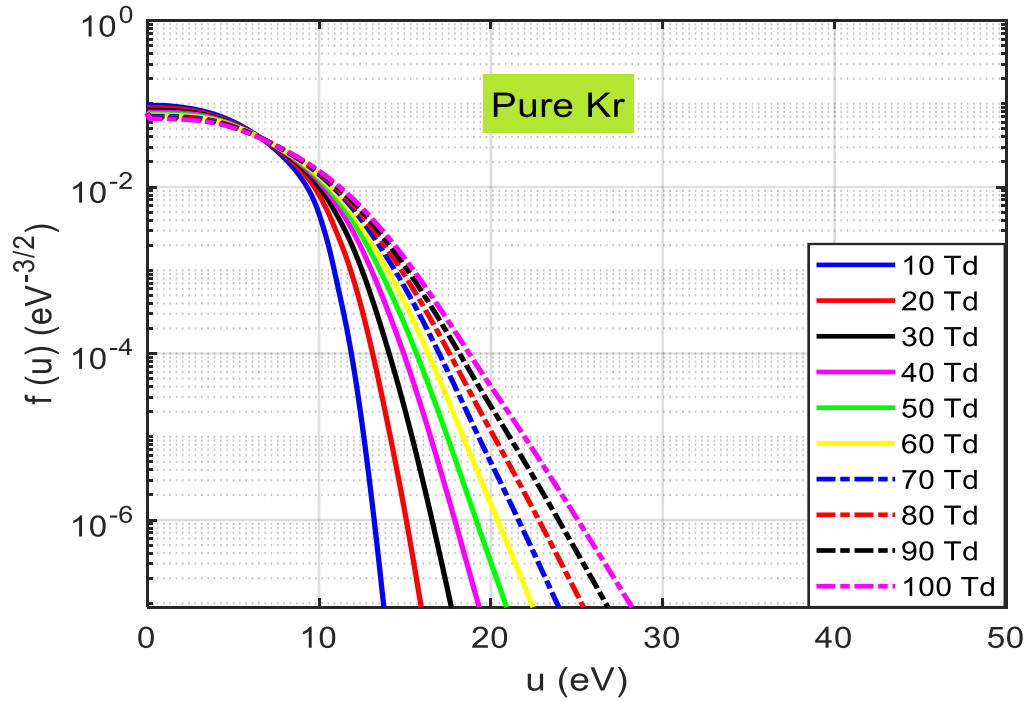
ان تأثير دالة التوزيع الالكتريني EEDF مقابل طاقة الالكترين $u(eV)$ لنسب مختلفة للمجال الكهربائي المختزل $E/N = (10-600) Td$ لغاز الكربتون كما هو مبين في الاشكال (3-31), (3-32), (3-33), (3-34), (3-35), (3-36) .

انه من الواضح ان EEDF تتغير بقوة عن طريق تغيير المعلمة E/N ،

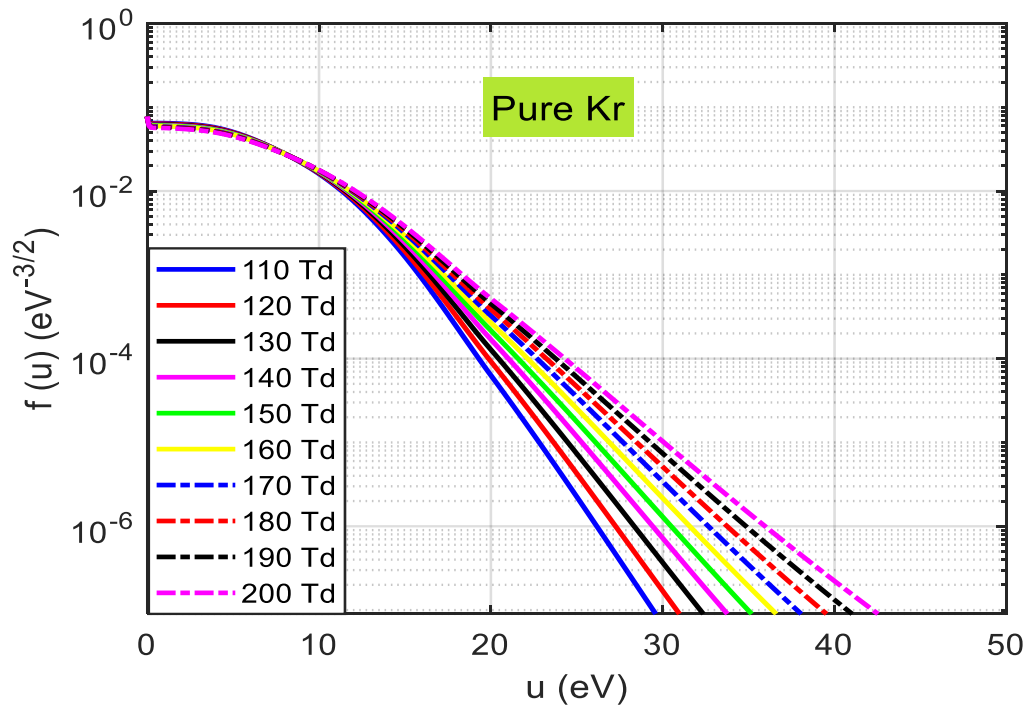
وعند انخفاض معدل طاقة الالكترين، فإن القيمة المنخفضة للمجال الكهربائي المختزل E/N تعطي قيمة اعلى لدالة التوزيع EEDF.

وعند زيادة طاقة الالكترين، نلاحظ انخفاض القيمة القصوى لـ EEDF بزيادة E/N ، من جهة ثانية فإن دالة التوزيع EEDF سوف تتطور وتتجه نحو اليمين نحو ذيل الطاقة العالية بسبب زيادة المجال الكهربائي المختزل.

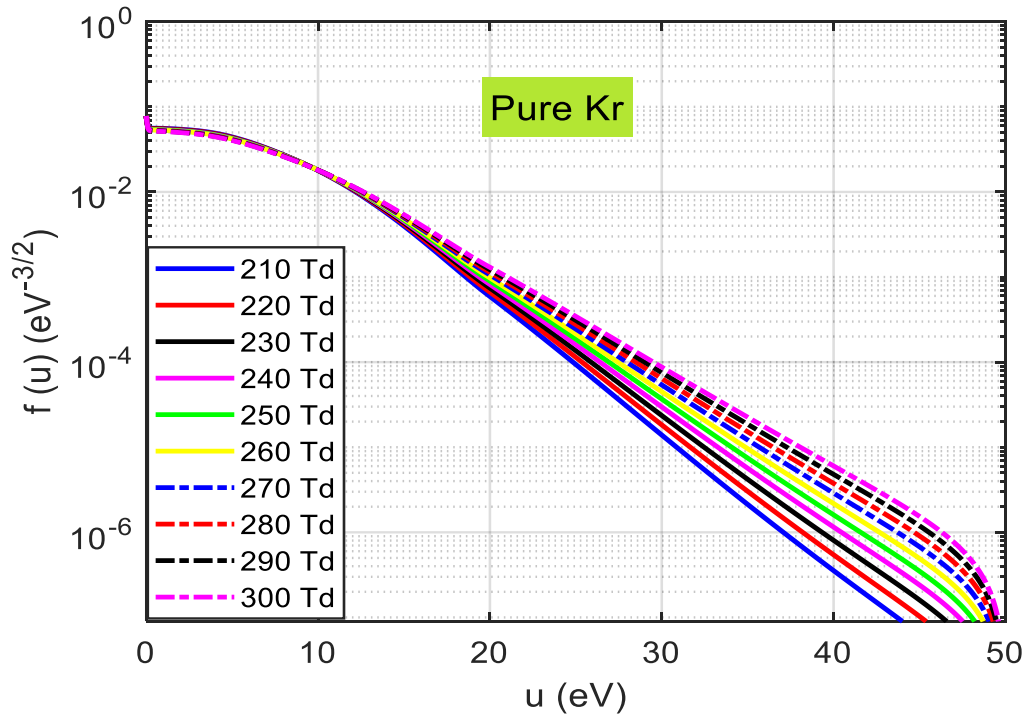
كما ان القيم العالية للمجال الكهربائي المختزل E/N يقود الى توسع منحنيات EEDF باتجاه ذيل الطاقة العالي ويعزى هذا السلوك الى ان المجال الكهربائي يقوم بتسخين الالكترينات فتزداد طاقتها تبعا لذلك. ولذلك فإن معدل طاقة الالكترين تعتمد على نسبة المجال الكهربائي إضافة الى معلمات نقل الالكترين الأخرى.



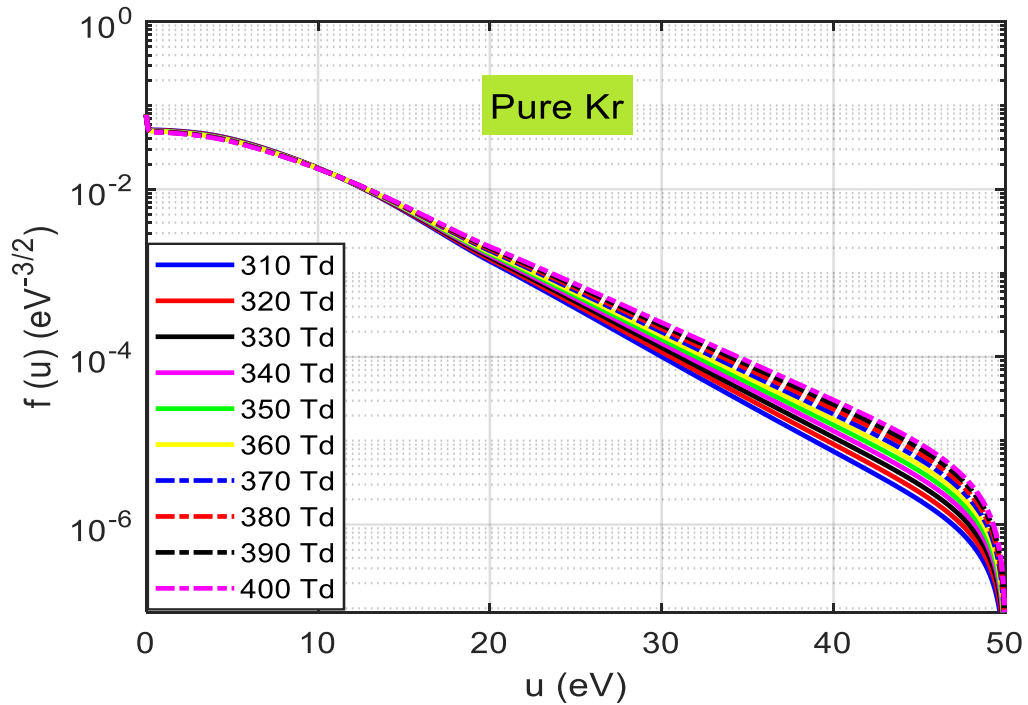
الشكل (3-31) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Kr لمدى E/N (10-100) Td



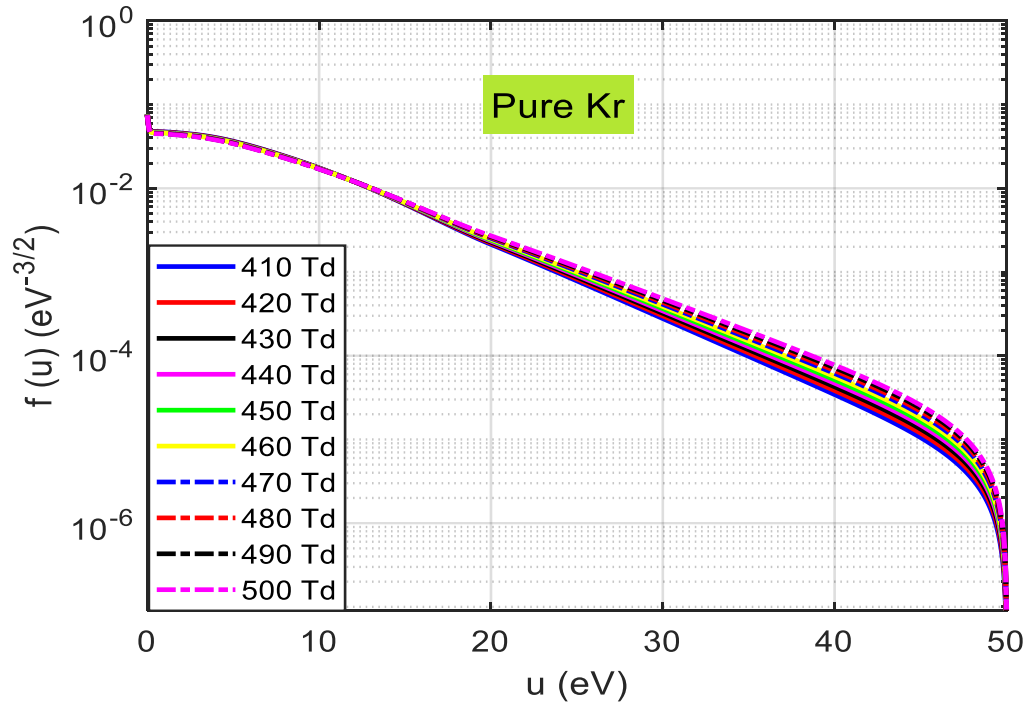
الشكل (3-32) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Kr لمدى E/N (110-200) Td



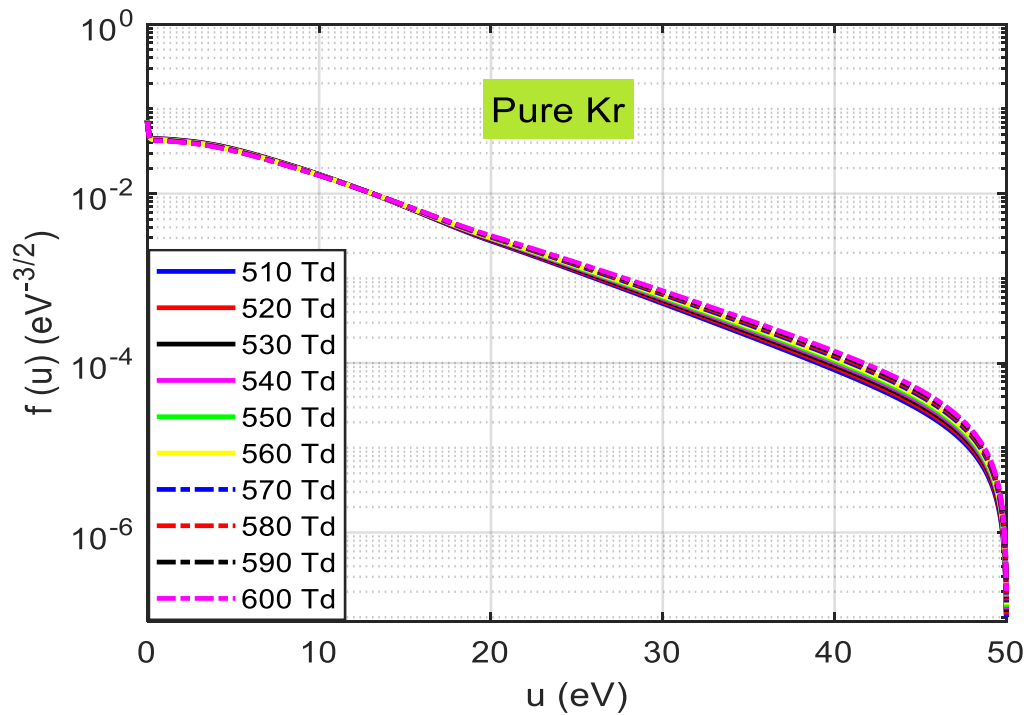
الشكل (3-33) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Kr لمدى E/N(210-300) Td



الشكل (3-34) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Kr لمدى E/N(310-400) Td



الشكل (3-35) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Kr لمدى $E/N(410-500)$ Td



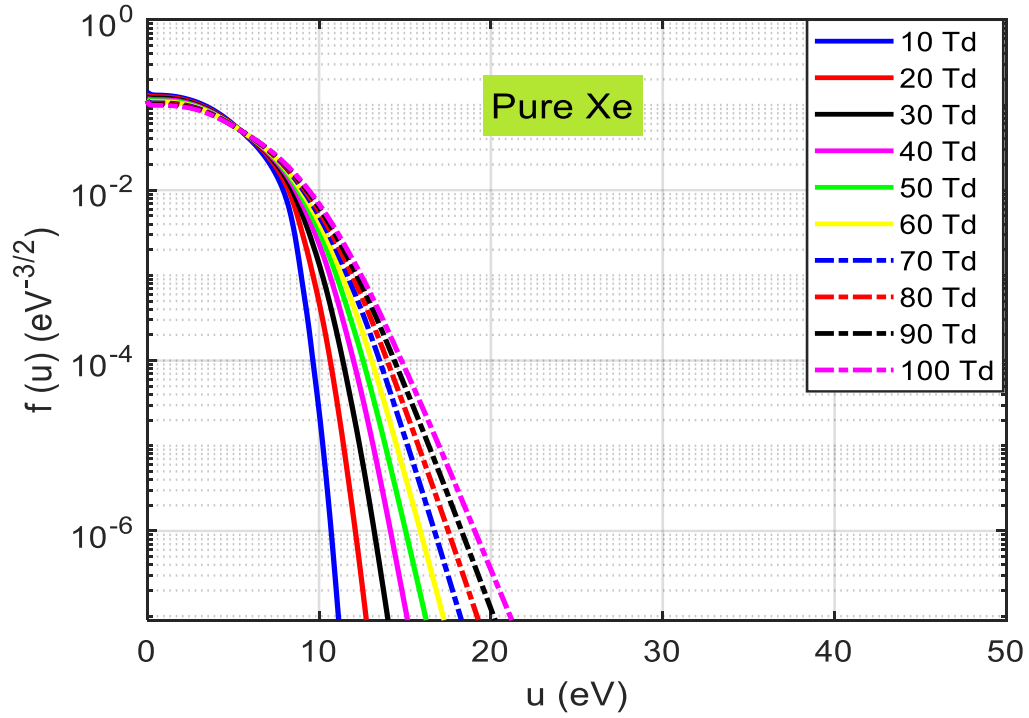
الشكل (3-36) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Kr لمدى $E/N(510-600)$ Td

3-8 دالة توزيع طاقة الالكترين لغاز الزينون Xe النقي

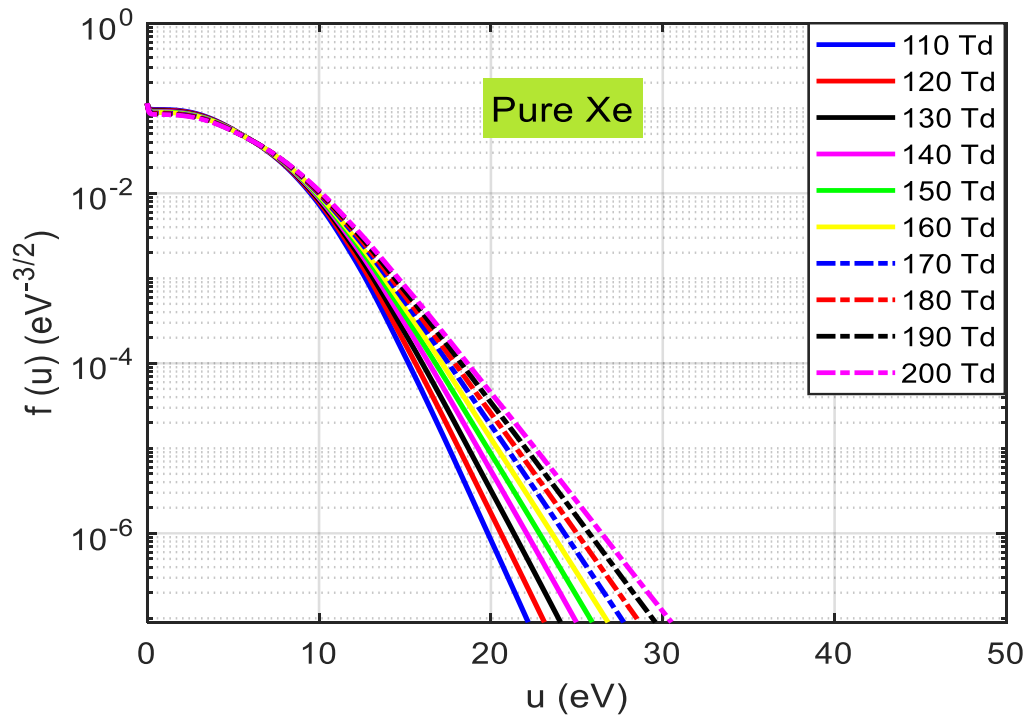
دور تأثير المجال الكهربائي المختزل E/N على دالة التوزيع EEDF مقابل طاقة الالكترين u لغاز الزينون Xe النقي كما هو واضح في الاشكال (3-39), (3-40), (3-41), (3-42) (3-38) اذ يؤدي E/N دوراً مهماً في تحديد شكل وموقع EEDF عن نقطة بداية الطاقة.

فعند قيم E/N القليلة، تكون منحنيات EEDF في اعلى قيمة لها عند u القليلة، ثم تبدأ بالانخفاض مع زيادة u . ومن جهة ثانية فأن منحنيات EEDF تكون أقرب الى أصل الطاقة والذي يعزى الى اكتساب الالكترينات الطاقة القليلة عند قيم E/N القليلة.

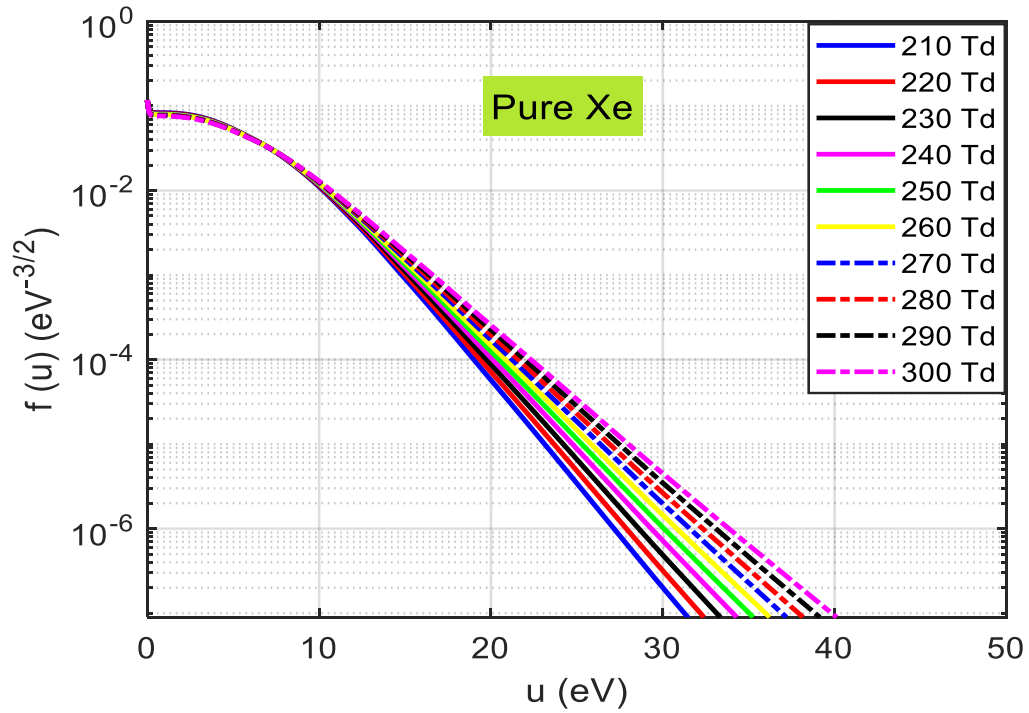
وعند زيادة E/N ، فأن منحنيات EEDF تتداخل أكثر بعضها لبعض وفي الوقت نفسه تبتعد عن نقطة أصل الطاقة باتجاه ذيل الطاقة العالي نتيجة لاكتساب الالكترينات الطاقة عن طريق زيادة المجال الكهربائي المختزل E/N .



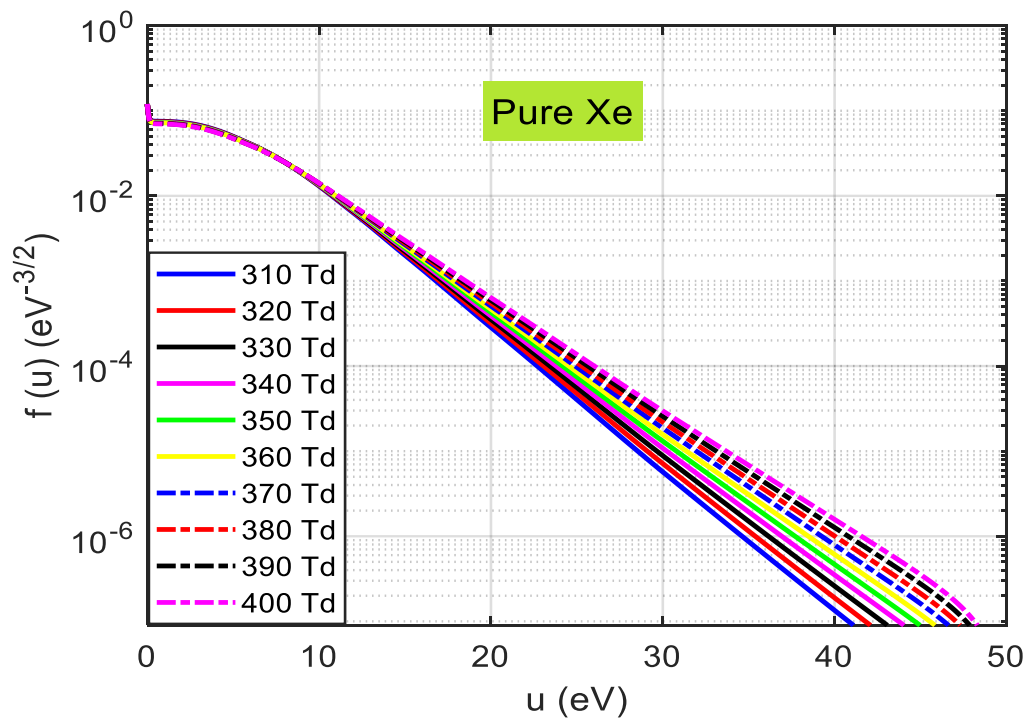
الشكل (3-37) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Xe لمدى E/N (10-100) Td



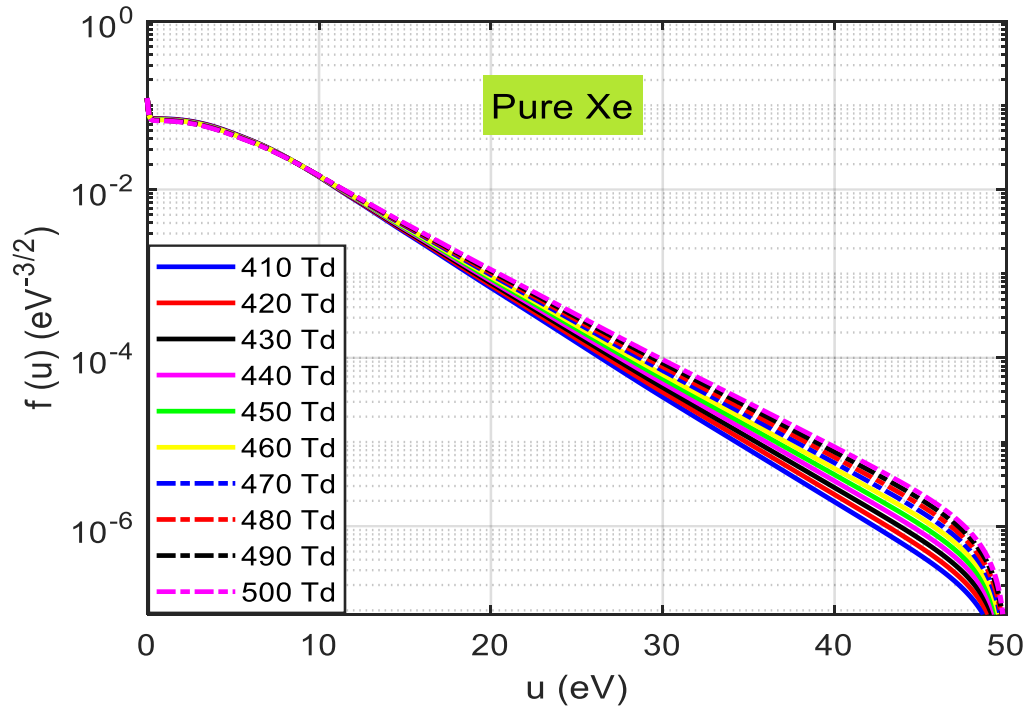
الشكل (3-38) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون لغاز Xe لمدى E/N (110-200) Td



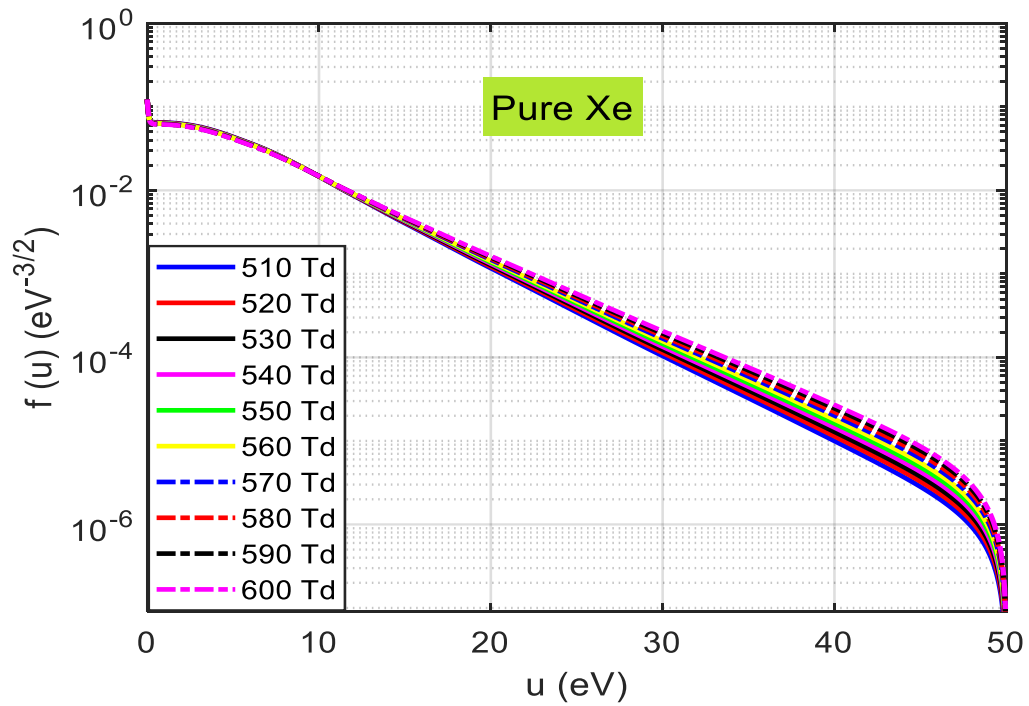
الشكل (3-39) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترونون لغاز Xe لمدى $E/N(210-300)$ Td



الشكل (3-40) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترونون لغاز Xe لمدى $E/N(310-400)$ Td



الشكل (3-41) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Xe لمدى $E/N(410-500)$ Td



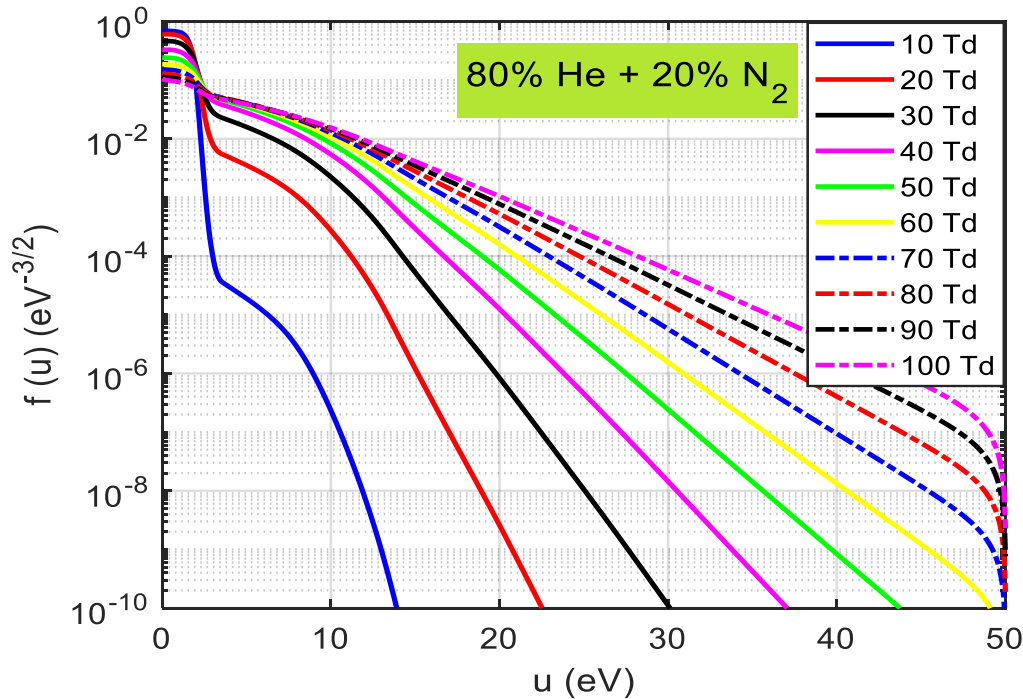
الشكل (3-42) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون لغاز Xe لمدى $E/N(510-600)$ Td

3-9 دالة توزيع طاقة الالكترن لخليط (He+N₂) بتركيز ثابتة ولمدى متغير من E/N

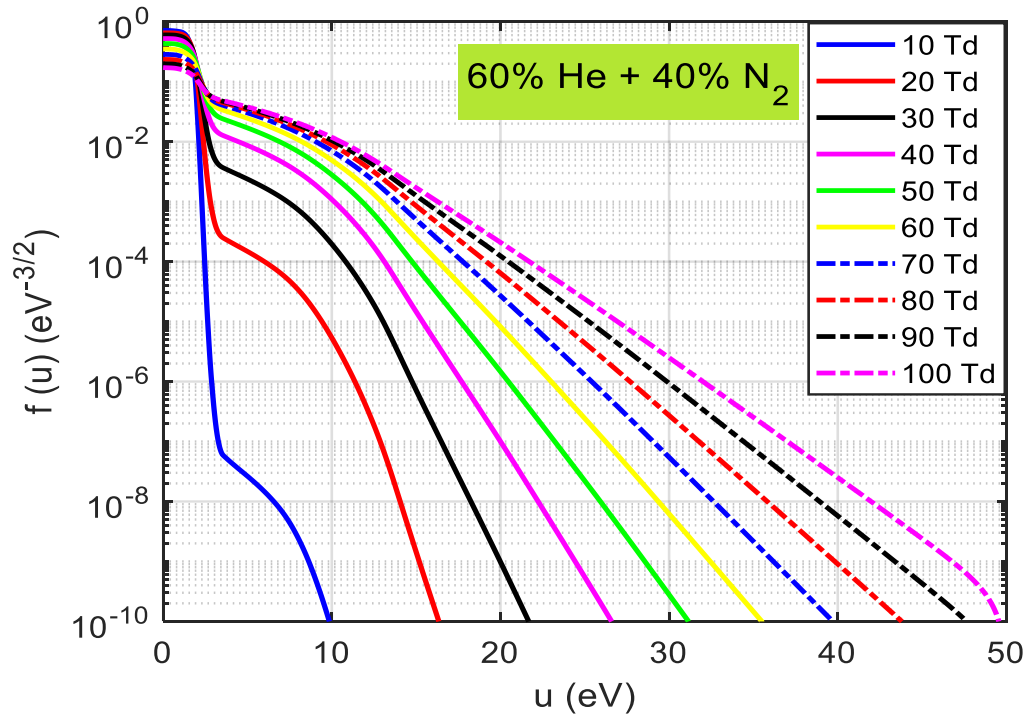
تبين الاشكال (3-43), (3-44), (3-45), (3-46), (3-47) تأثير إضافة غاز النيتروجين N₂ الى غاز الهيليوم He على دالة التوزيع الالكتروني f(u) وبتأثير مجالات كهربائية مختزلة مختلفة E/N = (10-100) Td في ضغط 760 Torr ودرجة الحرارة 273K وتركيز الالكترن $1 \times 10^9 \text{cm}^{-3}$ ، ومن الواضح ان EEDF تتأثر بتغيير المعلمة E/N ، اذ تؤدي زيادة E/N الى توسع EEDF باتجاه معدل الطاقة العالية.

نلاحظ انه حتى الكميات الصغيرة المضافة من الغاز الجزيئي N₂ لها تأثير كبير على EEDF ، وعند زيادة كمية الغاز الجزيئي N₂ في الخليط (He+ N₂) فإن EEDF سوف تنخفض بصورة سريعة وتميل الى الاقتراب الى الطاقات الواطئة، ويمكن تفسير ذلك هو لامتلاك الهيليوم He مقطعاً عرضياً صغيراً مقارنة بالنتروجين N₂ لذا فإن زيادة عدد ذرات He في الخليط يقلل من تكرار تصادم الالكترن ويوفر وقتاً كافياً لتعجيل الالكترونات وزيادة طاقتها الحركية نتيجة لتطبيق المجال الكهربائي.

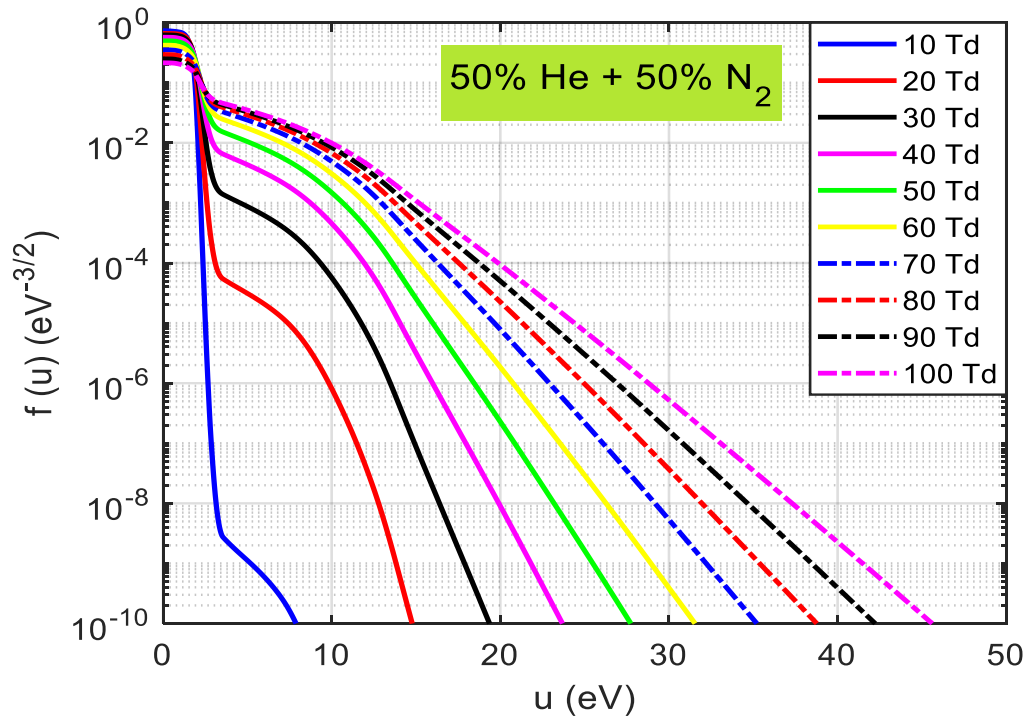
نلاحظ ان التوزيع يكون غير ماكسويلي باستثناء الخلائط التي يكون فيها تركيز النتروجين اعلى من تركيز الهيليوم والمجال المختزل قليل (10Td)، اذ تستنزف الالكترونات طاقتها في u القليلة نتيجة لزيادة المقطع العرضي للتصادم وزيادة عدد التصادمات غير المرنة وبالتالي تسترخي EEDF الى ماكسويلي. والمبين في الشكلين (3-46)،(3-47) .



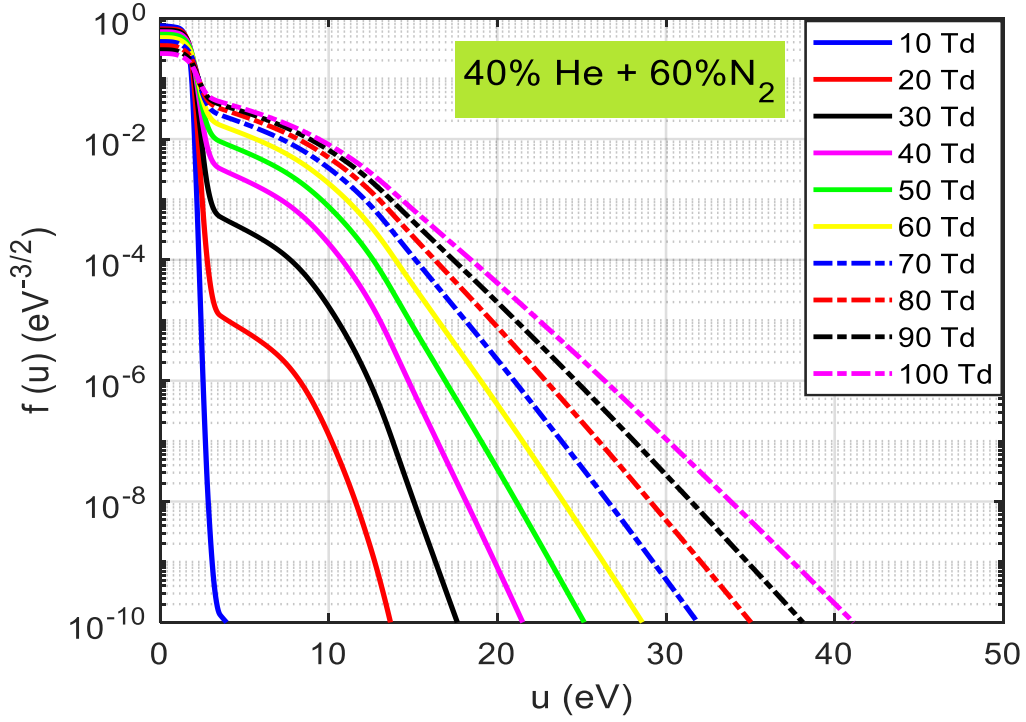
الشكل (3-43) دالة التوزيع f(u) مقابل طاقة الالكترن u(eV) لخليط 80% He + 20% N₂



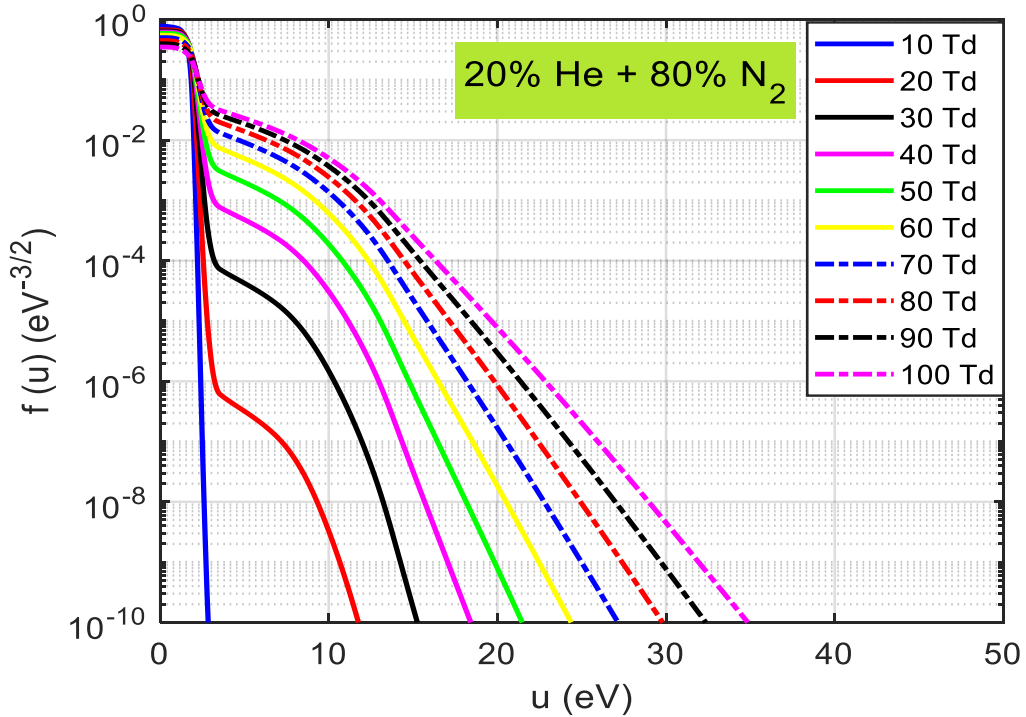
الشكل (3-44) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط $60\% \text{ He} + 40\% \text{ N}_2$



الشكل (3-45) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط $50\% \text{ He} + 50\% \text{ N}_2$



الشكل (3-46) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(eV)$ لخليط $40\% He + 60\% N_2$



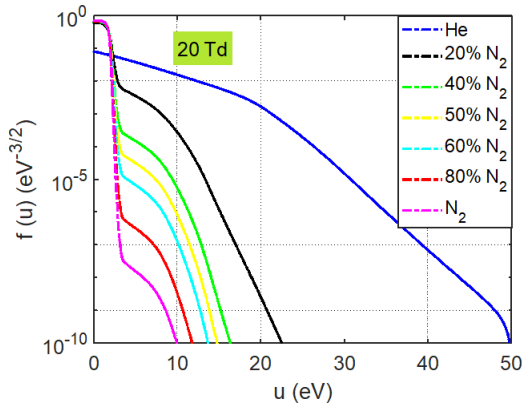
الشكل (3-47) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(eV)$ لخليط $20\% He + 80\% N_2$

3-10 دالة توزيع طاقة الالكترين لخليط (He+N₂) بتراكيز مختلفة وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N

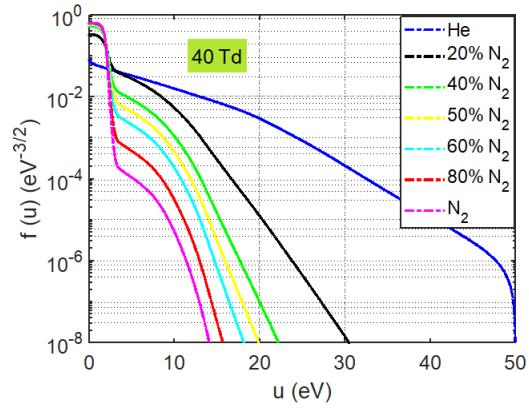
يمثل الشكل (a,b,c,d,e,f) (3-48) دالة التوزيع الالكتريني $f(u)$ مقابل طاقة الالكترين $u(eV)$ لخليط (He+N₂) بتراكيز مختلفة ولقيم معينة من المجال الكهربائي المختزل E/N.

يبين الشكل تأثير المجال الكهربائي المختزل المعين على التراكيز المختلفة لخليط (He+N₂)، حيث يؤدي تقليل تركيز النتروجين في الخليط الى ابتعاد منحنيات EEDF نحو ذيل الطاقة العالية، وذلك لنقصان المقطع العرضي للتصادم وبالتالي تقليل التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع ذرات N₂.

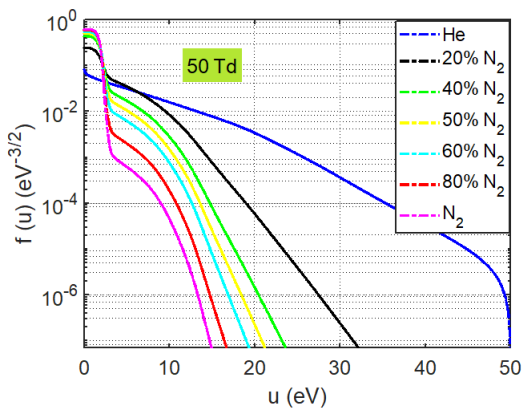
من جهة ثانية فإن زيادة المجال الكهربائي المختزل E/N تؤدي الى رفع منحنيات EEDF وابتعادها أكثر باتجاه معدل الطاقة العالي نتيجة لكسب الالكترينات الطاقة من المجال الكهربائي المختزل E/N.



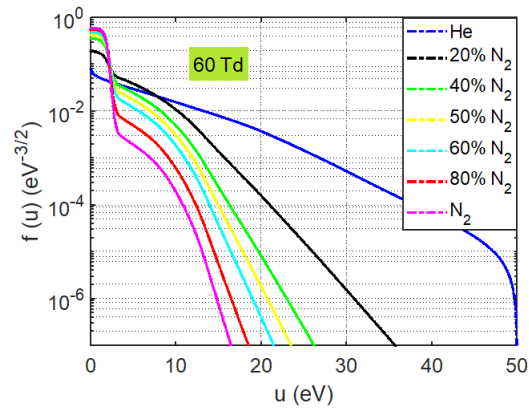
a



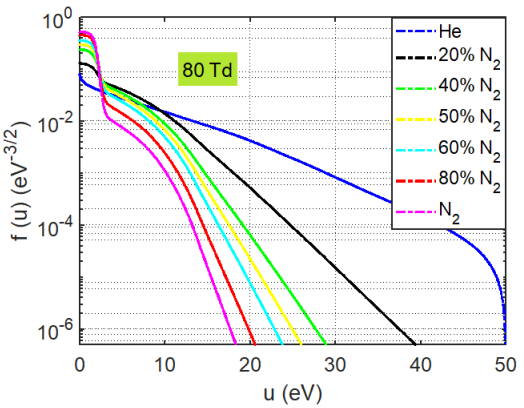
b



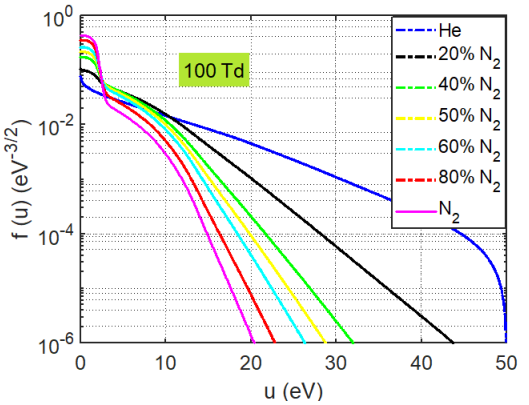
c



d



e



f

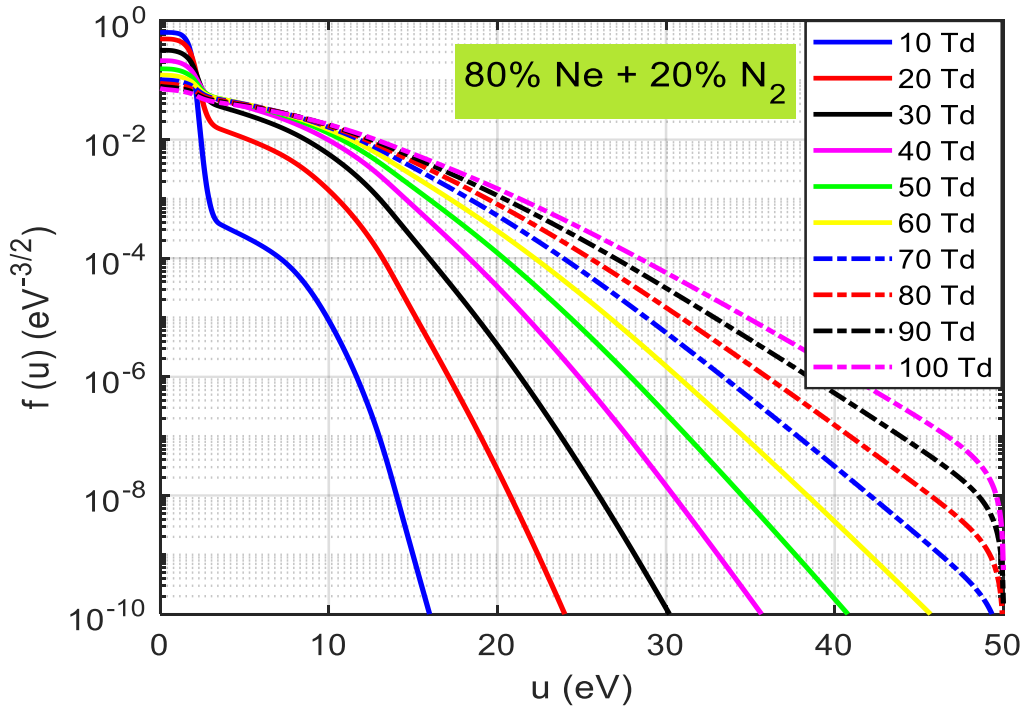
الشكل (3-48) دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الإلكترون u لخليط $(\text{He}+\text{N}_2)$

3-11 دالة توزيع طاقة الالكترن لخليط (Ne+N₂) بتركيز ثابتة ولمدى متغير من E/N

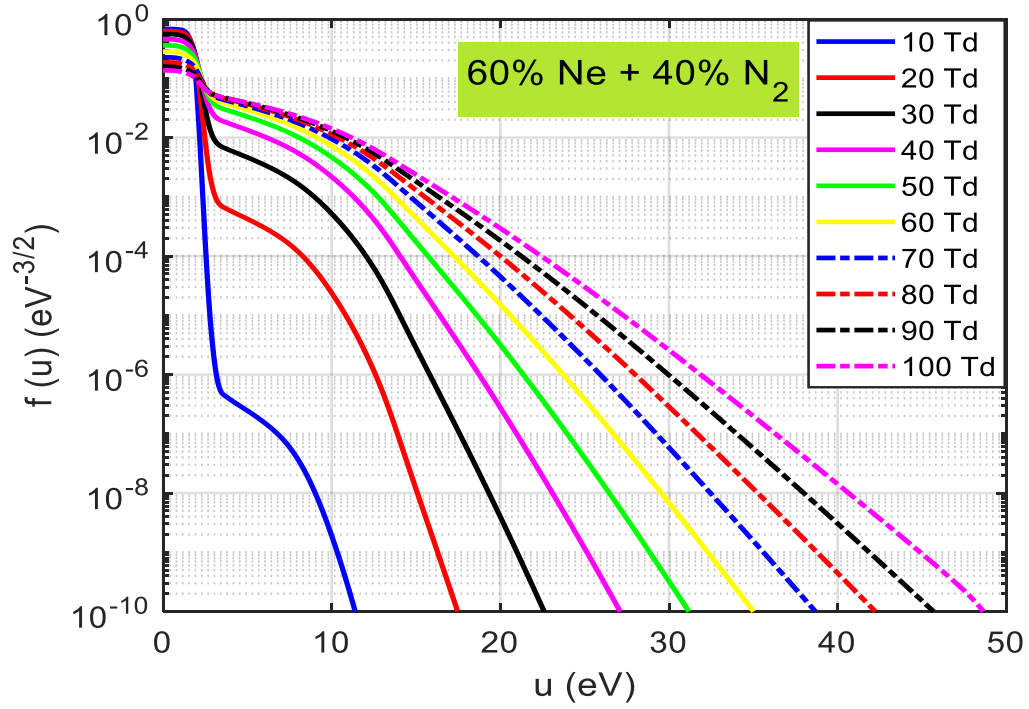
دالة التوزيع EEDF مقابل طاقة الالكترن u لخليط (Ne+N₂) وبتركيز مختلفة لكليهما ولمدى (10-100) Td موضحة في الاشكال (3-49), (3-50), (3-51), (3-52), (3-53) في حالة التراكيز القليلة للنتروجين في الخليط (Ne+N₂)، فأن منحنيات EEDF لها ذيل واسع يتجه نحو معدل الطاقة العالية مع زيادة E/N.

وعند زيادة تركيز N₂ في الخليط (Ne+N₂)، فأن منحنيات EEDF تقترب نحو أصل مجال الطاقة وهبوط هذه المنحنيات بشكل سريع مع زيادة تركيز النتروجين في الخليط المذكور، الامر الذي يعني ان التصادمات غير المرنة مع النتروجين N₂ في عتبات الطاقة المنخفضة هي المهيمنة في هذه المنطقة..

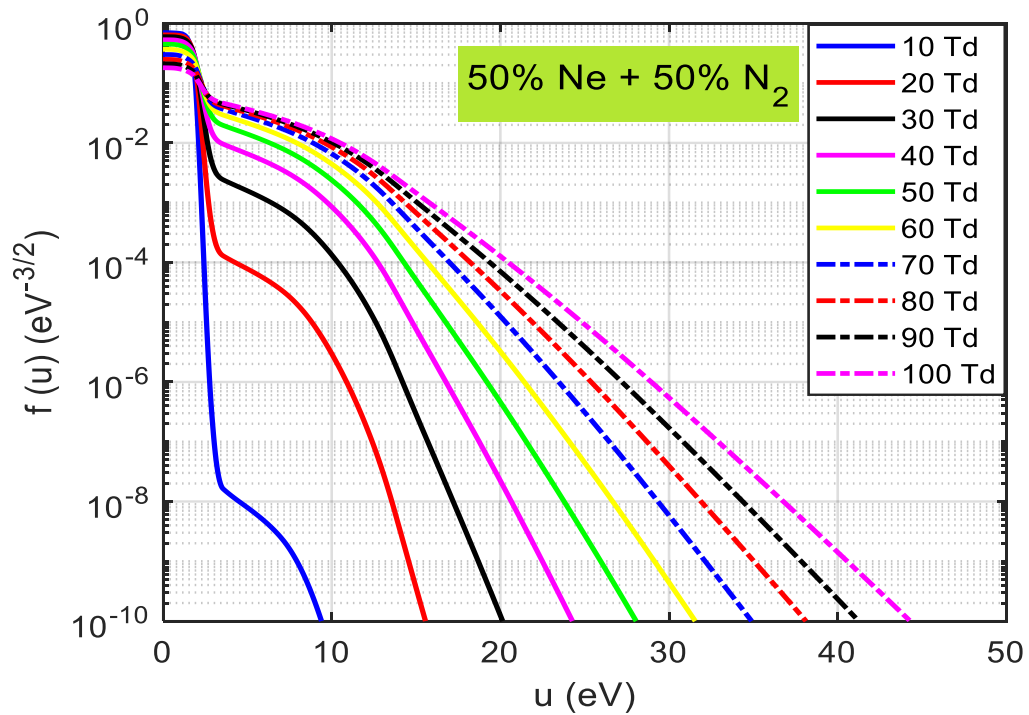
تبين الاشكال أدناه ان التوزيع يكون غير ماكسويلي لجميع الخلائط ولقيم E/N المختلفة ما عدا الخليط (20% Ne + 80% N₂) عند 10Td فأن التوزيع يكون ماكسويلي والذي يعزى للأسباب المذكورة سابقا وكما مبين في الشكل (3-53).



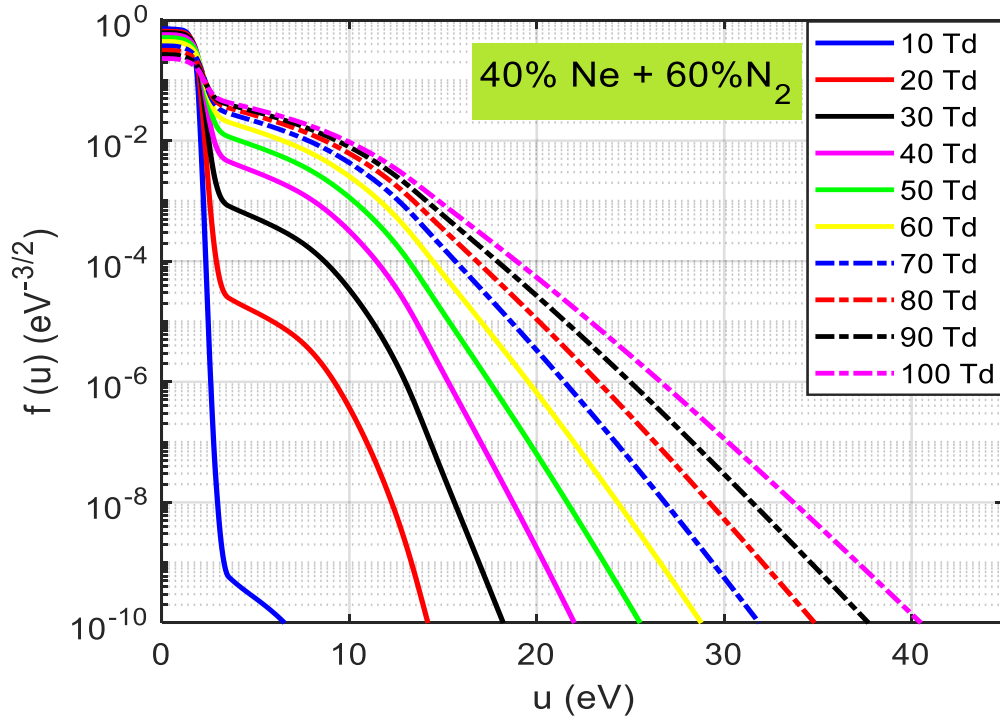
الشكل (3-49) دالة التوزيع f(u) مقابل طاقة الالكترن u(eV) لخليط 80% Ne + 20% N₂



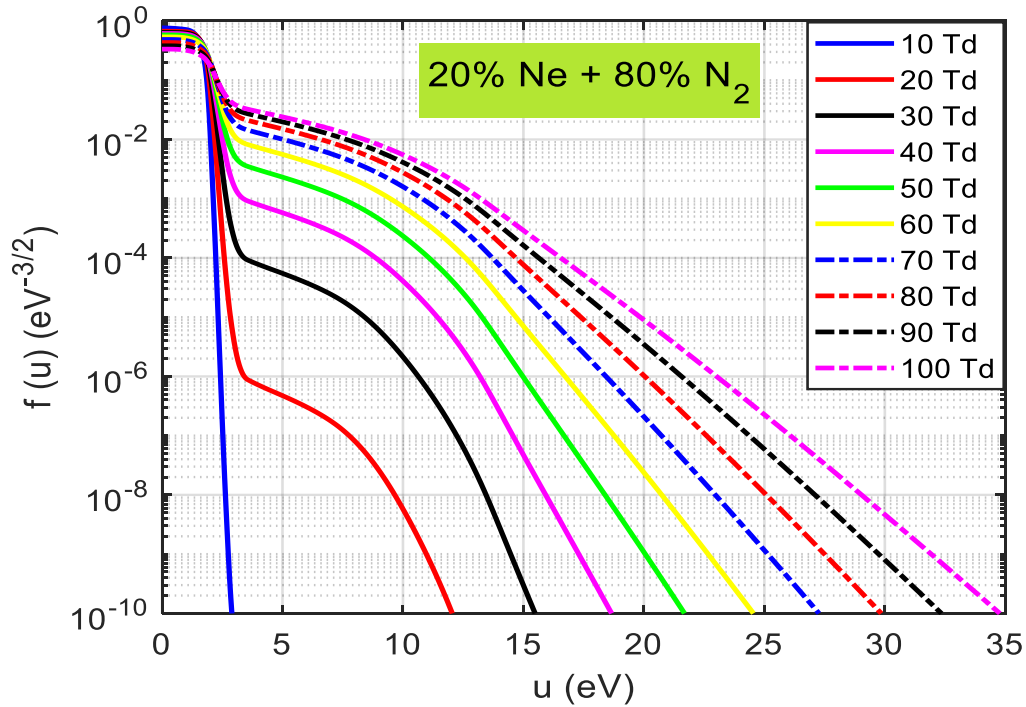
الشكل (3-50) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 60% Ne + 40% N₂



الشكل (3-51) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 50% Ne + 50% N₂



الشكل (3-52) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط 40% Ne + 60% N₂



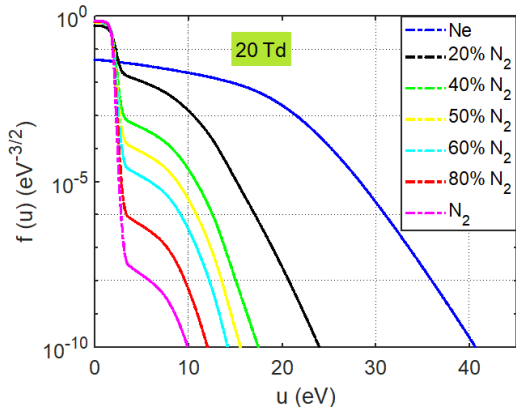
الشكل (3-53) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط 20% Ne + 80% N₂

3-12 دالة توزيع طاقة الالكترين لخليط (He+N₂) بتراكيز مختلفة وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N

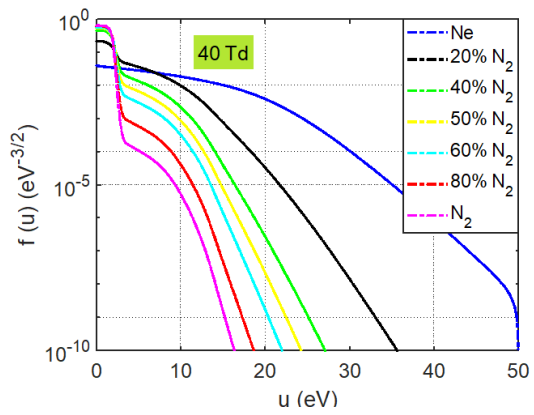
في الشكل (a,b,c,d,e,f) (3-54) تظهر دالة التوزيع الالكتريني $f(u)$ مقابل طاقة الالكترين u لخليط (Ne+N₂) بتراكيز مختلفة ولقيم معينة للمجال الكهربائي المختزل E/N.

عند خفض تركيز النتروجين في الخليط (Ne+N₂)، فإن EEDF لها ذيل واسع نحو معدل الطاقة العالي، واما عند زيادة تركيز النتروجين في الخليط، فنرى ان EEDF تنخفض سريعا نحو ذيل الطاقة الواطئة والذي يعود الى زيادة التصادمات غير المرنة التي تحدث بزيادة المقطع العرضي للتصادم.

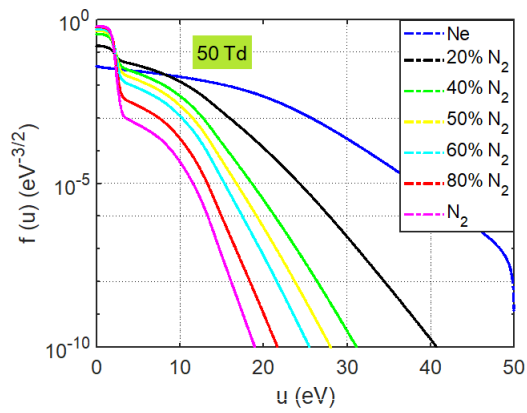
واما تأثير المجال الكهربائي المختزل على EEDF، فإن زيادة E/N تؤدي الى كسب الالكترينات الطاقة ومن ثم سوف تتجه منحنيات EEDF نحو ذيل الطاقة العالية.



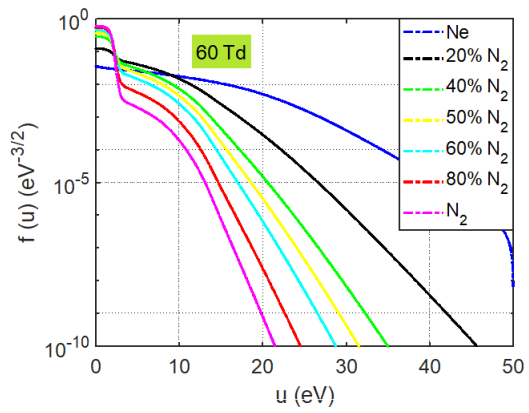
a



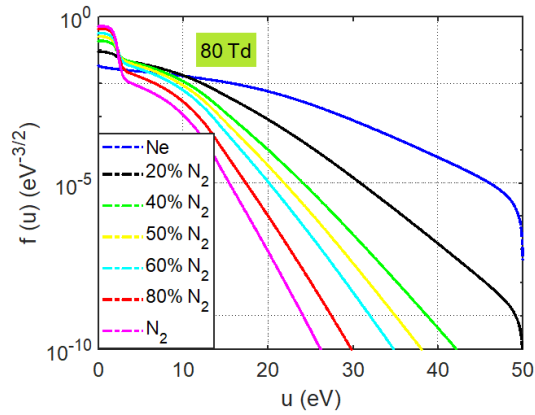
b



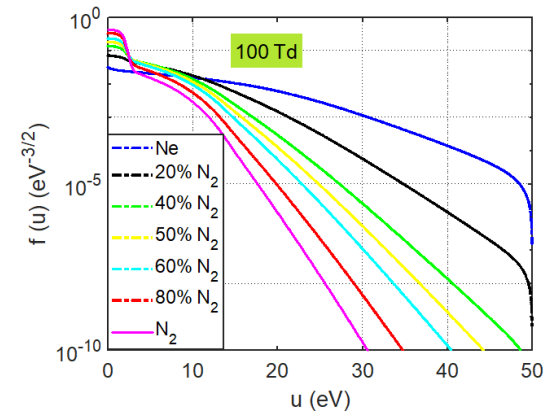
c



d



e



f

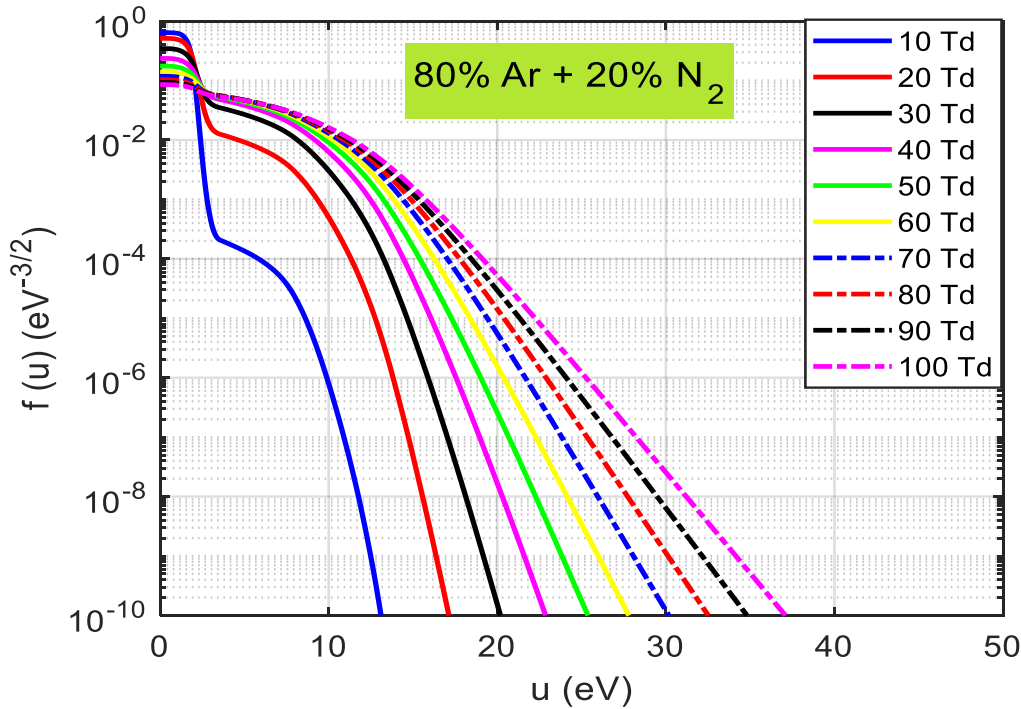
الشكل (3-54) دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الإلكترون u لخليط $(Ne+N_2)$

3-13 دالة توزيع طاقة الالكترن لخليط (Ar+N₂) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N

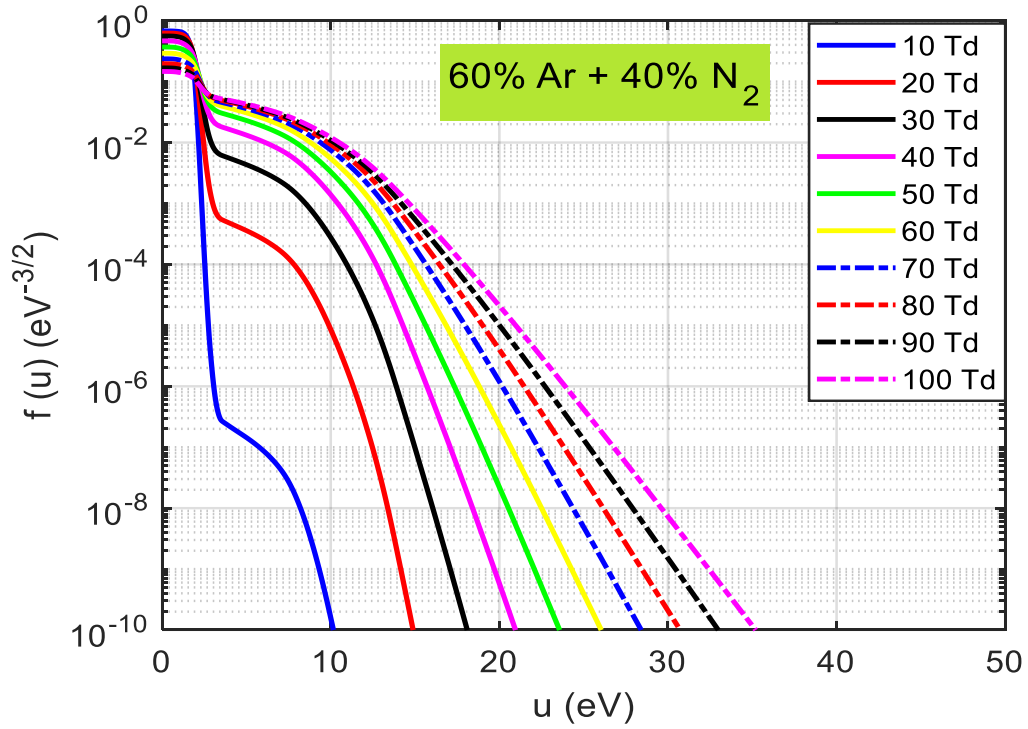
توضح الاشكال (3-55), (3-56), (3-57), (3-58), (3-59) اعتمادية EEDF على طاقة الالكترن u لخليط (Ar+N₂) وفي قيم مختلفة للمجال المختزل E/N، وبنفس الظروف المذكورة سابقاً.

تتأثر EEDF كما ذكر سابقاً بالمجال الكهربائي المختزل E/N وبالتالي سوف تتأثر معاملات النقل نتيجة لذلك. من جهة ثانية تؤدي زيادة تركيز النتروجين في الخليط (Ar+N₂) الى تقارب منحنيات EEDF نحو معدل الطاقة الواطئ وهبوط سريع لهذه المنحنيات عند u القليلة ويعود ذلك الى زيادة التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع جزيئات N₂، لذا فإن EEDF تكون اعلى في u الأقل.

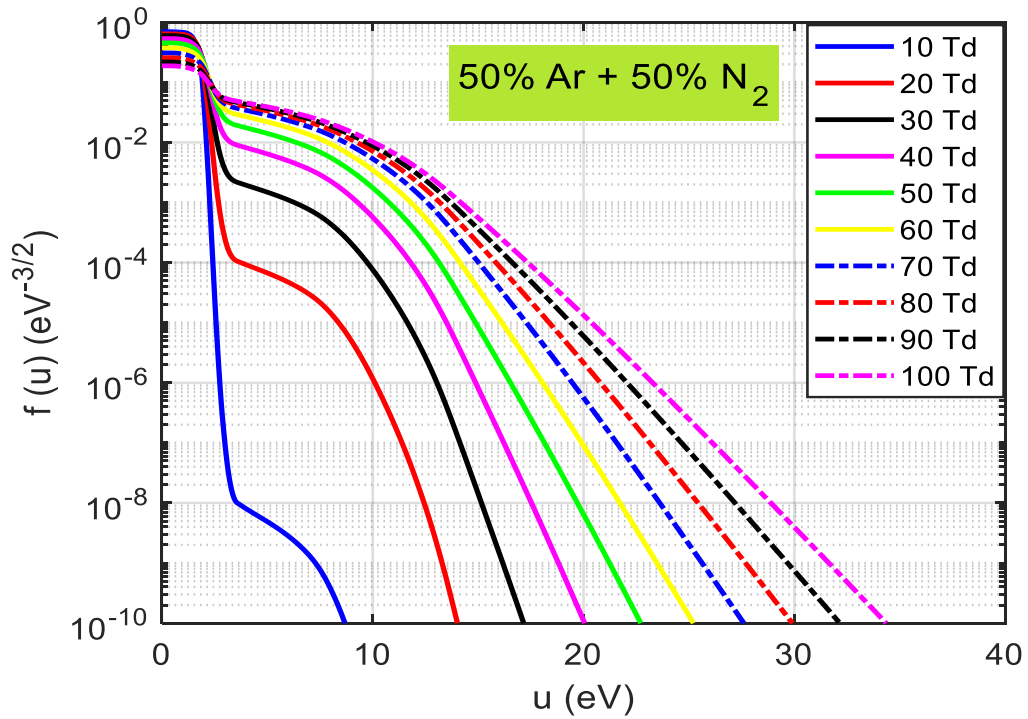
بصورة عامة التوزيع يكون غير ماكسويلي باستثناء حالة واحدة يكون فيها التوزيع ماكسويلي عندما يصبح تركيز النتروجين عالياً (80% N₂) والمجال المختزل قليلاً (10Td) والموضح في الشكل (3-59).



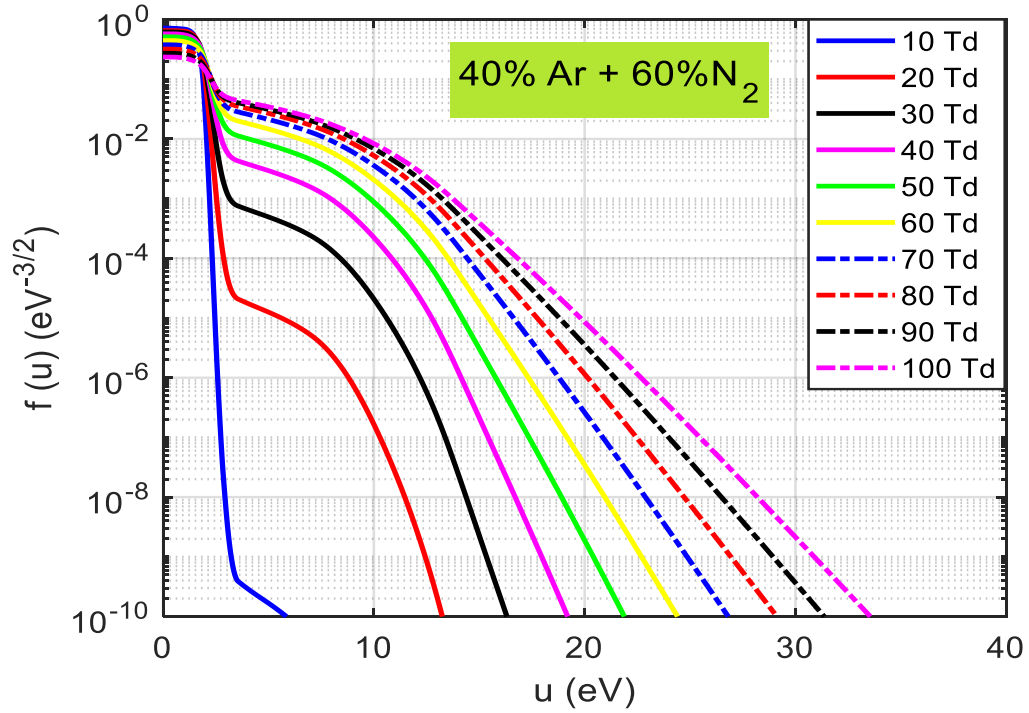
الشكل (3-55) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن u (eV) لخليط 80% Ar + 20% N₂



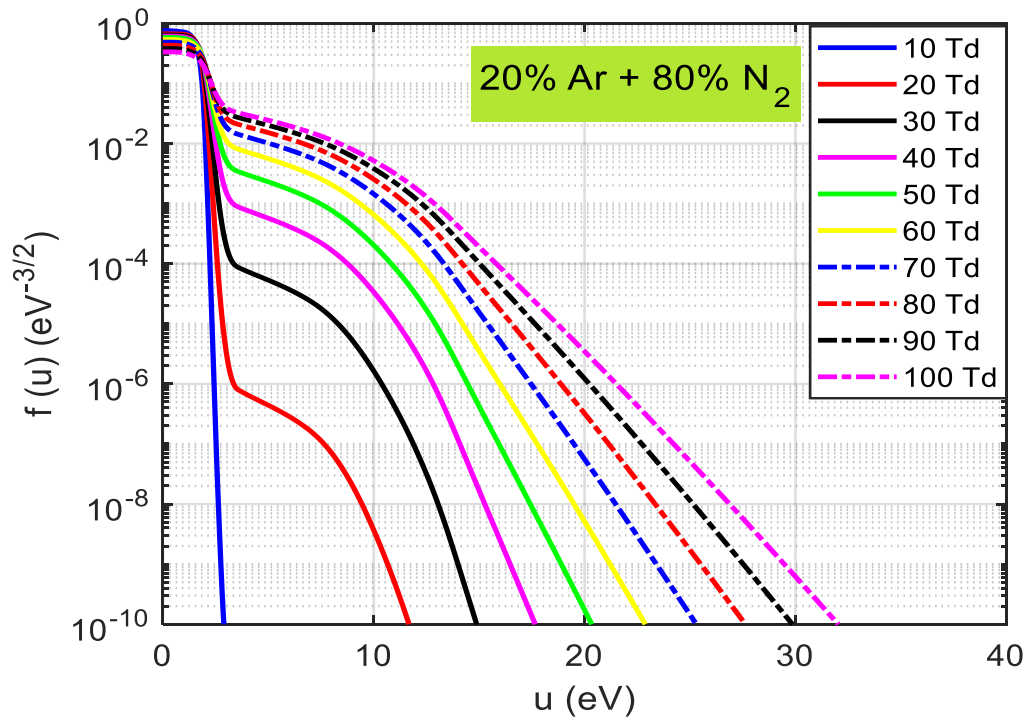
الشكل (3-56) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط 60% Ar + 40% N₂



الشكل (3-57) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط 50% Ar + 50% N₂



الشكل (3-58) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط $40\% Ar + 60\% N_2$

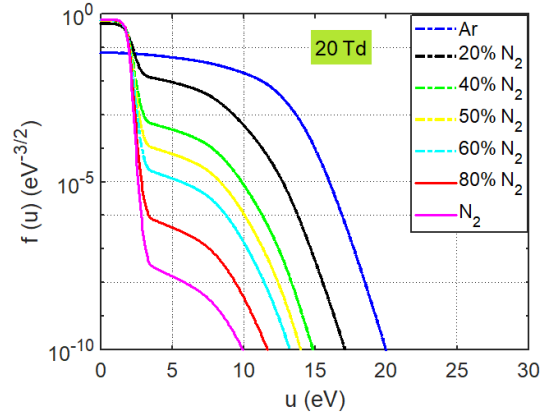


الشكل (3-59) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(eV)$ لخليط $20\% Ar + 80\% N_2$

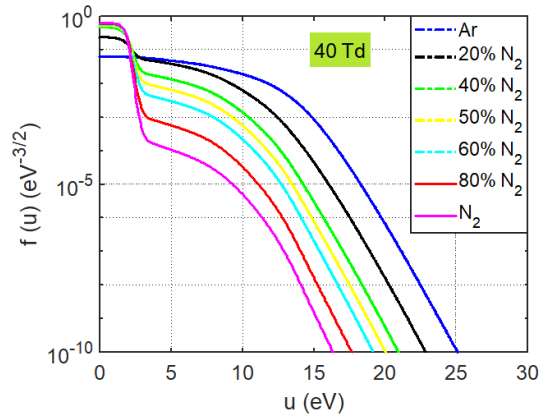
(3-14) دالة توزيع طاقة الالكترتون لخليط (Ar+N₂) بتراكيز مختلفة وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N

يوضح الشكل (3-60) دالة توزيع الالكترونات مقابل طاقة الالكترتون u لخليط (Ar+N₂) بتراكيز مختلفة ولقيم معينة من E/N، وانه من الواضح ان EEDF تتأثر كثيرا بتغيير تركيز النيتروجين في الخليط من جهة وتغيير المجال الكهربائي المختزل E/N من جهة ثانية. اذ يؤدي تقليل تركيز النيتروجين في الخليط الى رفع ذيل EEDF وابتعادها عن أصل مجال الطاقة باتجاه معدل الطاقة العالي.

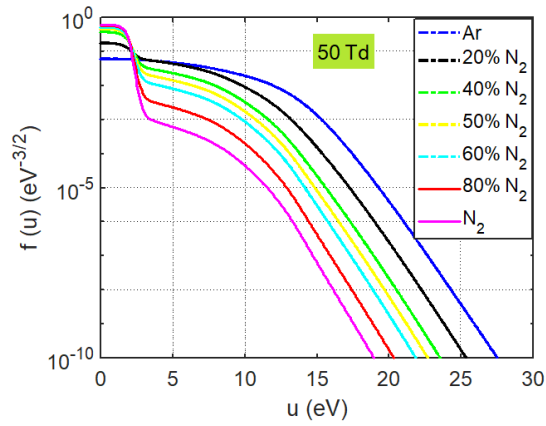
واما عند زيادة E/N، فإن الالكترونات الباردة سوف تكتسب الطاقة وبالتالي تتجه نحو معدل الطاقة العالي.



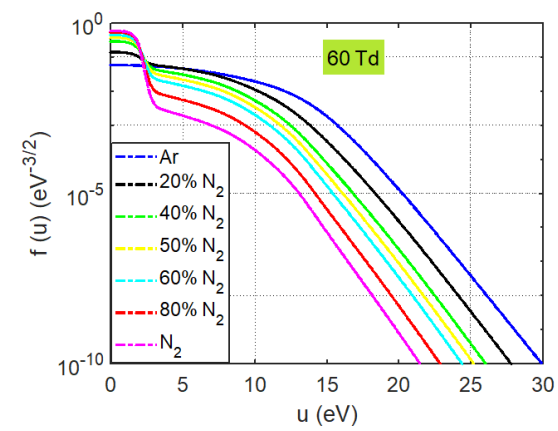
a



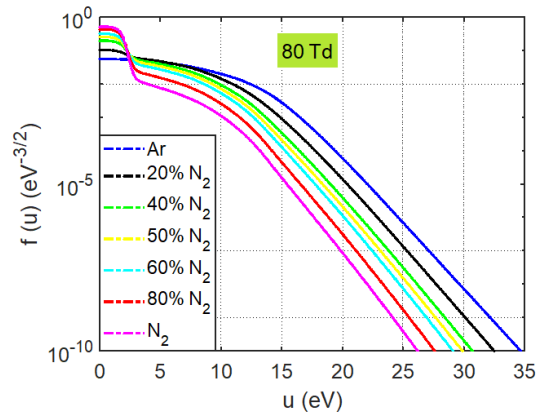
b



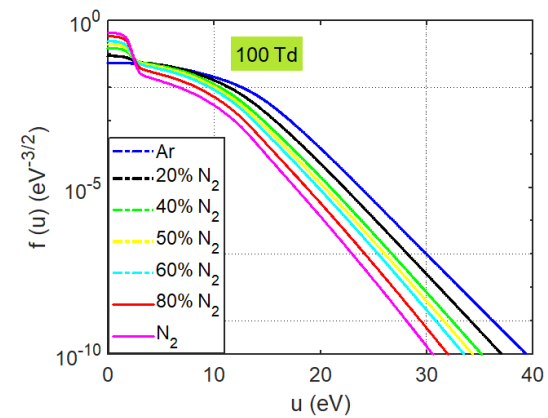
c



d



e



f

الشكل (3-60) دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترون u لخليط $(Ar+N_2)$

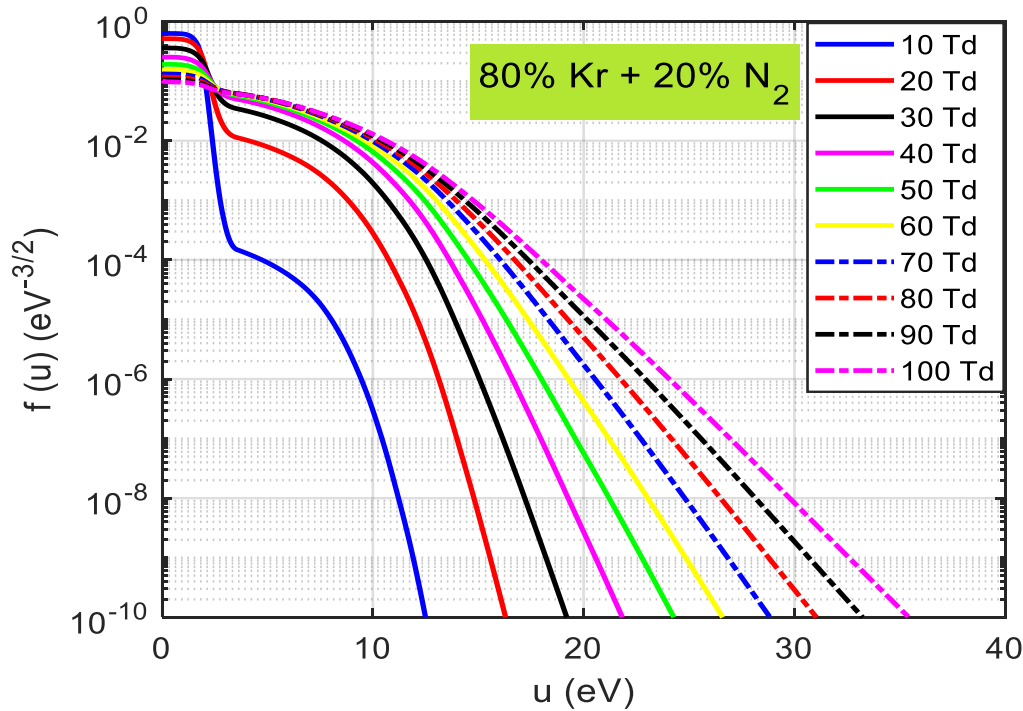
3-15 دالة توزيع طاقة الالكترتون لخليط (Kr+N₂) بتراكيز ثابتة ولمدى متغير من E/N

نلاحظ في الاشكال الموضحة أدناه تراكيز مختلفة لخلائط (Kr+ N₂) والتي تعبر عن علاقة دالة التوزيع EEDF بطاقة الالكترتون u(eV) ولقيم مختارة للمجال المختزل E/N= (10-100) Td ضمن ظروف مشابهة مذكورة سابقا.

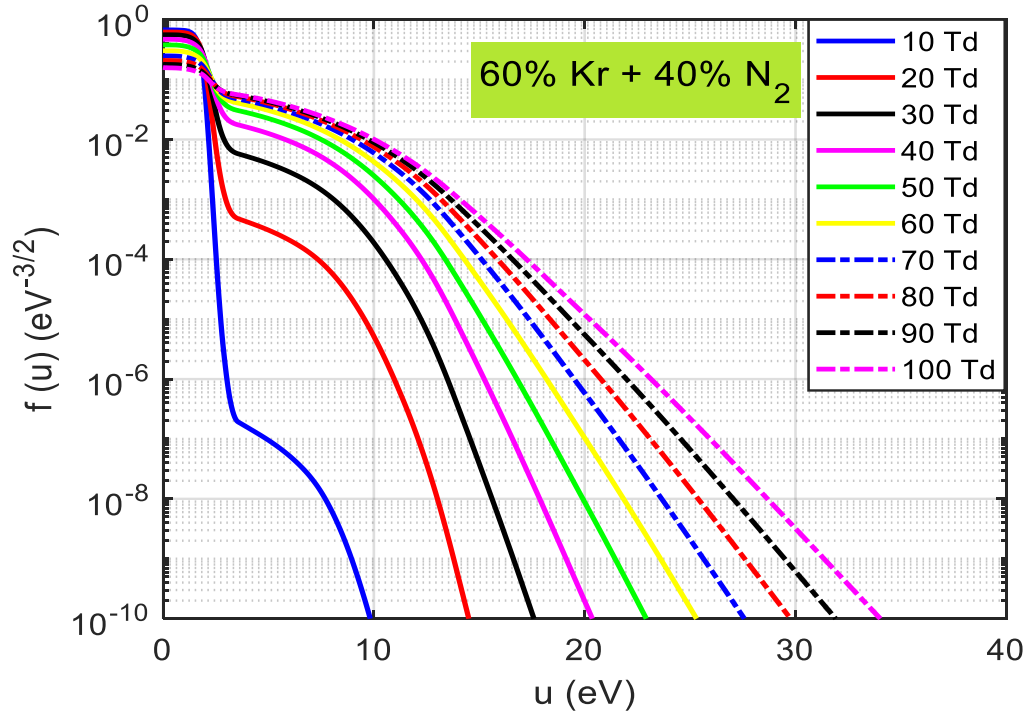
يتضح من خلال هذه الاشكال (3-61), (3-62), (3-63), (3-64), (3-65) مدى تأثير كمية النيتروجين N₂ في تغيير اشكال EEDF. وان الكميات الصغيرة من N₂ لها دور واضح في تغيير منحنيات EEDF .

ومع زيادة N₂ في الخليط (Kr+ N₂)، هناك انخفاض واضح في EEDF واقتربها باتجاه ذيل الطاقة الواطئ والذي يعود الى زيادة التصادمات غير المرنة مع جزيئات N₂ في تلك المنطقة.

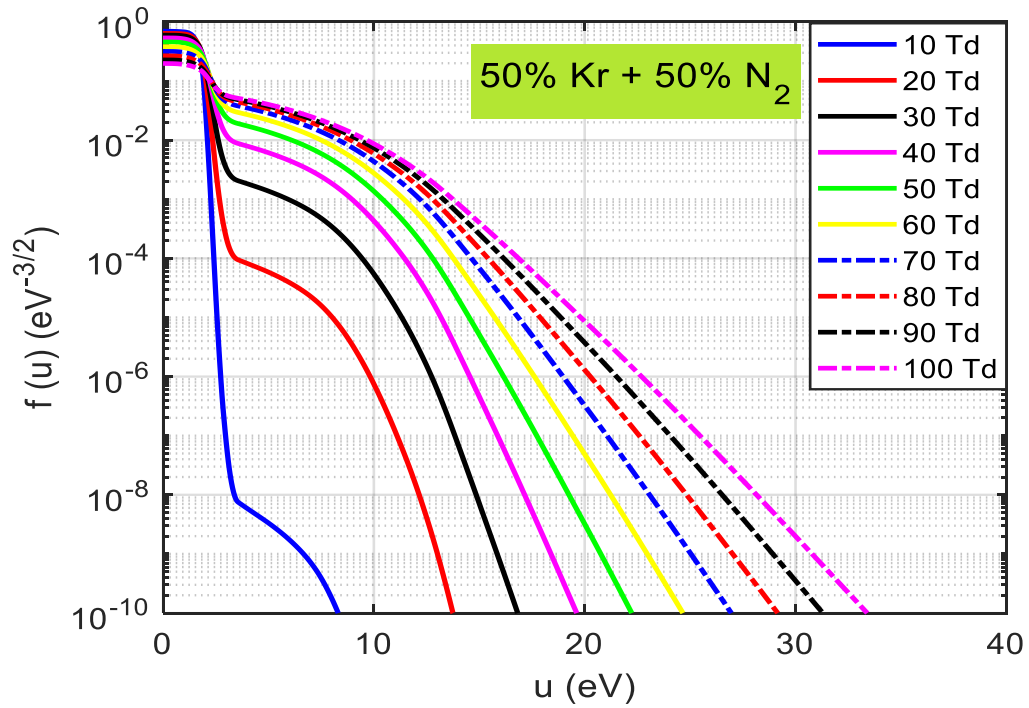
EEDF لها منحنيات منفصلة متميزة مع كل طاقات الالكترتون، والتوزيع يكون غير ماكسويلي ماعدا التركيز (20% Kr + 80% N₂) والمجال المختزل 10Td فان التوزيع يضحى ماكسويلي.



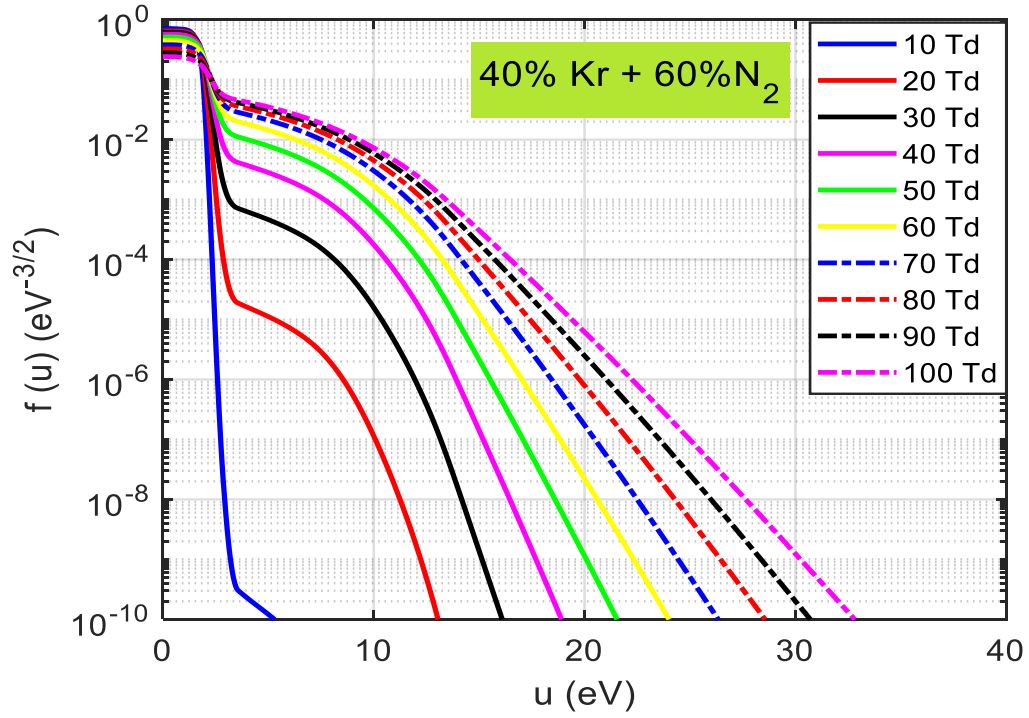
الشكل (3-61) دالة التوزيع f(u) مقابل طاقة الالكترتون u(eV) لخليط 80% Kr + 20% N₂



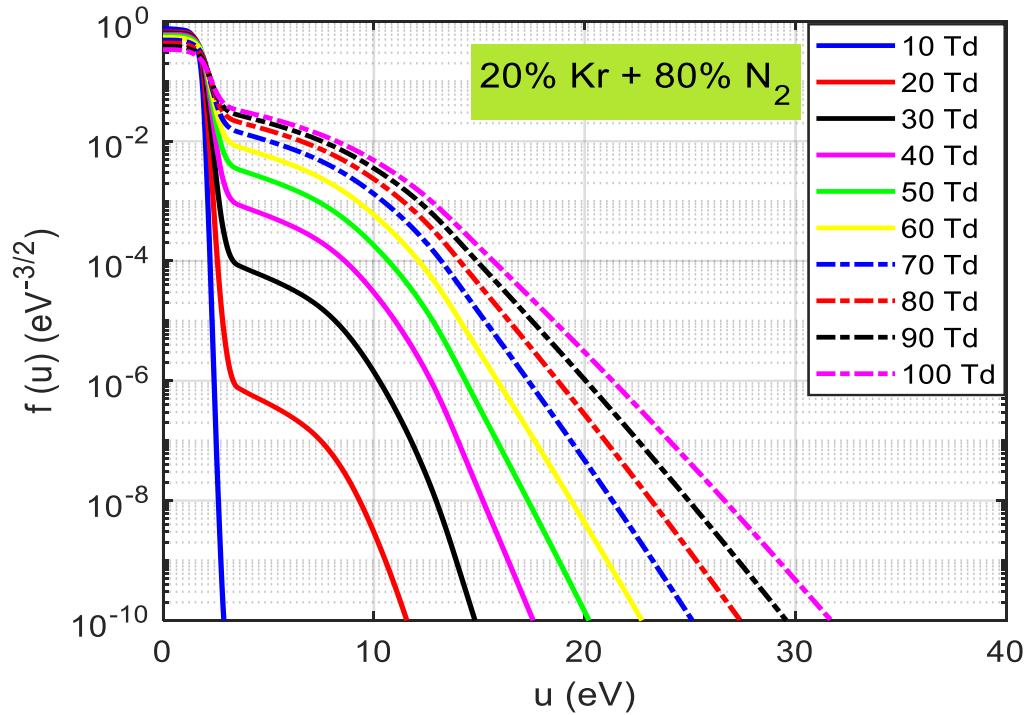
الشكل (3-62) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 60% Kr + 40% N₂



الشكل (3-63) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 50% Kr + 50% N₂



الشكل (3-64) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 40% Kr + 60% N₂.



الشكل (3-65) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترون $u(\text{eV})$ لخليط 20% Kr + 80% N₂.

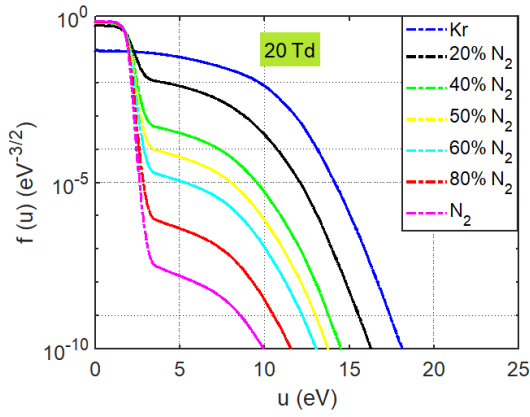
3-16 دالة توزيع طاقة الالكترتون لخليط (Kr+N₂) بتركيز مختلفة وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N

نلاحظ في الشكل (3-66) دالة التوزيع الالكتروني EEDF مقابل طاقة الالكترتون u(eV) لخليط (Kr+N₂) بثبات المجال الكهربائي المختزل E/N عند قيمة معينة لجميع الخلائط المعنية وفي ظروف العمل السابقة نفسها.

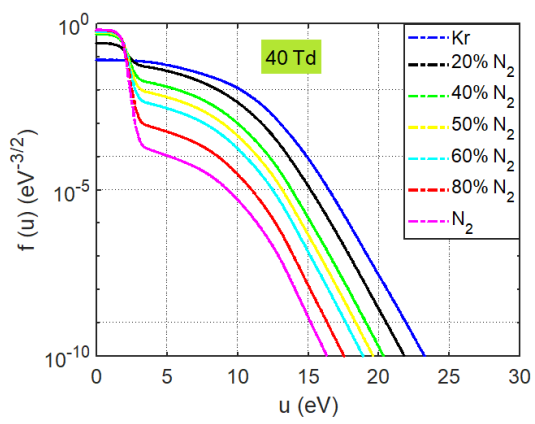
يتبين من خلال الشكل ان هناك تأثيراً واضحاً لتغيير تركيز الغازات في الخليط وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N عند قيمة معينة، اذ يؤدي ذلك الى تغيير EEDF ومن ثم في معاملات النقل الالكتروني.

فعلى سبيل المثال، عند خفض تركيز النيتروجين N₂ في الخليط (Kr+N₂) فإن EEDF سيكون لها ذيل أوسع مما كانت عليه، ويعزى ذلك لانخفاض التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع ذرات N₂ بانخفاض المقطع العرضي للتصادم.

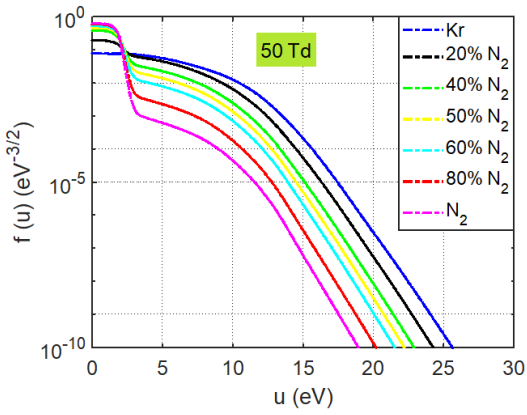
كما يؤدي E/N دوراً مهماً في كسب الالكترونات الطاقة ومن ثم انجرافها نحو ذيل الطاقة العالية.



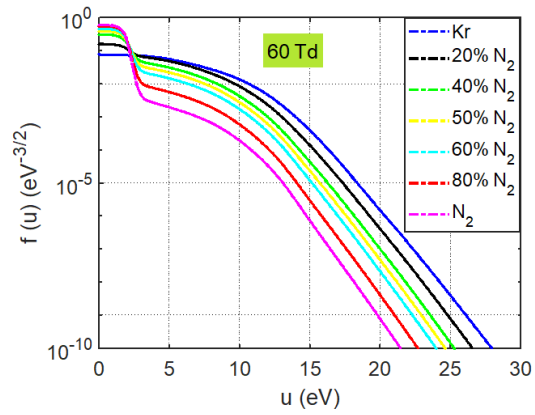
a



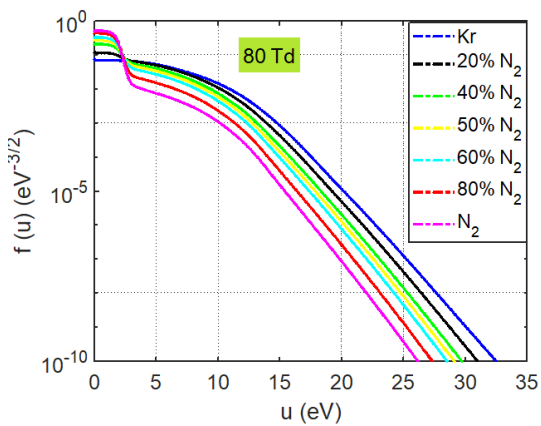
b



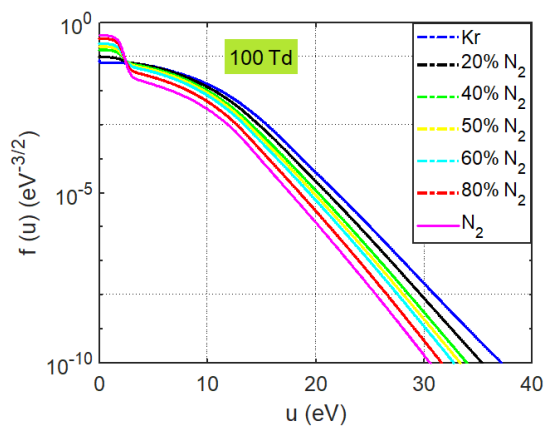
c



d



e



f

الشكل (3-66) دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترون u لخليط $(Kr+N_2)$

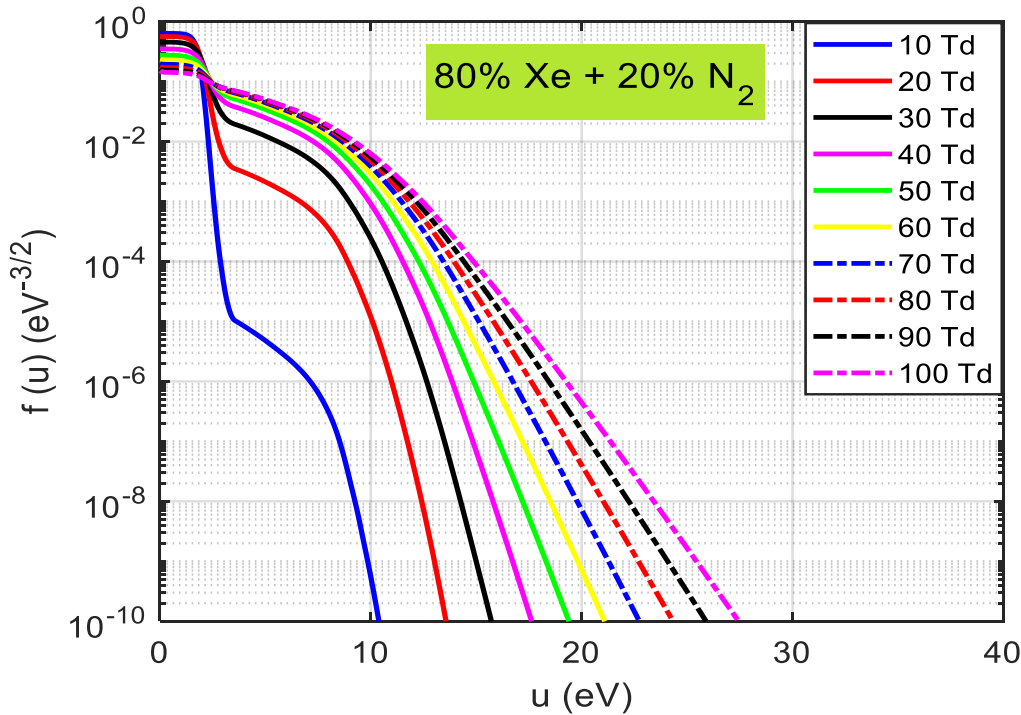
3-17 دالة توزيع طاقة الالكترن لخليط (Xe+N₂) بتركيز ثابتة ولمدى متغير من E/N

دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن $u(eV)$ لخليط (Xe+N₂) في الظروف السابقة كما هي موضحة في الاشكال (3-67), (3-68), (3-69), (3-70), (3-71).

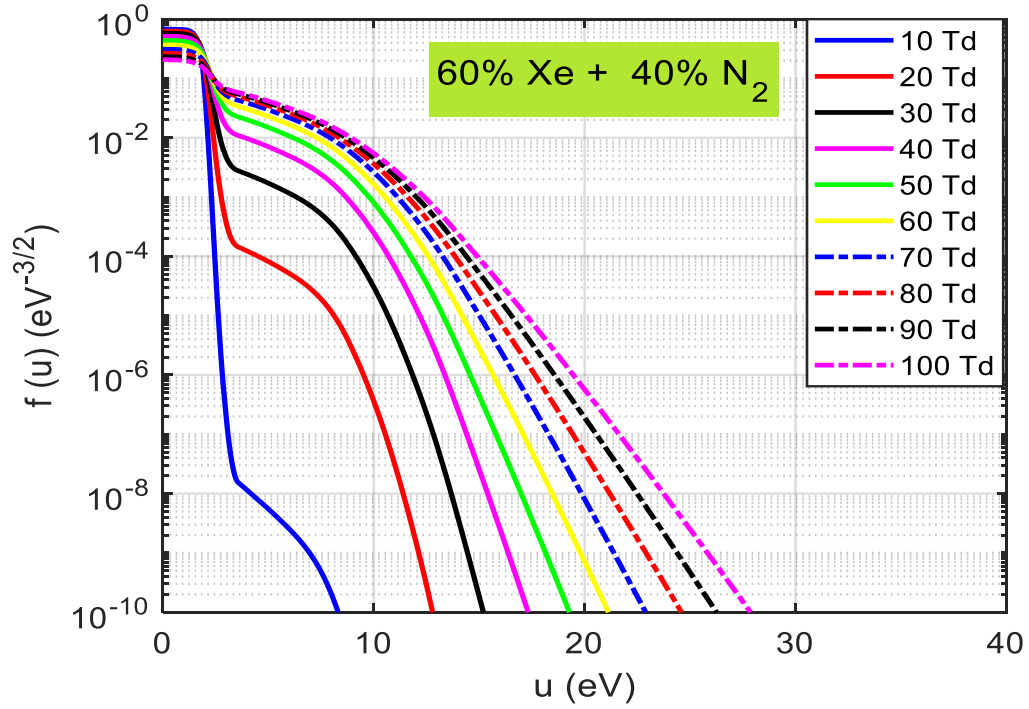
حيث تؤدي إضافة الغاز الجزيئي N₂ الى غاز Xe الى انخفاض منحنيات EEDF نحو ذيل الطاقة الواطئ والذي يعزى الى التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع N₂.

وفي حالة زيادة تركيز N₂ في الخليط وعند $E/N < 30 Td$ ، فإن منحنيات EEDF تنخفض سريعا وتقترب نحو أصل مجال الطاقة والذي يعزى الى زيادة المقطع العرضي للتفاعل والذي تنتج عنه زيادة التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع N₂ من جهة، واكتساب الالكترونات القليل من الطاقة بتطبيق E/N من جهة ثانية.

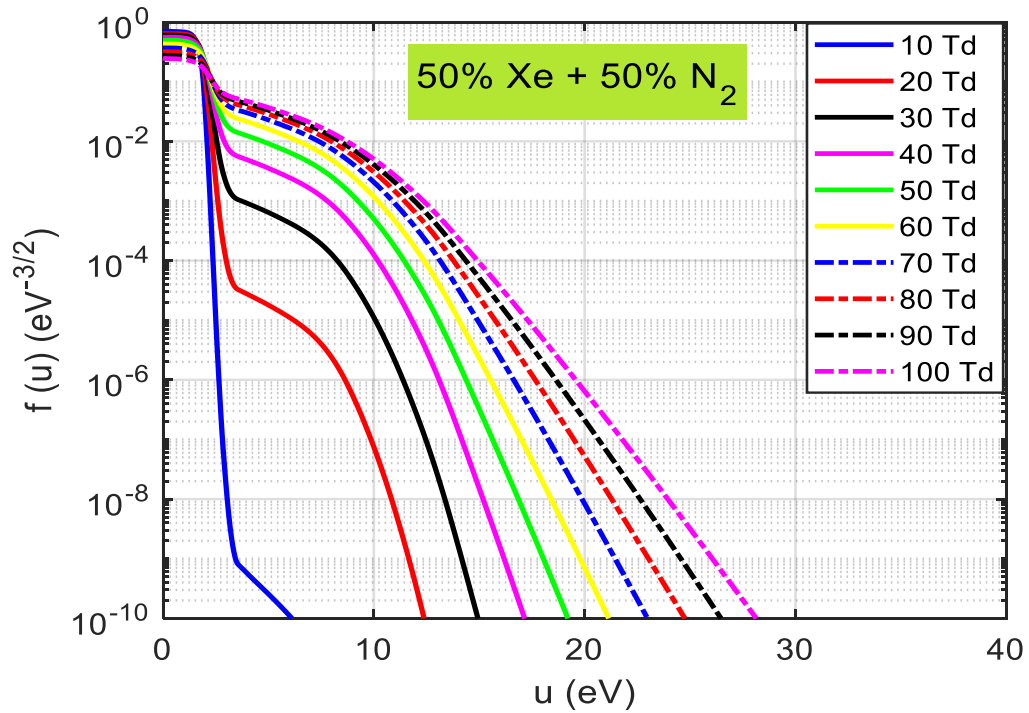
واما مع زيادة تركيز N₂ في الخليط وزيادة المجال الكهربائي المختزل ($E/N > 30 Td$) فإن EEDF تنخفض بشكل بطيء وعدم اقترابها نحو أصل مجال الطاقة والذي يعزى الى توازن كسب وفقدان الطاقة للإلكترونات نتيجة لتطبيق المجال الكهربائي المختزل من جهة وزيادة التصادمات غير المرنة من جهة ثانية.



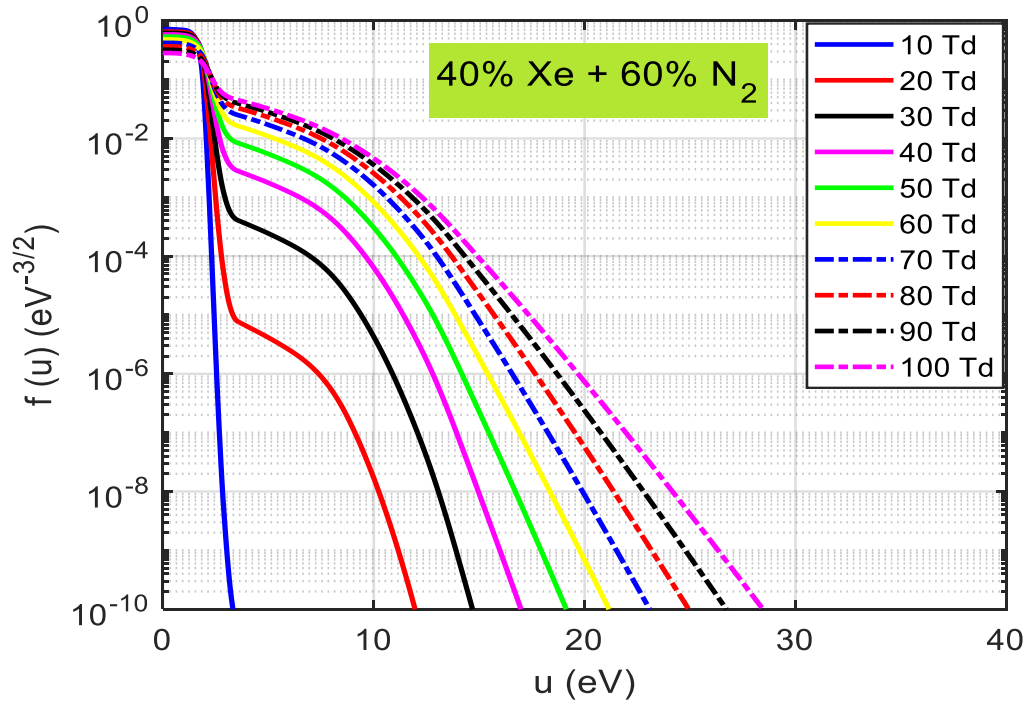
الشكل (3-67) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الالكترن $u(eV)$ لخليط 80% Xe + 20% N₂



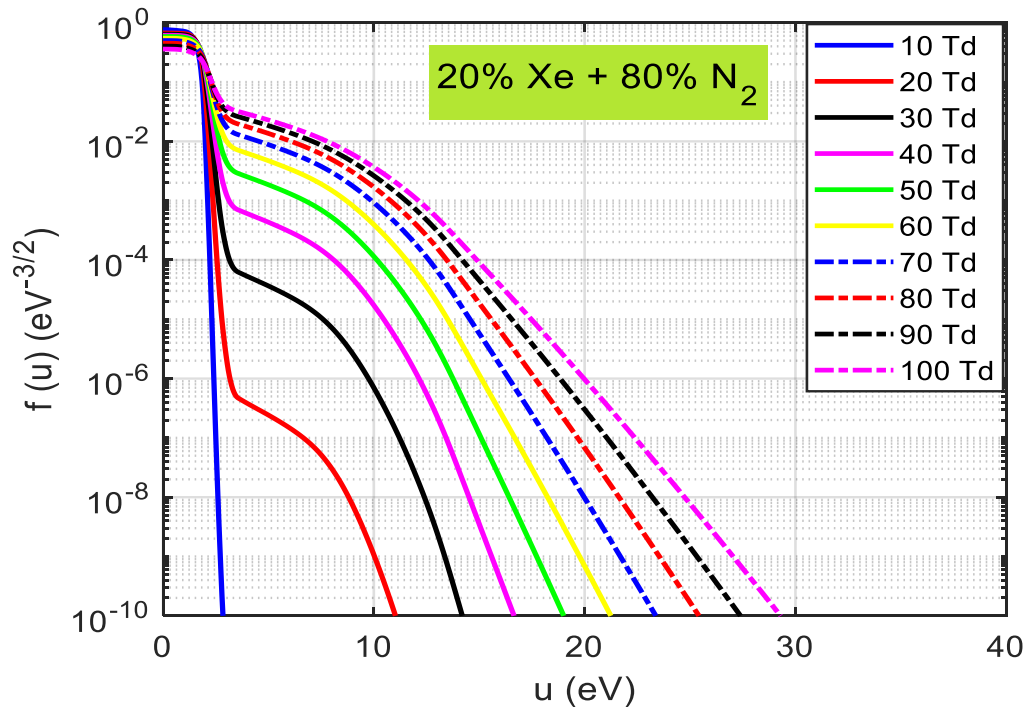
الشكل (3-68) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(eV)$ لخليط $60\% Xe + 40\% N_2$



الشكل (3-69) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(eV)$ لخليط $50\% Xe + 50\% N_2$



الشكل (3-70) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط $40\% \text{Xe} + 60\% \text{N}_2$



الشكل (3-71) دالة التوزيع $f(u)$ مقابل طاقة الإلكترون $u(\text{eV})$ لخليط $20\% \text{Xe} + 80\% \text{N}_2$

3-18 دالة توزيع طاقة الالكترون لخليط (Xe+N₂) بتركيز مختلفة وثبات المجال الكهربائي المختزل E/N

يبين الشكل (3-72) دالة التوزيع الالكتروني لخليط (N₂+Xe) كدالة لطاقة الالكترون u(eV) بتطبيق المجال الكهربائي المختزل E/N بقيم محددة لجميع التراكيز المعنية وفي ظروف مذكورة سابقاً.

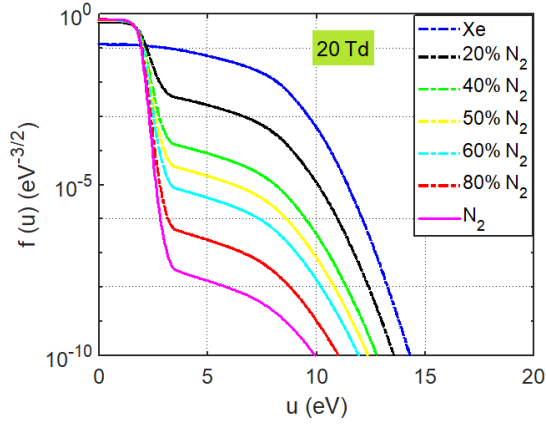
حيث يؤدي ثبات E/N واختلاف تركيز الغازات في الخليط (Xe+N₂) الى تغيير اشكال EEDF وبالتالي تغيير معالم النقل الالكتروني.

كما يؤدي تغيير E/N الى تغيير واضح في EEDF نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة عن طريق تطبيق E/N والذي يدفع منحنيات EEDF نحو ذيل الطاقة العالية.

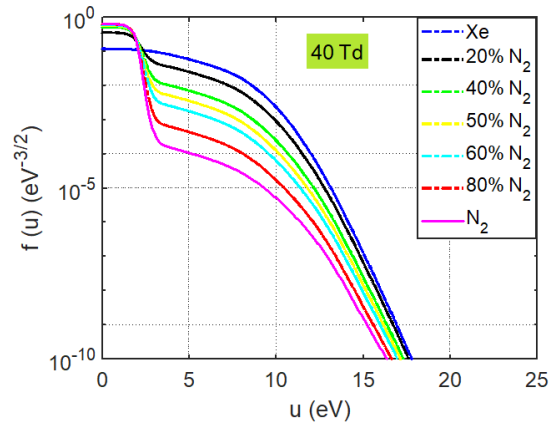
نظراً لامتلاك كل من غاز النتروجين N₂ وغاز الزينون Xe مقطعاً عرضياً كبيراً فإن سلوك خليط (Xe+N₂) يكون متبايناً اعتماداً على تركيز النتروجين N₂ في الخليط وشدة المجال الكهربائي المختزل المطبق.

فعندما تكون $E/N < 60Td$ ، فإن تقليل تركيز النتروجين N₂ في الخليط (Xe+N₂) وزيادة E/N يكون لدالة التوزيع ذيلًا باتجاه معدل الطاقة العالي نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة وهيمنة التصادمات المرنة في هذه المنطقة.

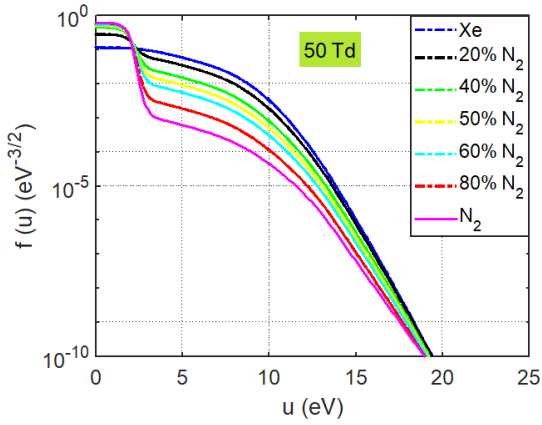
واما عند $E/N > 60Td$ ، فإن زيادة تركيز النتروجين N₂ في الخليط (Xe+N₂) تكون لدالة التوزيع ذيلًا باتجاه معدل الطاقة العالي نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة العالية.



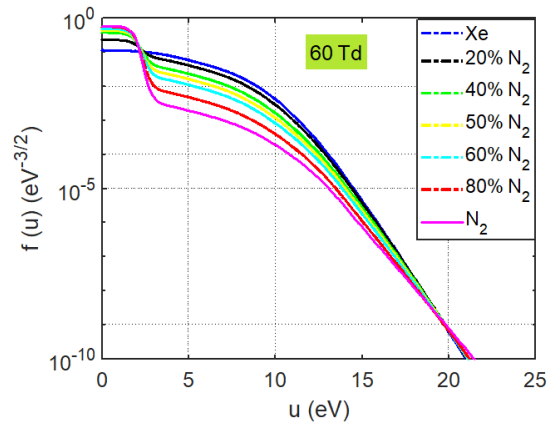
a



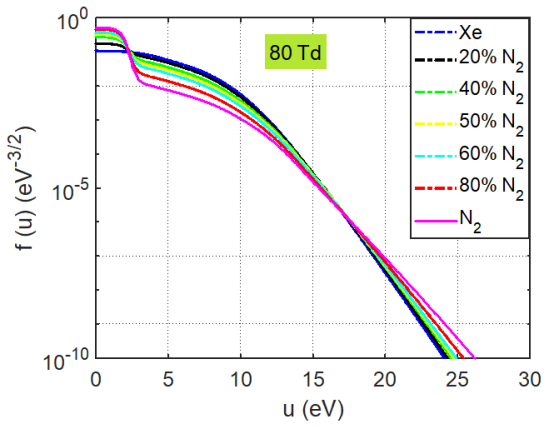
b



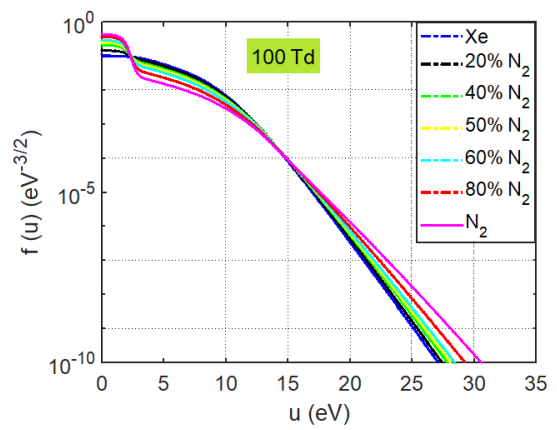
c



d



e

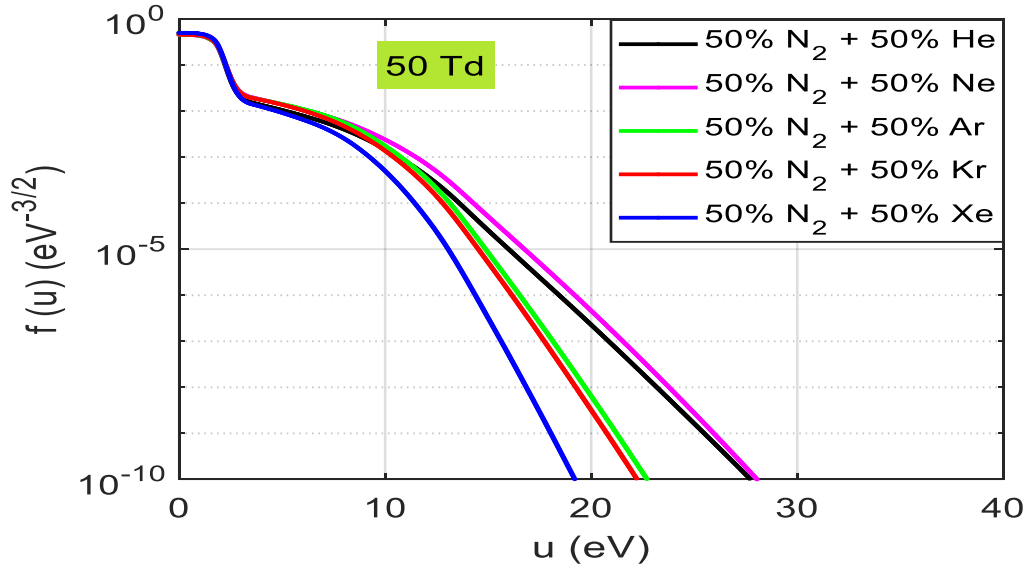


f

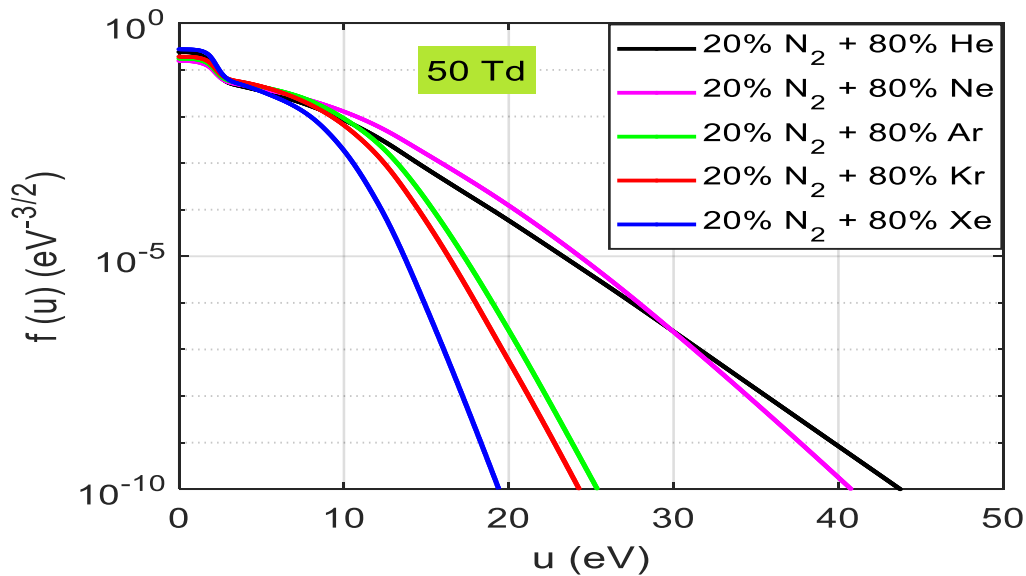
الشكل (3-72) دالة التوزيع الالكتروني $f(u)$ كدالة لطاقة الالكترون u لخليط $(Xe+N_2)$

3-19 تأثير الخلط بنسب متساوية وبنسب مختلفة لجميع الغازات النبيلة مع النيتروجين

يمثل الشكلان (3-73) و(3-74) دالة التوزيع كدالة لطاقة الالكترون لمجال كهربائي مختزل ثابت 50Td وبتراكيز (50% N₂+ 50% Nobel gas) و (20% N₂+ 80% Nobel gas) ويتضح من خلال الشكلين ان EEDF لغازي الهيليوم He والنيون Ne لها مديات أوسع بكثير من بقية الغازات النبيلة الأخرى في حالة التركيز المنخفض للنيتروجين 20% N₂ في الخليط وبعبارة أخرى، تأثر كبير EEDF لغازي He و Ne بإضافة كمية صغيرة من الغاز الجزيئي N₂.



الشكل (3-73) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لخليط النيتروجين مع الغازات النبيلة بتراكيز متناصفة وبثبات المجال الكهربائي عند 50Td



الشكل (3-74) دالة توزيع طاقة الالكترون مقابل طاقة الالكترون لخليط النيتروجين مع الغازات النبيلة بتراكيز معينة وبثبات المجال الكهربائي عند 50Td

3-20 معدل طاقة الإلكترون كدالة لتركيز الغازات النبيلة ولمدى متغير من E/N

تبين الأشكال (3-75), (3-76), (3-77), (3-78), (3-79) دالة التوزيع مقابل تركيز كل غاز من الغازات النبيلة ولقيم مختلفة من المجال الكهربائي المختزل E/N ونلاحظ من خلالها ان:

أولاً: عدم تأثر معدل طاقة الإلكترون بتغيير تركيز الغاز النبيل في الخليط عندما يكون $E/N = 10 \text{ Td}$.

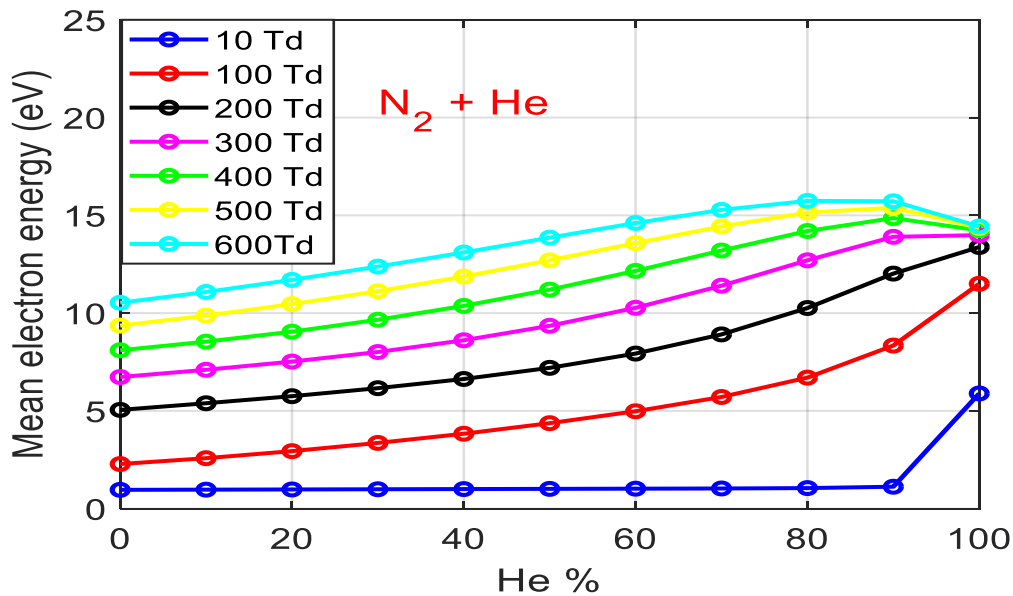
ثانياً: في خليط (N_2+He) المبين في الشكل (3-75) فإن معدل طاقة الإلكترون يزداد مع زيادة E/N وزيادة تركيز الهيليوم في الخليط، باستثناء عند $E/N > 400 \text{ Td}$ فإن زيادة تركيز الهيليوم في الخليط أكثر من 90% يجعل معدل طاقة الإلكترون يقل.

ثالثاً: زيادة معدل طاقة الإلكترون لخليط (N_2+Ne) هي زيادة طردية مع زيادة تركيز Ne في الخليط وزيادة E/N.

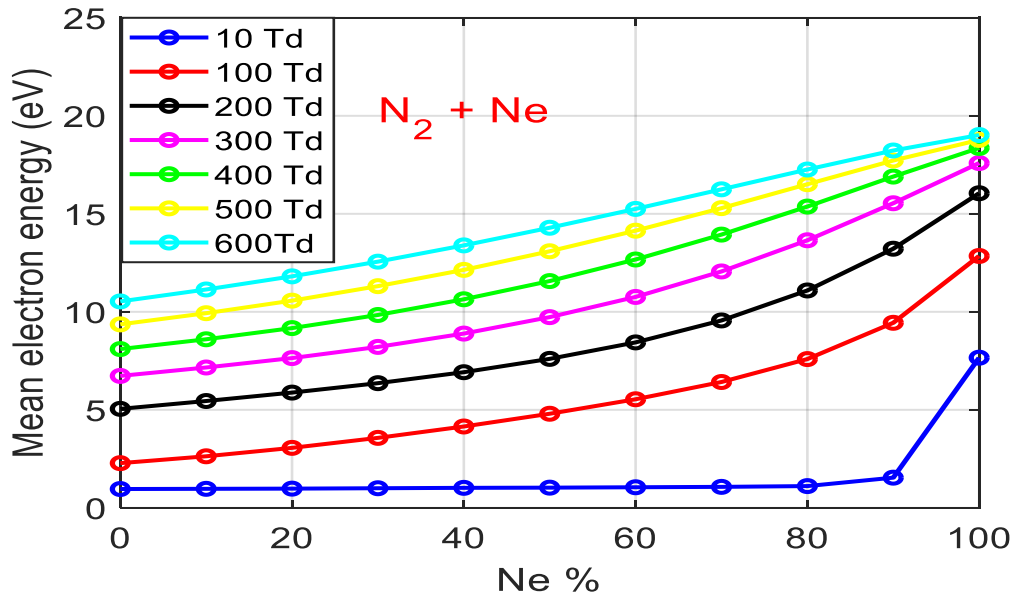
رابعاً: عند $E/N = 100 \text{ Td}$ في خليط (N_2+Ar) ، فإن معدل طاقة الإلكترون يزداد بشكل كبير مع زيادة تركيز Ar، وبعد هذه القيمة تصبح الزيادة تدريجية بطيئة.

خامساً: عند $E/N = 100 \text{ Td}$ زيادة خطية كبيرة لمعدل طاقة الإلكترون مع زيادة تركيز Kr في خليط (N_2+Kr) وبعد هذه القيمة تصبح الزيادة تدريجية بطيئة ثم تتوقف عند $E/N > 400 \text{ Td}$.

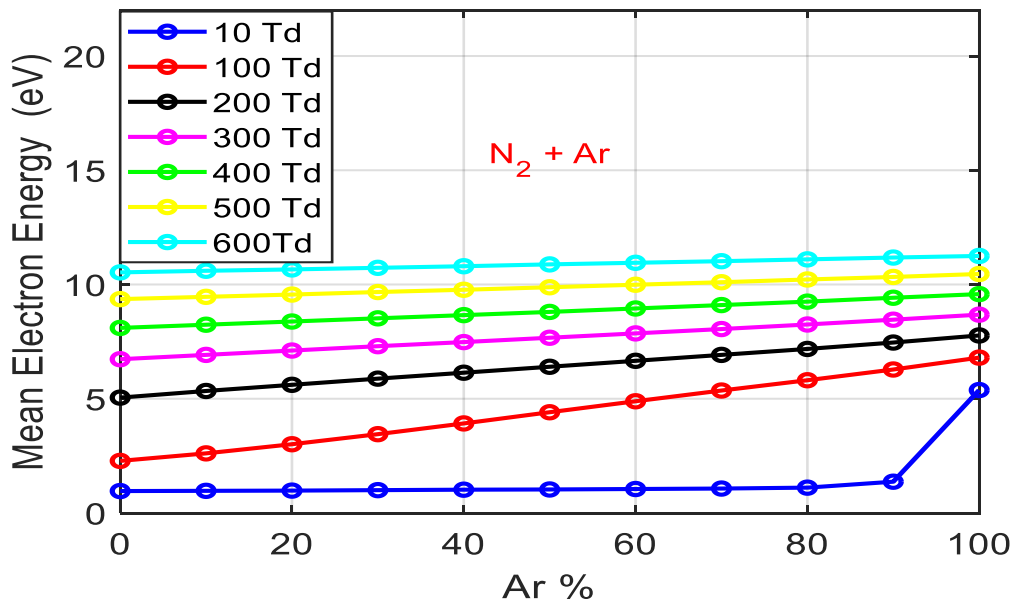
سادساً: في خليط (N_2+Xe) عند $E/N = 100 \text{ Td}$ زيادة خطية لمعدل طاقة الإلكترون مع زيادة تركيز Xe في ذلك الخليط. وعند 200 Td نلاحظ عدم تأثر معدل طاقة الإلكترون بتغيير تركيز Xe في الخليط، وبعد هذه القيمة فإن تركيز Xe في الخليط يؤدي الى نقصان معدل طاقة الإلكترون.



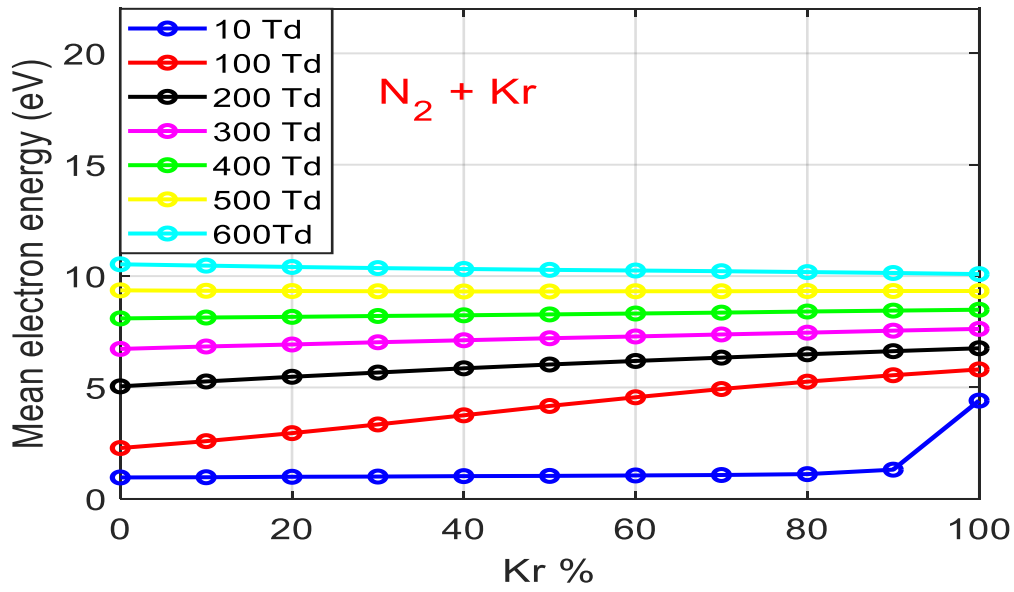
الشكل (3-75) معدل طاقة الإلكترون كدالة لتركيز غاز الهيليوم في خليط $(N_2 + He)$



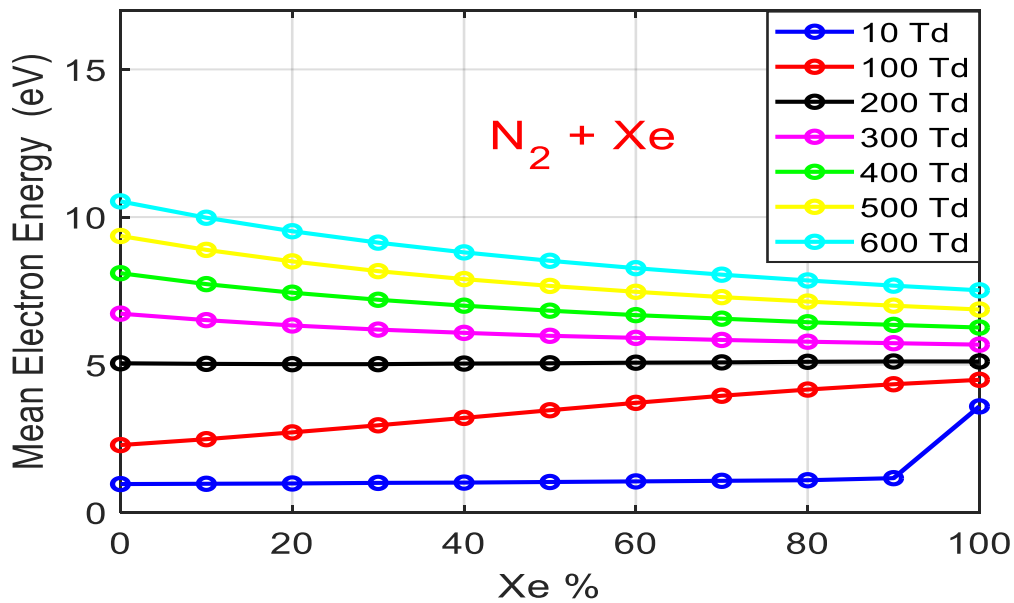
الشكل (3-76) معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز النيون في خليط (N₂ + Ne)



الشكل (3-77) معدل طاقة الالكترون كدالة لتركيز غاز الاركون في خليط (N₂+Ar)



الشكل (3-78) معدل طاقة الإلكترون كدالة لتركيز غاز الكربتون في خليط ($N_2 + Kr$)



الشكل (3-79) معدل طاقة الإلكترون كدالة لتركيز غاز الزينون في خليط ($N_2 + Xe$)

3-21 معاملات النقل الالكتروني لغاز النيتروجين N₂ النقي وللغازات النبيلة وخلانطها

3-21-1 معاملات النقل الالكتروني لغاز النيتروجين N₂ النقي

١- معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين النقي

يظهر الشكل (3-80) تباين معدل طاقة الالكترون مع المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين N₂، عند E/N < 60 Td تزداد طاقة الالكترون u بشكل تدريجي مع زيادة E/N وبعد هذه القيمة فإن u تزداد بشكل كبير مع زيادة E/N نتيجة لكسب الطاقة عن طريق المجال الكهربائي المختزل E/N. توافق جيد لنتائجنا مع نتائج (Nabhan A. K, Wallah G. M[11]) ضمن المدى E/N < 200Td.

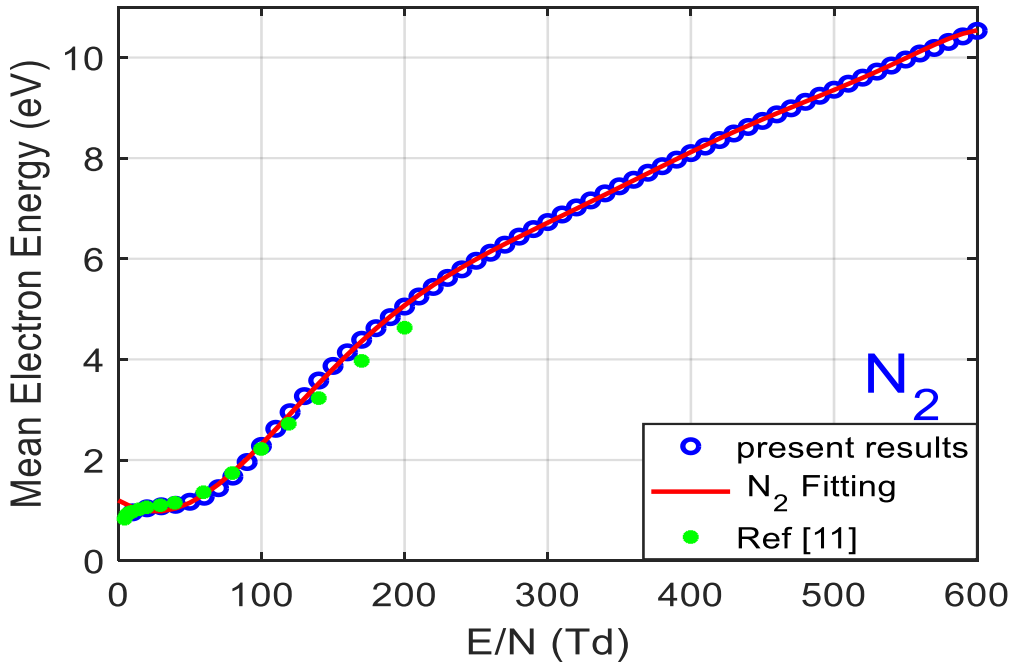
وقد استخدم برنامج Igor.Pro لعمل ملائمة لمعاملات النقل الالكتروني للغازات النقية، ولغاز النيتروجين فإن معادلة الملائمة لمعدل طاقة الالكترون هي متعددة الحدود من الدرجة الثامنة

$$\bar{u}_{N_2} = k_0 + k_1(E/N)^1 + k_2(E/N)^2 + k_3(E/N)^3 + k_4(E/N)^4 + k_5(E/N)^5 + k_6(E/N)^6 + k_7(E/N)^7 + k_8(E/N)^8 \quad (3-1)$$

معاملات الملائمة لمعدل طاقة الالكترون لغاز النيتروجين النقي مبينة في الجدول ادناه

k ₀	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈
1.1973	0.017	0.00033	6.5649e-007	-1.7584e-008	8.1945e-011	-1.7715e-016	1.8779e-016	-7.8887e-020

الجدول (3-1)

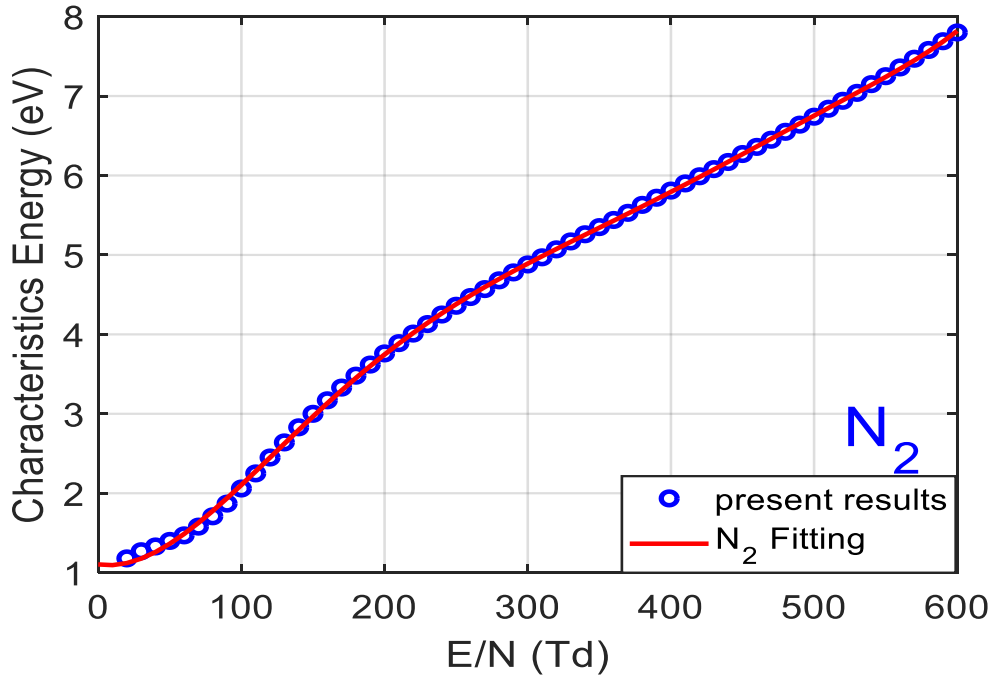


الشكل (3-80) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز N₂

٢- الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين النقي

الطاقة المميزة في الشكل (3-81) هي دالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين، وتزداد الطاقة المميزة بزيادة المجال الكهربائي المختزل E/N نتيجة التصادمات المرنة للإلكترونات مع الذرات المتعادلة.

معادلة الملائمة للطاقة المميزة لغاز النيتروجين النقي هي متعددة الحدود من الدرجة السابعة.



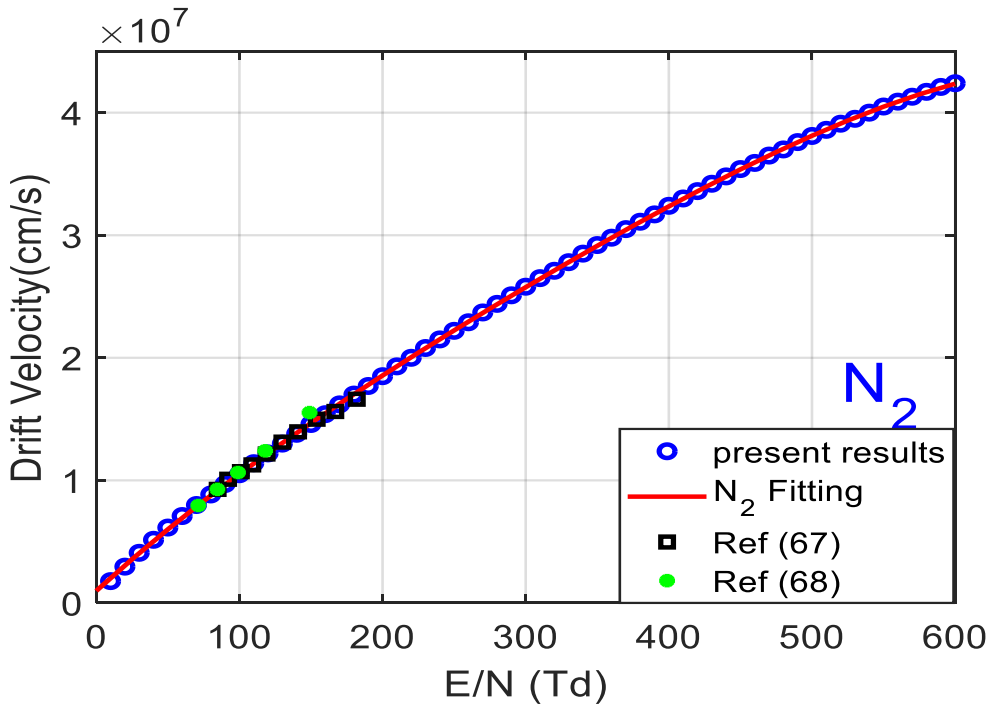
الشكل (3-81) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين N₂

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين النقي

الشكل (3-82) يبين توافقاً جيداً بين القيم النظرية لسرعة الانجراف كدالة للمجال المختزل لحساباتنا والقيم التجريبية الأخرى (Bolsig Simulation[67] ومع (Y.Nakamura[68]).

العلاقة خطية بينهما فتزداد سرعة الانجراف بزيادة المجال الكهربائي المختزل E/N.

ان معادلة الملائمة لسرعة انجراف الالكترن لغاز النتروجين هي متعددة حدود من الدرجة الرابعة.



الشكل (3-82) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين

N₂

٤- تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين النقي

اعتماد تنقلية الإلكترون على E/N لغاز N₂ كما موضح في الشكل (3-83) والذي يشير الى تناقص μ_e مع زيادة E/N ، اذ تنخفض μ_e بشكل كبير عند E/N < 100 Td الامر الذي يعزى الى فقدان الالكترونات طاقتها في التصادمات غير المرنة مع الذرات المتعادلة.

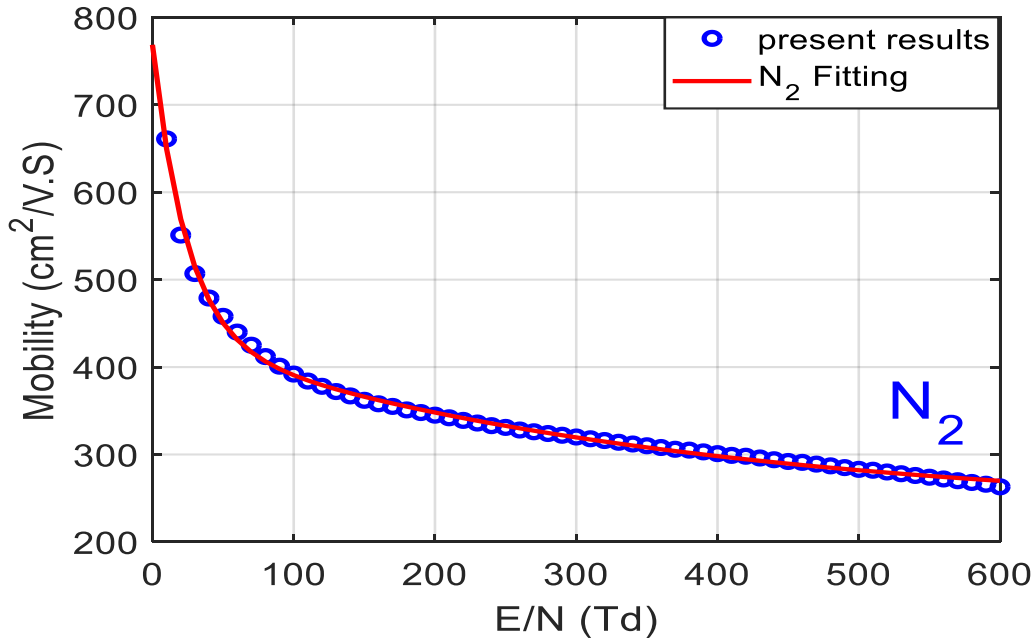
وان معادلة الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز N₂ هي (Double exponential) تعطى بالعلاقة:

$$\mu_{N_2} = y_0 + A_1 e^{-[(E/N)-x_0]/\tau_1} + A_2 e^{-[(E/N)-x_0]/\tau_2} \quad (3-2)$$

والجدول التالي يبين معاملات الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز N₂ المذكورة في المعادلة أعلاه

y_0	A_1	τ_1	A_2	τ_2	x_0
232.52	219.87	24.052	197.27	354.36	10

الجدول (3-2)



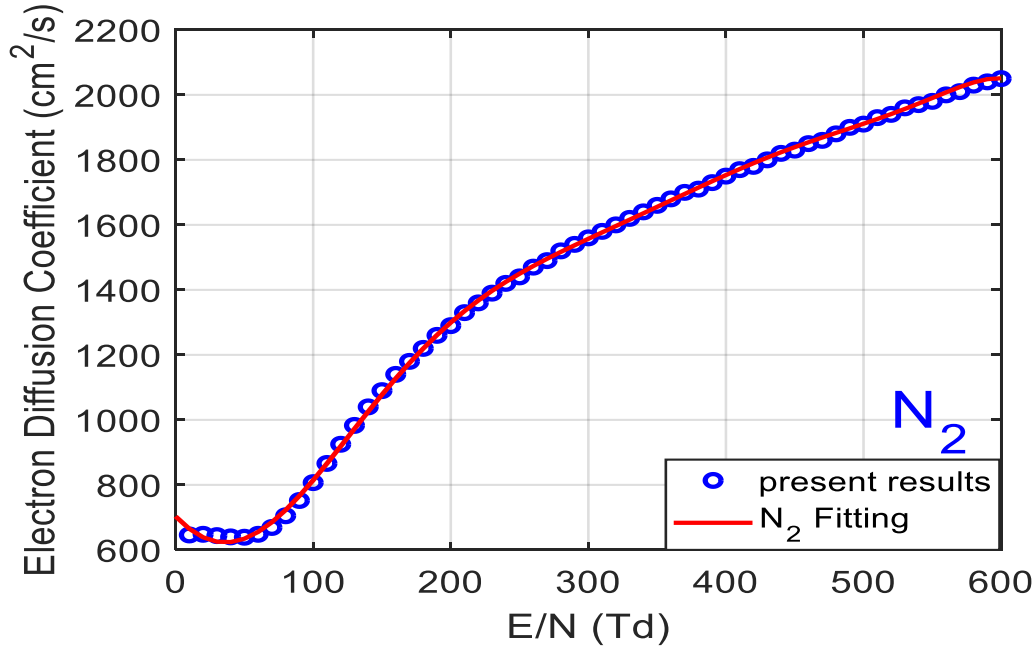
الشكل (3-83) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيتروجين

N₂

٥- معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N

يظهر سلوك معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة لـ E/N كما هو مبين في الشكل (3-84)، عند القيم المنخفضة للمجال المختزل ($E/N < 80$ Td) فإن D_e لا يتأثر بزيادة E/N وبعد هذا المدى يزداد D_e مع زيادة E/N .

ومعادلة الملائمة لـ D_e لغاز N_2 تكون متعددة الحدود من الدرجة الثامنة.



الشكل (3-84) معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز N_2

3-21-2 معاملات النقل الالكتروني لغاز الهيليوم النقي

١- معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم النقي

الشكل (3-85) يبين معدل طاقة الالكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He ، فعند القيم القليلة E/N < 200 Td تظهر زيادة كبيرة لمعدل طاقة الالكترون مع زيادة E/N وبعد هذا المدى تكون الزيادة بطيئة نتيجة لزيادة التصادمات غير المرنة.

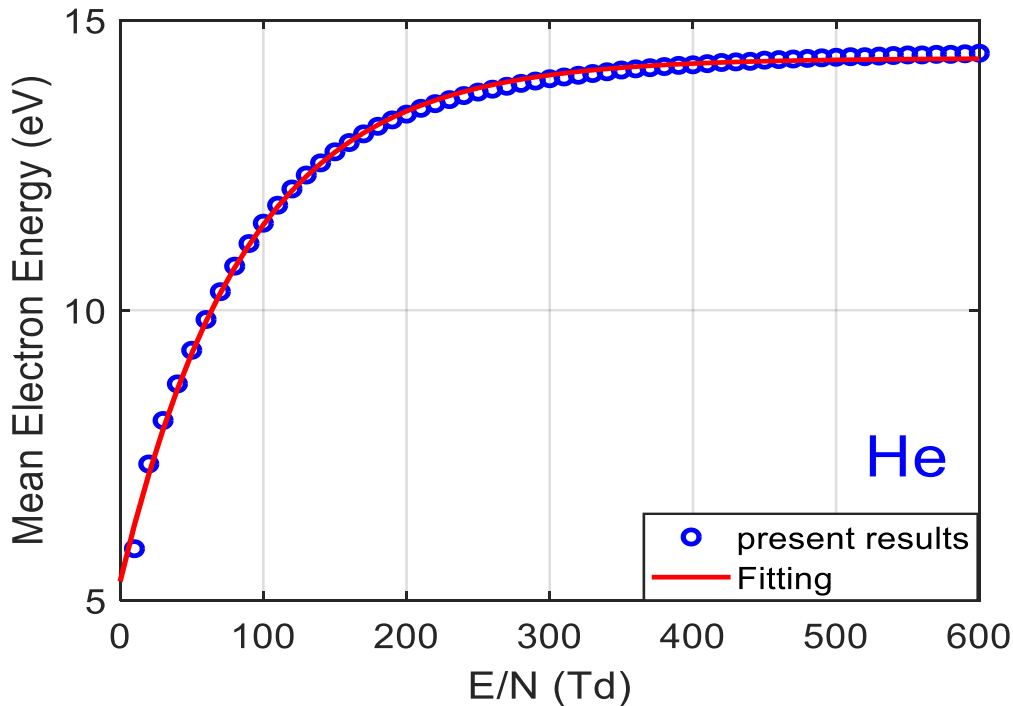
وكانت معادلة الملائمة لمعدل الطاقة لغاز الهيليوم (Exponential) وهي:

$$y = y_0 + A \exp(-x/\tau) \quad (3-3)$$

معاملات الملائمة لمعدل طاقة الالكترون لغاز الهيليوم موضحة ادناه في الجدول (3-3)

y_0	A	$-1/\tau$
14.344	-9.0195	0.011445

الجدول (3-3)

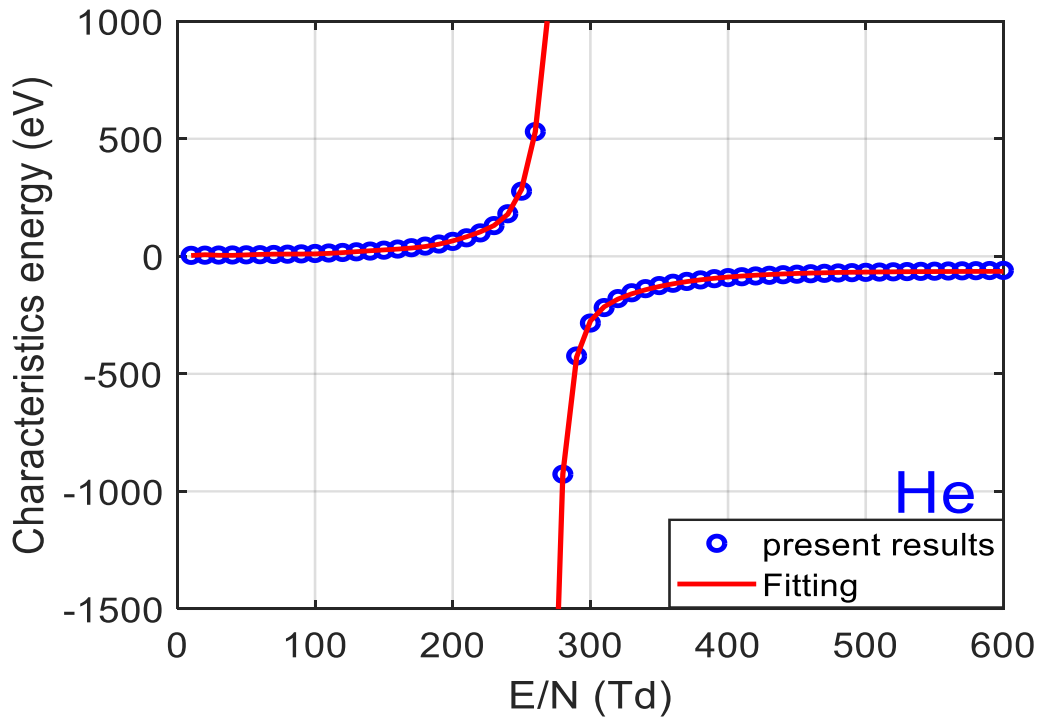


الشكل (3-85) معدل طاقة الالكترون u كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم.

٢- الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم النقي

يظهر سلوك متباين للطاقة المميزة مع المجال المختزل E/N في الشكل (3-86) والذي يكون فيه سلوك الطاقة المميزة كدالة مفردة (Singularity) حيث عندما تكون $E/N < 200\text{Td}$ الزيادة بطيئة للطاقة المميزة مع زيادة E/N ثم ترتفع الى اعلى قيمة للطاقة عند 270Td وبعد هذه القيمة تنخفض الى ادنى قيمة لها عند 280Td ثم تزداد مرة أخرى بعد هذه القيمة.

معادلة الملائمة للطاقة المميزة للقيم $E/N < 280\text{Td}$ هي متعددة الحدود من الدرجة التاسعة.



الشكل (3-86) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم النقي

ولان الطاقة المميزة عند القيم $E/N > 280\text{Td}$ عند القيم السالبة فان سرعة الانجراف والموضحة في الشكل (3-87) سوف تكون أيضا في القيم السالبة والتي تعني ان الالكترونات تتحرك بعكس الاتجاه.

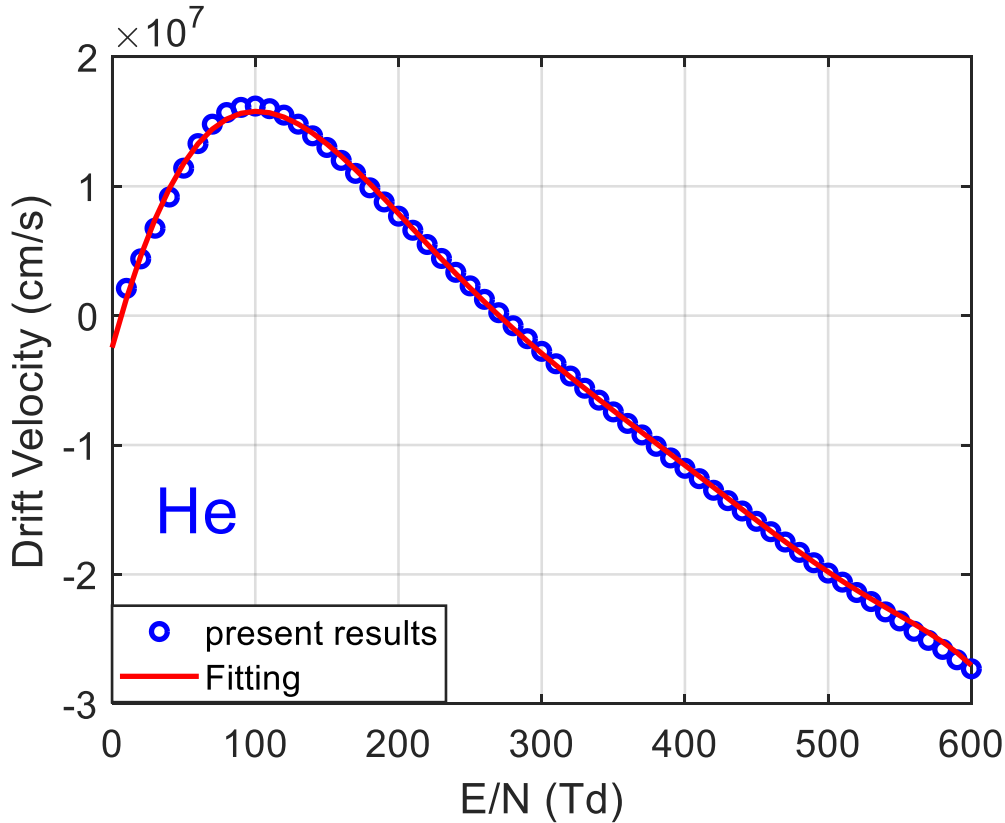
معادلة الملائمة لسرعة الانجراف هي (the polynomial- x offset) من الدرجة السابعة.

$$V_{D(He)} = k_0 + k_1[(E/N) - x_0] + k_2[(E/N) - x_0]^2 + k_3[(E/N) - x_0]^3 + k_4[(E/N) - x_0]^4 + k_5[(E/N) - x_0]^5 + k_6[(E/N) - x_0]^6 + k_7[(E/N) - x_0]^7 \quad (3-4)$$

الجدول (3-4) يبين معاملات صيغة الملائمة لسرعة انجراف غاز الهيليوم:

x_0	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
10	1.3e+6	3.5428e+5	-2381	0.19498	0.03649	-0.0001248	1.7034e-7	-8.5482e-11

الجدول (3-4)

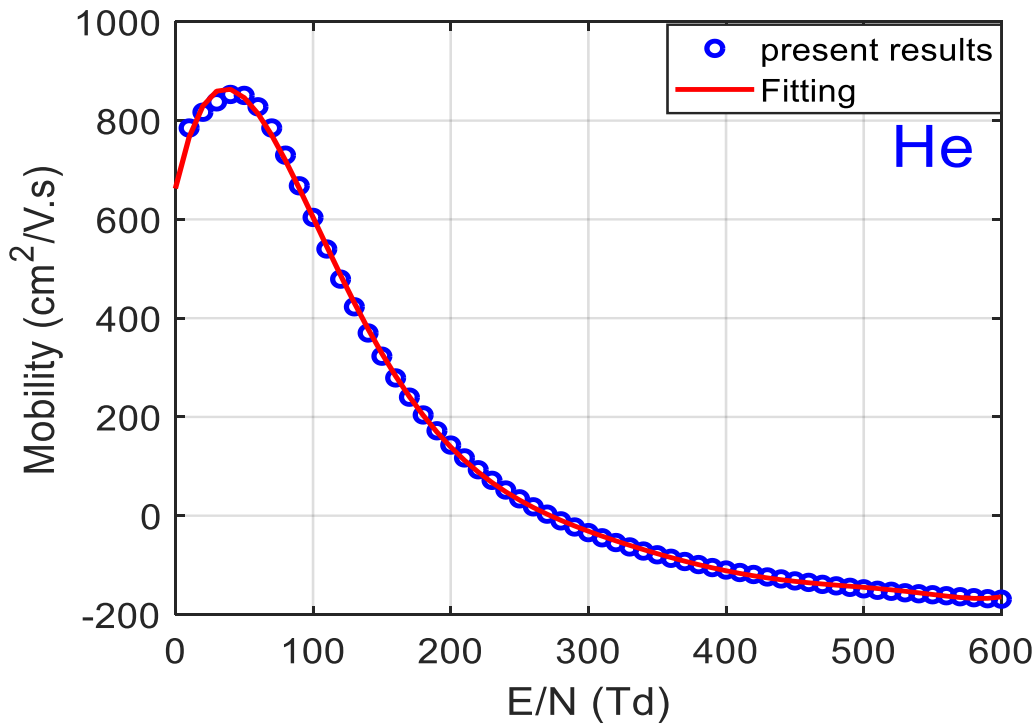


الشكل (3-87) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He

٤- تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم النقي

تنقلية الإلكترون كدالة للمجال المختزل كما مبين في الشكل (3-88) والذي يلاحظ فيه زيادة التنقلية عند $E/N < 40\text{Td}$ وبعد هذه القيمة تنخفض التنقلية مع زيادة E/N نتيجة التصادمات غير المرنة وفقدان الطاقة.

معادلة الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز الهيليوم هي متعددة الحدود من الدرجة الثامنة.



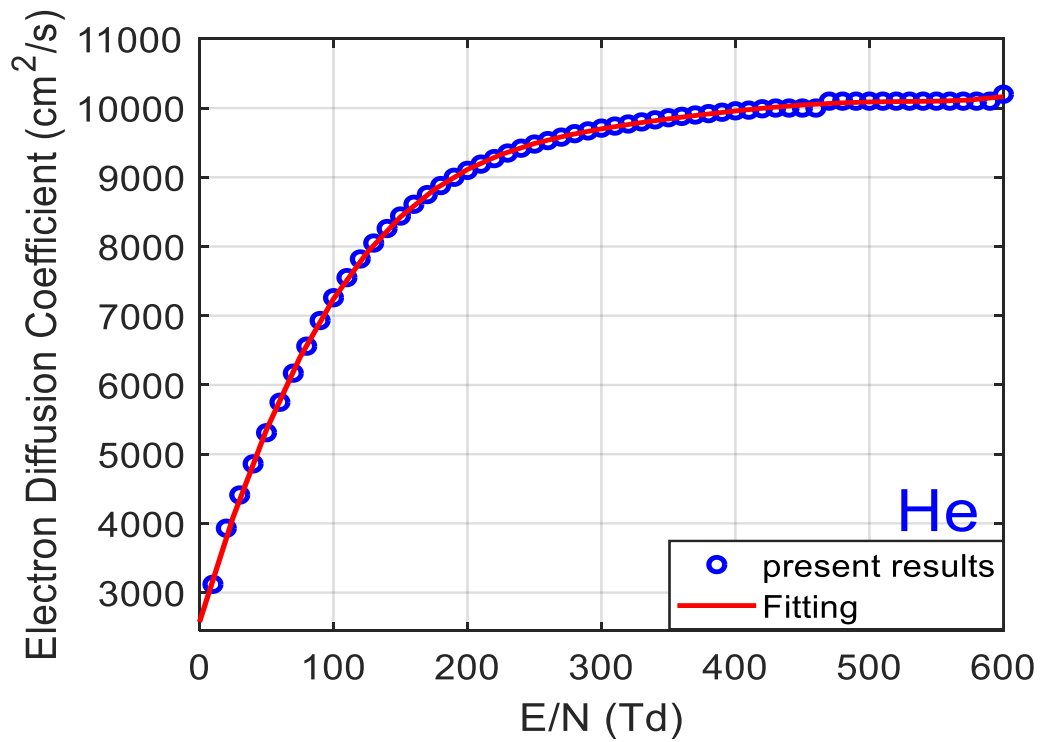
الشكل (3-88) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He

٥- معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم النقي

نلاحظ في الشكل (3-89) معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال المختزل والذي تظهر فيه عند $E/N < 200Td$ زيادة كبيرة لمعامل الانتشار مع زيادة E/N .

$E/N > 200Td$ زيادة تدريجية مع زيادة E/N .

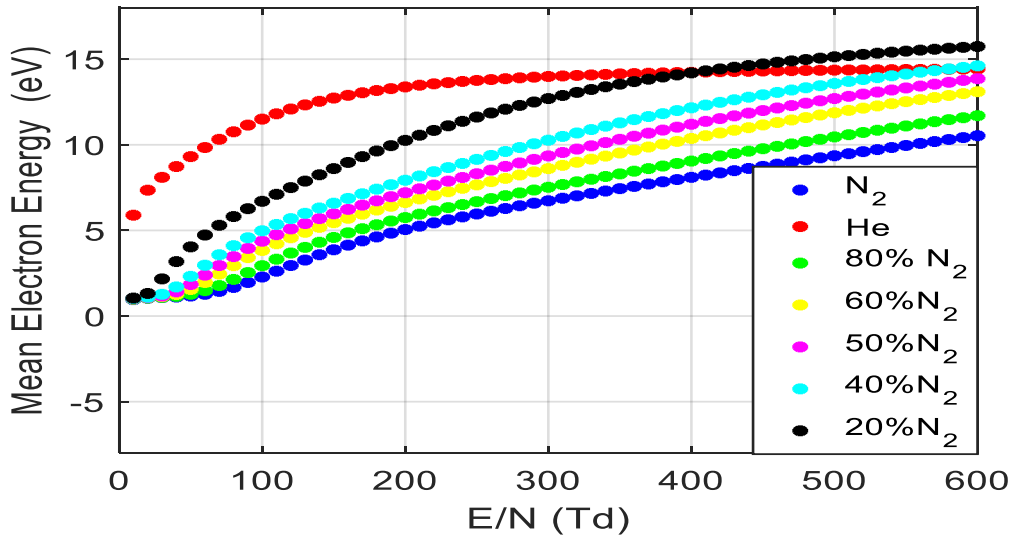
معادلة الملائمة لمعامل الانتشار الالكتروني لغاز He هي (the polynomial- x offset) من الدرجة السادسة.



الشكل (3-89) معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة للمجال المختزل E/N لغاز He

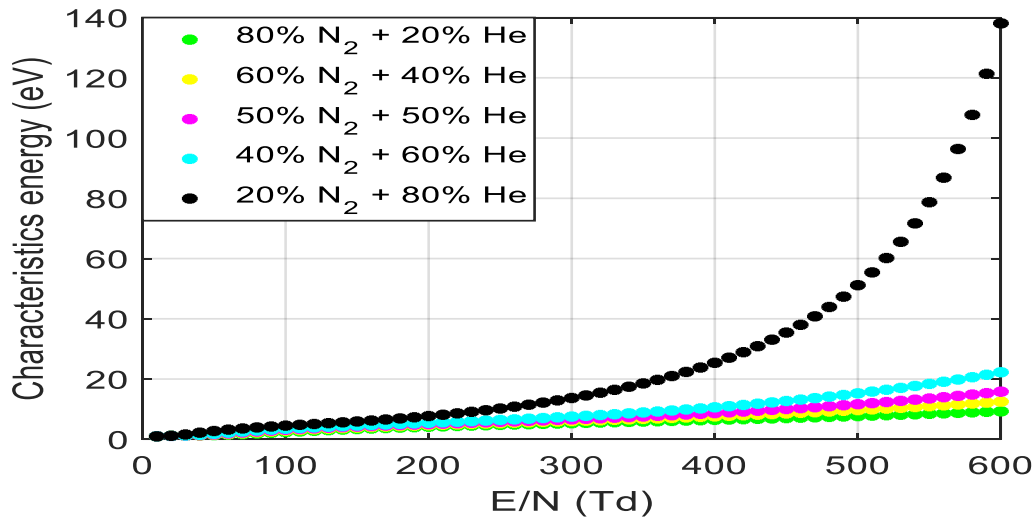
3-21-3 معلمات النقل الالكتروني لخليط (N₂+He) بتركيز مختلفة

يوضح الشكل (3-90) معدل طاقة الالكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الهيليوم He وغاز النتروجين N₂ النقيان وخليطهما بتركيز مختلفة وفي ظروف مماثلة. واضح من خلال الشكل ان معدل طاقة الالكترون لغاز He لها منحنى اعلى من N₂ وتقع باقي التركيزات بينهم اعتمادا على تركيز الغاز في الخليط. وكذلك تزداد طاقة الالكترون مع زيادة E/N. وكلما قلت نسبة النتروجين في الخليط ارتفعت طاقة الالكترون أكثر وهذا يعزى الى نقصان عدد التصادمات نتيجة لصغر المقطع العرضي لغاز الهيليوم.



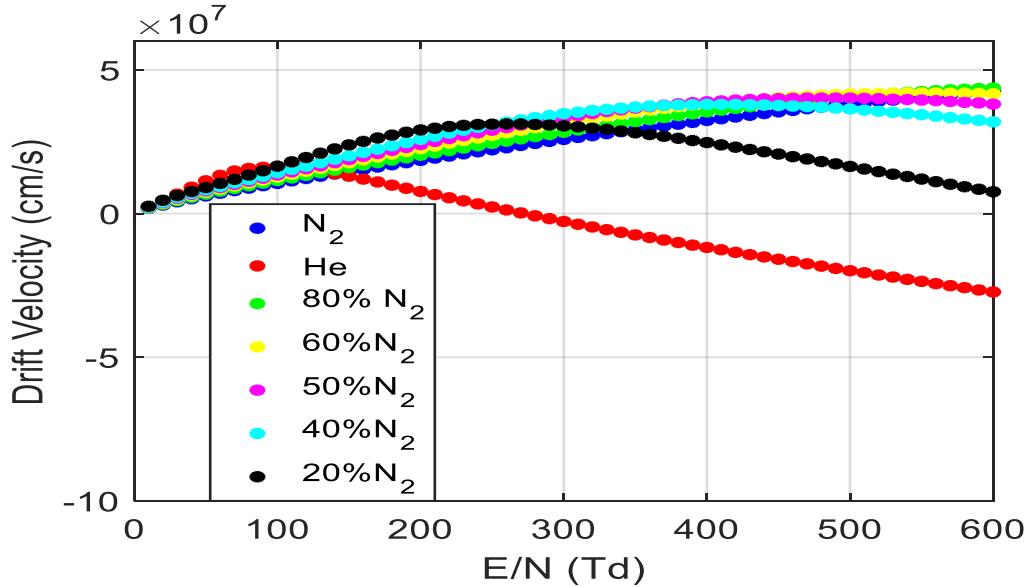
الشكل (3-90) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N₂+He) بتركيز مختلفة

الشكل (3-91) الذي يوضح علاقة الطاقة المميزة E_k مع E/N لخليط (He+ N₂) ونلاحظ ان تقليل تركيز غاز النتروجين في الخليط (N₂+He) يجعل E_k تزداد بشكل كبير مع زيادة E/N.



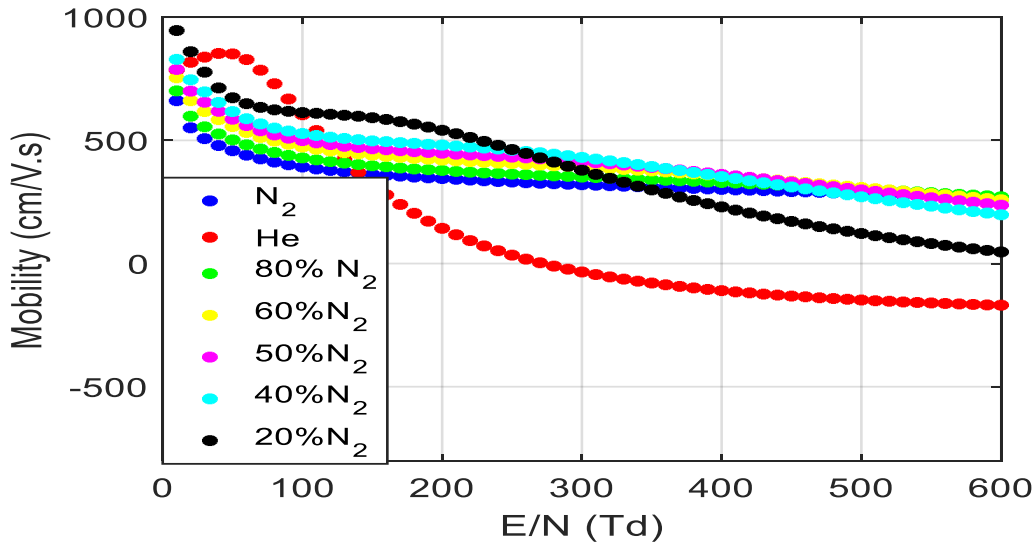
الشكل (3-91) الطاقة المميزة كدالة للمجال المختزل لخليط (N₂+He) بتركيز مختلفة

علاقة سرعة الانجراف V_D مع E/N لغاز He وغاز N_2 وخليئتهم بتركيز مختلفة كما هو موضح في الشكل (3-92) والذي يظهر فيه اختلاف سلوك الهيليوم النقي وخليط (80% He+20%N₂) اذ تزداد V_D عند قيم E/N القليلة $E/N < 100$ Td نتيجة للتصادمات المرنة واكتساب الالكترونات الطاقة من E/N ثم تنخفض نتيجة للتصادمات غير المرنة، في حين ان V_D لخليط (80% He + 20% N₂) تزداد عند $E/N < 200$ Td ثم تنخفض بعد هذه القيمة لنفس السبب أعلاه. وتسلك باقي الخليط سلوكاً مشابهاً لسلوك N_2 النقي فتزداد V_D مع زيادة E/N .



الشكل (3-92) سرعة الانجراف كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He) بتركيز مختلفة

اعتماد تنقلية الالكترون μ_e على المعلمة E/N واختلاف تركيز N_2 في الخليط موضح في الشكل (3-93) والذي يظهر فيه تناقص μ_e نتيجة للتصادمات غير المرنة لجميع الخليط المذكورة باستثناء الهيليوم فان μ_e تزداد عند $E/N < 50$ Td ثم تبدأ بالانخفاض مع زيادة E/N .

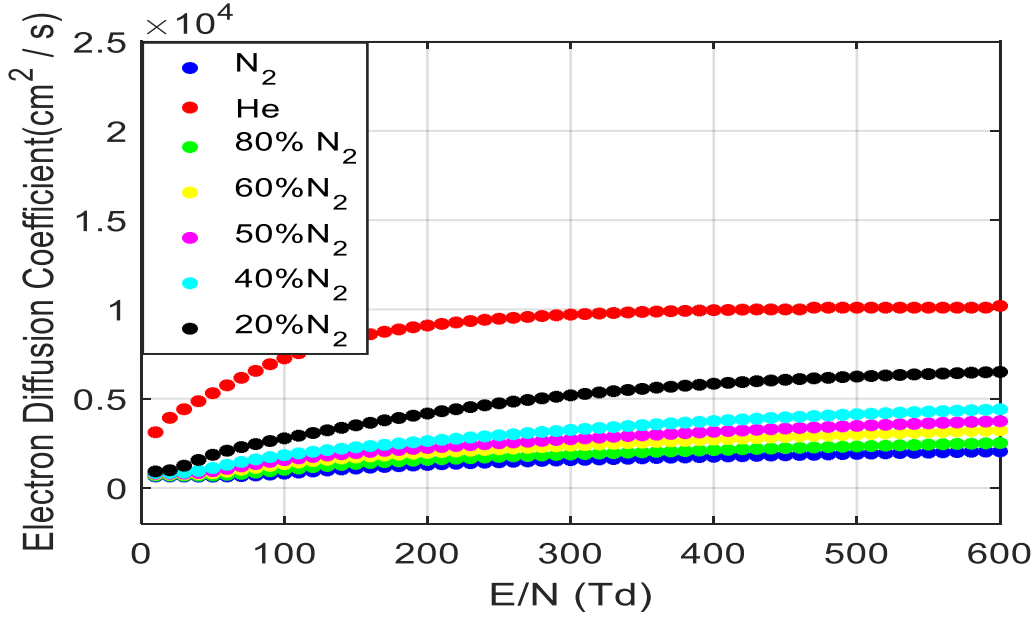


الشكل (3-93) تنقلية الالكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N_2+He) بتركيز مختلفة

الشكل (3-94) يشرح العلاقة بين معامل الانتشار الالكتروني D_e والمجال المختزل E/N لغاز He وغاز N_2 وخالنطهم ، ومن الواضح ان D_e للهيليوم النقي يكون اعلى من النيتروجين وتقع باقي الخلائط بينهم وحسب تركيز غاز النيتروجين في الخليط.

يؤدي انخفاض تركيز N_2 في الخليط الى زيادة D_e والذي يزداد هو بدوره مع زيادة

E/N .



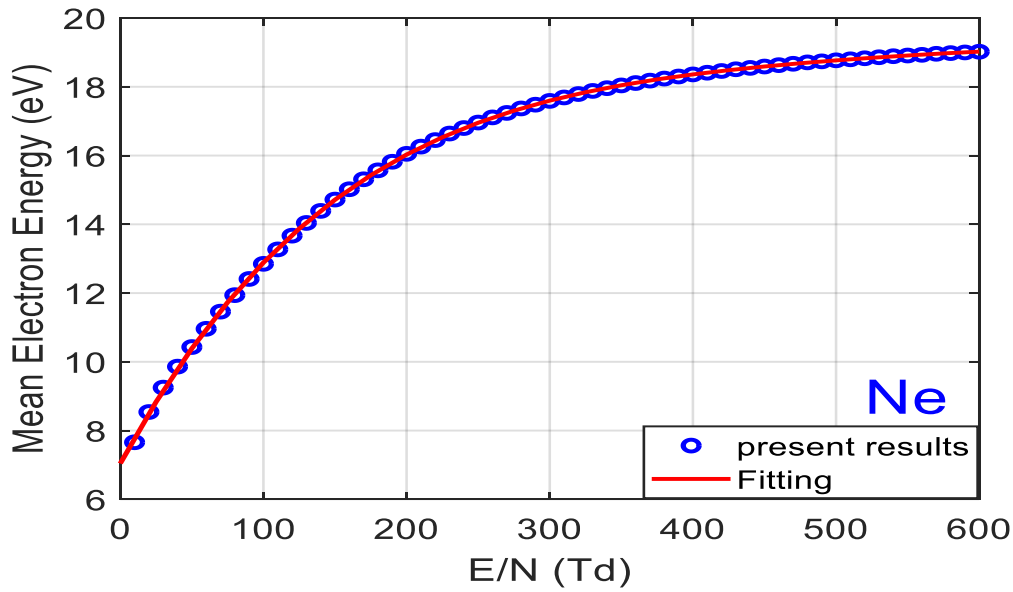
الشكل (3-94) معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N_2+He) بتراكيز مختلفة

3-21-4 معلمات النقل الالكتروني لغاز النيون Ne النقي

١- معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون النقي

يبين الشكل (3-95) علاقة معدل طاقة الالكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne النقي وغاز النيتروجين N₂ وخليطهما بتراكيز مختلفة في الظروف السابقة نفسها. عند $E/N < 300$ فإن طاقة الالكترون تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة E/N نتيجة لاكتساب الالكترونات الطاقة من تطبيق المجال الكهربائي المختزل، وبعد هذه القيمة تصبح الزيادة تدريجية بطيئة والذي يعزى الى التصادمات غير المرنة.

وكانت معادلة الملائمة (Fitting) لمعدل طاقة الالكترون هي متعددة حدود من الدرجة الخامسة.

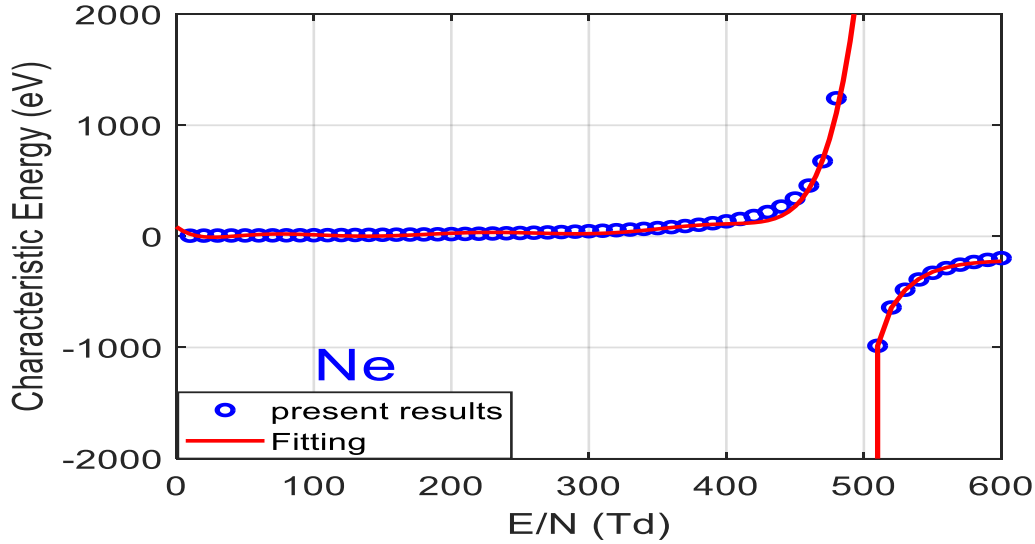


الشكل (3-95) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne

٢- الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون النقي

الطاقة المميزة E_k مقابل E/N لغاز النيون Ne في الشكل (3-96) تسلك سلوكاً مماثلاً لنظيرتها في غاز الهيليوم ولكن مع ابتعاد أكثر للدالة الفردية عن اصل الطاقة.

ومعادلة ال- (Fitting) للطاقة المميزة لغاز النيون هي متعددة حدود من الدرجة الثامنة.

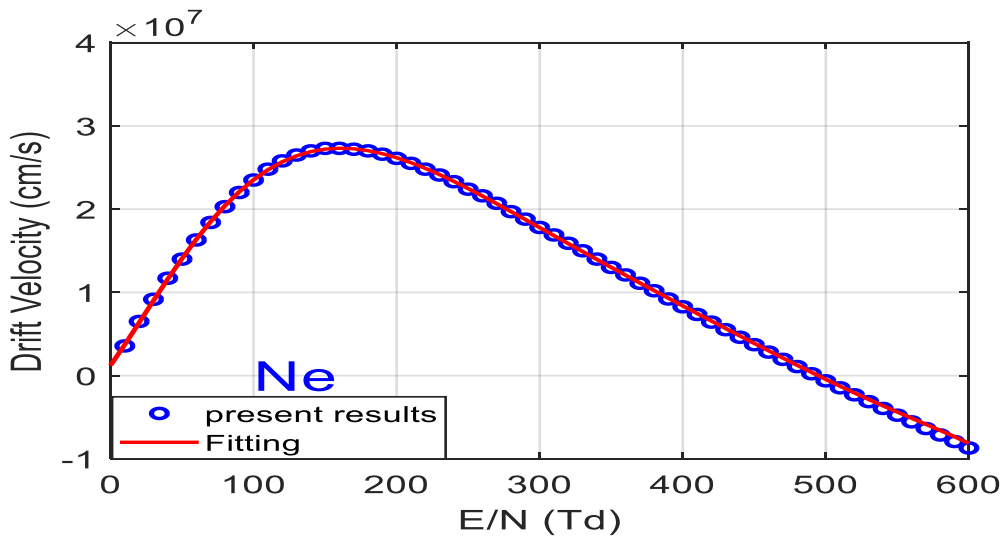


الشكل (3-96) الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون النقي

في الشكل (3-97) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N وتسلك أيضاً سلوكاً مماثلاً لنظيرتها في غاز الهيليوم ولكن تصل الى اعلى قيمة لها عند 150 Td.

معادلة الملائمة هي the polynomial- x offset من الدرجة الثامنة.

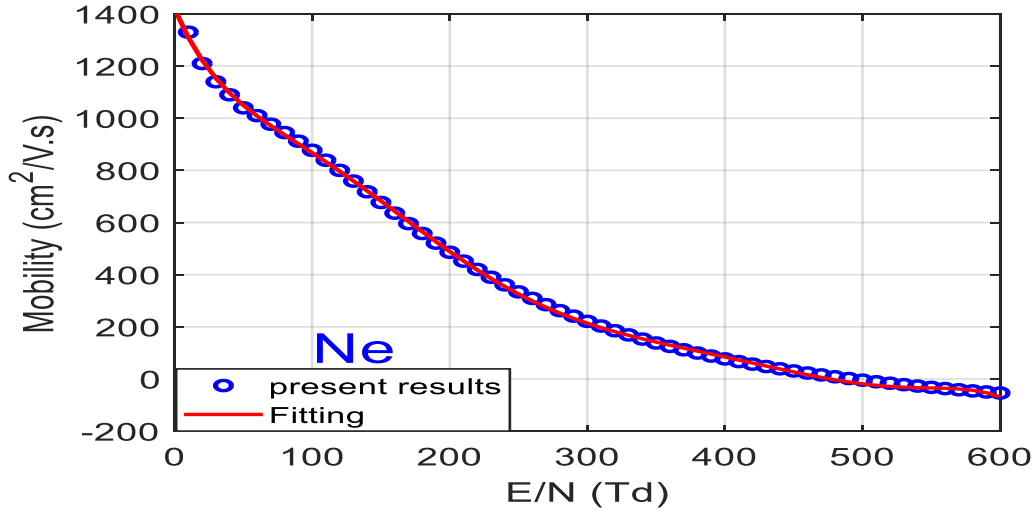


الشكل (3-97) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne

٤- تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون النقي

تبرز علاقة تنقلية الإلكترون μ_e بالمجال الكهربائي المختزل E/N والموضح في الشكل (3-98) انخفاض كبير لـ μ_e مع زيادة E/N والذي يعود الى زيادة التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع الذرات المتعادلة.

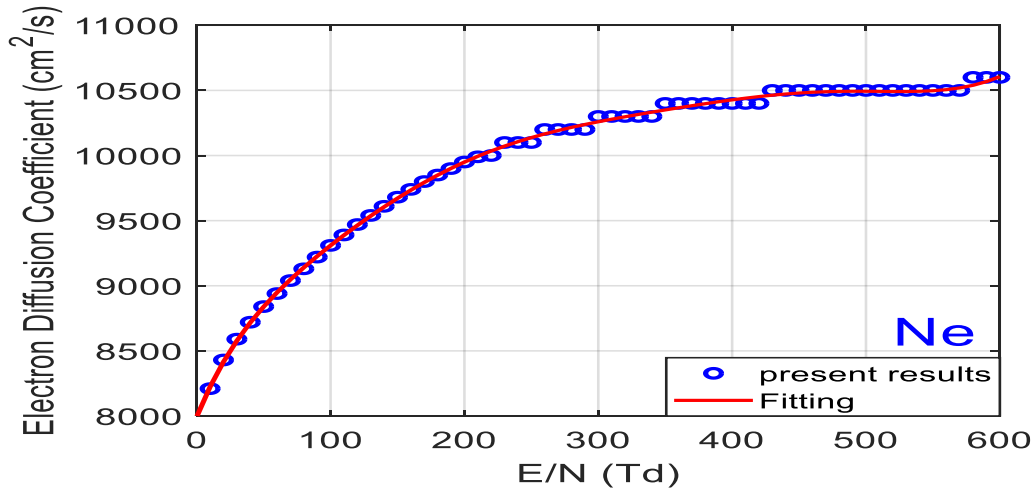
معادلة الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز النيون هي the polynomial- x offset من الدرجة السابعة.



الشكل (3-98) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون Ne

٥- معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز النيون النقي

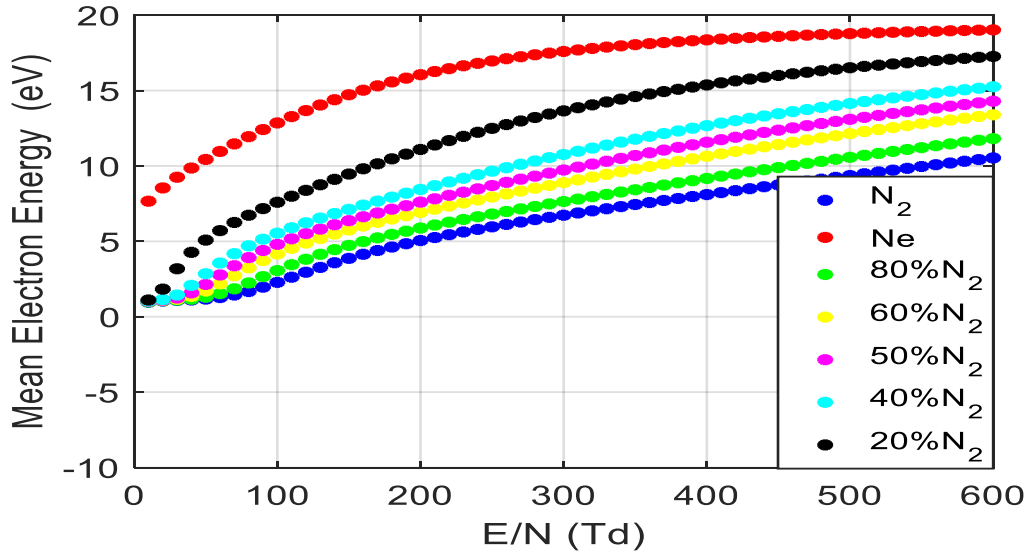
يظهر في الشكل (3-99) معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة لـ E/N ، فعند القيم القليلة ($E/N < 200$) زيادة كبيرة لـ D_e مع زيادة E/N ثم بعد هذه القيمة يسلك سلوكاً مختلفاً بين ثبات قيمته ثم الى ارتفاع بسيط. وكانت معادلة الملائمة لمعامل الانتشار الإلكتروني لغاز النيون the polynomial- x offset من الدرجة الثامنة.



الشكل (3-99) معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Ne

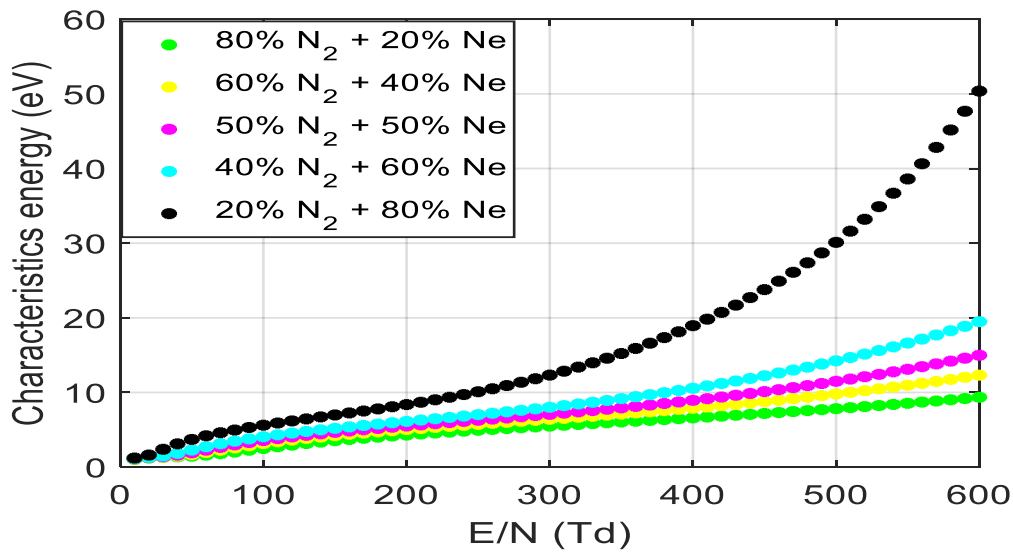
3-21-5 معلمات النقل الالكتروني لخليط (N₂+Ne) بتركيز مختلفة

يوضح الشكل (3- 100) علاقة معدل طاقة الالكترون مع المجال الكهربائي المختزل لكل من غاز النيون Ne النقي وغاز النتروجين N₂ وخليطهما بتركيز معينة، ويظهر من خلال الشكل ان منحنى Ne يقع في الأعلى ومنحنى N₂ في الأسفل وتقع باقي الخلائط بينهما وفقا لتركيز النتروجين في الخليط، ويؤدي خفض تركيز N₂ في الخليط الى ارتفاع معدل طاقة الالكترون والذي يرجع الى نقصان عدد التصادمات غير المرنة للإلكترونات مع الذرات المتعادلة.



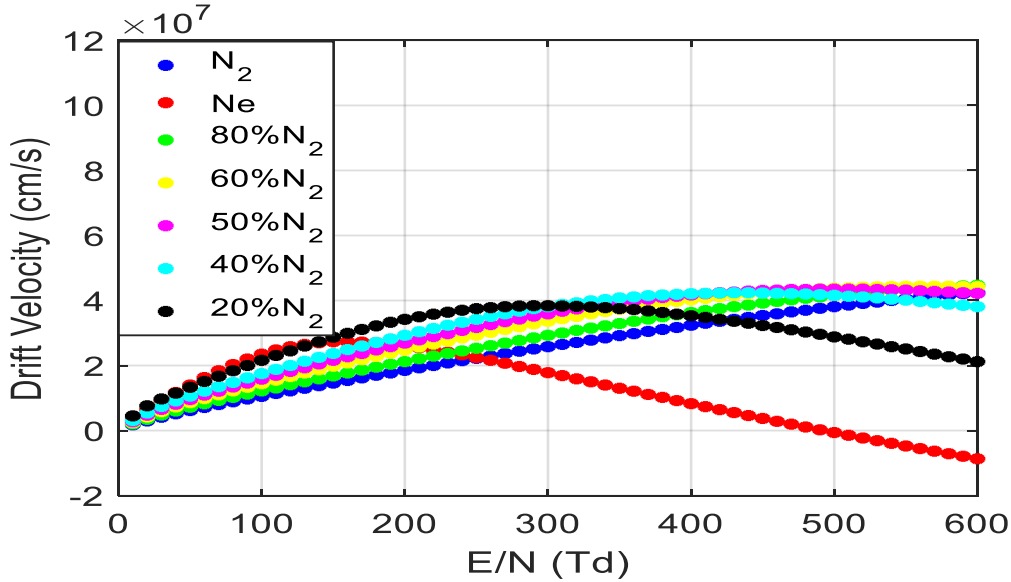
الشكل (3-100) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N₂+Ne)

يظهر في الشكل (3-101) ارتفاع لمنحنيات الطاقة المميزة E_k مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لجميع الخلائط بنقصان تركيز النتروجين في الخليط.



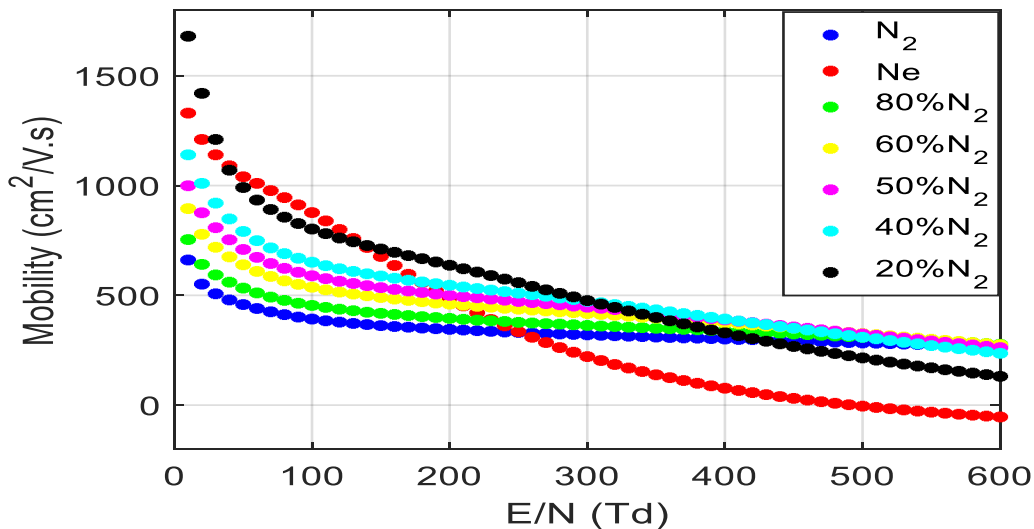
الشكل (3-101) الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N₂+Ne)

في الشكل (3-102) علاقة سرعة الانجراف V_D مع E/N بتراكيز مختلفة، عندما $E/N < 300$ فإن خفض تركيز النيتروجين في الخليط يؤدي الى زيادة V_D مع زيادة E/N بينما بعد هذه القيمة فإن زيادة تركيز N_2 في الخليط يؤدي الى رفع منحنيات V_D .



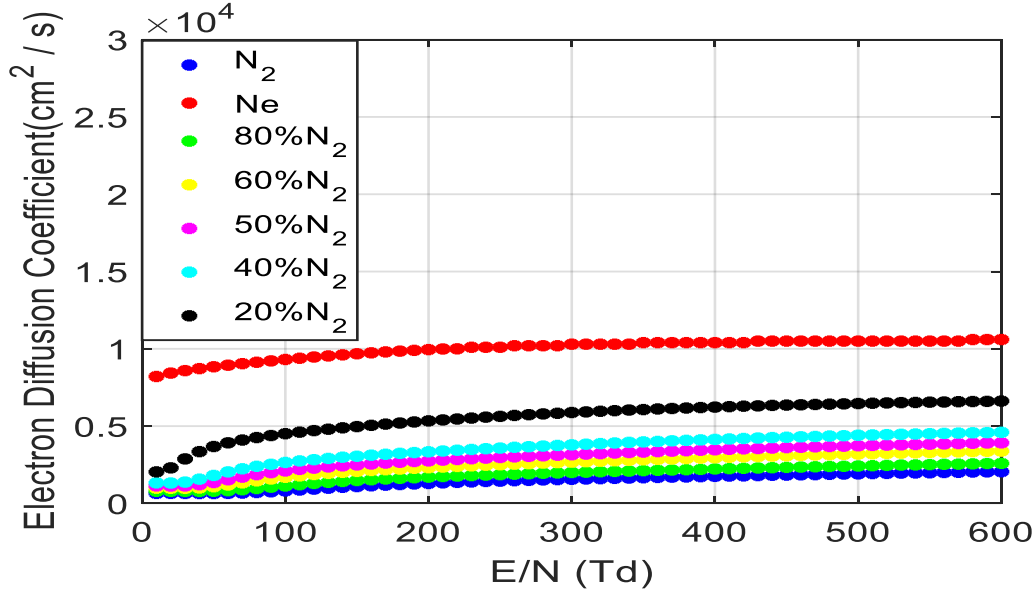
الشكل (3-102) سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Ne$)

تنقلية الإلكترون μ_e مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لغازي Ne و N_2 وخليطهم كما موضحة في الشكل (3-103)، عند $E/N < 300 Td$ تنخفض μ_e بشكل كبير مع زيادة E/N ونقصان تركيز N_2 في الخليط ($Ne + N_2$) نتيجة للتصادمات غير المرنة من جهة وكسب طاقة قليلة للإلكترونات نتيجة تطبيق المجال الكهربائي، بينما عند $E/N > 300 Td$ فإن μ_e تنخفض بشكل تدريجي ببطء مع زيادة E/N وزيادة تركيز N_2 في الخليط والذي يعزى الى اكتساب الإلكترونات طاقة اكبر في هذه المنطقة.



الشكل (3-103) تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Ne$)

يعبر الشكل (3-104) عن علاقة معامل الانتشار الالكتروني D_e مع E/N لغاز N_2 و Ne وخليطهما، ويظهر من خلال الشكل ان منحنى Ne يقع في الاعلى ومنحنى N_2 في الأسفل والخلائط الباقية بينهم وفقا لتركيز N_2 في الخليط، ويؤدي نقصان تركيز N_2 في الخليط الى ارتفاع D_e .



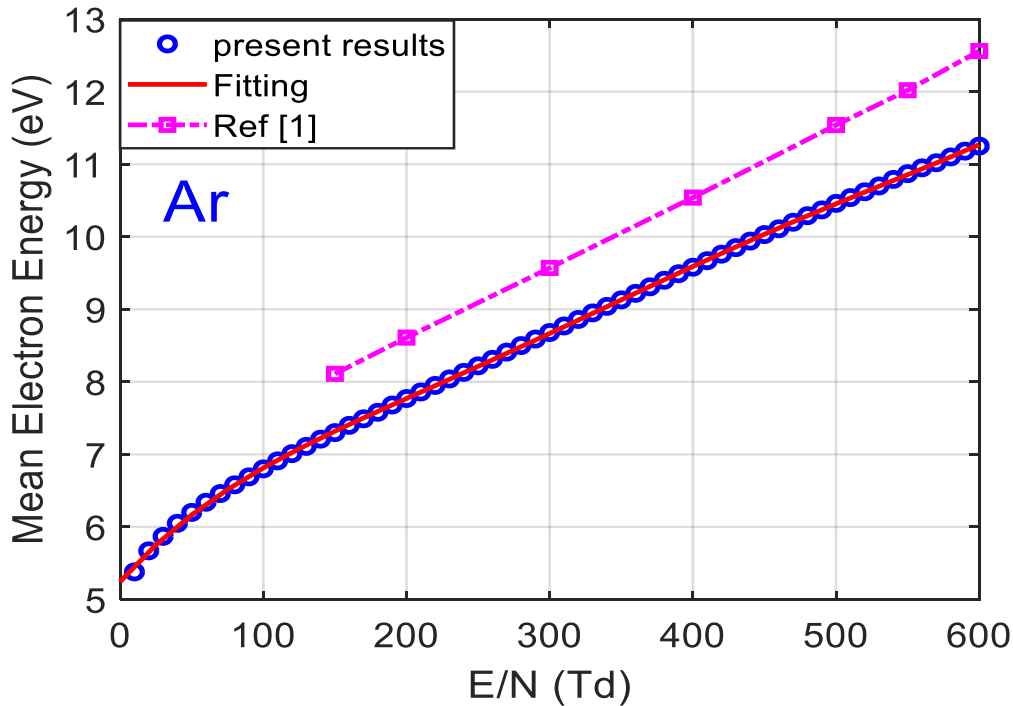
الشكل (3-104) معامل الانتشار كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N_2+Ne)

3-21-6 معلمات النقل الإلكتروني لغاز الأركون Ar النقي

١- معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون النقي

يوضح الشكل (3-105) علاقة معدل طاقة الإلكترون u مع المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون Ar النقي والذي يبين أن u تزداد بشكل طرديا مع E/N نتيجة لكسب الإلكترونات الطاقة من E/N ، توافق مقبول لنتائجنا مع نتائج الباحث (Nissan[1]) النظرية التي استخدم برنامج (نوماد) ضمن المدى المحدد.

معادلة الملائمة لمعدل طاقة الإلكترون لغاز الأركون Ar هي متعددة الحدود (polynomial) من الدرجة الخامسة.

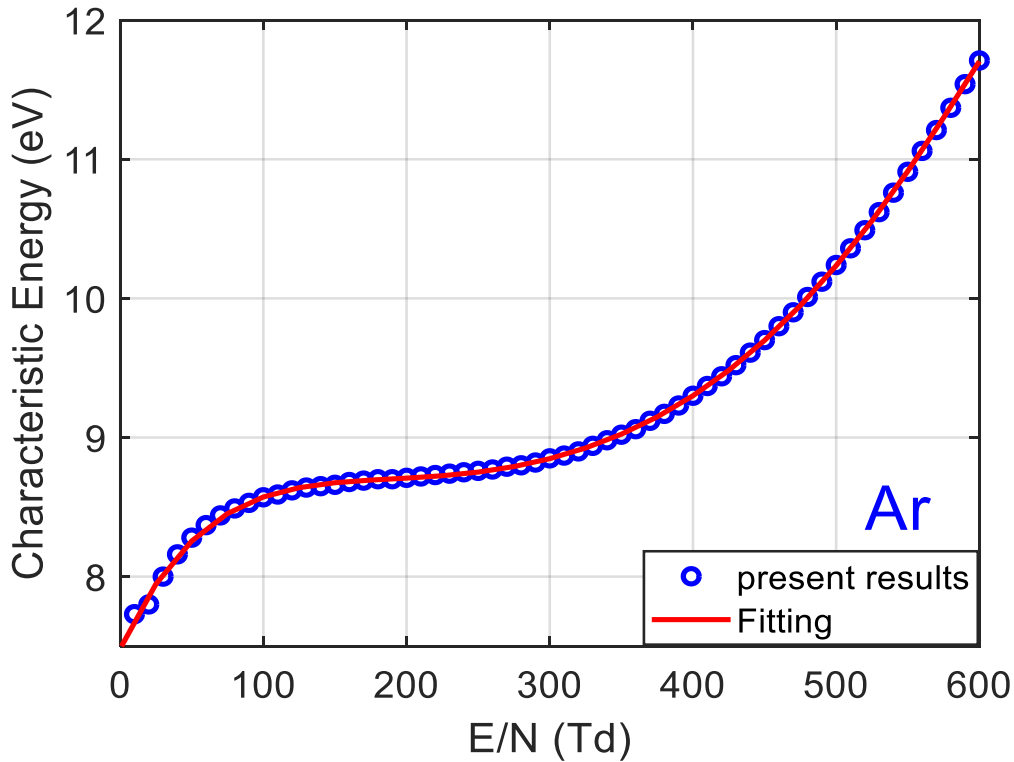


الشكل (3-105) معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون

٢- الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون النقي

تمثل الطاقة المميزة E_k كدالة لـ E/N لغاز Ar كما مبينة في الشكل (3-106) حيث تظهر فيه عند $E/N < 100$ Td زيادة ملحوظة للطاقة المميزة مع زيادة E/N وهذا يعزى الى التصادمات المرنة، وعندما تكون E/N (100-300) Td فالزيادة تكون بطيئة نتيجة لهيمنة التصادمات غير المرنة في هذه المنطقة وبعد هذا المدى فإن كسب الإلكترونات للطاقة بشكل كبير يجعل E_k تزداد مرة أخرى بشكل كبير.

ان صيغة الملائمة (Fitting) للطاقة المميزة لغاز الأركون كانت x -polynomial offset من الدرجة السادسة.

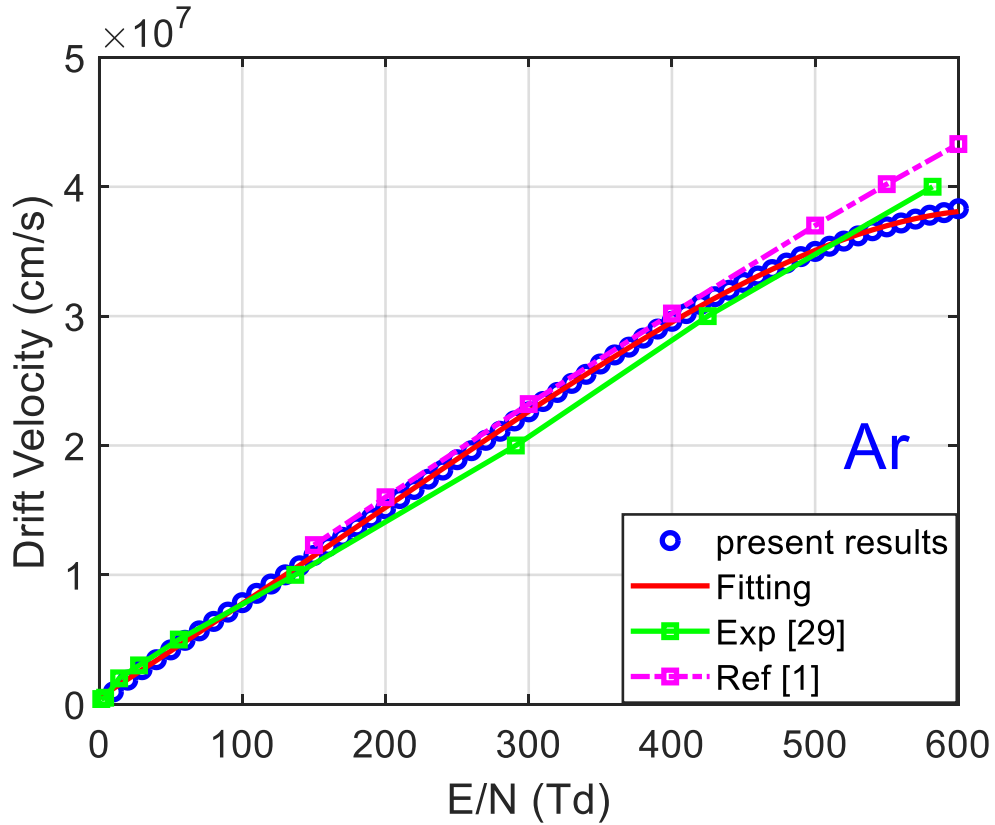


الشكل (3-106) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون Ar

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون النقي

هناك توافق جيد لبيانات سرعة الانجراف V_D كدالة لـ E/N مع الباحث (Nissan) والباحثين (Kucukarpaci and Jucas 1981[29]) كما هو موضح في الشكل (3-107) حيث تزداد V_D بشكل كبير وواضح نتيجة لتطبيق المجال الكهربائي المختزل E/N.

بيانات الملائمة لسرعة انجراف الإلكترون لغاز الأركون هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة الرابعة.

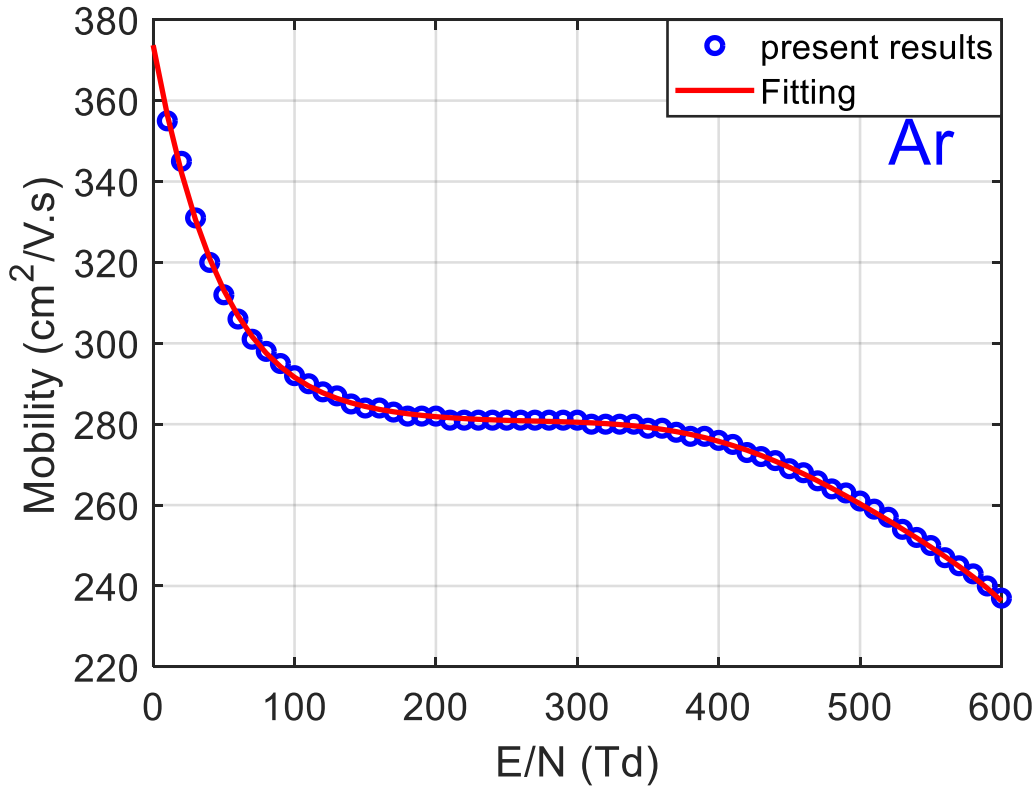


الشكل (3-107) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون Ar

٤- تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون النقي

في الشكل (3-108) هناك تناقص في تنقلية الإلكترون بشكل كبير مع زيادة E/N عند E/N < 180 Td نتيجة للتصادمات غير المرنة في تلك المنطقة، وعند المدى (180-380) Td يظهر ثبات قيمة μ_e مع زيادة E/N وبعد هذا المدى تعود μ_e لتتناقص مرة أخرى بشكل ملحوظ الأمر الذي يعزى إلى زيادة التصادمات غير المرنة.

معادلة الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز الأركون هي (the polynomial- x offset) من الدرجة السابعة.

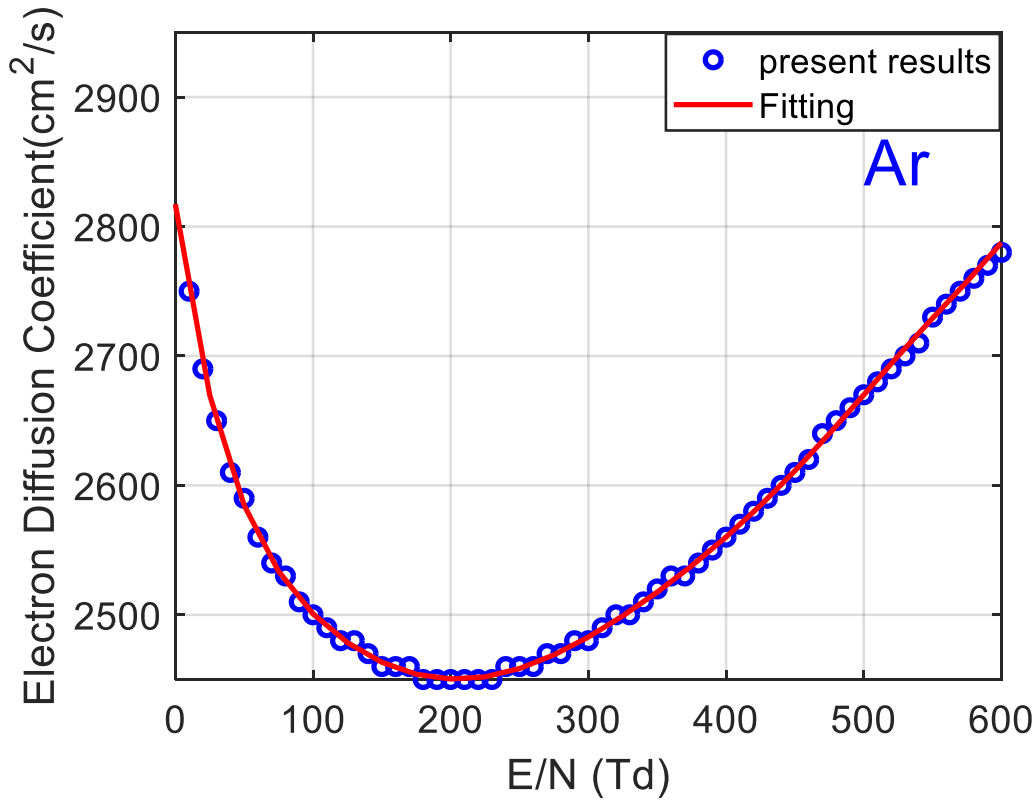


الشكل (3-108) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الأركون Ar

٥- معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الاركون النقي

معامل الانتشار D_e كدالة للمجال المختزل موضح في الشكل (3-109) والذي يظهر كمنحني انقلاب فعندما تكون $E/N < 200$ Td يظهر انخفاض D_e بشكل كبير وبعد هذه القيمة يزداد D_e بشكل كبير مع زيادة E/N .

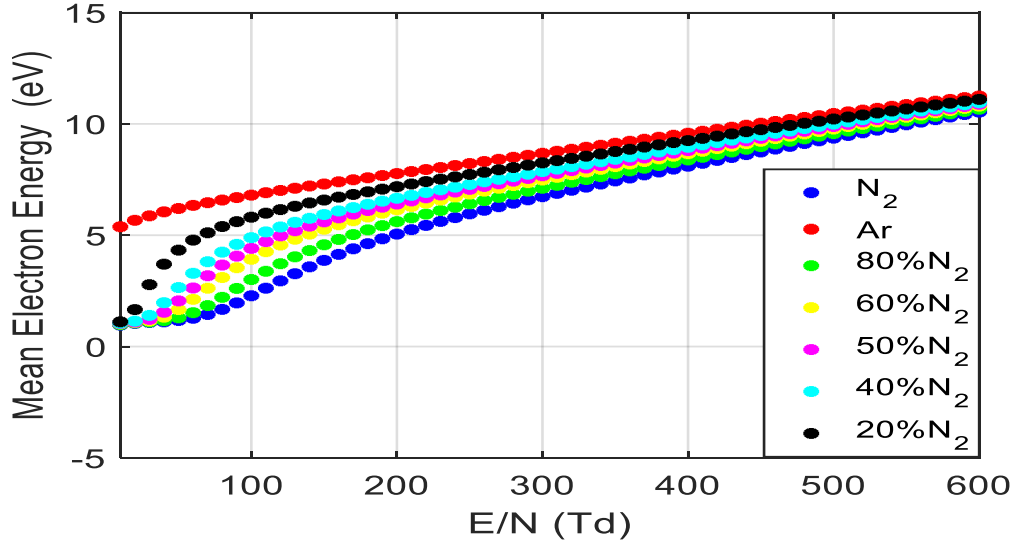
معادلة الملائمة لمعامل انتشار الالكترتون لغاز الاركون هي x offset-polynomial من الدرجة الثامنة.



الشكل (3-109) معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة للمجال المختزل E/N لغاز Ar

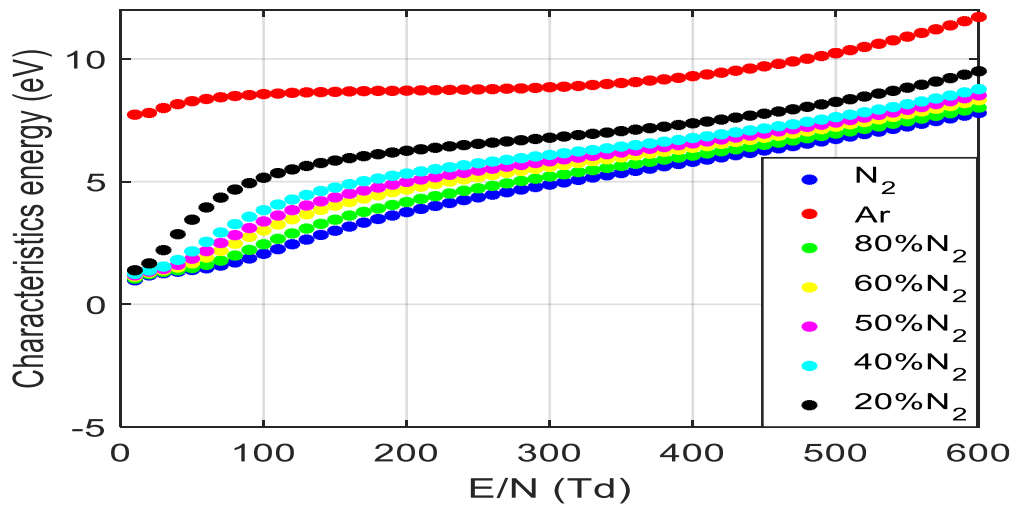
3-21-7 معلمات النقل الالكتروني لخليط (N₂+Ar) بتركيز مختلفة

تتأثر طاقة الالكترون u ومعلمات نقل الالكترون أساسا بالمجال الكهربائي المختزل E/N الذي يتم تطبيقه. يوضح الشكل (3-110) اعتماد u على E/N لكل من غازي Ar, N_2 النقيين وخليطهم بتركيز مختلفة تحت ظروف العمل المحددة.



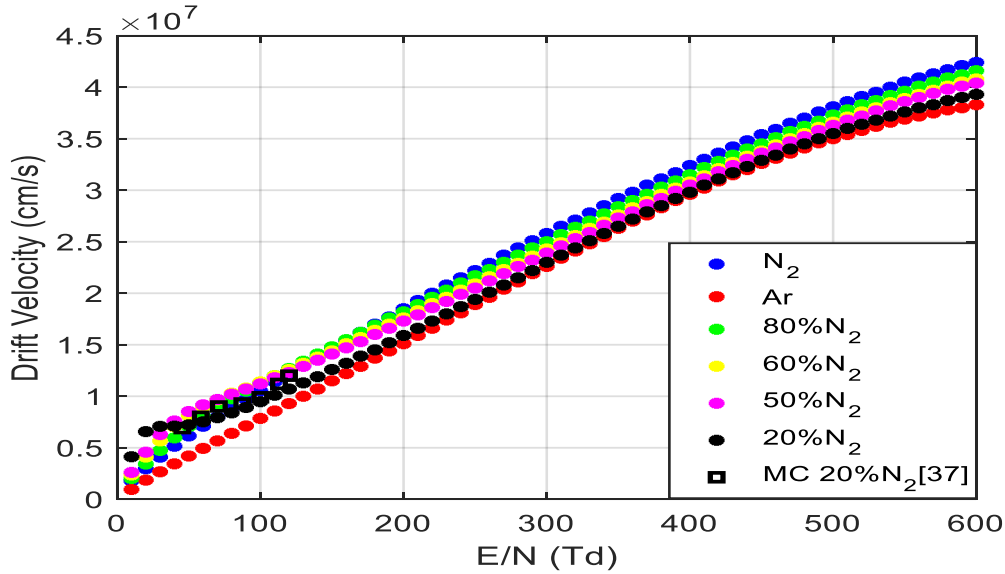
الشكل (3-110) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال المختزل لخليط (N₂+ Ar)

بينما يعبر الشكل (3-111) عن الطاقة المميزة E_k في الحالة المماثلة، ومن الواضح ان E_k و u في هذين الشكلين للاركون النقي تكون اعلى من N_2 كما تزداد هاتين المعلمتين مع زيادة E/N بسبب التصادمات المرنة. وتقع منحنيات الخليط بين الغازين النقيين Ar, N_2 وتتميز هذه المنحنيات بنسبة الغاز في الخليط، وتأثير انخفاض تركيز N_2 في الخليط يؤدي الى زيادات مهمة في كل من u و E_k ويتضح ذلك عند $E/N < 100$ Td ، بينما المنحنيات لها زيادة طردية عندما تكون $E/N > 100$ Td .



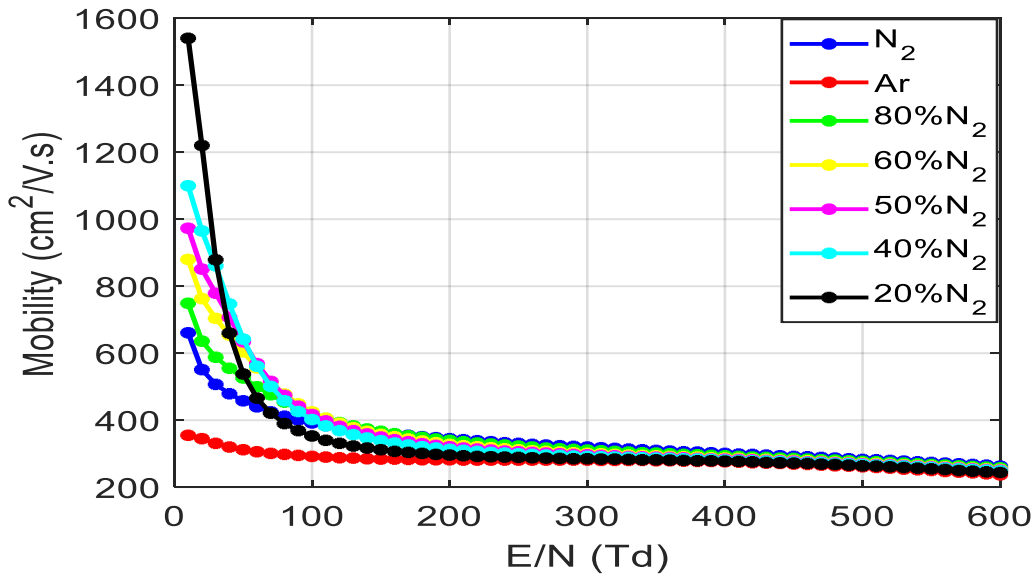
الشكل (3-111) الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال المختزل لخليط (N₂+ Ar)

يبين الشكل (3-112) العلاقة بين سرعة الانجراف V_D و E/N لغاز Ar وغاز N_2 وخليطهما، وتزداد سرعة الانجراف للبيانات بأكملها بشكل ملحوظ مع زيادة E/N .



الشكل (3-112) سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Ar$)

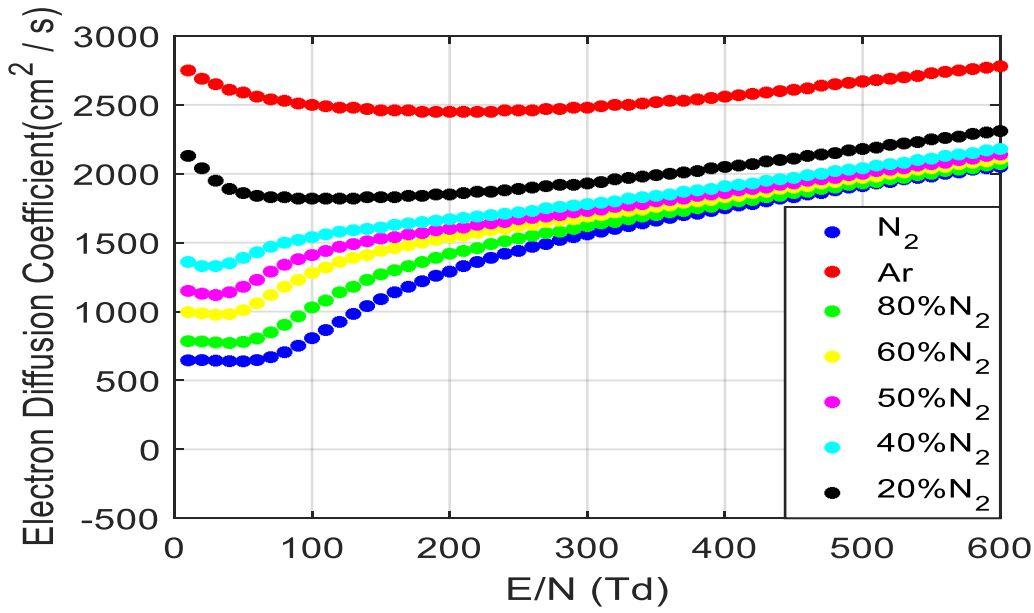
يعبر الشكل (3-113) اعتماد تنقلية الإلكترون μ_e لكل من N_2 و Ar وخليطهما على E/N . في المجال الكهربائي المطبق بقيمة تقل عن 100 Td، تنخفض تنقلية الإلكترون بشكل كبير مع زيادة E/N نتيجة لفقدان الإلكترونات طاقتها خلال التصادمات غير المرنة مع الذرات المتعادلة. وبعد هذه القيمة تتصرف جميع الخلائط بطريقة مماثلة إذ تنخفض μ_e ببطء شديد مع زيادة E/N .



الشكل (3-113) تنقلية الإلكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Ar$)

علاقة معامل الانتشار الالكتروني D_e مع E/N لغاز Ar و N_2 وخليطهما كما موضح في الشكل (3-114)، ومن الواضح ان D_e لكلا الغازين له سلوك مختلف عندما $E/N < 200$ ، اذ يتناقص منحني Ar النقي في هذه القيم بينما يزداد N_2 .

تعطى مخاليط كل من الغازين خواص مشتركة بينهما اعتمادا على تركيز الغازات في الخليط وهذا واضح في الخليط (80% Ar + 20% N_2) و (20% Ar + 80% N_2) في القيم المنخفضة لـ E/N .



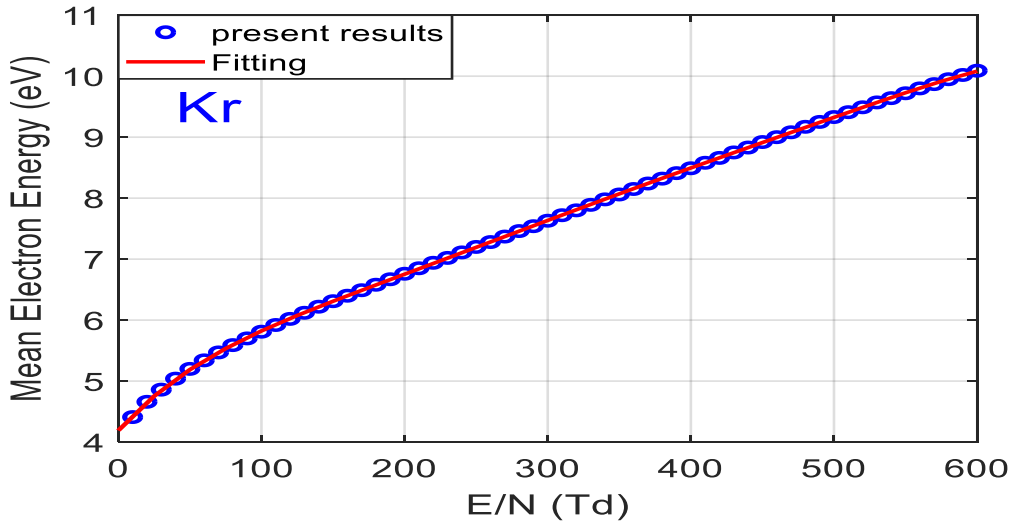
الشكل (3-114) معامل الانتشار كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N₂+ Ar)

3-21-8 معلمات نقل الإلكترون لغاز الكريبتون Kr النقي

١- معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون النقي

يوضح الشكل (3-115) علاقة خطية لمعدل طاقة الإلكترون مع المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون Kr لقيم مختلفة لـ E/N في الظروف نفسها.

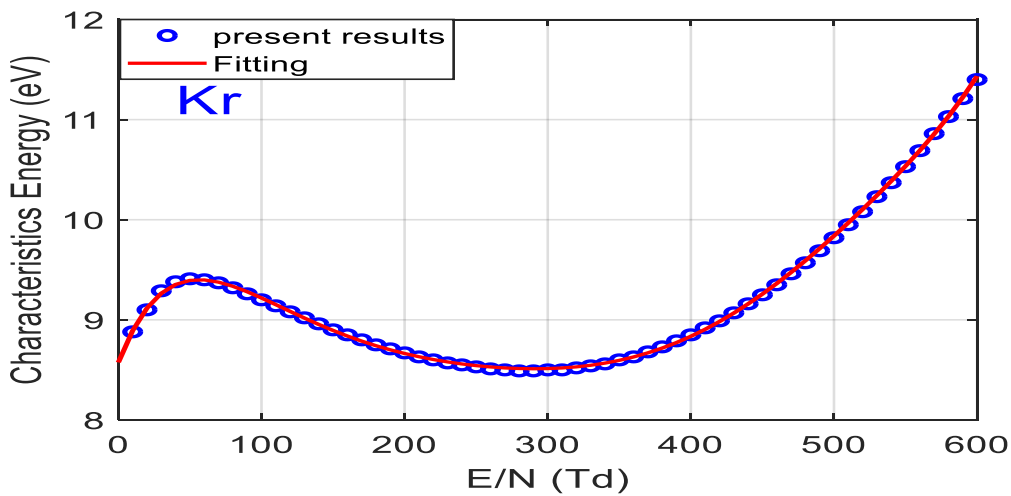
معادلة الملائمة لمعدل طاقة الإلكترون لغاز Kr هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة السادسة



الشكل (3-115) معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون

٢- الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون النقي

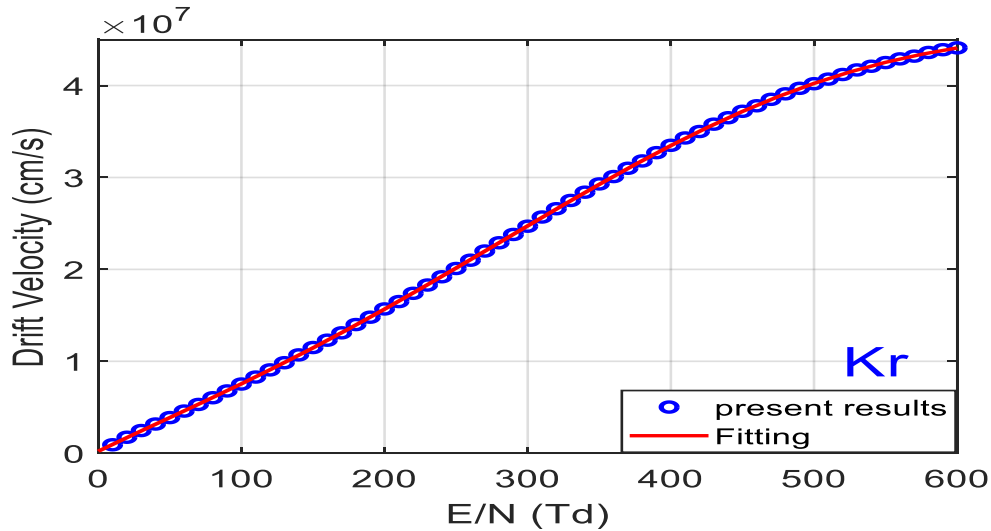
يتبين سلوك متباين للطاقة المميزة E_k لغاز Kr كدالة لـ E/N كما هو موضح في الشكل (3-116) ومعادلة الـ (Fitting) هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة السابعة.



الشكل (3-116) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون Kr

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون النقي

يتضح في الشكل (3-117) ان العلاقة خطية بين سرعة الانجراف V_D و المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون ، ومعادلة الملائمة لسرعة انجراف غاز الكربتون هي متعددة الحدود X من الدرجة الخامسة.

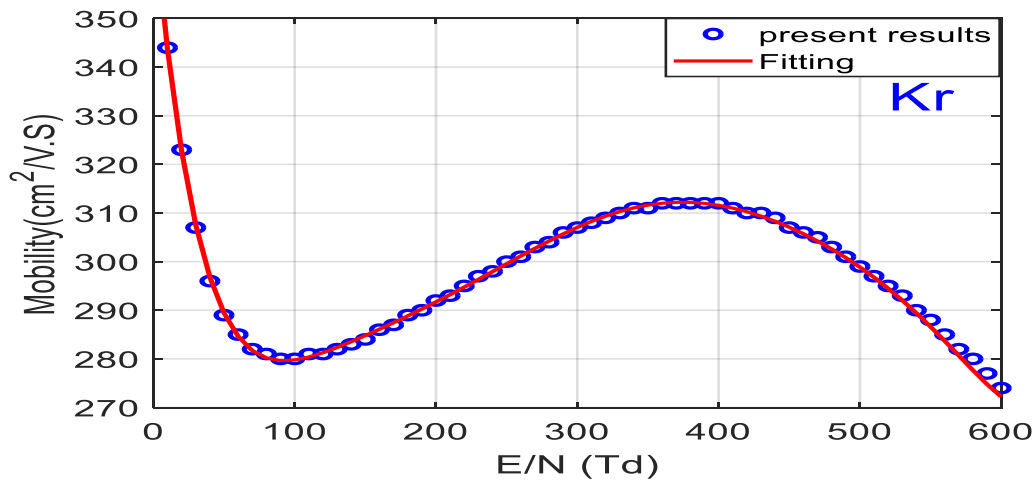


الشكل (3-117) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون

٤- تنقلية الالكترتون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون النقي

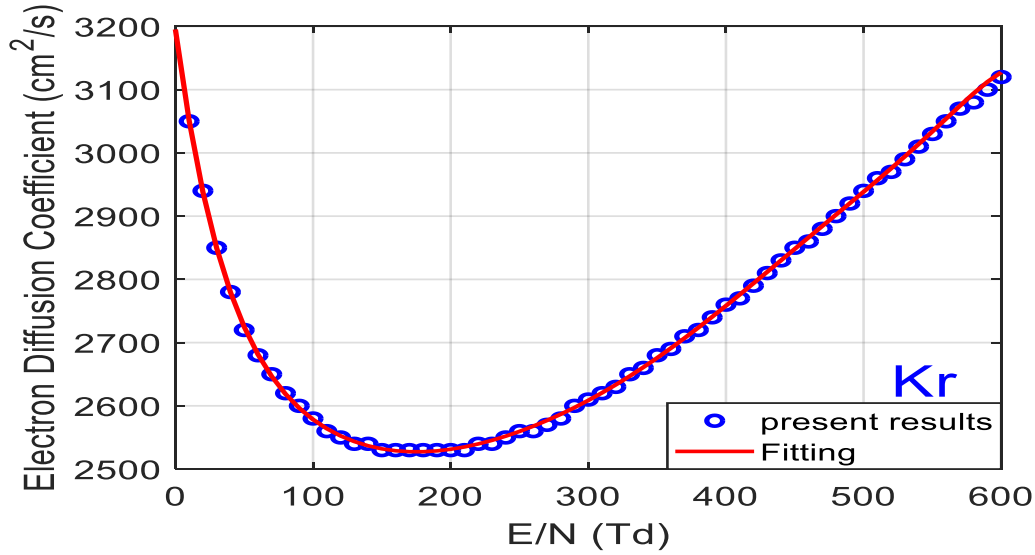
يوضح الشكل (3-118) اختلاف سلوك تنقلية الالكترتون μ_e فعند القيم القليلة للمجال الكهربائي المختزل ($E/N < 100Td$) والقيم العالية ($E/N > 400Td$) فإن μ_e تنخفض نتيجة للتصادمات غير المرنة للإلكترونات مع الذرات المتعادلة، واما بين هاتين المنطقتين فإن μ_e تزداد نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة والتصادمات المرنة .

معادلة الملائمة لتنقلية الالكترتون لغاز الاركون متعددة الحدود (polynomial) من الدرجة الثامنة.



الشكل (3-118) تنقلية الالكترتون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون

٥- معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون النقي
 معامل الانتشار الإلكتروني D_e كدالة لـ E/N كما هو موضح في الشكل (3-119) والذي
 يطابق مع سلوك D_e كدالة لـ E/N لغاز الأركون Ar .
 معادلة الملائمة لمعامل الانتشار الإلكتروني لغاز الكربتون متعددة الحدود إزاحة X من
 الدرجة التاسعة.

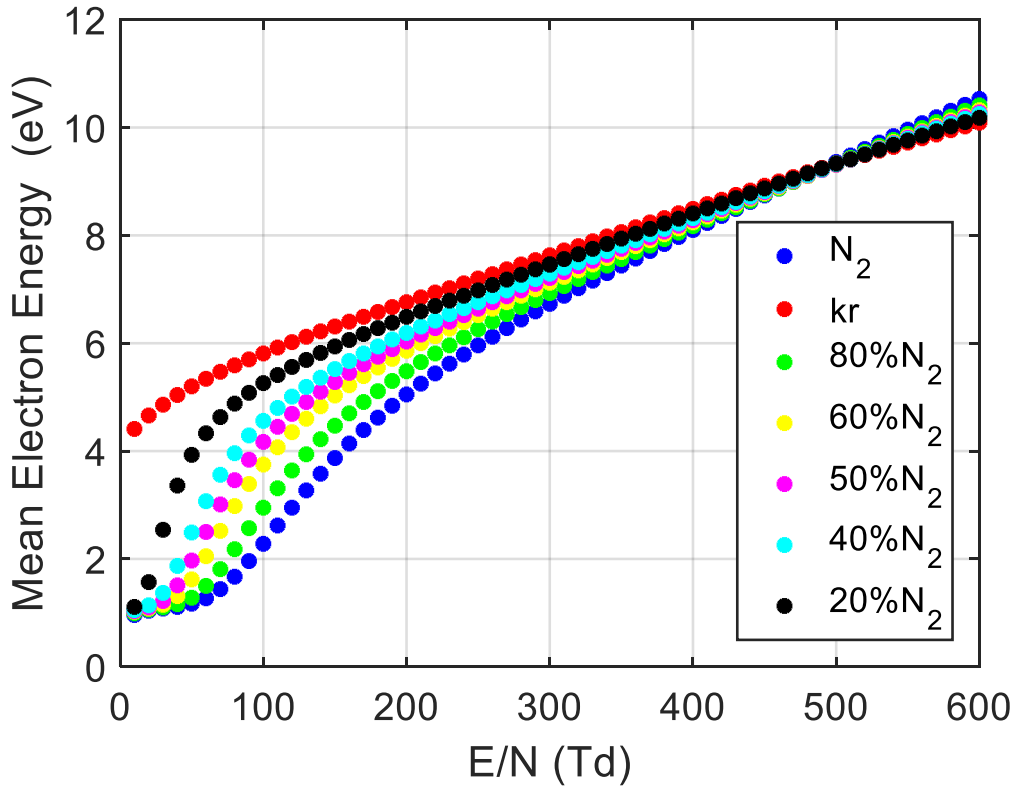


الشكل (3-119) معامل الانتشار الإلكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Kr

3-21-9 معلمات النقل الالكتروني لخليط (N₂+Kr) بتراكيز مختلفة

علاقة معدل طاقة الالكترون مقابل المجال الكهربائي E/N وغاز Kr وغاز N₂ وخالنطهما بتراكيز مختلفة ولقيم مختلفة لـ E/N كما هو موضح في الشكل (3-120)، اذ تزداد طاقة الالكترون u بزيادة E/N وان u لغاز Kr في الأعلى بينما لغاز N₂ في الأسفل وتقع بينهما الخلائط الغازية اعتمادا على تركيز الغازات في الخليط.

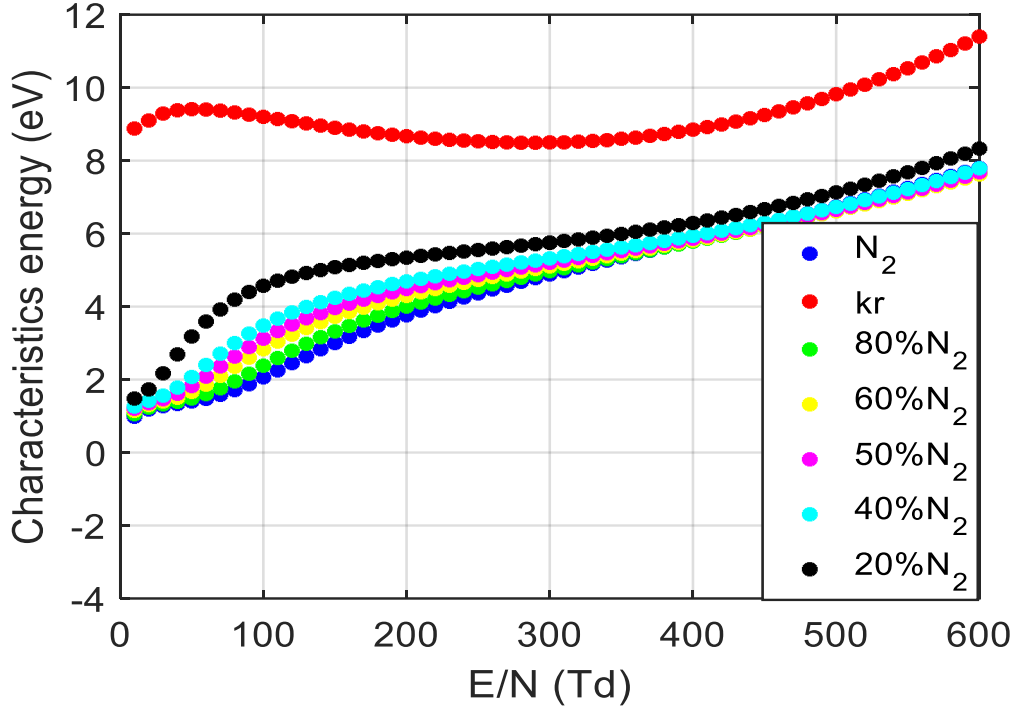
وعند E/N < 500 Td ، كلما قلت نسبة N₂ في الخليط ارتفع u اكثر وذلك لنقصان التصادمات غير المرنة من جهة واكتساب الالكترونات عن طريق E/N من جهة ثانية. واما بعد هذه القيمة فأن زيادة تركيز N₂ في الخليط تؤدي الى رفع u نتيجة لكسب الالكترونات الطاقة العالية من E/N إضافة للتصادمات المرنة.



الشكل (3-120) معدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N₂ + Kr)

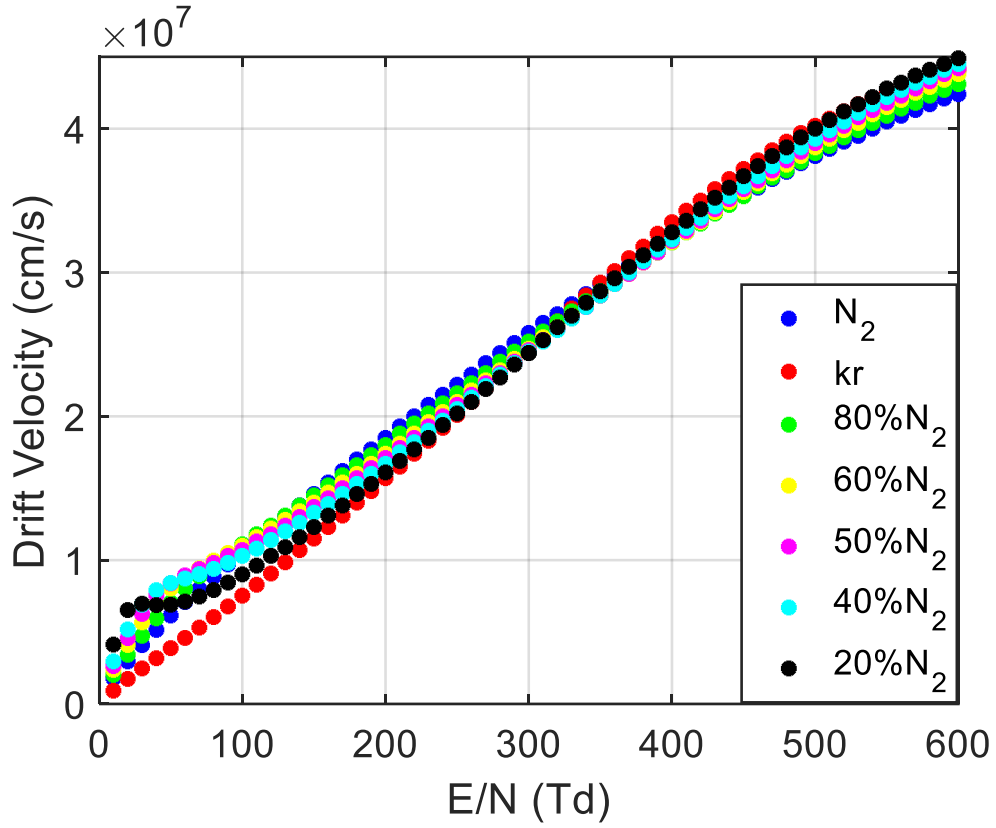
يعبر الشكل (3-121) عن علاقة الطاقة المميزة E_k بالمجال الكهربائي المختزل E/N لخليط $(Kr + N_2)$ ، عند $E/N < 300Td$ سلوك مخالف لغاز الكربتون النقي عن غاز النيتروجين وباقي الخلائط واما عندما تكون $E/N > 300Td$ فيسلك الغازان النقيان إضافة لخلاتهما سلوكاً متشابهاً تقريباً فتزداد E_k مع زيادة E/N .

ويؤدي خفض تركيز N_2 في الخليط الى ارتفاع E_k لجميع التراكيز المختلفة لخليط $(Kr + N_2)$.



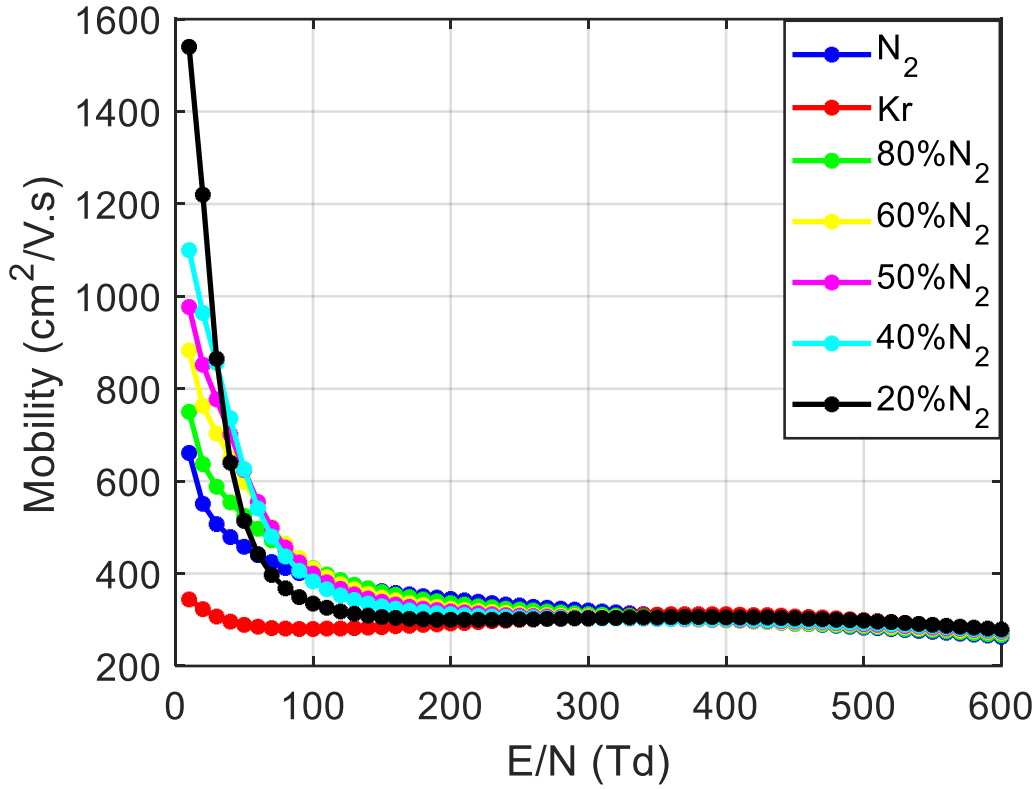
الشكل (3-121) الطاقة المميزة مقابل المجال الكهربائي المختزل لخليط $(N_2 + Kr)$

تمثل العلاقة بين سرعة الانجراف V_D والمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Kr وغاز N_2 وخليطهما بتراكيز مختلفة كما موضحة في الشكل (3-122) ، حيث تزداد V_D بشكل كبير مع زيادة E/N .



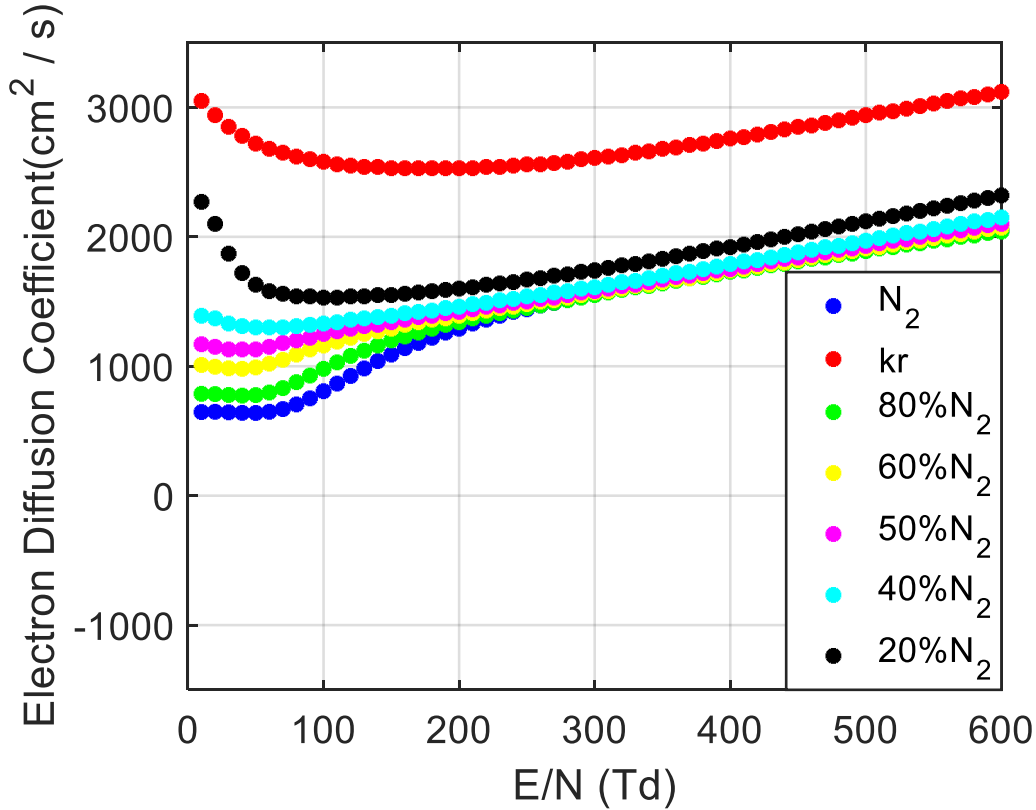
الشكل (3-122) سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Kr$)

تبدو في الشكل (3-123) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة لـ E/N لغاز Kr وغاز N_2 وخليطهما، عند القيم القليلة للمجال الكهربائي المختزل ($E/N < 100Td$) وان μ_e تتناقص بشكل كبير مع زيادة E/N نتيجة للتصادمات غير المرنة للإلكترونات مع الذرات المتعادلة، وبعد هذه القيمة فإن μ_e لجميع الخليط تتناقص بشكل بطيء جدا مع زيادة E/N .



الشكل (3-123) تنقلية الإلكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Kr$)

علاقة معامل الانتشار الالكتروني D_e مقابل E/N لغاز الكريبتون Kr وغاز N_2 يظهر في الشكل (3-124) اختلاف سلوك Kr عن سلوك N_2 عند $E/N < 200Td$ اذ يتناقص منحنى Kr بينما يزداد منحنى N_2 . وتتسلق باقي الخلائط سلوكا يعتمد على تركيز الغازات في الخليط وهذا واضح في الخليط $(80\%Kr + 20\% N_2)$ والخليط $(20\%Kr + 80\% N_2)$ عند القيم القليلة لـ E/N .

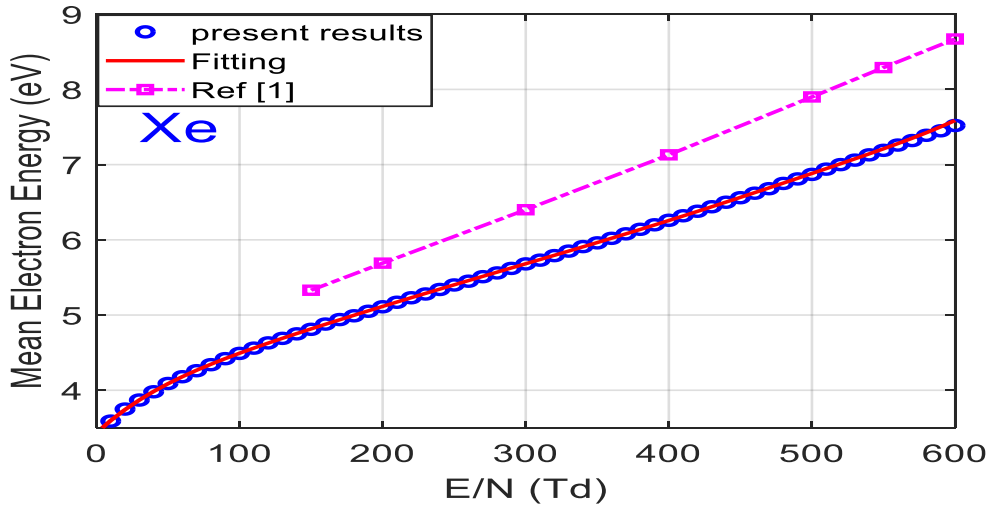


الشكل (3-124) معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط $(N_2 + Kr)$

3-21-10 معلمات نقل الإلكترون لغاز الزينون Xe النقي

١- معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون النقي

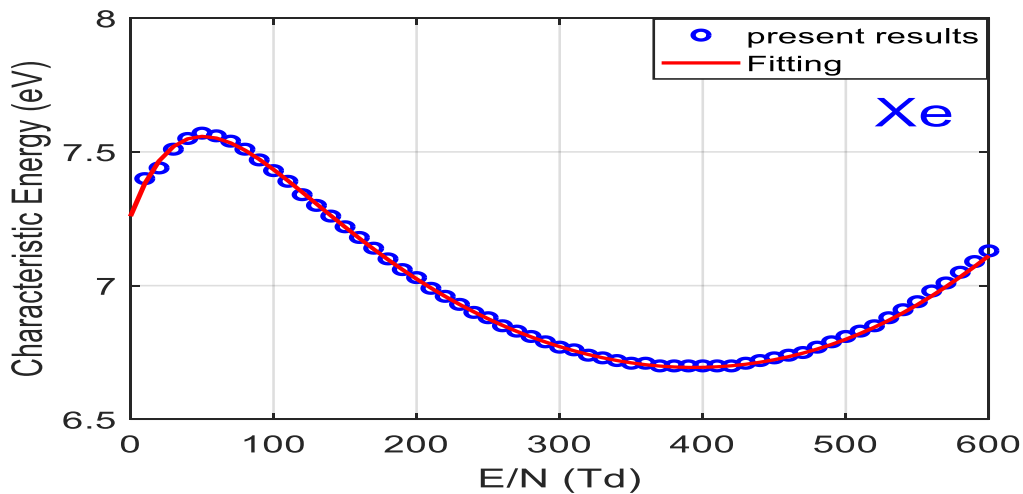
معدل طاقة الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe النقي موضح في الشكل (3-125) ولقيم مختلفة لـ E/N ويظهر من الشكل توافق مقبول لحساباتنا مع نتائج الباحث (Nissan 2009). ومعادلة الملائمة لمعدل طاقة الإلكترون لغاز الزينون Xe هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة السابعة.



الشكل (3-125) معدل طاقة الإلكترون u كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون

٢- الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون النقي

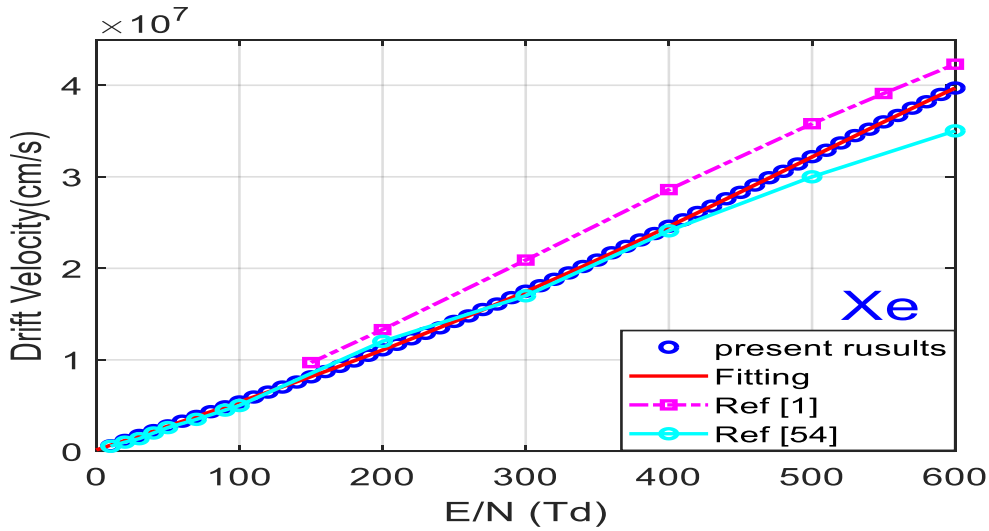
يعبر الشكل (3-126) عن E_k كدالة لـ E/N لغاز Xe والذي يشبه سلوك الطاقة المميزة لغاز Kr. ومعادلة الـ (Fitting) للطاقة المميزة هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة الثامنة.



الشكل (3-126) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe

٣- سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكريبتون النقي

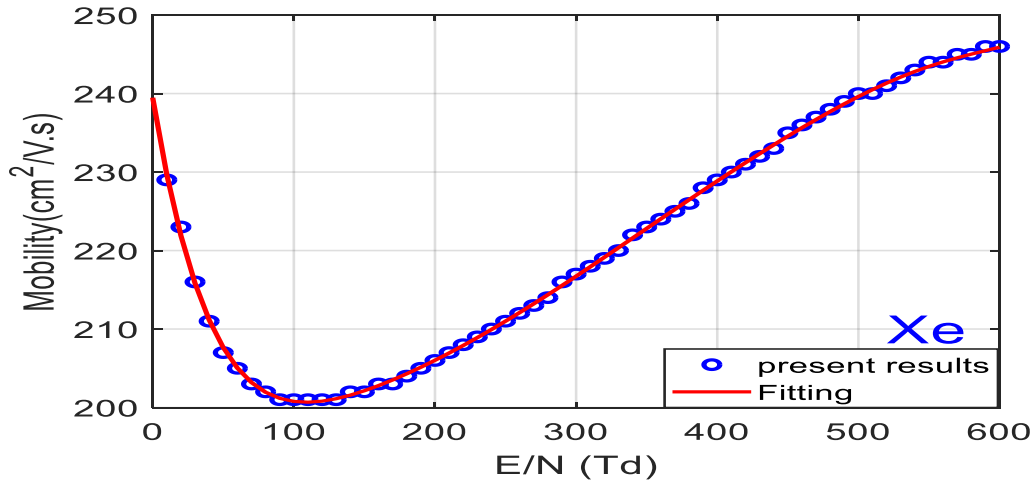
هناك توافق جيد لحساباتنا مع نتائج الباحث (Nissan 2009[1]) والباحث (Dhuha S. 2016[46]) في الشكل (3-127) والذي يظهر علاقة سرعة الانجراف V_D بالمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe ، وتزداد V_D بشكل طردي مع زيادة E/N. اما معادلة الملائمة لسرعة الانجراف فهي متعددة الحدود من الدرجة الرابعة.



الشكل (3-127) سرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe

٤- تنقلية الإلكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون النقي

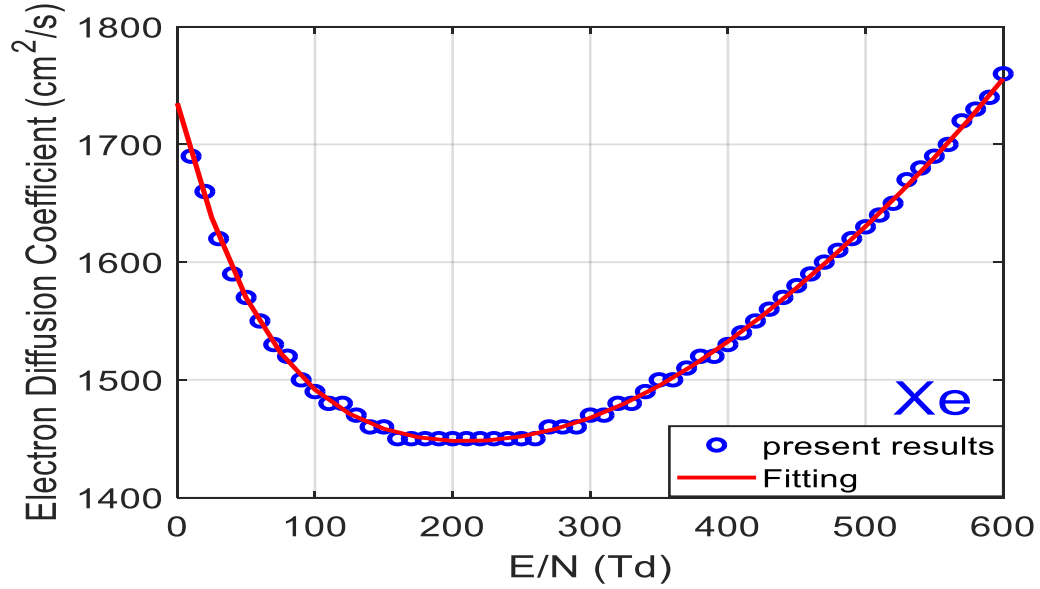
يظهر في الشكل (3-128) عند $E/N < 100Td$ تناقص تنقلية الإلكترون μ_e بشكل كبير مع زيادة E/N نتيجة للتصادمات غير المرنة واما عندما تكون $E/N > 100Td$ فسوف تزداد تنقلية الإلكترون نتيجة للتصادمات المرنة واكتساب الالكترونات الطاقة. ومعادلة الملائمة لتنقلية الإلكترون لغاز الزينون Xe هي متعددة الحدود إزاحة X من الدرجة التاسعة.



الشكل (3-128) تنقلية الإلكترون μ_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe

٥- معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الكربتون النقي ان معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N موضح في الشكل (3-129) والذي يظهر فيه تشابه السلوك مع غاز الكربتون Kr .

معادلة الملازمة لمعامل الانتشار لغاز الزينون متعددة الحدود X من الدرجة التاسعة.

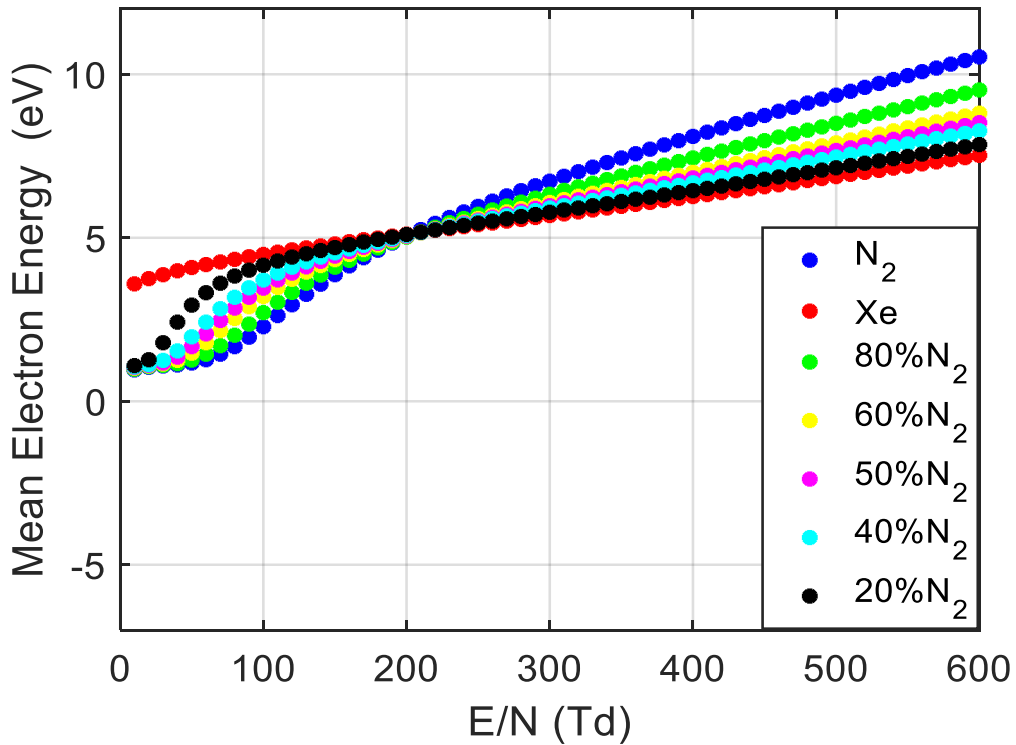


الشكل (3-129) معامل الانتشار الالكتروني D_e كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لغاز Xe

3-32 معلمات النقل الالكتروني لخليط (N₂+Xe) بتراكيز مختلفة

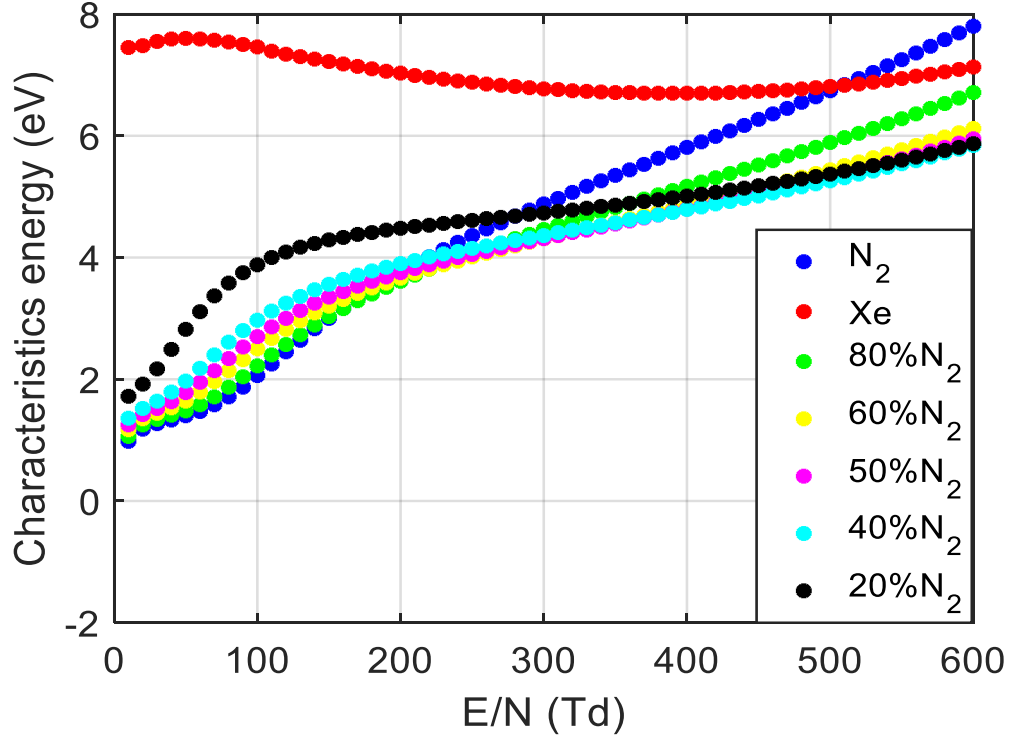
هناك سلوك متباين يظهر في الشكل (3-130) لمعدل طاقة الالكترون كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لخليط (N₂+Xe)، حيث تزداد طاقة الالكترون مع زيادة E/N.

عندما تكون E/N < 200Td، فإن خفض تركيز النتروجين في الخليط يؤدي الى رفع معدل طاقة الالكترون واما عندما تكون E/N > 200Td، فزيادة تركيز النتروجين في الخليط تؤدي الى رفع معدل طاقة الالكترون.



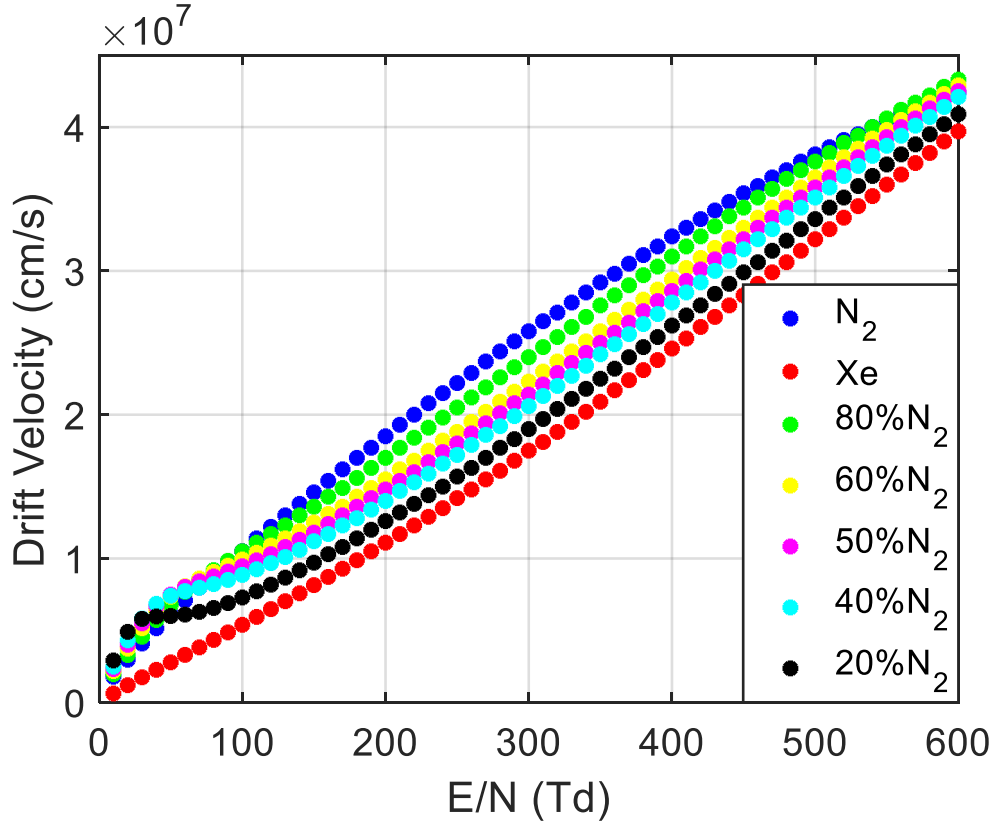
الشكل (3-130) معدل طاقة الالكترون مقابل المجال الكهربائي المختزل لخليط (N₂ + Xe)

يتضح في الشكل (3-131) الطاقة المميزة E_k مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لغاز الزينون Xe النقي وغاز النروجين وخالطهما بتراكيز مختلفة ويظهر في الشكل اختلاف سلوك كل خليط باختلاف تركيز الغازات في ذلك الخليط.



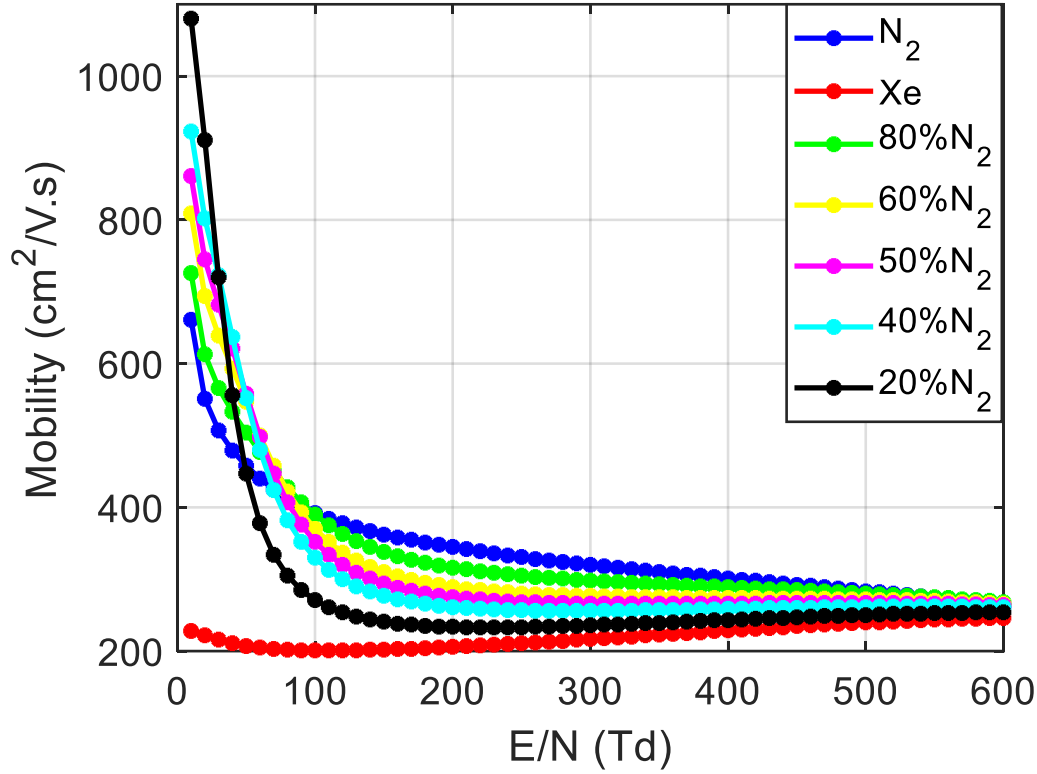
الشكل (3-131) الطاقة المميزة كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط (N₂ + Xe)

يعبر الشكل (3-132) عن علاقة سرعة الانجراف V_D بالمجال الكهربائي المختزل E/N بتراكيز مختلفة لكل من غاز الزينون Xe وغاز النتروجين N_2 ، في القيم القليلة للمجال الكهربائي المختزل ($E/N < 100Td$) يظهر اختلاف سلوك كل خليط باختلاف تركيز الغازات في الخليط، واما بعد هذه القيمة فإن زيادة تركيز النتروجين في الخليط تؤدي الى رفع V_D اكثر.



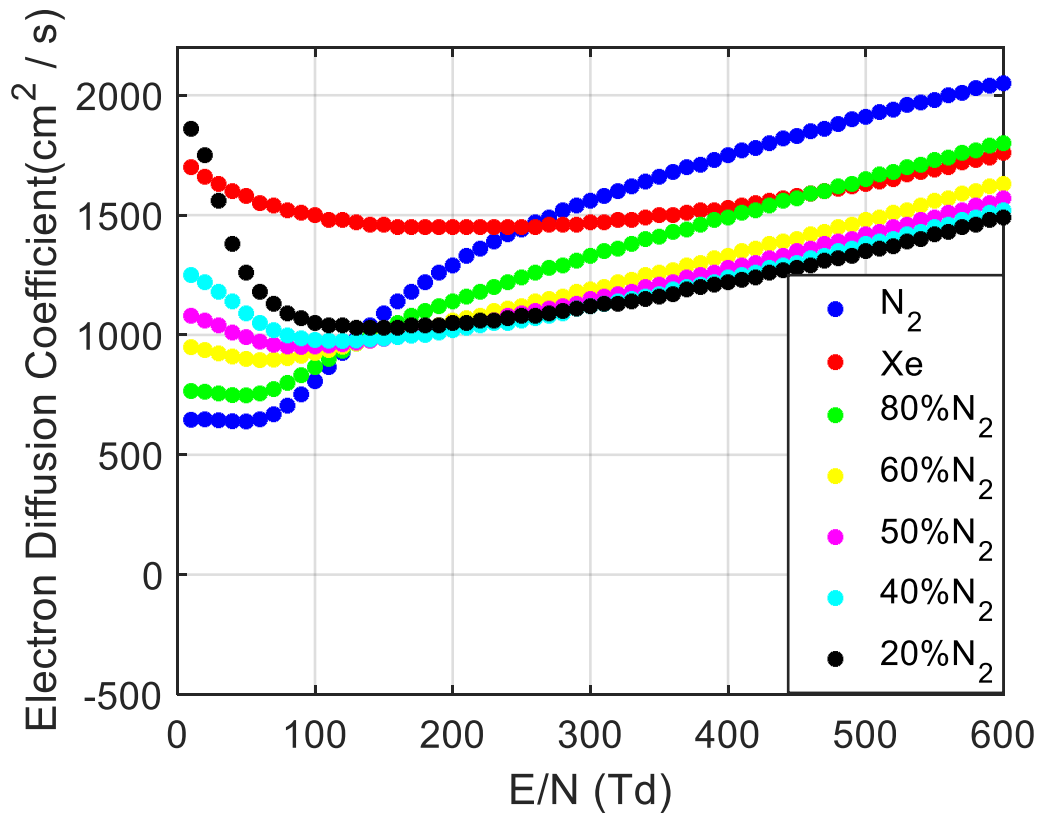
الشكل (3-132) سرعة الانجراف كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Xe$)

يؤدي انخفاض تركيز النتروجين في الخليط (N_2+Xe) في القيم القليلة للمجال الكهربائي المختزل ($E/N < 100Td$) والموضح في الشكل (3-133) الى انخفاض كبير لتنفلية الالكترين مع زيادة E/N والذي يعود الى التصادمات غير المرنة للإلكترونات والذرات المتعادلة. واما بعد زيادة المجال الكهربائي ($E/N > 100Td$) فإن التنفلية تنخفض بشكل تدريجي مع زيادة E/N .



الشكل (3-133) تنفلية الالكترين كدالة للمجال الكهربائي المختزل لخليط ($N_2 + Xe$)

يبين الشكل (3-134) معامل الانتشار الالكتروني D_e مقابل المجال الكهربائي المختزل E/N لخليط (N_2+Xe) والذي يظهر فيه تباين سلوك كل خليط باختلاف تركيز الغازات في الخليط.



الشكل (3-134) معامل الانتشار الالكتروني كدالة للمجال المختزل لخليط $(N_2 + Xe)$

3-22 الاستنتاجات

يؤدي المقطع دوراً مهماً في تغيير دالة التوزيع الإلكتروني EEDF لجميع الخلائط الغازية ومن ثم تأثر معاملات النقل بذلك. ان استخدام المقاطع العرضية الكثيرة والدقيقة تعطي نتائج أفضل من المقاطع العرضية المحدودة عند حل معادلة بولتزمان، حيث لاحظنا ان بعض نتائجنا قد اختلفت عن نتائج الباحثين السابقين بهذا الصدد كونهم استخدموا مقاطع عرضية قليلة كانت متوفرة آنذاك إضافة الى اختلاف تركيز الالكترونات، ويمكن ذكر اهم النتائج التي تم التوصل اليها بما يلي:

١- تظهر النتائج ان التوزيع غير ماكسويلي لجميع الخلائط المستخدمة باستثناء الخلائط التي يكون فيها تركيز النتروجين N_2 عالياً والمجال الكهربائي المختزل E/N قليلاً عندئذ يكون التوزيع ماكسويلي.

٢- دالة التوزيع هي غير ماكسويلية لجميع قيم E/N للغازات النبيلة نتيجة لاكتساب الالكترونات الطاقة ومن ثم انجرافها نحو معدل الطاقة العالي.

٣- حسابات دالة التوزيع EEDF لغاز النتروجين النقي تبين ان التوزيع غير ماكسويلي ما عدا قيم صغيرة جدا لطاقة الالكترون $u(eV)$ وحدث تأين ذرات النتروجين والذي يعني اكتساب الالكترونات الطاقة الكافية لتأين ذرات N_2 عند قيم E/N الأقل.

٤- تغيير تركيز الغاز في الخليط يسبب تغييراً في دالة التوزيع EEDF وبالنتيجة يحدث تغيير في معاملات النقل الإلكتروني (معدل طاقة الالكترون، الطاقة المميزة، سرعة الانجراف، تنقلية الالكترون، معامل الانتشار الإلكتروني).

٥- من الواضح ان EEDF تتأثر بشكل كبير عن طريق تغيير المجال الكهربائي المختزل E/N ومن ثم يظهر تأثر معاملات النقل الإلكتروني بذلك.

٦- التراكيز الصغيرة من الغاز الجزيئي N_2 لها دور أساسي على EEDF وعلى معاملات نقل الالكترون.

٧- يؤدي تقليل تركيز النتروجين N_2 في خلائطه مع الغازات النبيلة الى توسع ذيل EEDF نحو معدل الطاقة العالي باستثناء خليطه مع الزينون Xe عند $E/N > 50Td$.

٨- زيادة E/N تؤدي الى تطور EEDF نحو ذيل الطاقة العالي نتيجة لاكتساب الالكترونات الطاقة.

٩- زيادة تركيز النتروجين N_2 في خلأطه مع الغازات النبيلة وعند قيم E/N القليلة تؤدي الى انخفاض EEDF نحو معدل الطاقة الواطئ والذي يعزى الى زيادة التصادمات غير المرنة من جهة واكتساب القليل من الطاقة من جهة ثانية.

١٠- نقصان تركيز النتروجين في الخليط (N_2+Xe) يؤدي دور متباين اعتمادا على E/N .

١١- تأثير كبير لـ EEDF لغازي الهيليوم He والنيون Ne بانخفاض تركيز N_2 في الخليط والذي يدفع EEDF لهذين الغازين بشكل كبير جدا نحو معدل الطاقة العالي كما في الشكل (74-3).

١٢- معدل طاقة الالكتران u لجميع الخلأط المذكورة تكون ثابتة عند 10Td.

١٣- يزداد معدل طاقة الالكتران u بانخفاض تركيز N_2 في الخليط ولجميع المجالات الكهربائية المختزلة المستخدمة باستثناء خليط (N_2+Kr) عند $E/N > 500Td$ وخليط (N_2+Xe) عند $E/N > 200Td$ فيحصل العكس.

١٤- تسلك الطاقة المميزة E_k لغازي الهيليوم He والنيون Ne سلوكاً متبايناً يختلف عن بقية الغازات المستخدمة.

١٥- الطاقة المميزة E_k كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N تزداد بنقصان تركيز N_2 في جميع الخلأط باستثناء خليط (N_2+Xe) الذي يكون ذات سلوك متغير.

١٦- تبرز علاقة خطية لسرعة الانجراف V_D كدالة للمجال الكهربائي المختزل E/N لجميع الخلأط ما عدا خليط (N_2+He) وخليط (N_2+Ne).

١٧- هناك تناقص كبير جدا وواضح لتقلية الالكتران μ_e عند $E/N < 100Td$ (نتيجة التصادمات غير المرنة من جهة واكتساب القليل من الطاقة عن طريق E/N من جهة اخرى) لجميع الغازات النبيلة وخالأطها مع N_2 ما عدا للهيليوم عند $E/N < 40Td$.

١٨- ان معامل الانتشار الالكتروني D_e يزداد بشكل عام بزيادة E/N ونقصان تركيز N_2 في الخليط ما عدا خليط (N_2+Kr) وخليط (N_2+Xe).

١٩- هناك تطابق جيد لحساباتنا مع النتائج النظرية والعملية لباحثين اخرين.

3-34 الاقتراحات والمشاريع المستقبلية

- ١- دراسة تأثير تغيير كل من درجة الحرارة، الضغط، وتركيز الالكترونات على هذه الدراسة.
- ٢- تطوير العمل ليشمل تأثير المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي معا على EEDF و ETC.
- ٣- دراسة تأثير إضافة كل غاز من الغازات النبيلة الى الاوكسجين، وذلك نظرا لأهميتها في التفريغ الكهربائي على EEDF وعلى ETC.
- ٤- استخدام برامج أخرى في مثل هذه الدراسة مثل برنامج BOLSIG الذي يحل معادلة بولتزمان ويتعامل مع مكونات البلازما كموائع.
- ٥- اعتماد هكذا دراسات لغرض الحصول على أفضل الخلائط التي تستخدم في التفريغ الكهربائي.

المصادر

References

References

1. Nissan S., 2009, "Theoretical calculation of transport parameters in plasma gas SF₆ and its mixture with inert gases by using the Numerical Solution of Boltzmann transport equation". Ph. D. Thesis, college of Education for pure science, University of Baghdad.
2. Guangsup C., Lee J., Kim, S., Song H., Koo J., Kim B. Kang J., Choi E., Lee U., and Verboncoeur, J., 2005, "Glow discharge in the external electrode fluorescent lamp", IEEE Transactions on Plasma Science, 33 (4): 1410-1415.
3. Starostin S., Aldea E., de Vries H., Creatore M., de Sanden M., 2007, "Application of atmospheric pressure glow discharge (APGD) for deposition of thin silica-like films on polymeric webs", 28th ICPIG, Prague, Czech Republic.
4. Navaneetha P., Selvarjana V., Deshmukhb R., and Changyou G., 2008, "Adhesive properties of polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET) film surfaces treated by DC glow discharge plasma", Vacuum, 83(2): 332-339
5. Bogaerts A., Neyts E., Gijbels R., Mullen J., 2002, "Gas discharge plasmas and their applications", Spectrochimica Acta Part B 57: 609–658
6. Shul, R. J. and Pearton, S. J. 2000. Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques, Springer Berlin Heidelberg.
7. Demidov, V., DeJoseph, C. Jr. and Kudryavtsev, A., 2006. Nonlocal Effects in a Bounded After Glow Plasma with Fast Electrons, IEEE Transactions on Plasma Science, 34(3):825-833.
8. Pereira, NR. and Whitney KG., 1988. "Non-Maxwellian electron – energy distribution due to inelastic collisions in z – pinch plasma", Physical Review A, 38(1):319 – 327.
9. Baha T. Chiad, Hamid K. Radam, Mohammed J. Jader, 2010, "Study of electron energy distribution function and transport parameters for CF₄ and Ar gases discharge by using the solution of Boltzmann", Iraqi Journal of Physics, 8 (13): 11-22
10. Dyatko, Kochetov, Napartovich, and Sukharev A., 2005, "EEDF the software package for calculations of the electron energy distribution function in gas mixtures". <http://www.lxcat.net/software/EEDF/>
11. Nabhan A. K , and Wallah G. M, 2010, " Numerical Study for Pure Nitrogen Gas Discharge, Tikrit Journal of Pure Science, 16 (2):80-86.
12. Mohammad M. O., Sherzad A. T., and Jwan J. M., 2017, "Electron transport parameters in Hydrogen–argon mixtures", American Institute of Physics. 6th International Conference and Workshops on Basic and Applied Sciences AIP Conf. Proc. 1888, 020040-1–020040-7; <https://doi.org/10.1063/1.5004317>.
- 13- Tulio C. Vivaldini, Iara B. Lima, and Josemary A. C. Gonçalves, 2009, "Measurements of electron drift velocity in pure isobutane", International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 Rio de Janeiro, RJ, Brazil, Associação brasileira de energia nuclear - aben isbn: 978-85-99141-03-8.

- 14- Enas A. Jawad, M. K. Jassim, 2018, " Studying the effect of adding buffer gases to CO₂ gas on the electron transport parameter", Energy Procedia 157 :117-127: DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.171.
- 15- Baldur E., Ulrich K., 1992, "Nonequilibrium Volume Plasma Chemical Processing", IEEE transactions on Plasma Science, 19(6):1063-1077.
- 16- Julian P., 1989, "Study of electron scattering based on electron velocities in gas mixtures" England, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of The Australian National University, England.
- 17- Franz G., 2009, "Low Pressure Plasmas and Microstructuring Technology", 732: 422.
- 18- David B. Go, 2012, "Gaseous ionization and ion transport: An Introduction to Gas Discharges", Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame, IN 46556.
- 19- Pradyot P., 2001, "Handbook of Inorganic Chemicals, the United States of America", Printed and bound by R. Donnelley.
- 20- Jianing Hu, 2018, Human Alteration of the Nitrogen Cycle and Its Impact on the Environment, Earth and Environmental Science 178, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 178 (2018) 012030:(5pp)
- 21- Peter A., Tina O., Jonathan R., Mark W., Fraser A., 2006, "Inorganic Chemistry", published in the united states and Canada, Oxford New York.
- ٢٢- محمد مجدي واصل، ٢٠٠٦، "أسس الكيمياء غير العضوية"، مصر، دار الفجر للنشر والتوزيع.
- 23- James E. H., Kathleen A. H., 2001, "Descriptive inorganic chemistry", Malloy, USA.
- 24- Mansour M. M., El-Sayed N. M., Farag O. F. and Elghazaly M. H., 2013, "Effect of He and Ar Addition on N₂ Glow Discharge Characteristics and Plasma Diagnostics", Arab Journal of Nuclear Science and Applications, 46(1):116-125.
- 25- Xiao D. M., Zhu L. L. and Li X. G., 2000, "Electron transport coefficients in SF₆ and xenon gas mixtures", J. Phys. D: 33: L145–L147.
- 26- Catherine E. Housecroft and Alan G. Sharpe, 2012, "Inorganic Chemistry", Grafos S.A., Arte sobre papel, Barcelona, Spain.
- 27- Pedro Ars enio N. Aleixo V., 2015, "Ionization in atmospheric-pressure Helium plasma jets", Extended abstract of the thesis to obtain the Master of Science Degree in Engineering Physics, Universidade de Lisboa, Portugal.
- 28- Paul Monk, 2004, "Physical Chemistry", Manchester Metropolitan University, UK, British Library Cataloguing in Publication Data, Printed and bound in Great Britain by Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- 29- Kucukarpaci H. N. and Lucas J., 1981, "Electron swarm parameters in argon and krypton", J. Phys. D: Appl. Phys., (14) :2001-2014.
- 30- Date, H. sakai, Y., Tagashira, H., Boltzmann equation analysis of electron collision cross section and swarm parameters for krypton. J. of physics D:Applied physics, 1989, Vol. 22, Issue 10, pp.1478-1481.

- 31- W. L. and B. M. Pnerante, ELENDF, A time dependent Boltzmann solver for partially ionized plasma. Computer physics communication, 1990, Vol. 58, 127-152.
- 32- Sang-won Lim, Sang-Hyeon seo, Heoi-Young You, Sangnam kim,sung-chul Ha, Electron swarm parameter in SF₆+Ar mixture gas. Vol. 1, Issure, 25-30, 1997, 146-149.
- 33- Xiao, Deng, liu, Oin and Ling, Measurement of ionization and attachment coefficients in SF₆ and xenon gas mixtures. Japanese Journal of Applied physics, 1999, Vol. 38, no. 8A, (L875-L-877).
- 34- Kremnev, V.V., Optimization of the sf6-N2 gas mixture composition in a high-power nanosecond bipolar voltage generator, IEEE, 2001 Vol.3, no.2, 540-547.
- 35- Karditsas, P., J., the electron energy distribution function of noble gases with mixture. IEEE, 2002, Vol.5, (77-80).
- 36- Zahang, L.-C. Xiao, D.-M, Wu, B.-T, Electron swarm coefficients in SF₆ and CF₄ gas mixture from Monte Carlo method, phy. J. Appl. Phy., Vol, 35, no, 1, 2006, pp, 57-60.
- 37- J. Jovanovic et al, 2007, "Electron impact ionization and transport in Nitrogen-Argon mixtures", 28th ICPIG, Prague, Czech Republic, (200-203).
- 38- Wang Feng, W. Pfeiffer, N. Kouzichine and Li Kenli, plasma Sci. Technol, calculation of electron swarm parameters of SF₆/N₂ in uniform field using improved Monte Carlo collision simulation method, Vol. 10, 39-42, 2008.
- 39- A. Andronica, et al, 2008, "Drift velocity and gain in argon- and xenon-based mixtures", physics.ins-det, Elsevier Science, (11pp).
- 40- Petrovic L., et al, 2009, "Measurement and interpretation of swarm parameters and their application in plasma modelling", J. Phys. D: Appl. Phys. 42:194002 (33pp).
- 41- Mohammed Y., et al, 2009, "Electron Swarm Coefficients in CO₂-N₂ and CO₂-O₂ Mixtures", IEEE transactions on Plasma Science, 37 (6): 764-772.
- 42- Sasic O., et al, 2010, "Measurement and analysis of electron transport coefficients obtained by a pulsed Townsend technique", Plasma Sources Sci. Technol. 19 (3), 034003, (8pp)
- 43- M. Stano, et al, 2010, " Electron Drift Velocity Measurement in Argon with Small Admixture of N₂, H₂ or O₂", 20th ESCAMPIG, Novi Sad, Serbia P1.29.
- 44- Raad H., M., 2011, "Dependence of electrons distribution function and the swarm parameters on the buffer gas (Xe) concentration in SF₆-Xe gas mixture", Diyala Journal for pure sciences, 8 (2): 97-107.
- 45- Stojanovic V., et al, 2011, "Modeling particle energy distribution functions in Ar/H₂ discharge", Institute of Physics, University of Belgrade.
- 46- Alves L., et al, 2013, "comparisons of sets of electron-neutral scattering cross section and swarm parameters in noble gases Helium and Neon", Journal of physics, D: Applied physics 46(33): (22pp).
- 47- Pitchford L., et al, 2013, " Comparisons of sets of electron-neutral scattering cross section and swarm parameters in noble gas: Argon", Journal of physics, D: Applied physics 46(33): (19pp)

- 48- Mayorov S. A., 2014, "Electron Transport Coefficients in a Helium–Xenon Mixture", *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, 41(10): 285–291.
- 49- Maher B., et al, 2015, "Kinetic Theory of Gases", *Handbook of Thermal plasma*, Springer international publishing: (35pp).
- 50- Kitajima M., et al, 2015, "Total cross sections for electron scattering from noble-gas atoms in near- and below-thermal energy collisions", *Journal of Physics: Conference Series* 635: 012030:(8pp)
- 51- R. H. Jassim, M.K. Jassim, 2016, "Studying the Electron Energy Distribution Function (EEDF) and Electron Transport Coefficients in SF₆ – He Gas Mixtures by Solving the Boltzmann Equation", *J. Baghdad Science*, 14(2): 411-417.
- 52- Enas A. Jawad, 2016, " Theoretical Calculations of the Electron Transport Parameters in CH₄-Ar and CH₄-Ne Mixtures Gases Using Monte Carlo Method", *J. Ibn Al-Haitham*, 30(1): 38-52.
- 53- Golyatina et al, 2016, "Electron drift characteristics in Ar-Hg", *Plasma Physics Reports* 44(4):453–457.
- 54- Dhuha S. A., 2016, "Calculation of Electron Drift Velocity in Xenon Gas Using Boltzmann Equation Analysis", *Journal of College of Education, University of Mustansiriya*, 1:109-116.
- 55- Enas A. Jawad, 2018, "Theoretical Calculation of the Electron Transport Parameters and Energy Distribution Function for CF₃I with noble gases mixtures using Monte Carlo simulation program", *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1003 (2018) 012089:(14pp).
- 56- Abdul M., Majeed, Hussein B. J., Jassim M. K., 2018, "Study electron transport coefficients for Ar, O₂ and their mixtures by using EEDF program", *Journal of Physics: Conf. Series* 1003: 012116:(7pp).
- ٥٧- بن عطاء الله زهية، تطبيق تقريب الحدين، "الحساب معاملات الانتقال للإلكترونات الخاضعة لمجال كهربائي ومغناطيسي منتظمين لغاز ضعيف التأين"، ماستر أكاديمي، الجزائر، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، كلية العلوم والتكنولوجيا وعلوم المادة، ٢٠١٢.
- 58- Franz J. Vesely, 2005, " Boltzmann's transport equation", *Statistical Physics, Computational Physics Group Institute of Experimental Physics, University of Vienna*.
- 59- Dunbar R., C., 1982, "Deriving the Maxwellian Distribution", *J.chem.*, 59: 22-23.
- 60- Nicholas James Behlman, 2009, "Electron energy distribution measurements in the plume region of a low current hollow cathode", *Worcester polytechnic institute*, A thesis submitted to the faculty of the Worcester polytechnic institute.
- 61- Edward and Daniel E. W., 1988, "Transport properties of ions in gases", *John Wiley and Sons Inc. USA*.
- 62- Nighan, 1970, "Electron energy distribution and collision rates in electrically excited N₂, CO and CO₂", *Phys. Rev.*, 2:1989-2000.
- 63- Hippler R., Kersten H., Schmidt M., and Schoenbach K. H., 2008, "Low Temperature Plasmas: Fundamentals, Technologies, and Techniques", 2nd edition., *Wiley-VCH/Weinheim*.

- 64- Chen F. F., 1983, "Introduction to plasma physics and controlled fusion", Plenum Press, New York and London.
- 65- Bushra J. H., M. K. Jassim, 2016, "An Investigative Study on the Electron Energy Distribution Function and Electron Transport Coefficients in SF₆ – Ne Gas Mixtures", Journal of College of Education, University of Mustansiriyah, 5: 63-71.
- 66- Bittencourt, J.A., 1986. "Fundamental of Plasma Physics". Pergamon Press, USA.
- 67- Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie, <http://www.laplace.univ-tlse.fr/Groupesde-recherche/GREPHE/Projets-en-cours/BOLSIG-Resolution-de-l-equation-de/?lang=en>
- 68- Y. Nakamura, "Drift velocity and longitudinal diffusion coefficient of electrons in nitrogen and carbon monoxide", 1987, Journal Physics D: Appl. Phys. 20: 933-938.

الملاحقات

Appendices

UNIFORM ELECTRIC FIELD

SUMMARY OF PLASMA PARAMETERS AS A FUNCTION OF E/N

PURE N₂ T= 273 K P= 760.00 TORR

E/N	u	E _K =D/μ _e	V _D	μ _e	D
(E-16 V. cm ²)	(eV)	(eV)	(cm/S)	(cm ² /V.S)	(cm ² /S)
1.000	0.96	0.98	1.78E+06	6.61E+02	6.46E+02
2.000	1.04	1.18	2.96E+06	5.51E+02	6.48E+02
3.000	1.08	1.27	4.09E+06	5.07E+02	6.44E+02
4.000	1.11	1.33	5.15E+06	4.79E+02	6.40E+02
5.000	1.17	1.40	6.15E+06	4.58E+02	6.39E+02
6.000	1.27	1.47	7.09E+06	4.40E+02	6.48E+02
7.000	1.44	1.58	7.99E+06	4.25E+02	6.69E+02
8.000	1.67	1.71	8.85E+06	4.12E+02	7.05E+02
9.000	1.96	1.87	9.70E+06	4.01E+02	7.52E+02
10.000	2.28	2.06	1.05E+07	3.92E+02	8.07E+02
11.000	2.62	2.25	1.14E+07	3.84E+02	8.66E+02
12.000	2.95	2.45	1.22E+07	3.78E+02	9.25E+02
13.000	3.27	2.64	1.30E+07	3.72E+02	9.83E+02
14.000	3.58	2.83	1.38E+07	3.67E+02	1.04E+03
15.000	3.87	3.00	1.46E+07	3.62E+02	1.09E+03
16.000	4.14	3.17	1.54E+07	3.58E+02	1.14E+03
17.000	4.39	3.33	1.62E+07	3.55E+02	1.18E+03
18.000	4.62	3.48	1.70E+07	3.51E+02	1.22E+03
19.000	4.84	3.62	1.77E+07	3.48E+02	1.26E+03
20.000	5.05	3.76	1.85E+07	3.45E+02	1.29E+03
21.000	5.25	3.89	1.93E+07	3.42E+02	1.33E+03

22.000	5.44	4.01	2.00E+07	3.39E+02	1.36E+03
23.000	5.62	4.13	2.08E+07	3.36E+02	1.39E+03
24.000	5.79	4.25	2.15E+07	3.33E+02	1.42E+03
25.000	5.96	4.36	2.22E+07	3.31E+02	1.44E+03
26.000	6.12	4.47	2.29E+07	3.28E+02	1.47E+03
27.000	6.28	4.57	2.37E+07	3.26E+02	1.49E+03
28.000	6.44	4.68	2.44E+07	3.24E+02	1.52E+03
29.000	6.59	4.78	2.51E+07	3.22E+02	1.54E+03
30.000	6.73	4.88	2.58E+07	3.20E+02	1.56E+03
31.000	6.88	4.97	2.65E+07	3.18E+02	1.58E+03
32.000	7.02	5.07	2.71E+07	3.16E+02	1.60E+03
33.000	7.16	5.17	2.78E+07	3.14E+02	1.62E+03
34.000	7.30	5.26	2.85E+07	3.12E+02	1.64E+03
35.000	7.44	5.35	2.92E+07	3.10E+02	1.66E+03
36.000	7.57	5.44	2.98E+07	3.08E+02	1.68E+03
37.000	7.71	5.53	3.05E+07	3.06E+02	1.70E+03
38.000	7.84	5.63	3.11E+07	3.05E+02	1.71E+03
39.000	7.97	5.72	3.17E+07	3.03E+02	1.73E+03
40.000	8.10	5.81	3.24E+07	3.01E+02	1.75E+03
41.000	8.23	5.90	3.30E+07	2.99E+02	1.77E+03
42.000	8.36	5.99	3.36E+07	2.98E+02	1.78E+03
43.000	8.49	6.08	3.42E+07	2.96E+02	1.80E+03
44.000	8.62	6.17	3.48E+07	2.94E+02	1.82E+03
45.000	8.74	6.27	3.54E+07	2.92E+02	1.83E+03
46.000	8.87	6.36	3.59E+07	2.91E+02	1.85E+03
47.000	8.99	6.45	3.65E+07	2.89E+02	1.86E+03
48.000	9.12	6.55	3.70E+07	2.87E+02	1.88E+03

49.000	9.24	6.64	3.76E+07	2.85E+02	1.90E+03
50.000	9.36	6.74	3.81E+07	2.83E+02	1.91E+03
51.000	9.48	6.84	3.86E+07	2.82E+02	1.93E+03
52.000	9.60	6.94	3.91E+07	2.80E+02	1.94E+03
53.000	9.72	7.04	3.95E+07	2.78E+02	1.96E+03
54.000	9.84	7.15	4.00E+07	2.76E+02	1.97E+03
55.000	9.96	7.25	4.05E+07	2.74E+02	1.98E+03
56.000	10.08	7.36	4.09E+07	2.72E+02	2.00E+03
57.000	10.19	7.47	4.13E+07	2.70E+02	2.01E+03
58.000	10.31	7.58	4.17E+07	2.68E+02	2.03E+03
59.000	10.42	7.69	4.21E+07	2.66E+02	2.04E+03
60.000	10.53	7.80	4.24E+07	2.63E+02	2.05E+03

واجهة برنامج EEDF

EEDF Win32

File Program Results Viewing Cross-Sections Viewing

Choose MenuItem To Start

EEDF

Program for the computation of the
Electron Energy Distribution Function
in gas mixtures

Developed under the guidance of Prof. A. P. Napartovich by
Dyatko N. A., Kochetov I. V. and Sukharev A. G.

apn@triniti.ru
dyatko@triniti.ru

*TRINITI, 142190, Troitsk,
Moscow region, Russia*

Version 1.0 (2003)

Abstract

The Boltzmann Transfer Equation (BTE) was theoretically resolved using the EEDF program to simulate the movement of electrons under the influence of a reduced electric field in N_2 gas plasma and its mixtures with noble gases (helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon).

The effect of the reduced electric field within the range (10-600) Td on EEDF and ETC was also studied by drawing diagrams of different accounts using MATLAB (2017).

For fitting work, Use the Igor.Pro program for all transport parameters for pure gases used to obtain a quasi-experimental equation.

The dependence of both the electronic distribution function and the transport parameters (mean electron energy, characteristic energy, drift velocity, electron mobility, electron diffusion coefficient) was observed on the ratio of gas components in the mixture and the intensity of the electric field E / N as well as the type of gas.

The role of cross-sections is important in electron collision processes with neutral atoms and they change both the EEDF and the electron transport parameters of all gas mixtures. According to the cross-sections used that provided by the EEDF program, there is a good agreement of our results with the results of some researchers, and there is some difference with other due to the difference of cross sections as well as the difference in the concentration of electrons used.

It was noted that small concentrations of molecular gas N_2 have a fundamental role on the electronic distribution function and on the electronic transport parameters. Reducing the concentration of nitrogen gas N_2 in its mixtures with noble gases leads to the development of EEDF towards a high energy rate except for its mixture with xenon at $E / N > 50$ Td. Therefore, reducing the concentration of N_2 in the mixture ($N_2 + Xe$) plays a different role depending on the reduced electric field and the proportion of nitrogen gas in that mixture.

The effect of mixing in equal ratios, different ratios and the stability of the reduced electric field E / N at certain values of the mixed noble gases with

nitrogen gas showed a significant effect of the EEDF distribution function of helium and neon gas by adding small amounts of nitrogen gas to the mixture.

Calculations were performed in constant standard condition ($P=760$ Torr, $T=273$ K, $N=1 \times 10^9 \text{cm}^{-3}$) where P , T and N are gas pressure, temperature and electrons concentration respectively .

*Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
And Scientific Research
University of Baghdad
College of Education for Pure
Science / Ibn Al-Haitham
Department of Physics*



Study on the effect of noble gases Addition to N₂ on EEDF and electron transport coefficients

A thesis

*Submitted to the Counsel of Education for Pure Science / Ibn
Al-Haitham - Baghdad University in Partial Fulfillment of The
Requirements for the Degree of Master of Science in Physics*

By

Khalid Salman Jebur

BSc. in Physics / 2000

Supervised by

Asst. Prof. Mustafa k. jassim

1440 A.H

2019 A.D