جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

رقم الترتيب:.....
رقم التسلسلي:.....

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

المجال: علوم المادة

فرع: فيزيـــاء

تخصص: فيزياء اشعاعات، كاشف و بصريات الكترونية

من إعداد الطالبة: حاجي خليصة

بعنوان:

تراكب فعل دوبلر و العتامة على خط الطيف للإشعاع المنبعث من النجم

نوقشت يوم: 2015/05/24

امام لجنة المناقشة المكونة من:

مفتاح محمد الطيب	أستاذ تعليم عالي	جامعة ورقلة	رئيسا
لزهر بن مبروك	أستاذ مساعد (أ)	جامعة ورقلة	ممتحنا
شنيني كلثوم	أستاذ محاضر (أ)	جامعة ورقلة	مشرفتا

الموسم الجامعي: 2015/2014

شكر و عرفان

قبل كل شيء نحمد الله عز وجل و نشكره الذي أنعم علينا بنعمة العلم، و أنار طريقنا نحو سبل النور و المعرفة.

و من باب الاعتراف بالجميل لا يسعنا إلا أن نتقدم ببالغ عبارات الشكر و التقدير لأستاذتي "**هنيني كلثوم**"، على قبولها مؤطراً لي، و على المجهودات الكبيرة، و نصائحها العلمية القيمة.

و أشكر ايضا الأستاذ "**مفتاح محمد الطيب**" لقبوله ترؤس لجنة المناقشة، كما أشكر الأستاذ" **لزهر بن مبروك**" لقبوله مناقشة هذه المذكرة و أتمنى أن يفيدوني بآرائهم القيمة و البناءة.

كما أشكر الأستاذ "**فتحي خلفاوي**" و كل أعضاء فريق البحث بمخبر الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح بقسم الفيزياء جامعة قاصدي مرباح ورقلة لتوفيره كل الظروف الملائمة.

فلا يغيب عن خاطرنا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى الأستاذ "**بن بيتور عبد الوهاب**" و الأستاذة "**نعاو أمال**" و الأستاذة "**ثورية شمرة**" و الأستاذة "**لمقدم سمية**" على مساعدتهم لي و تشجيعهم المتواصل لإكمال هذه المذكرة

و كل من ساهم ومدّ لنا يد العون في إنجاز هذا العمل المتواضع،.

خليصة

فهرس المحتويات

فهرس المحتويات.....ب

فهرس الجداول.....ه

فهرس الاشكال.....و

المقدمة العامة.....1

الفصل الأول: عموميات حول الكواكب و النجوم

مقدمة.....2

I-1 نشأة الكون.....2

I-2 المجرات.....2

I-3 النظام الشمسي.....3

I-3-1 المجموعة الشمسية.....3

I-3-2 المذنبات و النيازك و الشهب.....5

I-4 النجوم.....6

I-4-1 أنواع النجوم.....6

I-4-2 أبعاد النجوم و قياسها.....9

I-4-3 تقسيم أقدار النجوم.....9

I-4-4 التصنيف الطيفي للنجوم و درجة حرارتها.....11

I-4-5 مخطط (HR).....13

I-4-6 مكونات النجوم.....15

I-4-7 سرعات الدوران.....15

I-5 البلازما.....17

I-5-1 لمحة تاريخية.....17

I-5-2 تعاريف البلازما.....17

I-5-3 أنواع البلازما.....18

الفصل الثاني: البلازما و الإشعاع

II-1 مقدمة.....19

II-2 خط الطيف للإشعاع المنبعث من نجم يبتعد عن الأرض.....19

II-3 الانتقال الإشعاعي.....20

II-4 معادلة الانتقال الإشعاعي.....21

II-5 معامل الامتصاص و الإصدار.....23

II-6 حل معادلة الانتقال الإشعاعي.....24

II-7 تعريض دوبلر.....25

II-7-1 تعريض دوبلر في الحالة اللانسبية.....25

II-7-2 تعريض دوبلر في الحالة النسبية.....26

الفصل الثالث: نتائج و مناقشة

III-1 مقدمة..... 27

III-2 نموذج النجم المدروس..... 27

III- 3 نتائج و مناقشة.....28

أ- فعل العتامة.....28

ب- فعل العتامة بتغير نصف قطر النجم.....30

ج- فعل دوبلر النسبي.....31

د- فعل دوبلر النسبي بتغير السرعة للنجم 31

خلاصة.....33

الخلاصة العامة

قائمة المراجع

فهرس الجداول:

الفصل الأول: عموميات حول الكواكب و النجوم

جدول (I-1): التصنيف النجمي.....12

جدول (I-2): يلخص التصنيف الطيفي لكل نوع.....12

جدول (I-3): السرعة القطرية لبعض النجوم.....16

الفصل الثالث: النتائج و المناقشات

جدول (III-1): أثر فعل العتامة على خط الطيف ليمان – α للهليوم.....29

جدول (III-2): أثر فعل العتامة على خط الطيف ليمان – α للهليوم المؤين لنجوم مختلفة الأبعاد.....30

جدول (III-3): أثر فعل دوبلر النسبي على خط الطيف ليمان – α للهليوم المؤين لنجوم مختلفة السرعات.....32

فهرس الاشكال:

الفصل الأول: عموميات حول الكواكب و النجوم

الشكل (I-1): صورة لمجرة درب التبانة.....3

الشكل (I-2): صورة لمليارات النجوم في السماء.....8

الشكل (I-3): رتب البلازما المختلفة للكثافة الإلكترونية كتابع لدرجة الحرارة.....13

الشكل (I-4): مخطط H-R.....14

الشكل (I-5): يوضح فيه أصناف النجوم حسب إضاءتها و لونها.....15

الشكل (I-6): نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأولى للمادة.....18

الفصل الثاني: البلازما و الإشعاع

الشكل (II-1): وسائط خط الطيف.....20

الشكل(II-2): يوضح مختلف الانتقالات الاشعاعية.....20

الشكل(II-3): حزمة أشعة تعبر حجم عنصري من البلازما.....22

الفصل الثالث: نتائج و مناقشة

الشكل (III-1): نموذج نجم يشع و يبتعد عن الأرض بسرعة نسبية $\overrightarrow{v_r}$.....27

الشكل (III-1-أ): التدرج في الكثافة لنجم بدلالة نصف قطر بالنسبة للشمس.....28

الشكل (III-1-ب): التدرج في الكثافة لنجم بدلالة نصف قطر بالنسبة للشمس.....28

الشكل (III-2): فعل العتامة على الخط ليمان- α لنجم يصدر اشعاع للهليوم المؤين.....29

الشكل (III-3): فعل العتامة على الخط ليمان- α يصدر اشعاع للهيليوم المؤين لنجوم مختلفة اللأبعاد.....30

الشكل (III-4): فعل دوبلر النسبي على الخط ليمان- α للهيليوم المؤين.....31

الشكل (III-5): فعل دوبلر النسبي على الخط ليمان- α للهيليوم المؤين بدلالة معامل النسبية β.....32

المقدمة العامة

المقدمة العامة

تعد دراسة البلازما أحد أهم مواضيع الفيزياء الحديثة نسبيًا، ذلك أنه لم يدخل علم الفيزياء إلا في الثلث الأول من القرن العشرين [1].

اذ يمكننا القول أن البلازما هي الحالة الرابعة للمادة و تشكل 99 % من مادة الكون، فالشمس و النجوم كرات هائلة من البلازما. يتم تشخيص البلازما من خلال دراسة الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها، اذْ يحلّل هذا الأخير كميًا و كيفيًا لمعرفة حالة البلازما، بصيغة أعم يمكن القول أن دراسة الإشعاع الوارد عن البلازما مشخّص مهم لمعرفة حالة البلازما [1، 2].

تتضمن هذه المذكرة ثلاثة فصول و خلاصة عامة حيث يشمل كل فصل ما يلي:

- **الفصل الأول:** يتضمن هذا الفصل دراسة عامة حول الكواكب و النجوم، كما سنتحدث بإيجاز عن البلازما عمومًا، تاريخها، تعاريفها، أنواعها.
- **الفصل الثاني:** سنتطرق في هذا الفصل إلى دراسة الإشعاع و البلازما، و كذلك أهمية خط الطيف في البلازما، و سنتعرف على معادلة الانتقال الإشعاعي و حل هذه المعادلة يعطينا فعل العتامة على خط الطيف في البلازما، كما سنتعرف كذلك على عبارة كل من معامل الامتصاص و الإصدار، سنتطرق الى دراسة فعل العتامة على خط الطيف داخل نجم نصف قطر R، و إلى تعريض فعل دوبلر النسبي على خط الطيف المنبعث من نجم ما يبتعد عن الأرض بسرعة كبيرة.
- **الفصل الثالث:** في هذا الفصل سندرس تأثير فعل العتامة، على الإشعاع المنبعث من النجم حيث هناك تدرج في الكثافة و درجة الحرارة داخل النجم عبر نصف قطره . كما سندرس فعل دوبلر النسبي نتيجة ابتعاد النجم عن الأرض بسرعة نسبية، و نناقش النتائج.

و في الأخير حوصنا ما قمنا به بخلاصة عامة.

الفصل الأول
عموميات حول الكواكب والنجوم

مقدمة

تتفاوت درجة لمعان النجوم في السماء للناظر إليها من الأرض، و لأن عامل البعد عن كوكب الأرض يؤثر في درجة هذا اللمعان فالنجوم القريبة منا ربما تبدو أكثر لمعانًا من البعيدة عنا، على العكس فالنجوم البعيدة يضعف لمعانها لكبر المسافة بينها و بين الأرض، و ندعو المصطلح المستخدم في تقدير شدة لمعان النجوم **ب" قدر النجوم** " [3].

I-1 نشأة الكون:

الكون هو الفضاء الواسع الذي يحتوي على ملايين من النجوم و الكائنات الأخرى، فهو يحتوي على أنواع من الأشعة، الحرارة، الضوء و غيرها. فهو عالم لا متناهي و تُعتبر المجرات الوحدات الأساسية للبناء فيه [4، 5].

قام العالم البريطاني **فريد هويل**، بوضع مصطلح الانفجار الكبير عام 1950، و هي النظرية السائدة اليوم بالنسبة لتكون الكون [4]، وفقاً لهذه النظرية بدأ الكون كنقطة صغيرة كثيفة جداً شملت جميع المواد و الطاقة الموجودة اليوم في الكون، بدأت هذه النقطة في الاتساع مرة واحدة في حدث عظيم الأبعاد، وقع قبل حوالي 13.7 مليار سنة، و منذ تلك اللحظة بدأ الكون بالتمدد وبدأت درجة حرارته بالانخفاض، و هكذا تشكل الكون الذي نعيش فيه اليوم، المستمر والممتد الى مالا نهاية [3، 4، 6].

I-2 المجرات:

هي عدد كبير من النجوم و الغازات البينجمية (بين النجوم) و الغبار، ويقع نظامنا الشمسي في المجرة المعروفة باسم **"درب التبانة"**، و هناك أكثر من 100 مليار مجرة منثورة في الكون [4، 6]، و هي ثلاث أنواع:

أ- المجرة الغير منتظمة: تسود في هذا النوع من المجرات النجوم الزرقاء و هي حديثة النشأة و يحيط بها غاز قاتم. لا يكون لهذا النوع من المجرات شكل محدد و إنما يغلب عليها الشكل المسطح [4، 6].

ب- المجرة الحلزونية (اللولبية): يتميز هذا النوع من المجرات بنواة لامعة في مركزها توجد نجوم متقدمة في العمر، اما القرص المحيط بها فهو مكون من نجوم حديثة النشأة، لهذا النوع من المجرات أذرع حلزونية تتكون من الغبار و الغاز الكوني [4، 6]

ج- المجرة الإهليليجية (بيضاوية): هي مجرات تستمد اسمها من شكلها، فهي كتل بيضاوية من النجوم المتكاثفة حول المركز، غالبًا ما تتكون هذه المجرات من النجوم الحمراء المتقدمة في السن، لا تتكون فيها نجوم جديدة، تعرف بأنها أنظمة مغلقة على نفسها في طريقها للزوال [4، 6].

الشكل (I-1) صور لمجرة درب التبانة

❖ **السديم :** هو مجموعة هائلة من الأجسام الغازية التي تظهر في السماء على شكل سحابة من الغبار تنشأ نتيجة انفجار النجوم [6].

I-3 النظام الشمسي:

هو مجموعة من الأجسام السماوية، تتكون من النجوم و الكواكب و الشمس و غيرها من الأجسام التي تدور في هذا الفلك، و نحن جزء من هذا النظام الشمسي. هناك العديد من الأشياء الأخرى التي تدور حول الشمس كالمذنبات و الكويكبات و النيازك. و هناك ضباب خفيف من الغاز و التراب يعرف بالواسطة بين الكواكب، و يشكل جزء من النظام الشمسي أيضا، وهناك أكثر من 100 قمر تعرف كذلك بالتوابع، تحيط بالكواكب المختلفة و بالإضافة إلى الكواكب و أقمارها، و تحتوي الشمس على 99 % من كتلة النظام الشمسي، و تقدم معظم الحرارة و الضوء و غيرها من أشكال الطاقة اللازمة للحياة على الأرض [4، 5].

I-3-1 المجموعة الشمسية:

تتكون المجموعة الشمسية من نجم كبير هو الشمس، و يدور حولها تسع كواكب معروفة و هي على التوالي حسب بعدها عن الشمس: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس، نبتون و بلتون، مع الأقمار التابعة لها، بالإضافة إلى الشهب، النيازك و المذنبات [4، 6].

1- الشمس: الشمس هي نجمنا المحلي، و هي عبارة عن كرة دوارة من الغازات المحترقة ثلاث أرباعها من الهيدروجين و الربع المتبقي من الهليوم، و هي النجم المركزي للمجموعة الشمسية، و تتكون الشمس من الداخل و معظم غلافها من الخارج من البلازما، و يتكون ضوئها من الضوء المرئي و نوع من الطاقة، و تبعد بحوالي 150 مليون كيلومتر عن الأرض و تدور حول نفسها و هي مصدر النور و الحرارة على سطح الأرض، يبلغ نصف قطرها 696000 km و هو ما يعادل 109 مرة من قطر الأرض و كتلتها بالكيلوغرام 332270 كتلة الأرض [4، 6].

2- الكواكب: هي عبارة عن أجرام سماوية معتّمة لا تضئ بنفسها، و إنما تستمد نورها و حرارتها من النجوم كالشمس، تدور حول نفسها و حول الشمس في مدارات إهليلجية، و ذلك حسب بعدها عن الشمس، منها [6]:

❖ **عطارد:** هو أقرب الكواكب الى الشمس و أصغرها حجما، لا يحيط به غلاف جوي، الغاز الأكثر تواجدا هو الهليوم. ليس له كواكب (أقمار) تابعة له [6].

❖ **الزهرة:** يقارب حجمه حجم الأرض، يدور حول نفسه ببطء و حول الشمس، فهي تعرف بالكواكب الداخلية، يعتبر هذا الكوكب الأكثر لمعانا، و كثافة الغازات حوله تحتبس حرارة الشمس مما يجعل حرارة سطحه جدُ مرتفعة في الليل و النهار فقد تصل الى حوالي 475 درجة مئوية [6].

❖ **الأرض:** هي إحدى كواكب المجموعة الشمسية التسعة التي تدور حول الشمس، و تبعد عنها 150 مليون كلم، و هذا ما أتاح للأرض إمكانية تلقي نوراً و حرارة معتدلتين. دوران الأرض حول محورها خلال 24 سا تقريبا يُسبب الليل و النهار، و تدور حول الشمس 365 يوم و ربع يوم. وهي الكوكب الوحيد الذي تقوم عليه الحياة، فهي وطن لكل الكائنات الحية المعروفة، نحو 29% من سطح الأرض مغطى بالغابات الكثيفة. وتغطى المياه ثلاث أرباع سطح الأرض، و للأرض طبقة وقائية تسمى طبقة الأوزون، تحمينا من إشعاعات الشمس الضارة [4، 6].

❖ **المريخ:** يشبه كوكب الأرض من حيث احتوائه على اليابس و الماء، و قُطره يُعادل نصف قطر الأرض، له قمران تابعان له هما Diemos و Phobos [6].

❖ **المشتري:** هو أكبر كواكب المجموعة الشمسية، يبعد عن مركزها بحوالي 778.3 مليون كلم. يحوم حول المشتري مالا يقل عن 16 قمراً، أكبرها هي: I0، Europe، Ganymède و Callisto و هي أقمار أكبر من القمر التابع للأرض [6].

❖ **زحل:** إن كوكب زحل يتميز بوجود هالة حوله (حلقات ضخمة فضية اللون)، يدور حول محوره خلال 10سا و14د. و حول الشمس في 29.5 ، هناك 22 كوكب تابعا له، منها Atlas، Rhéa، Titan و غيرها [6].

❖ **أورانوس:** مكتشف من طرف W. Herschel في 1781، أعلن في 1977 عن وجود حلقة حوله لا ترى مباشرة، ثم أكدوا بعد ذلك أن هذه الحلقة في الحقيقة تتكون من 11 حلقة ثانوية، و يدور حوله 15 قمراً، منها Titania، Ariel [6].

❖ **نبتون:** هو كوكب أكبر من الأرض، حركته بطيئة إذ يتم دورته حول الشمس خلال 164.8 سنة، كما يتم دورته حول محوره خلال 15سا و7د يدور حول هذا الكوكب قمران هما: Néréide و Triton [6].

❖ **بلوتو:** هو كوكب صغير و بعيد، مقاييسه غير معروفة بالضبط، ليس له غلاف جوي، تبلغ درجة حرارة سطحه 230 درجة مئوية تحت الصفر، ينجز دورته حول الشمس خلال 250 سنة، توصل المختصون في تحديد قمراً واحد تابعا لبلوتو[6].

I-3-2 المذنبات، النيازك و الشهب:

1- المذنبات:

المذنبات عبارة عن نجوم كونية تدور حول الشمس، تتكون عموما من رأس لامع في وسطه نواة أكثر توهجا و ذنب يصل طوله الى عشرات الكيلومترات، من أشهر هذه المذنبات مذنب Halley، الذي اكتشف من طرف E. Halley في 1682. للمذنبات قابلية التفكك بسرع مختلفة حسب طبيعة المادة المكونة لها [4، 6].

2- النيازك:

هي أجرام كونية تتكون نتيجة تصادم الأجسام الكونية الأخرى مع بعضها البعض، تدور هذه النيازك عادة حول الشمس، في حال اقتربت من أجواء الأرض تجذبها هذه الأخيرة و تسقط عليها مكونة فجوات يختلف عمقها و اتساعها باختلاف ضخامة النيزك، هناك نوعين من النيازك، الحديدية و الحجرية [4، 6].

3- الشهب:

هي كذلك عبارة عن أجرام كونية تدور حول الشمس، يمكن مشاهدتها على شكل سهم سريع و مضيء. تلمع في الفضاء لبضع ثوان ثم تختفي. في حالة اقترابها من جاذبية الأرض، تحتك بالغلاف الجوي فتحترق و تتساقط غباراً على الأرض [4، 6].

4- التوابع و الأقمار:

يرافق أكثر الكواكب السيارة مجموعة من التوابع أو الأقمار التي تدور حولها، فالقمر التابع للأرض هو من أكثر الكواكب التي تناولها الإنسان في الأبحاث و الدراسة. فقد تبين للعلماء أنه كوكب لا هواء فيه و لا ماء و بسبب انعدام الغلاف الجوي للقمر فإن درجة حرارته تتغير كثيراً بين النهار و الليل [4، 6].

I-4 النجوم:

عبارة عن أجسام هائلة من البلازما، التي جزء من حياتها يولد ضوئها و حرارتها بالتفاعلات النووية، و ذلك بانشطار الهيدروجين إلى هليوم تحت شروط درجة الحرارة و الكثافة الهائلتين، و عند اندماج ذرات الهيدروجين لتعطي العنصر الأثقل هو "الهليوم" و بالتالي تفقد حينئذ الكتلة فتحولها إلى طاقة، و أقرب مثال لنا عن النجوم هي شمسنا و هي أقرب النجوم إلينا، فالنجوم لا تتشابه بل تختلف إختلافا كبيراً ، و يعود ذلك إلى عدة عوامل مثل لونها، لمعانها، درجة حرارتها و كتلتهم...الخ [6، 7].

I-4-1 أنواع النجوم: إن رؤية النجوم ليلاً في السماء تبدوا كأنها متشابهة و لكن ذلك غير صحيح فهناك العديد من الأنواع المختلفة [3، 6، 7]:

- **النجوم الثنائية:** نلاحظ أن اغلب النجوم التي نشاهدها في السماء تظهر بالعين المجردة منفردة لكن هي ليست كذلك، و لو استعملنا تلسكوب الأقل استطاعة سنلاحظ أنها تكون غالبا عبارة عن نجمتين أو ثلاثة أو أكثر في بعض الأحيان، قريبة من بعضها البعض للغاية. و بعكس شمسنا المنفردة، و من هذه النجوم المتعددة، هناك نجوم تتواجد بكثرة و هي النجوم

الثنائية أو المزدوجة، استعمل هذا المصطلح لأول مرة من قبل الفلكي الإنجليزي **"وليام هرشل"** و قد وصف هذه النجوم بقوله "حين يتوضع نجمان بجانب بعضهما البعض فهما يؤلفان منظومة مستقلة ويبقيان مرتبطين مع بعضهما البعض بقوة الجاذبية الخاصة يهما"، و كان بذلك أول من قدم وصفا فيزيائيا لطبيعة هذه النجوم .

❖ **النجوم الأولية:** هي نجوم في مرحلة " الرضيع "، و هي في مراحل مبكرة من تكون النجوم، و على الرغم من أنها مكونة من الغاز بين النجمي والمواد الداخلية كمثيلاتها من النجوم، إلا أنها لا تملك الحرارة الكافية بعد لكي تبدأ بالتفاعلات النووية في قلبها.

❖ **النجوم القزمية:** في دورة حياة النجوم، تمر النجوم بعدة مراحل من التوسع خلال حياتها، عندما تصل إلى حجم عادي مقارنة بوزنها، تسمى في هذه الحالة بالأقزام، نعرف القزم بأنه تحول نواة النجم إلى حجم صغير مقارنة بحجمها الأصلي ذلك بعد أن تفقد معظم وقودها، و هناك ثلاثة أنواع من الأقزام:

1- **الأقزام البنية:** و هي نجوم فشلت في التحول إلى نجم عادي ذو حجم مستقر، أي لم تسخن بالقدر الكافي لتصبح نجما عاديا.

2- **الأقزام البيضاء:** و هي نجوم " محتضرة "، تحرق ببطء ما بقي من وقود فيها، و وصفها باللون الأبيض غير دقيق فِعلياً، كونها تتراوح في الألوان من الأبيض الساطع إلى الأحمر الخفيف .

3- **الأقزام السوداء:** و هي كلا النوعين، الأول و الثاني يتحول في نهاية المطاف إلى قزم أسود و هي نجوم ميتة لا تشع ضوءاً مطلقًا فهي غير مضيئة. و يعتقد العلماء أن النجوم القزمية بنوعيها البني و الأسود، تساهم مساهمة فاعلة في الكتلة المظلمة التي تملأ معظم الكون.

❖ **المستعرات:** النجوم العملاقة تكون أكثر لمعان و هي ما يعادل 1000 مرة على الأقل من لمعان الشمس، و أكبر ب: 200 مرة من حيث الحجم، و يمكن أن تكون بكل الألوان طبقًا لحرارتها و لكن النجوم الأكبر من ذلك بكثير ندعوها المستعرات أي " النجوم العظيمة " وهي أكبر النجوم التي وجدت على الإطلاق حتى الآن، انها أكثر إشعاعا من الشمس بعشرة مليارات مرة.

❖ **النجوم المتفجرة (السوبرنوفا):** عندما تحرق النجوم ذات الكتل الهائلة كل وقودها، فإنها تنكمش على نفسها بدرجة كبيرة بفعل قوى الجذب إلى الداخل، فتسبب بانفجار كارثي يقذف بمعظم كتلتها بعيداً في أنحاء المجرة، و هذا الانفجار

هو ما ندعوه "المستعر الأعظم"، و يشع هذا الانفجار مقدارا من الضوء يمكن أن يغطي الإشعاع المنبعث من مجرة بكاملها، يتخلف عن هذه الانفجارات العظمى غيوما ملونة مشعة من الغازات و التي تعرف ب: " **السدم** "، و في بعض الأحيان يتخلف أيضا نجوم نيترونية .

❖ **النجوم النيوترونية:** كما ذكرنا سابقا بعد انفجار مستعر عظيم، و تركه لسحابة سديمية فإنه في بعض الحالات يتبقى من النجم المتفجر مقدار مرتين من الشمس، و هذا المقدار يتحول إلى نجم نيوتروني، حيث يبدأ ذلك المقدار من المادة بالانكماش إلى الحد الذي تتحطم فيه ذراته، فالإلكترونات لا تعود قادرة على البقاء في مداراتها حول الذرة، ولذلك سوف تجبر على اختراق الذرة و الانصهار في البروتونات، لتشكل بذلك النيترونات. وبالتالي يتحول الى نجم نيتروني يزن أكثر من 400 مليون مليون كيلو غرام.

❖ **النجوم النابضة:** هي نوع خاص من النجوم النيترونية، و هي نجوم بنفس كتلة الشمس، لكن قطرها حوالي 10 كيلومترات فقط، و تمتاز هذه النجوم بدورانها السريع حول نفسها و الذي يصل إلى 1000 دورة في الثانية، و كذلك بكونها تبعث نبضات قصيرة من الضوضاء الموجية لفترة محددة ثابتة بالنسبة لكل نجم .

الشكل (I-2): صورة لمليارات النجوم في السماء

I-4-2 أبعاد النجوم و قياسها: تبلغ المسافات عن النجوم في مجرتنا و خارجها ملايين الكيلومترات، لذلك يستخدم الفلكيين وحدات خاصة لقياس هذه المسافات منها [3]:

1. **الوحدة الفلكية:** تستخدم هذه الوحدة للتعبير عن أبعاد الكواكب عن النجوم و تكافئ 150 مليون كلم و هو متوسط بعد الأرض عن الشمس.
2. **السنة الضوئية:** هي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة أرضية واحدة و تكافئ تقريبا 10 مليون كلم و أقرب النجوم إلينا يبعد بحوالي 4 سنوات ضوئية.
3. **الفرسخ الفلكي (Parsec):** هي المسافة التي يبعدها نجم ما بحيث يكون اختلاف ظاهري ثانية قوسية واحدة، وهو يكافئ 3.26 سنة ضوئية.

I-4-3 تقسيم أقدار النجوم:

و قد اتفق علماء الفلك على تقسيم النجوم التي يمكن رؤيتها سواء بالعين المجردة أو بالتلسكوب إلى 23 قدراً فلا نستطيع رؤية هذه النجوم بالعين المجردة إلا النجوم التي تنتمي إلى القدر السادس فقط، فهي النجوم الأقل خفوتا، و قد تم تقسيم أقدار النجوم و نسبة لمعانها إلى القدر الأول 100، القدر الثاني 39.8، الثالث 15.85، الرابع 2.31، الخامس 2.51 و القدر السادس واحد. إن لمعان نجوم القدر الأول يزيد 1000 مرة من نجوم القدر السادس [3، 6].

و بالمقياس نفسه نجد أن قدر الشمس لنجم هو 26.7 و نجوم الأقدار السالبة أكثر لمعانا من نجوم الأقدار الموجبة، كما أن نجوم القدر صفر أشد لمعانًا من نجوم القدر الأول.

تعطى علاقة لمعان النجوم و أقدارها [3]: $\frac{b_1}{b_6} = 100$ (1.1)

أ- القدر الظاهري و القدر المطلق:

القدر الظاهري و هو قوة إضاءة النجم كما يرى من الأرض و من خلاله يمكننا أن نقارن بين شدة إضاءة النجوم بالنسبة لمراقب أرضي و بالطبع فإن الشمس لها أصغر قدر 12.6- ثم الزهرة 4.4- ...الخ، و ألمع النجوم هو الشعري اليمانية قدره 1.5- ، العين البشرية لا تستطيع أن ترى نجوما أعلى من القدر السادس و الإشارة السالبة تعني قدراً أصغر بينما الإشارة الموجبة تعني قدراً أكبر.

إن مشكلة القدر الظاهري هي أنه يعتمد على كيفية رؤيتها للنجم فقد يكون قدر النجم الأول أقرب من النجم الثاني و لكن إذا وضعنا النجمين على نفس المسافة فسيصبح قدر النجم الأول أقل من قدر النجم الثاني و من هنا جاء القدر المطلق و هو شدة إضاءة النجم حين يوضع افتراضا على مسافة 10pc (بارسك) من الأرض (المشاهد) و هو يعكس السطوع الحقيقي للنجم حين توضع جميع النجوم على مسافة واحدة، و يمكن مقارنتها عندئذ بشكل صحيح [3، 6].

إذا كان بعد النجم الحقيقي بوحدة البارسك هو D، و القدر الظاهرية m فإن القدر المطلق M يعطى بالعلاقة التالية [6]:

$$M = m + 5 - 5logD \qquad (1.2)$$

$$M = m + 5 - 5\log\pi \qquad (1.3)$$

و تقدر القدرة المطلقة للشمس ب: M_s=+4.87، النجوم الأكثر إضاءة من الشمس، إضاءتها تكون 10^5 الى 10^6 مرة أكبر من إضاءة الشمس مما يوافق قدرة مطلقة 9-. النجوم الضعيفة تكون إضاءتها 10^{-5} أقل من إضاءة الشمس و قدرتها المطلقة تكون 17+ [3، 6].

ب- الدليل اللوني: هو الفرق بين القدرين في نطاقين مختلفين و قد اتفق الفلكيين على ثلاثة ألوان تحسب عندها الأقدار هي الضوء المرئي و الأزرق و البنفسجي و الدليل اللوني بين الضوء المرئي و الأزرق يكتب كما يلي [3]:

$$(\mathrm{b} - \mathrm{v}) = m_{\mathrm{b}} - \mathrm{m_v} \qquad (1.4)$$

حيث $\mathrm{m_v}$ و m_{b} هي الأقدار في اللونين الأزرق و الضوء المرئي فلو تصورنا نجما لونه مائلاً للحمرة فإن قدره المرئي سيكون أقل من قدره الأزرق و بالتالي فإن الدليل اللوني $(\mathrm{b} - \mathrm{v})$ سيكون كمية موجبة أما إذا كان النجم مائلاً للزرقة فسيكون الدليل اللوني له كمية سالبة و من خلال الدليل اللوني يمكن التعرف على النوع الطيفي للنجوم [3].

ج- السطوع: هي الكمية الإجمالية من الطاقة التي يشغلها في وحدة الزمن و هي لا تشير فقط إلى الأشعة المرئية و إنما إلى كافة أطوال موجات الطيف الكهرومغناطيسي.

فمثلا سطوع الشمس 4.10^{26} w و هو مرتبط بمعدل استهلاك النجم لوقوده أي تحول الهيدروجين إلى هليوم بتفاعل الاندماج و تحديد سطوع النجم مهم في معرفة نصف القطر.و العلاقة التي تربط بين السطوع الظاهري و بعد النجم تدعى **بقانون التربيع العكسي** [3].

I -4-4 التصنيف الطيفي للنجوم ودرجة حرارتها:

تمكن العلماء من خلال دراسة أطياف النجوم من تحديد العناصر الكيميائية الموجودة في النجوم، من خلال مقارنة الأطياف التي تم الحصول عليها مع أطوال الموجات المعروفة للإصدار و للامتصاص للعناصر الكيميائية الشائعة على كوكب الأرض.

كما تمكن العلماء من تحديد درجة الحرارة للنجم من خلال بعض التبدلات التي تطرأ على هذه الخطوط مع تبدل درجة حرارة النجم، و خلال الدراسة الطيفية للنجوم تبين أنه يمكن تقسيم النجوم إلى أصناف طيفية و هي كالتالي: W، O، B، A، F، G، K، M، R، N و S. الأصناف من B إلى K قسمت أيضا إلى 10 طبقات تحتية. الأصناف W، O، R، N و S هي أصناف نادرة [6]. إن لكل صنف من هذه الأصناف طيف خاص به و ذلك حسب التركيب الكيميائي و كذلك الظروف الفيزيائية للنجوم المنتمية له.

فالنجوم من النوع الطيفي O يتميز طيفها بخطوط الهليوم المتأين و بالتالي فإن درجة الحرارة في غلافه تكون 40 – 60 ألف كالفن، أي أعلى من الشمس بكثير. يليه في الترتيب نجوم النوع الطيفيB و الذي يميز غلافه الهليوم الغير متأين، ثم نجوم النوع الطيفي A و تتميز بخطوط الهيدروجين و درجة حرارة سطحها 10 آلاف كالفن ثم نجوم النوع الطيفي F و تميزها خطوط الهيدروجين و معادن متأينة (أيونات، Ca, Fe, Chromium) ثم نجوم النوع الطيفي G. الشمس من هذا النوع، و تميزه خطوط المعادن المتأنية، ثم النوع الطيفي K و تميزه معادن غير متأينة، ثم أخيرا النجوم من النوع الطيفي M فهذا ناتج عن معادن غير متأينة و جزيئات TiO و درجة الحرارة لهذا النجم تكون في حدود 3 آلاف كالفن، أي أبرد من الشمس، و من تم تقسيم النجوم تبعا لطيفها الى الأنواع M، K، G، F، A، B، O بحيث ان أعلاها حرارة من النوع O و أبردها يكون من النوع M [3، 7].

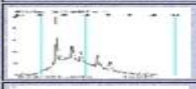
كما تم تقسيم كل نوع طيفي الى عشرة أقسام من 0 الى 9. مثلا F0 هو ألمع أقسام نجوم النوع الطيفي F و F9 هو أخفت و أبرد نجوم النوع الطيفي F، و هكذا بالنسبة لبقية الأنواع الطيفية للنجوم، وشمسنا من النوع G2 [3، 7].

كما يوضح كذلك الفلكيون طيف النجم بإحدى الحروف التالية: و، ب، أ، ف، ج، ك. كل حرف يبين نطاقا طيفيا الذي له علاقة دقيقة بدرجة الحرارة مثلا النجوم الزرقاء تنتمي إلى النطاق الطيفي "و" والنجوم الصفراء "ج"، و صنفت النجوم الحمراء بالنوع "م". [3].

التصنيف النجمي	نصف القطر(شمسي)	الكتلة (شمسية)	اللمعان (لمعان شمسي)	درجة الحرارة (كيلفن)
O2	16	158	2,000,000	54,000
O5	14	58	800,000	46,000
B0	5.7	16	16,000	29,000
B5	3.7	5.4	750	15,200
A0	2.3	2.6	63	9,600
A5	1.8	1.9	24	8,700
F0	1.5	1.6	9.0	7,200
F5	1.2	1.35	4.0	6,400
G0	1.05	1.08	1.45	6,000
G2	1.0	1.0	1.0	5,700
G5	0.98	0.95	0.70	5,500
K0	0.89	0.83	0.36	5,150
K5	0.75	0.62	0.18	4,450
M0	0.64	0.47	0.075	3,850
M5	0.36	0.25	0.013	3,200
M8	0.15	0.10	0.0008	2,500
M9.5	0.10	0.08	0.0001	1,900

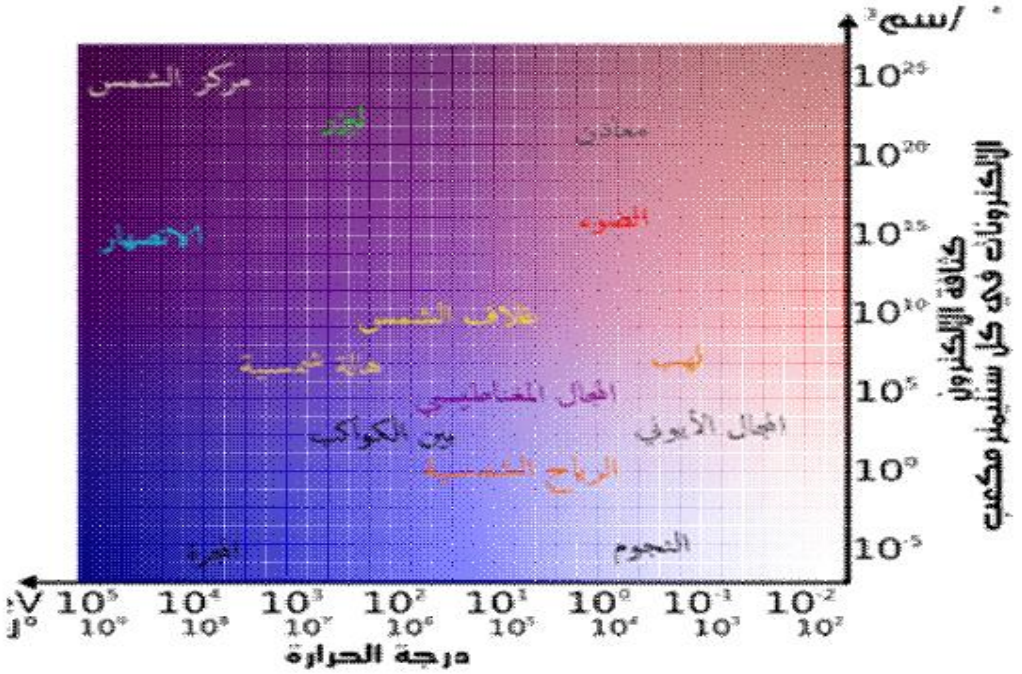
جدول (I-1) التصنيف النجمي

❖ التصنيفات الطيفية عالية الألوان:

Type spectral	Couleur	T (K)	Espèces chimiques dans le spectre	Exemple de spectre	Exemples d'étoile
W (Wolf-Rayet)	bleu	50 000	nombreuses raies d'émission		WR1 Cas, WR135 Cyg, WR128 Cyg, WR128 Cyg
O	bleu-blanc	30 000	peu de raies en absorption, raies d'émission : He(II), X(IV), H(I) très faible		*Naos*
B	bleu-blanc	12 000-25 000	He(I), H		*Rigel, Spica*
A	bleu-blanc	7 500-11 000	série H(I) intense, Mg(II), Si(II), Fe(II), K(II), Ca(II), métaux neutres.		*Sirius, Vega*
F	blanc	6 000-7 500	H(I), raies de métaux ionisés		*Canopus, Procyon*
G	blanc-jaune	5 000-6 000	Ca(II), métaux ionisés et neutres		*Soleil, Capella*
K	jaune-orange	3 500-5 000	raies intenses des métaux neutres		*Acturus, Aldébaran*
M	rouge	3 500	métaux neutres et molécules, oxyde de titane		*Bételgeuse, Antarès*

Crédit photographique : O. Thizy, OHP 2004.

جدول (I-2) يلخص التصنيف الطيفي لكل نوع



الشكل (I-3) رتب البلازما المختلفة للكثافة الإلكترونية كتابع لدرجة الحرارة [2].

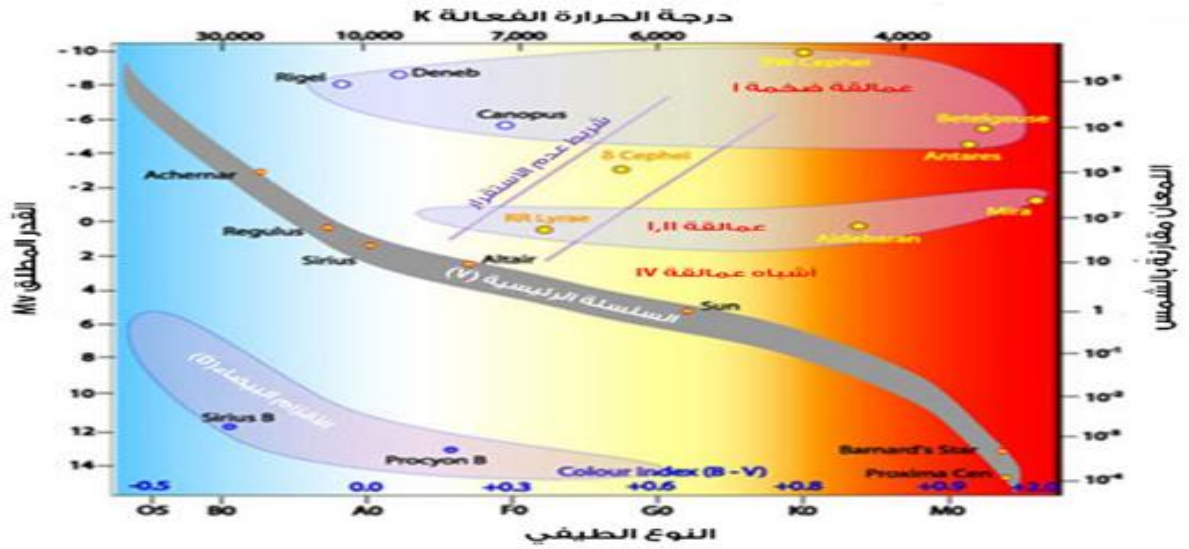
I-4-5 مخطط Hertzsprung-Russel (HR):

يعتبر أحد أهم الأدوات الأساسية في دراسة النجوم، و قد أظهر أهمية كبيرة في علم الفلك، كل نجم يمر بمراحل معينة ترتبط بالبنية الداخلية و كيفية إنتاج الطاقة، و لكل مرحلة من هذه المراحل تغير في درجة الحرارة و لمعان النجم [6، 8].

لقد تمكن كل من E. Hertzsprung و H.N. Russel بين 1905 و 1913 و بشكل منفصل من رسم العلاقة البيانية بين سطوع النجوم (أو ما يقابلها من القدر المطلق)، مع درجة حرارتها (أو ما يقابلها من التصنيف الطيفي)، و هو ما يعرف اختصاراً **"بمخطط H-R"** (الشكل I-4)، يمثل في هذا المخطط على محور التراتيب كل من القدرة المطلقة و إضاءة النجوم (إضاءة الشمس أخذت كوحدة)، على محور الفواصل تأخذ الأصناف الطيفية و درجات الحرارة الموافقة للون النجوم .

معظم النجوم تترتب بصفة متميزة في امتداد أساسي (séquence principale) يبدأ في الجهة العلوية على اليسار إلى الجهة السفلية على اليمين، في هذا الحيز تتموضع النجوم الأكثر تواجداً، ففي أعلى هذا المنحنى، نجد النجوم الزرقاء و البيضاء التي تكون إضاءتها و كتلتها مرتفعة، في الوسط توجد النجوم الصفراء التي لها أطياف مثل الشمس و في الأسفل على اليمين نجد الأقزام الحمراء [6، 8].

نجد في القسم العلوي لهذا المنحنى النجوم العملاقة و الجد عملاقة الحمراء، و في القسم السفلي على اليسار توجد مجموعة مستقلة من الأقزام البيضاء الأقسام الأخرى تقريبا فارغة [6]. كما يوضحه الشكل الموالي: يمثل المحور الأفقي التصنيف الطيفي أو درجة الحرارة، بينما يمثل المحور الرأسي درجة السطوع بالنسبة للشمس [8].

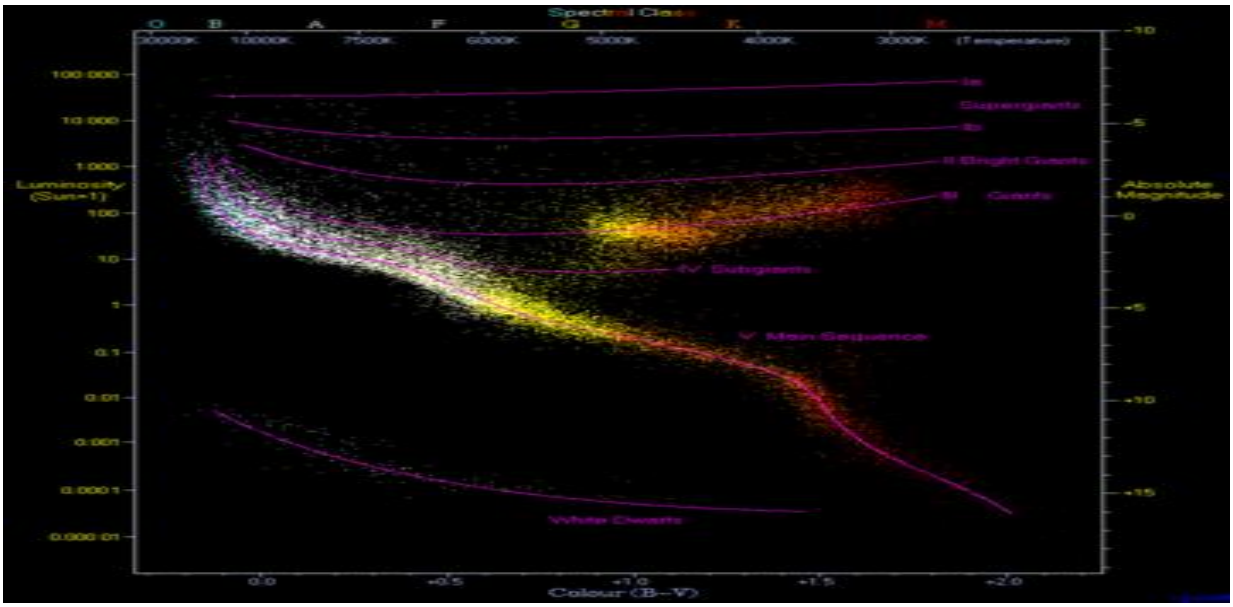


الشكل (I-4) مخطط H-R

فمثلاً الأقزام الحمراء هي نجوم صغيرة كتلتها تنحصر بين 0.08 و 0.8 كتلة الشمس، درجة حرارتها السطحية ، تكون في حدود 2500K. نذكر منها النجم الأقرب إلينا و هو Proxima Centauri و النجم Barnard، النجوم الصفراء هي نجوم ذات حجم متوسط مثل الشمس.

كما أن هناك تصنيف آخر قام به كل من Morgan، Keenan، Kellman، هذا التصنيف يدعى تصنيف MKK، يعتمد على إضاءة النجوم. مثلاً صنف الإضاءة للنجوم الجد عملاقة الأكثر إضاءة (Ia-O) و النجوم الجد عملاقة الأقل إضاءة (Ib, Ia) [6].

إن النجوم الأقل لمعانا هي الأكثر تواجداً و هذا ما يوضحه المنحنى التالي:



الشكل (I-5) مخطط H-R يوضح فيه أصناف النجوم حسب إضاءتها و لونها [6].

I-4-6 مكونات النجوم:

تصنع النجوم من نفس العناصر الكيميائية الموجودة في الأرض، فوجدت التراكيب الكيميائية من أطياف النجوم حيث يتكون أكثرها تقريباً من الهيدروجين (حوالي 90 % من عدد الذرات) و الهليوم (حوالي أقل من 10 %)، والباقي عناصر أخرى قليلة، يسيطر عادة الأكسجين يليه الكربون ثم النيون والنتروجين. والمعادن يسيطر عليها الحديد وعلى الرغم من أن هناك ذرة وحيدة من الأكسجين في الشمس لكل 1200 ذرة هيدروجين و فقط ذرة حديد لكل 32 ذرة أوكسجين، النجوم الأخرى يمكن أن تختلف إلى حد كبير اعتماداً على عمر النجم أو موقعة في المجرة [6، 7].

I-4-7 سرعات الدوران:

✓ السرعة الذاتية للنجوم:

يرصد الفلكيون سرعات مختلفة للنجوم منها ما نسميه الحركة الذاتية و يرمز لها بالرمز μ وهي تقاس من مقارنة صور عديدة لنفس النجم رصدت في أوقات مختلفة لا تقل عن عشرات السنين.

كما يمكن للفلكيين من خلال تتبع الإزاحة الطيفية حساب سرعات النجوم الخطية و يرمز لها بالرمز V_r و هي أسهل السرعات في رصدها حيث أنها تعتمد على قياس الإزاحة الطيفية و التي يمكن تتبعها مهما كان النجم أو المجرة بعيدة [6، 9].

✓ السرعة القطرية:

إن التحليل الطيفي يعطي فكرة عن السرعة القطرية للأجرام السماوية، حيث يمكن تعيينها لبعض النجوم، باستعمال الدراسة الطيفية، أي سرعة انتقال هذه النجوم في اتجاه المحور أرض–نجم، و تكون موجبة إذا كان النجم يبتعد عن الأنظار و سالبة إذا كان النجم يقترب، فهنا يستعمل فعل دوبلر، الذي يطبق على مصدر ضوئي (النجم)، بحيث أن الخطوط الطيفية تنتقل نحو الأحمر في حالة ابتعاد المصدر الضوئي و نحو الأزرق في حالة اقترابه [6].

كما يمكن تعيين السرعة القطرية للنجوم الأكثر لمعانا فقط و الذي يتعدى عددها 25 ألف نجم، الحركة الحقيقة للنجم في الفضاء تعرف بالحركة الذاتية و السرعة القطرية يمكن تحديدها لعدد أقل من النجوم [6، 9].

- هذه السرع القطرية لبعض النجوم [6]:

النجم	السرعة القطرية (km/s)
Co.D.-29º 2277	+543
V.X.Hereulis	-405
B.D.+2º 3375	-389
H.D. 232078	-387
Barnard	-108

جدول (I–3): السرع القطرية لبعض النجوم

السرعة القطرية تُأخذ عادة بالنسبة للشمس أو في بعض الأحيان بالنسبة لمركز ثقل المجموعة الكوكبية. فالنجم Barnard مثلاً سرعته القطرية (km/s 108-) فهو إذا يقترب من الأرض، ففي حدود العام 10000م سيصل بُعده عن الأرض أقل من 4 سنوات ضوئية و يصبح أقرب نجم إلينا بدلاً من النجم α Centauri و الذي سرعته القطرية تقدر فقط ب: km/s 25 -.

I-5 البلازما:

I-5-1 لمحة تاريخية:

إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الفيزيائي الإنجليزي " Sir William Crookes " عام 1879م، و ذلك لوصف القسم المتأين من الانفراغات الغازية، وقد علل مصطلحه على الشكل التالي [10]: تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة و باستمرار التسخين تتحول إلى غاز، و عند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى 100000 كلفن [11] تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض إلى انفلاتها إلى الكترونات و أيونات موجبة الشحنة.

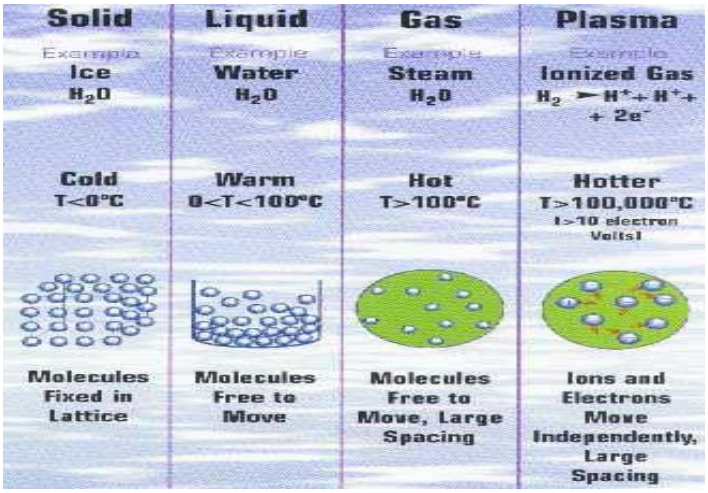
ادخل مصطلح البلازما للفيزياء أول مرة عام 1928م من قبل الفيزيائي الأمريكي Dr. Irving Langmuir و قد صرح عنه في مقالة له [1، 12]، كي يعبر عن المناطق المتساوية الكمون داخل أنابيب التفريغ الحاوية لغاز مؤين متعادل كهربائيا، بعد ذلك استخدم هذا المصطلح بصفة خاصة في فيزياء الفلك للتعبير عن حالة مخففة للمادة، تشبه الغاز، إلا أنها مؤلفة من إلكترونات و أيونات موجبة بتناسب معين يجعل الوسط إجمالا متعادلا كهربائيا [1].

I-5-2 تعاريف البلازما:

معظم المادة المكونة للكون هي بلازما و تتواجد بنسبة 99% من المادة المكونة له ولها أمثلة كثيرة في الطبيعة، فالشمس و النجوم تعد بمثابة كرات هائلة من البلازما [1، 12].

البلازما غير متواجدة بكثرة في محيطنا القريب، غير أنه من الممكن أن نتحصل عليها صناعيا، فالغاز في مصابيح النيون و التفلور يعتبر بلازما، و اللهب الخارج من الصواريخ المنطلقة، و الكرة الملتهبة المتولدة عن القنبلة الذرية، كلها أمثلة عن البلازما [1]، فما هي البلازما؟

- ✓ عند تسخين المادة من صلبة إلى سائلة إلى غازية، ثم زيادة التسخين، تبدأ بالتأين، ذلك أن إلكترونا أو أكثر سيتحرر من كل ذرة من الغاز[1، 2] و هدا ما يعتبر بلازما.
- ✓ البلازما هي الحالة الرابعة للمادة، تتميز عن غيرها من الحالات بالطاقة الهائلة التي تملكها [2].
- ✓ يمكن القول أن البلازما غاز متأين يحوي عددا كبيراً و كافيًا من جسيمات مشحونة، تحجب نفسها الكتروستاتيكيا عند مسافة صغيرة [1].



الشكل (I-6) :نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأولى للمادة [1].

I-5-3 أنواع البلازما:

يمكن أن نميز ثلاث أنواع من البلازما :

- ✓ **البلازما الباردة:**

و هي غالبا ما تكون متأينة (غير تامة التأين) تتراوح درجات حرارتها بين عدة مئات الى آلاف أو عشرات الآلاف من الدرجات المئوية و يطلق عليها (التفريغ الغازي الأيوني) و إن مقياس درجة الحرارة هو (إلكترون – فولت) و تقابل تلك البلازما طاقة حركية مقدارها 1ev و يمكن وجودها في الفضاء بين النجوم و الفراغات العالية.

- ✓ **البلازما الحارة :**

توافق درجة حرارة أكثر من 10^6k (و الهدف منها إنتاج الطاقة الكهربائية من خلال الاندماج النووي المتحكم بها)، تتصف بأنها تامة التأين و تمثل الوسط الأساسي الذي يمكن أن يحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي والانفصال مثال على ذلك منظومة التكوماك (Tokamak).

- ✓ **البلازما الحرارية:**

و هي تتميز بدرجات حرارة عمل أكثر من 3000k (استعمال إنفراغ القوس كهربائيا في اللحام و القطع.....الخ).

الفصل الثاني
البلازما و الإشعاع

II-1 مقدمة

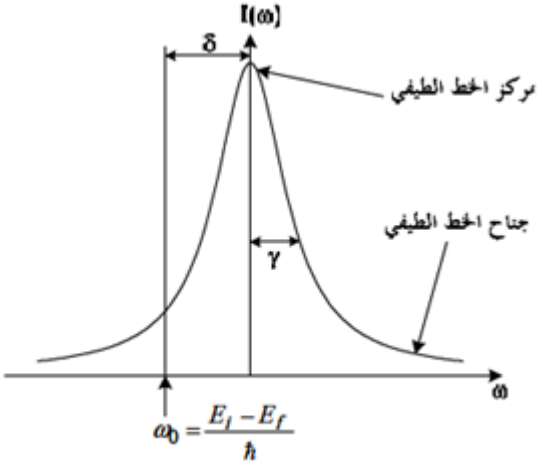
ان الإشعاع في البلازما يترجم بخط الطيف الذي يصف الإشعاع المنبعث من أيون داخل البلازما، و يعتبر الامتصاص و الانبعاث جدُّ مهم في الانتقال الإشعاعي، و دراسة الانتقال الإشعاعي يدعى أيضا بتأثير التعتيم. و يتعرض خط الطيف إلى عدة تعريضات منها تعريض بفعل ستارك، تعريض بفعل دوبلر، تعريض بفعل زيمان.....

II - 2 خط الطيف للإشعاع المنبعث من نجم يبتعد عن الأرض:

تعتبر خطوط الطيف من أهم الوسائل لتشخيص البلازما الساخنة و الكثيفة، حيث تتم دراستها من خلال الإشعاع الصادر عنها (ضوء، أشعة، موجات راديو.....)، اذْ يحلّل الطيف الوارد منها كيفيًا لمعرفة العناصر المكونة لها و كميًا لمعرفة درجات حرارتها و تركيزها، تعد الخطوط الطيفية للامتصاص و الانبعاث مفيدة لتشخيص الكثافة الالكترونية و درجة الحرارة في البلازما، أو ما يجري داخل هذا الوسط من تفاعلات [1، 2]. هناك عدة أشعة تصل إلى الأرض من الشمس و النجوم و غيرها و بالتالي مصدرها بلازما [2]، ان حساب الإشعاع الذي يصل إلى الأرض المنبعث من نجم يبتعد عن الأرض بسرعة كبيرة مثل c/5 أي : 60000km/s فإنه يأخذ بعين الاعتبار فعل دوبلر النسبي و عند انتقال الإشعاع داخل حجم النجم ذو نصف القطر R، فإنه يتعرض الى عمليات الامتصاص و الانبعاث أي أن الإشعاع يتعرض لتأثير العتامة (Opacité).

و يميز خط الطيف أساسا بثلاثة وسائط [12]:

- عرضه، و يعطى بنصف العرض أو بالعرض كله، عند منتصف الشدة القصوى.
- وضعه بالنسبة للانتقال الذري الرئيسي و يدعى الإزاحة.
- لاتناظره.



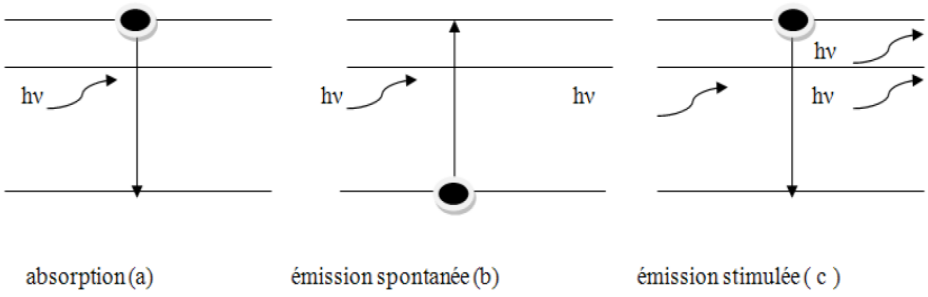
الشكل (II-1) وسائط خط الطيف

II-3 الانتقال الإشعاعي:

❖ التوازن الطاقوي للإصدار و الامتصاص: معاملات اينشتاين

عندما تتواجد ذرة مثارة في الحالة الطاقوية E_k تنتقل الى الحالة الأقل ذات طاقة E_i ، فيكون هناك إصدار للفوتونات بطاقة E_{ik}:

$$E_{ik} = E_i - E_k = h\nu_{ik}$$



الشكل (II-2): مختلف الانتقالات الإشعاعية [13].

نسمي هذه الظاهرة للإصدار: **بالإصدار التلقائي** (l'émission spontanée) كما يوضحه (الشكلII-2)، و في الحالة العكسية للانتقال من الحالة E_i إلى الحالة E_k، يكون هناك امتصاص للفوتونات بطاقة E_{ik} و هذا الامتصاص ناتج دومًا عن وجود فوتون أو موجة كهرومغناطيسية خارجية، و هذا الامتصاص يسمى: **بالامتصاص القصري** (l'absorptio stimulée) [13، 14].

يوجد أيضا، **إصدارا قصري** (l'émission stimulée) نتيجة لحقل خارجي. العلاقة بين احتمال الإصدار القصري و التلقائي أعطيت من طرف اينشتاين في 1917 و ذلك باستخدام الميكانيك الإحصائي [13، 14].

نعتبر ذرة في مستويين للطاقة E_i، E_k ($E_k > E_i$) و الوزن الإحصائي g_i، g_k على التوالي موضوعة في حقل إشعاعي متماثل و متجانس يكتب قانون بلانك عند التوازن الترموديناميكي [14]:

$$U_{vik} = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \frac{1}{exp\left(\frac{hv}{kT}\right) - 1} \qquad (2.1)$$

II-4 معادلة الانتقال الإشعاعي:

يعرف مشكل الانتقال الإشعاعي عمومًا تحت اسم: "**مشكل Chandrasekhar**" أحد أشكال معادلة الانتقال ل: **Chandrasekhar** عولجت من طرف " **Siewert**" و تكتب بالشكل:

$$\mu \frac{\partial}{\partial \tau} I(\tau, \mu, \phi) + I(\tau, \mu, \phi) = \frac{\overline{\omega}}{4\pi} \int_{-1}^{1} \int_{0}^{2\pi} P(cos\,\Theta) I(\tau, \acute{\mu}, \acute{\phi})\, d\acute{\mu}\, \acute{\phi} \qquad (2.2)$$

مع: $\tau \in [0, \tau_0]$ ، $\varpi \in [0,1]$ هو المتغير الضوئي، τ_0 هو السمك البصري. Θ زاوية التشتت، μجيب تمام الزاوية القطبية، ϕ هي زاوية أزميتال (Azimuthal) [14].

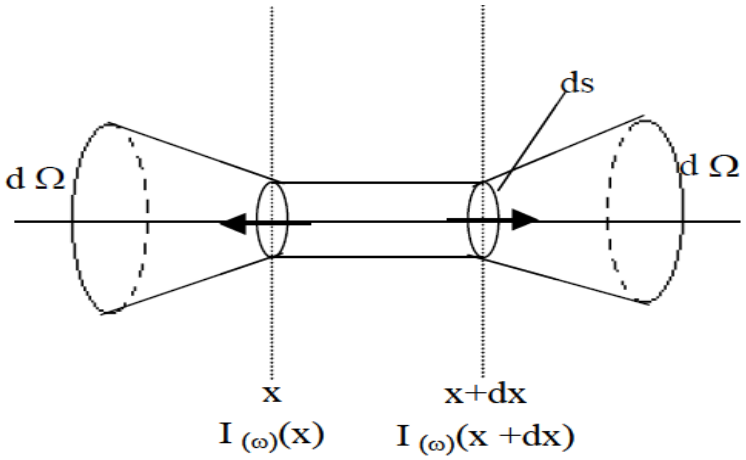
معادلة الانتقال تكتب أيضا على الشكل التالي:

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} I_{v\,\mu\,j}(x) = -K_{v\,j}(x) I_{v\,\mu\,j}(x) + J_{v\,j}(x) \qquad (2.3)$$

حيث: $\mu = cos\theta$، هي الزاوية القطبية بين المحور x و محور انتشار الأشعة.

في دراستنا سنكتب معادلة الانتقال الإشعاعي على شكل بسيط مقارنة بالأشكال السابقة، وفق الخطوات الأساسية التالية:

معادلة الانتقال هي معادلة انحفاظ الطاقة. نشّتق المعادلة البسيطة التي تعطي تغير شدة $I_\omega(x)$ لحزمة إشعاعية محصورة في الزاوية المجسمة $d\Omega$ [14].



الشكل(II-3): حزمة أشعة تعبر حجم عنصري من البلازما.

هذه الحزمة تنتشر باتجاه ox من خلال غاز الذرات المثارة و نفرض أن الإشعاع غير مستقطب. معامل الامتصاص و الإصدار في الوسط يمكن حسابه بشكل أساسي من معاملات اينشتاين A و B المرفقة للانتقال $i \longrightarrow k$.

معادلة الانتقال الحاصلة باعتبار تغير طاقة الإشعاع المحصورة في مجال التردد الزاوي $d\omega$ نفسه من خلال الحزمة المارة في حجم اسطواني عنصري ذو سطح ds و طول dx الشكل(II-3) [14]:

$$[\,I_\omega\,(x+dx) - I_\omega\,(x)]dsd\omega d\Omega dt = \frac{dI_\omega}{dx}dxdsd\Omega dt \qquad (2.4)$$

هي معادلة إنحفاظ الطاقة لحزمة أشعة تعبر حجم عنصري $d\tau$.

نشير أن تغير الطاقة في الوسط ضعيف جداً أي لا يوجد انعكاس للطاقة في الوسطين 1 و2.

طاقة الحزمة الممتصة خلال عبورها لعنصر الحجم تعطى بطاقة فوتون مضروب في عدد الانتقالات نحو المستوى الأعلى خلال مجال زمني dt.

نعتبر أنه توجد N_i ذرة في وحدة الحجم في المستوي i لدينا:

$$\text{الطاقة الممتصة} = \hbar\omega\, N_i dxdSB_{ik}d\omega\frac{d\Omega}{4\pi}\,I_\omega(x)dtg(\omega) \qquad (2.5)$$

$g(\omega)$: هي خط الطيف المنتظم، أدخل لوصف توزيع الإشعاع ذو التردد الذري.

لمعامل $\frac{d\Omega}{4\pi}$ يأخذ بعين الاعتبار لأننا اعتبرنا أن الانتقال يكون بسبب حزمة الأشعة المحصورة في الزاوية المجسمة $d\Omega$.

الطاقة الصادرة هي نتيجة الإصدار التلقائي و الإصدار القصري، في الزاوية المجسمة $d\Omega$ و في مجال التردد $d\omega$، وخلال المجال الزمني. dt.

$$\text{الطاقة الصادرة} = \hbar\omega\, N_k dx dS A_{ki} d\omega \frac{d\Omega}{4\pi} \mathrm{I}_\omega(x) dt g(\omega) + \hbar\omega\, N_k dx dS B_{ki} d\omega \frac{d\Omega}{4\pi} \mathrm{I}_\omega(x) dt g(\omega) I(x) \qquad (2.6)$$

ندخل المعادلات (2.5) و (2.6) في (2.4) نحصل على معادلة الانتقال الإشعاعي على الشكل:

$$\frac{dI_\omega}{dx} = J_\omega - K_\omega I_\omega \qquad (2.7)$$

مع: J_ω و K_ω هم على الترتيب معاملات الإصدار و الامتصاص في وحدة الحجم.

المعادلة التفاضلية (2.7) تفسر انخفاضا للحزمة الإشعاعية، خلال حجم صغير للبلازما سمكه dx، بعد الاصدار و الامتصاص الإشعاع [13، 14].

II-5 معامل الامتصاص و الإصدار:

يعرف معامل الإصدار ب: [13، 14].

$$J_\omega = \frac{\hbar\omega}{4\pi} A_{k\,i} N_k\, g(\omega) \qquad (2.8)$$

حيث: $A_{k\,i}$معامل اينشتاين للإصدار التلقائي و N_i: عدد الذرات في وحدة الحجم في المستوي k و $g(\omega)$: هي معادلة خط الطيف المنتظم.

- معامل الامتصاص يُكتب على الشكل التالي:

$$K_\omega = \frac{\hbar\omega}{4\pi} B_{i\,k} N_i \left(1 - \frac{g_i N_k}{g_k N_i}\right) g(\omega) \qquad (2.9)$$

المعامل: $B_{i\,k}$ هو معامل اينشتاين للامتصاص ألقصري، نشير أن:

$$g_i B_{i\,k} = g_k B_{k\,i}$$

مع g_i ، g_k : يمثلوا الأوزان الإحصائية للمستوي i، k و N_i: عدد الذرات في وحدة الحجم في المستوي i، لدينا:

$$B_{i\,k} = \frac{g_k}{g_i} B_{k\,i} = \frac{g_k}{g_i} \frac{c^3}{8\pi\, h\, v^3} A_{i\,k} \qquad (2.10)$$

$$B_{i\,k} = \frac{2\pi^2 e^2 f_{ik}}{\varepsilon_0 \hbar\, m\, c\omega_{ki}} \left(\frac{m^3}{J.s^2}\right) \qquad (2.11)$$

مع: f_{ik} هو قوة الهزاز و ω_{ik}: هو تردد الانتقال مركز الطيف).

يكون لدينا :

$$A_{ik}(s^{-1}) = \frac{g_k}{g_i} f_{ik} \frac{6.6702 \times 10^{15}}{\lambda^2} \qquad (2.12)$$

II- 6 حل معادلة الانتقال الإشعاعي:

نعتبر أن معاملات الإصدار و الامتصاص مستقلة عن x و الكثافتين N_i و N_k ثابتة.

معادلة الانتقال (2.7) يمكن أن تحل باعتبار أن شدة الإشعاع تَعبر وسط سمكه L شدة الإشعاع الملاحظة عند x=L تعطى كالتالي[14]:

$$I_\omega(L) = I_\omega(0)exp(-K_\omega L) + \frac{J_\omega}{K_\omega}[1 - exp(-K_\omega L)] \qquad (2.13)$$

مع:$I_\omega(0)$: شدة الإشعاع للحزمة الإشعاعية الساقطة على الوجه x=0، K_ω: معامل الامتصاص، J_ω هو معامل الإصدار اذا كانت البلازما بها تدرج في الكثافة الإلكترونية و درجة الحرارة عبر سمك الوسط x اي معامل الامتصاص و الاصدار المرتبطين ب N_e و T يتغيران نتيجة هذا التدرج المتعلق بالبعد x و بالتالي نقول ان البلازما غير متجانسة.

ليكن J_w و K_w المتعلق بالبعد، و بالتالي المعادلة (2.7)، يمكن ان تترجم على طول السمك L (المقسم الى عدة أجزاء ذات سمك مختلف)، حيث تعتبر البلازما متجانسة جزئيا بجوار كل جزء جدُّ رقيق ذو سمك x [14].

من أجل بلازما مكونة من n جزء ذو سمك x يمكن أن نكتب:

$$I_n(x) = I_{n-1}\exp(-\mathrm{K}(x)\Delta x) + \mathrm{S}(x)\big(1 - \exp(-\mathrm{K}(x)\Delta x)\big) \qquad (2.14)$$

حيث: و $K(x)$ و $S(x)$ هم على التوالي دالة المنبع و معامل الامتصاص لكل سمك x.

و منه شدة الإشعاع الصادر من البلازما هي:

$$I_\omega(\mathrm{L}) = \sum_{\mathrm{n}} \mathrm{I_n}(x) \qquad (2.15)$$

II-7 تعريض دوبلر:

أصل فعل دوبلر هو حركة الذرات و الأيونات المرسلة للإشعاع (تحرك ذرات المصدر)، اي هو تغير ظاهري للتردد أو الطول الموجي للأمواج (إشعاع أو ضوء) و ذلك عند رصدها من قبل مراقب يفترض أنه ساكن حتى يمكن تحديد إذا كان الجسم مقتربًا (مصدر) أم مبتعداً عنا، و ذلك بملاحظة تغير واضح للتردد و يعتبر متناسب للسرعة بين الملاحظ، المصدر و المسافة التي تفصل بينهما.

تأثير دوبلر يستعمل في الفيزياء الفلكية من أجل معرفة السرعة الزاوية للنجوم بسبب حركتها، حيث لاحظ هبل أن ألوان الطيف الضوئي القادم من النجوم تنزاح نحو الأحمر (له طول موجي أكبر) و من خلال ذلك استنتج أن النجوم تبتعد عنا. و المبدأ نفسه من أجل إشعاع ضوئي يقترب أي تكون موجاته قصيرة[15، 16، 17] .

II-7-1 تعريض دوبلر في الحالة اللانسبية:

هو أول وصف دقيق قدمه رايلي 1889. حيث لاحظ ذرات المصدر تتحرك بسرعة v في اتجاه يصنع زواية θ مع اتجاه الملاحظ، و يسجل تواترا ω تعطى عبارته كالتالي[16]:

$$\omega = \omega_0\left(1 - \frac{v}{c}\cos\theta\right) \qquad (2.16)$$

حيث: ω_0 هي التواتر المتعلق بالمصدر، c هي سرعة الضوء في الفراغ

من خلال العلاقة(2.16) نحصل على:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{v}{c}cos\,\theta = \frac{v_x}{c} \qquad (2.17)$$

$$v - v_0 = v_0\,\frac{v}{c}\cos\theta$$

و منه تعريض دوبلر الكلاسيكي أو في الحالة الغير النسبية يكتب على الشكل التالي:

$$\Delta\omega_{D_c} = \omega_0\,\frac{v\,cos\,\theta}{c} \qquad (2.18)$$

تركيب خطوط الإصدار في بلازما تحتوي على مجموعة من الذرات مع سرعات موجهة في كل الاتجاهات من الفضاء تنتشر وفق قانون ماكسويل، يؤدي إلى طيف دوبلر و شكل خط الخط يكون نوع غوص (Gaussien) بنصف عرض $\Delta\lambda_{D1/2}$ [17]:

و يعطى تعريض دوبلر عند منتصف الشدة العظمى ب $\Delta\lambda_{D1/2}$ حيث:

$$\Delta\lambda_{D_{1/2}} = \sqrt{ln2}\Delta\omega_D \qquad (2.19)$$

و منه في بلازما حرارية حيث: $v = \sqrt{\frac{2KT}{m}}$ و بإعتبار ان الملاحظ يكون في نفس اتجاه المصدر ($\cos\theta=1$) يكون:

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda_0}{c}\sqrt{\frac{2KTln2}{m}} = \lambda_0\sqrt{\frac{2KTln2}{mc^2}} \qquad (2.20)$$

λ_0 : طول الموجة عند مركز الخط

و يمكن كتابة:

$$2\Delta v_D = 7.1314 \times 10^{-7} v_0 \sqrt{\frac{T_e}{Z}} K^{-1/2} \qquad (2.21)$$

II-7-2 تعريض دوبلر في الحالة النسبية:

فعل دوبلر النسبي حسب من طرف ألبرت اينشتاين، في مذكرته الأساسية في 1905، و في هذه الحالة اذا كان المتحرك يتحرك بسرعة كبيرة تقارب سرعة الضوء فإن علاقة تعريض دوبلر لخط الطيف من الشكل [17]:

$$\Delta v_{Dr} = v^* - v_0 = v_0\left(\frac{\left(1+\frac{v}{c}\cos\theta\right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \qquad (2.22)$$

مع: v^* هي التواتر المتعلق بالمصدر، v هو التواتر في الحالة النسبية

تصبح المعادلة (2.22) كالتالي:

$$\Delta v_{Dr} = v^* - v_0 = v_0\left(\frac{(1+\beta\cos\theta)}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right) \qquad (2.23)$$

حيث: β هو معامل النسبية و يعرف: $\beta = v/c$

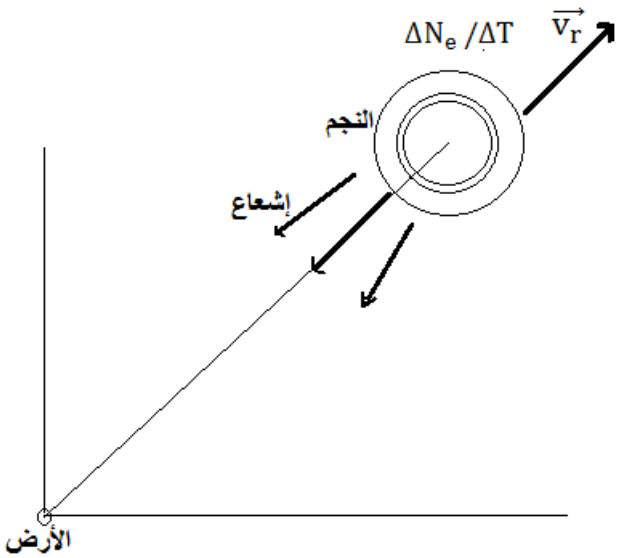
الفصل الثالث
نتائج و مناقشة

III-1 مقدمة:

في هذا الفصل سنحسب خط الطيف ليمان- α للهليوم شبيه الهيدروجين (He^+)، للإشعاع المنبعث من نجم ما يبتعد بسرعة كبيرة (نسبية) عن الأرض، و بأخذ بعين الاعتبار فعل العتامة و فعل دوبلر على هذا الخط. و نتائج حسابنا لفعل العتامة، و دوبلر على خط الطيف اعتمدنا على برنامج الفورترون.

III-2 نموذج النجم المدروس:

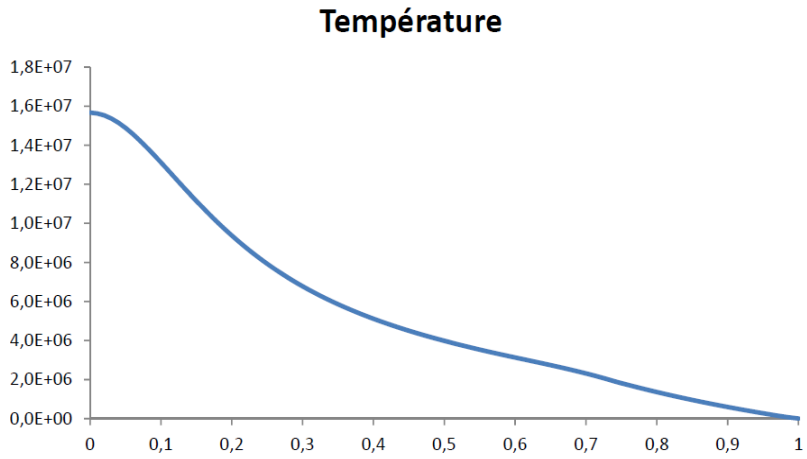
نأخذ في دراستنا نجم يكون له نفس شكل تدرج الحرارة و الكثافة للشمس، كما هو موضح في الشكلين (III-1-أ) و (III-1-ب) على الترتيب، و له نفس أبعاد المجموعة G_2 (M و R) [18].



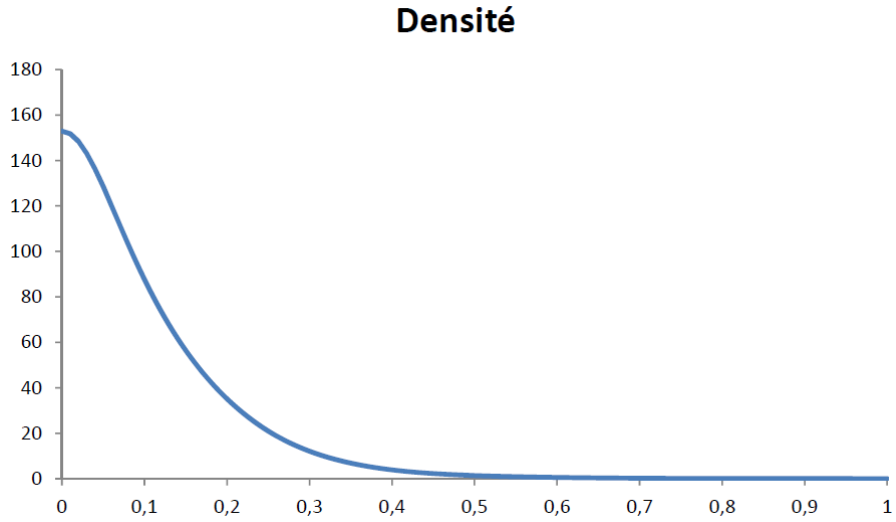
الشكل (III-1): نموذج نجم يشع و يبتعد عن الأرض بسرعة نسبية $\vec{v_r}$

❖ ملاحظة:

النجوم ذات الكتل ما بين $0.4\ M_s$ الى $1.3\ M_s$ تشكيلها يشبه الشمس، و بالتالي كلما زادت الكتلة في هذا المجال تصبح المنطقة المشعة أكثر أهمية من منطقة الحمل الحراري داخل النجوم، أما النجوم ذات كتلة أقل من $0.4\ M_s$ لا توجد منطقة مشعة، فقط يكون هناك حمل حراري [18].



الشكل (III-1-أ): التدرج في درجة الحرارة لنجم بدلالة نصف قطر بالنسبة للشمس

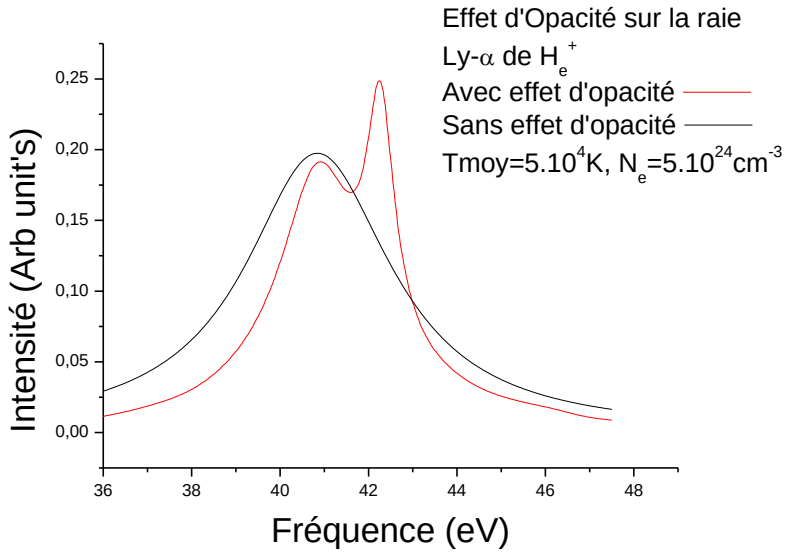


الشكل (III-1-ب): التدرج في الكثافة لنجم بدلالة نصف قطر بالنسبة للشمس

III-3 نتائج و مناقشة:

أ- فعل العتامة:

اعتبرنا ان النجم مكون من خمسة مناطق مختلفة في درجة الحرارة و كثافة متغيرة حسب نصف القطر (وفق الشكلين: (III-1-أ) و (III-1-ب)، و حسبنا خط الطيف الصادر من النجم بعد تعرضه لفعل العتامة و قارنا هذا الطيف مع طيف له درجة حرارة متوسطة $T_{moy}= 5.10^4K$ و $N_e= 5.10^{24}cm^{-3}$ اين فعل العتامة مهمل فتحصلنا على النتائج في الشكل (III-2).



الشكل(III–2): فعل العتامة على الخط ليمان– α لنجم يصدر اشعاع للهليوم المؤين

//////////////////////////	I_{max}	$\Delta\omega$ (eV)	ω_0 (eV)
Avec effet d'opacité	0.25	2.75	42.12
Sans effet d'opacité	0.20	4.25	40.85

جدول (III–1): أثر فعل العتامة على خط الطيف ليمان – α للهليوم

لتحليل هذا الطيف نعتمد على المقايس التالية:

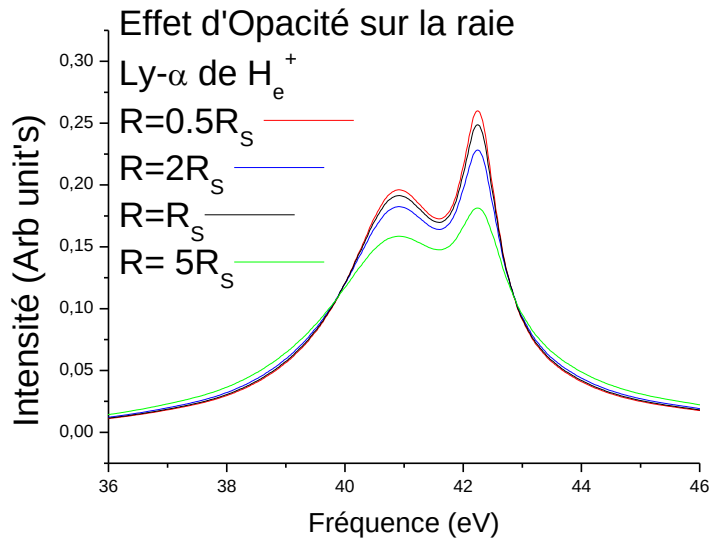
- ✓ عرض خط الطيف عند منتصف الشدة العظمى و مركز خط الطيف.

في وجود العتامة نلاحظ أن خط الطيف اصبح له ذروتين و هذا نتيجة الامتصاص، اي فعل العتامة أدى الى توزيع الاشعاع في البلازما (النجم).

من خلال الشكل(III–2) و الجدول (III–1) نلاحظ أن الشدة العظمى لخط الطيف زادت في وجود العتامة بنسبة 25 % كما نلاحظ أن عرض خط الطيف تناقص بفعل العتامة بنسبة 35%، و نلاحظ أن مركز خط الطيف انزاح في وجود العتامة بنسبة 3.1 % .

ب- فعل العتامة بتغير نصف قطر النجم:

حسبنا خط الطيف للهليوم الناتج بفعل العتامة لنجوم مختلفة الأبعاد فلاحظنا من خلال الشكل (III-3) و الجدول (III-2)، أن الشدة العظمى لخط الطيف تتغير بتغير نصف القطر، فعند زيادة نصف القطر مثلا عند $2R_s$ تزيد بنسبة 8%، و عند $5R_s$ تزيد بنسبة 28%، كما نلاحظ أن عرض خط الطيف يتزايد كلما زاد البعد، فعند $2R_s$ زاد بنسبة 4 % و عند $5R_s$ بنسبة 28 %، و ان خط الطيف انزاح بنسبة 0.18% عند $2R_s$ ، 0.30% عند $5R_s$، و منه كلما نقصت الشدة العظمى زاد عرض خط الطيف و ذلك بتغير(زيادة) نصف القطر.



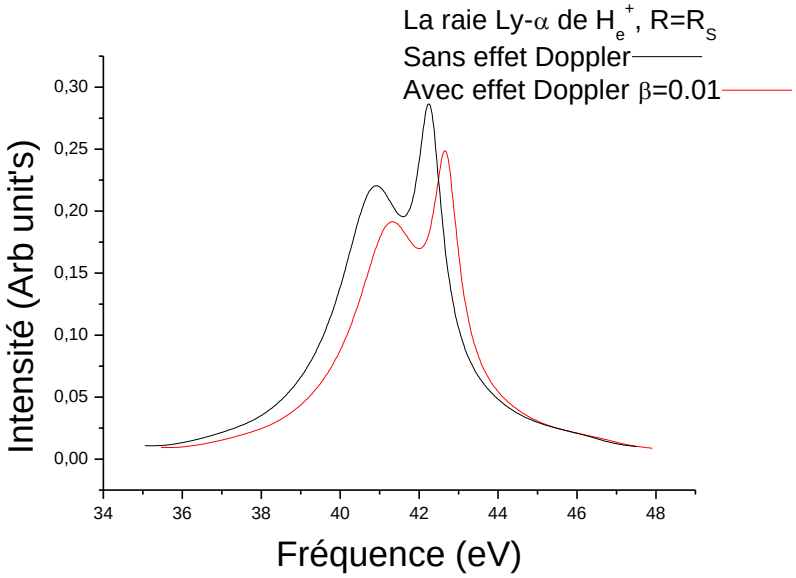
الشكل(III-3): فعل العتامة على الخط ليمان- α يصدر اشعاع للهليوم المؤين لنجوم مختلفة الأبعاد

R	I_{max}	$\Delta\omega$ (eV)	ω_0 (eV)
$0.5R_s$	0.26	2.77	42.13
R_s	0.25	2.75	42.12
$2R_s$	0.23	2.87	42.2
$5R_s$	0.18	3.52	42.25

جدول (III-2): أثر فعل العتامة على خط الطيف ليمان – α للهليوم المؤين لنجوم مختلفة الأبعاد

ج- فعل دوبلر النسبي:

من خلال دراستنا لنجم له نفس أبعاد الشمس الشكل (III-4) يوضح أثر فعل دوبلر النسبي على خط الطيف ليمان- α للهليوم المؤين، و من خلال الشكل (III-4) نلاحظ أن خط الطيف قد انزاح نتيجة فعل دوبلر النسبي.

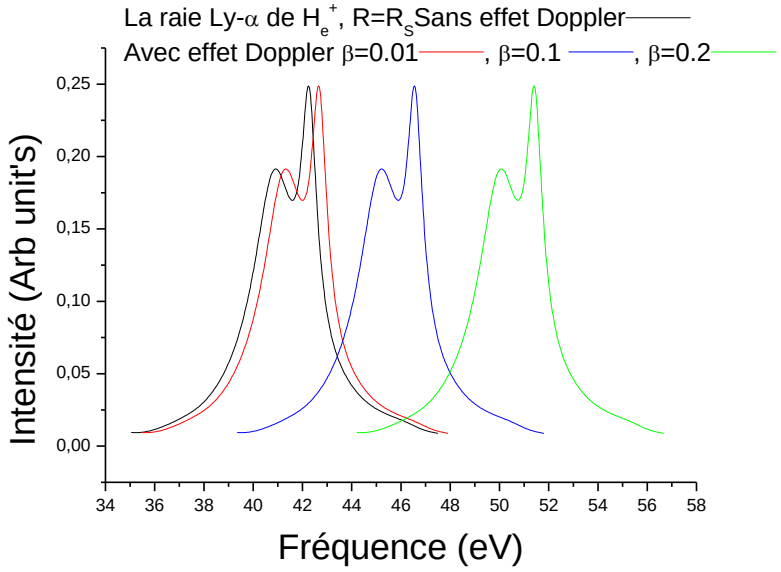


الشكل (III-4): فعل دوبلر النسبي على الخط ليمان – α للهليوم المؤين

د- فعل دوبلر النسبي بتغير السرعة للنجم:

من خلال الشكل(III-4) و الجدول (III-3)، نلاحظ أن خط الطيف ينزاح نحو التوترات الكبيرة في خط طيف الهليوم نتيجة فعل دوبلر النسبي الذي يزداد كلما زادت سرعة النجم، و هذا نتيجة لزيادة في فعل دوبلر النسبي.

حيث نلاحظ أن الشدة العظمى، لم تتغير اي بقيت ثابتة و تساوي 0.25، كما نلاحظ أن عرض خط الطيف يزيد بزيادة السرعة، مثلا عند β=0.2 يزيد بنسبة 18%، كما نلاحظ أن مركز خط الطيف انزاح بنسبة 21% نتيجة تأثير دوبلر النسبي، و $\Delta\omega_D$=9.16.



(5-III): فعل دوبلر النسبي على الخط ليمان – α للهليوم المؤين بدلالة معامل النسبية β

β	I_{max}	Δω (eV)	$\Delta\omega_D$ (shift)(eV)	ω_0 (eV)
0.01	0.25	3.00	0.41	42.5
0.1	0.25	3.10	4.03	46.5
0.2	0.25	3.25	9.16	51.25
Sans effet Dopper	0.25	2.75	0	42.1

جدول (3-III): فعل دوبلر النسبي على خط الطيف ليمان – α للهليوم المؤين لنجوم مختلفة السرعات

ملاحظة: β هو معامل النسبية حيث: β=v/c

خلاصة:

لقد قمنا في هذا الفصل بوضع نموذج لنجم، يشع مبتعدا عن الأرض بسرعة كبيرة جدا (نسبية)، و ذلك من أجل حساب خط الطيف ليمان- α للهليوم شبيه الهيدروجين المنبعث من النجم. و قمنا بدراسة تأثير فعل العتامة و تعريض دوبلر النسبي على هذا الخط، وذلك بالاعتماد على التحليل الطيفي لهذا الخط المستخرجة من خلال المنحنيات البيانية المتحصل عليها.

من خلال المقارنة وجدنا أن هناك إعادة توزيع للإشعاع في البلازما نتيجة الامتصاص و الإصدار (العتامة)، كما أن هناك إزاحة واضحة و معتبرة في خط طيف الهليوم نتيجة فعل دوبلر النسبي الذي يزداد كلما زادت سرعة النجم.

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

منذ عام 1920 حققت البلازما تقدما كبيرا، بسبب أهميتها في الطبيعة و تطبيقاتها الصناعية، و شمولها على أسس المعارف في الفيزياء الحديثة، فإن كل شئ طاقوي في الكون يمتلك بلازما مرتبطة به، و يعد دراسة اشعاع البلازما، من أهم الطرق لاستخراج معلوماتها من كثافة و درجة حرارة...الخ.

تتضمن هذه المذكرة ثلاثة فصول:

في الفصل الأول: تطرقنا الى دراسة عامة حول الكواكب و النجوم، كما تحدثنا بإيجاز عن موضوع البلازما عمومًا، تاريخها، و تعاريفها، و أنواعها.

أما في الفصل الثاني: فتناولنا أهمية خط الطيف في البلازما، و معادلة الانتقال الاشعاعي و حلها، كما تطرقنا الى عبارتي معامل الامتصاص و الاصدار، و كذلك عبارة فعل دوبلر في الحالة النسبية و اللانسبية.

و في الفصل الثالث: قمنا بوضع نموذج للنجم المدروس، كما درسنا فعل العتامة على خط الطيف ليمان - α للهليوم المؤين، و فعل العتامة بتغير نصف القطر، كما تطرقنا الى تأثير فعل دوبلر على الخط ليمان – α للهليوم المؤين، و تأثير فعل دوبلر النسبي بتغير سرعة للنجم.

لقد ناقشنا في مذكرتنا تأثير فعل دوبلر النسبي، و فعل العتامة على خط الطيف ليمان- α للهليوم المؤين، المنبعث من نجم يبتعد عن الأرض بسرعة كبيرة، و ذلك بحساب خط الطيف ليمان- α للهليوم المؤين، و من خلال هذه الدراسة تمكنا من ترجمة ما يتعرض له الإشعاع في البلازما (النجم) من فعل العتامة داخل النجم، وتعريض دوبلر نتيجة ابتعاد النجم عن الأرض بسرعة كبيرة، و ذلك بإعادة توزيع الإشعاع في البلازما نتيجة فعل العتامة، و إزاحة واضحة و معتبرة في خط الطيف نتيجة فعل دوبلر النسبي.

قائمة المراجع

[1] إسماعيل شيحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضعي ومشتقاتها داخلا لبلازما باستخدام المحكاة العددية مونتي كارلو تطبيق على طيف الهليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري، قسنطينة،2005

[2] قريشة سليمة، إستخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضعي في البلازما، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة،2013

[3] الدكتور محمد هاشم البشير محمد، فيزياء الكون الحديثة، دار الحامد للنشر والتوزيع ، الطبعة الاولى 1432هـ – 2011 م

[4] الموسوعة التعليمية المدرسية، الكون ASSALA Cultur، 2009

[5] ترجمة : زينب ناصر الدين. الكون ، دار الشمال للطباعة والنشر والتوزيع، الطبعة الأولى 2011.

[6] أ.شاهر، علوم الفيزياء والتكنولوجيا، جامعة التكوين المتواصل و المدرسة العليا للأساتذة التعليم التقني – وهران – المدرسة العليا للأساتذة – القبة – السنة الرابعة.

[7] alnomrosi.net 2005-2006

[8] www.asto.unl.edu

[9] Gauthier - villars, La galaxie,l’univers extragalactique, Imprimerie GAUTHIER - VILARS, France, avril 2009

[10] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في فيزياء البلازما، سلطنة عمان، يونيو 2006.

[11] علي ابراهيم مهدي العزاوي، الكهرومغناطسيات، الجامعة المنتصرية، بغداد.

[12] قريشة سليمة، مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضعية في البلازما، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2008 .

[13] Ghazel Amel. Etude de l’asymétrie des profils des raies en tenant compte de l’ Mémoire de master, Université de Ouargla, 2012.

[14] K.Chenini . Etud des effets microscopique de l’opacité et du non homogènèité des champs électriques locaux sur la redistribution du rayonnemment dans les plasmas denses et chauds, Thése de doctorat, Université de Ouargla,2011.

[15] خير شواهين، علم الفيزياء للهواة، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، الطبعة الأولى 1426هـ – 2005م

[16] محمودي منال، دراسة التعريض الالكتروني في حالة القيم الصغيرة لوسيط الصدم في البلازما. ، رسالة ماستر، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2013.

[17] Ouggad Yamina. Etude comparative entre les effets relativités et no relativistes (Doppler et Electronique) dans les plasmas. Mémoire de master, Université de Ouargla, 2014

[18] Luc Tremblay Collège Mérici ,Québec. La structur des étoile , 2014

ملخص

ان البلازما من اهم جوانب الفيزياء. من بين الوسائل التي تدرس هذا الوسط خط الطيف. ان دراسة الإشعاع المنبعث من النجم موضوع مهم حيث يتعرض هذا الإشعاع إلى فعل العتامة داخل النجم، كما يتعرض الى تعريض بفعل دوبلر النسبي نتيجة ابتعاد النجم عن الأرض بسرعة نسبية.

الكلمات المفتاحية: العتامة ، فعل دوبلر النسبي، خط الطيف، البلازما الساخنة و الكثيفة .

Résumé

Le plasma est l'un des aspects les plus importants de la physique. Parmi les choses qui étudient ce milieu est le profil de raie spectrale. En effet, l'étude du rayonnement émis par l'étoile est un sujet très intéressant. Ce rayonnement est affecté par l'opacité au sein de l'étoile ainsi qu'il subit un élargissement par l'effet Doppler relativiste à cause de l'éloignement de l'étoile par rapport la terre avec une vitesse relativiste.

Mots clefs : Opacité, effet Doppler relativiste, profils des raies, plasmas denses et chauds.

Abstract

Plasma is one of the most important aspects of physics. Among the things that studying this medium is the spectral line shape. Indeed , the study of radiation emitted by the star is a very interesting topic. This radiation is affected by the opacity within the star as it undergoes an expansion by the relativistic Doppler effect due to the distance of the star over the earth with a relativistic speed

Keywords: Opacity, relativistic Doppler effect, spectral line shape, dense and hot plasma.