الجمـهورية الجزائريــة الديمقراطية الشــعبية

وزارة التــعليم العالي والبــحث العلمـي

جـــامعة الـــــــوادي

كـــلية العــلوم والتكنولوجــيا

رقم الترتيب :

رقم التسلسل :

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ليســـانس أكـــاديمي

مجال : علوم المادة **فرع** : فيزياء

تخصص : فيزياء الإشعاع

من إعداد: أسمهـان ســـــوالـمي

نور الهدى زمـــوري

المـــوضـــوع :

مفاهيم أساسية حول مسألة N جسيم

اللجنة المناقشة :

• بكار الضاوية	رئيس
• ضوء جمل	مناقش
• بديدة نصيرة	مؤطر

الموسم الجامعي 2014/2013

بسم الله الرحمن الرحيم

تشكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي مكننا من إتمام هذا البحث فما كان لشيء أن يجري في ملكه إلا بمشية جل شأنه، فالحمد و الشكر الأول

والأخير لله المولى القدير و المنير والمعين والبصير

وأنه ليقودنا شرف الوفاء والاعتراف بالجميل أن نتوجه بعظيم الشكر والامتنان إلى لجنة المناقشة : الدكتور ضوء

جمال و و الأستاذة بكار الضاوية لتفضلهما بقبول الإشراف على مذكرتنا وعلى مساعدتها وسخائها علينا

بالنصح والتوجيه و الإرشاد، والتي كان لها الأثر في انجاز هذا العمل .

وأخير نتقدم بخالص الشكر إلى كامل عمال المكتبة الكلية وبأخص حنان داهم وإلى كل من قدم لنا يد العون في سبيل

إتمام هذا العمل .

نور الهدى أسمهان

الفهرس

مقدمة عامة

الفصل الأول: نظرية الحركية للغازات

1-1مقدمة

1- 2 معادلة الحالة الغاز المثالي 3

1-3 الشروط المثالية..... 3

1-4 أساسيات النظرية الحركية الغازات..... 4

1-4-1 تصادم لين (غير مرن)..... 4

1-4-2 تصادم مرن على جدران وعاء مغلق 5

1-4-3 تصادم الجزيئات (طاقة الحركية المتوسطة)..... 5

1-5 التفسير الإحصائي للضغط..... 6

1-6 معنى الديناميكا الحرارية..... 7

الفصل الثاني : نظرية فيريال و الطاقة الداخلية

2-1 مقدمة

2-2 نظرية فيريال..... 10

2-2-1 تعريف النظرية..... 10

2-2-2 بيان النظرية 11

2-2-3 تطبيق أولا على الغاز المثالي 11

2-3 النجم..... 13

2-3-1 دورة حياة النجم..... 13

2-3-2 الطاقة الكامنة الداخلية لنجم..... 15

2- 4 الطاقة الداخلية لنجم في الميكانيك الكلاسيكي..... 16

2- 5 تحويل الطاقة الداخلية للإشعاع 17

2-6 معادلة حالة نجم 18

الخاتمة العامة.....

قائمة المراجع.....

مقدمة عامة

مقدمة عامة :

حل مسألة ذات جسمين ليس بالأمر الصعب ،فبمجرد تغير المتغيرات نكون قد فككنا الارتباط بين متغيري المسألة لنحصل على معادلتين تميزان كل من حركة مركز الكتلة وحركة الجسم النسبي الوهمي الذي يصف المسألة كونه له علاقة بالتفاعل بين الجسمين.

لكن الأمر يزيد تعقيدا عندما يكون هناك جسم ثالث في المسألة حيث أنه لا توجد طريقة عامة لحل مسألة ثلاثة أجسام كما أننا لا نستطيع أن نغير المتغيرات للمعادلات الثلاثة التي تميز الجملة , ومنه من أجل البحث عن حلول يجب استعمال طرق تقريبية. فنبدأ بالبحث اعتمادا على مبدأ تراكب القوى ،حيث يوصف التفاعل الحاصل بين ثلاث أجسام كمجموع لتفاعل بين كل جسمين، ثم تؤخذ كدراسة لمسألة جسمين، تحقق من هذه التقريبات بمقارنتها بالتجربة.

ولتوضيح المسألة نأخذ كمثل لدراسة الإحصائية لوصف معادلة الحالة لغاز مثالي، كما يمكننا فيما بعد من فهم نظرية فيريال من حيث تطبيقاتها والطاقة الداخلية .

الفصل الأول:

النظرية الحركية للغازات

1-1مقدمة..... ..

2-1 معادلة الحالة الغاز المثالي..... ..3

3-1 الشروط المثالية..... 3

4-1 أساسيات النظرية الحركية الغازات..... 4

5-1 التفسير الإحصائي للضغط.....…… 6

6-1 معنى الديناميكا الحرارية..... 7

1-1 مقدمة :

أبسط مثال يمكن أن يوضح لنا التفسير الإحصائي لبعض خصائص الأنظمة ذات N جسيم هو نموذج الغاز المثالي، حيث شبه جزيئات الغاز بكريات البلياردو التي لا تخضع إلا لتصادمات مرنة عند تلامسها.

معادلة الحالة التي تميز هذا النظام المثالي معروفة سوف نوضح من جهة مفهوم حالة التوازن العيانية (الماكروسكوبية) ومن جهة أخرى الظروف المثالية التي من أجلها يكون تقريب الغاز المثالي محققا. كما سنرى أساسيات النظرية الحركية للغازات وعلاقة الضغط بمتوسط الطاقة الحركية للنظام وكذلك علاقة درجة الحرارة بالطاقة الحركية .

1-2معادلة الحالة لغاز المثالي :

نقول عن نظام أنه في حالة التوازن الماكروسكوبي (العياني) إذا كان تطور جميع كمياته الفيزيائية المرتبطة به غير متعلق بالزمن، وعلى نطاق المشاهدات العينية نأخذ على سبيل المثال كمية من الغاز، ذات n مول، في وعاء مغلق ذو حجم V وفي حالة توازن مكروسكوبي عند ضغط P و درجة حرارة T، موحد في جميع أنحاء العلبة ولا يتطور مع مرور الزمن على مستوى القياسات الماكروسكوبية (العيانية).الكميات المرتبطة بالنظام V،n، P، T،..... الخ هي مستقلة عن الزمن ومرتبطة ببعضها البعض بمعادلة تدعى "بمعادلة الحالة للنظام "

معادلة الحالة للغاز المثالي تكتب كما يلي :

$$PV = nRT \qquad (1-1)$$

حيث R هو ثابت الغازات المثالي.

$$R = 8.314\, j/k \qquad (2-1)$$

هذه العلاقة لا تكون قابلة لتطبيق على الغاز الحقيقي إلا في حالة الغاز بعيد كفاية عن شروط التميع. في الواقع نستطيع أن نقلل من حجم الغاز إلى الصفر عن طريق ضغطه لفترة غير محدودة، عند درجة الحرارة ثابتة أو نقوم بأخذ درجة الحرارة إلى الصفر عند ضغط ثابت، كل جزيء يشغل حجم من رتبة $10^{-30}\ m^3$ والحجم الأصغري للغاز يدعى الحجم الأصغري (covolume) وهو الحالة التي تتكدس فيها جميع الجزيئات كوانتيا ضد بعضها البعض، ونرمز لها بالحجم ب b .

3-1 الشروط المثالية :

لنأخذ بعين الاعتبار الحجم b ، نعيد كتابة العلاقة (1-1) في الشكل التالي :

$$P(V - b) = n\,RT \qquad (3-1)$$

هذا التصحيح لا يكفي لأننا يجب أن نأخذ بعين الاعتبار تفاعل الجزيئات بين بعضها البعض، كمتوسط تأثير التفاعلات الجاذبة، وهذا التأثير يؤدي إلى الغاز الحقيقي، بضغط أقل بقليل من النموذج الغاز مثالي لذالك سنقوم بتحويل العلاقة (1-3) إلى:

$$P = \left(\frac{R\,T}{V-b}\right) - \pi \qquad (4-1)$$

حيث π الحد الذي يصف تأثير التفاعل .

هذا الحد يتناسب مع احتمال تصادم الجزيئات مع بعضها البعض، وبالتالي مع n^2 أي مربع عدد الجزيئات لكل وحدة الحجم، نفترض أن الاحتمال لا يتعلق بطاقة الجزيئات وبالتالي حتى درجة الحرارة، نكتب $\pi = \frac{a}{V^2}$ حيث a هو ثابت من أجل غاز معطى .

نحصل في نهاية المطاف على :

$$(P + \frac{a}{V})(V - b) = nRT \qquad (5-1)$$

و تسمى هذه العلاقة فان ديرفالز التي هي تقرب لمعادلة الحالة غاز الحقيقي.

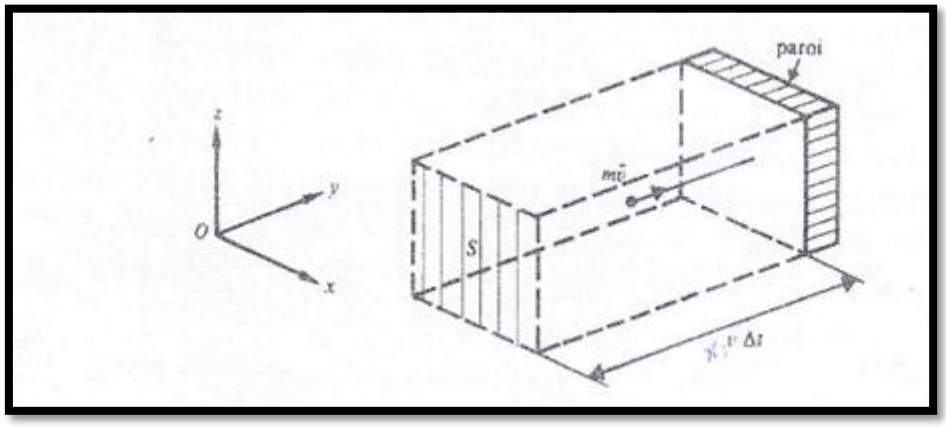
هذه العلاقة تعطي معادلة الحالة لغاز مثالي ($PV = n\,RT$) لما نعتبر الغاز الحقيقي خفيفا جدا في الوعاء $(b \ll V)$ وعندها يمكن أن نهمل التصحيح المستوجب عن تفاعل الجزيئات فيما بينها $a \ll PV^2$. سوف نعتبر إذن شرطين مثاليين $a = 0$ (أي لا يوجد تفاعل بين الجزيئات) و $b = 0$ (الجزيئات نقطية) هما ميزتين تخصان نموذج نظام الغاز المثالي. كل غاز حقيقي يملك مجال لتغير وسائطه Pو VوT حيث سلوكها يكفى استنباطه من العلاقة (1-1) أي تقريب الغاز المثالي،لأن الغازات النادرة هي أحسن الأمثلة.

4-1 أساسيات النظرية الحركية الغازات:

نعتمد الشرطين لتفسير معادلة الحالة الغازات المثالية مجهريا وذلك بدراسة بعض تصادمات :

1-4-1تصادم لين (غير مرن):

نعتبر جزيء ذو كتلة m يسير نحو الجدار بسرعة $\overrightarrow{\ }$ في المعلم، حيث كتلة الجدار لانهائية بالنسبة ل m. إذا كان الجزيء يلتصف على الجدار فإنه بالمقابل يتعين عليه أن يقدم كل كميته الحركية $m\vec{v}$. نفترض أنه خلال الفترة الزمنية Δt، α جزيئات متشابهة تأتي على شكل حزمة متجانسة وتلتصق على هذا المنوال، ومنه الجدار سيتلقى مجموع كمية الحركة $\Delta\vec{P}=\alpha m\vec{v}$.



شكل (1-1) : كل الجزيئات محتوية في حجم $Sv\Delta t$ تضرب الجدار في مدة زمنية Δt إذا كان لهم نفس كمية الحركة $m\vec{v}$.

بإعتماد المبدأ الأساسي لتحريك، وبتعويض المتغير $\Delta\vec{P}$ بـقوة ثابتة الشدة $F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\alpha mv}{\Delta t}$، نستنتج الضغط الممارس من قبل الحزمة على الجدار ذو السطح S يعطي ب:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{\alpha mv}{S\Delta t} \qquad (6-1)$$

من أجل حساب α، نلاحظ أن كل الجزيئات المحتواة في حجم ذو قاعدة S وطول $L = v\Delta t$ ستأتي وتصدم بالجدار خلال الفترة الزمنية Δt، نرمز لـn عدد الجزيئات في وحدة ، نتحصل على :

$$\alpha = nSv\Delta t \qquad (7-1)$$

والعبارة (1-6) تصبح :

$$P = nmv^2 \qquad (8-1)$$

فتعطينا الضغط المطبق من قبل حزمة من الجزيئات ناظميا على الجدار، وهي حالة خاصة لتصادم لين.

1-4-2 تصادم مرن على جدران وعاء مغلق :

دعونا نسترشد بهذه العبارة من أجل حساب ضغط غاز مثالي في وعاء مغلق، بدلالة متوسط الطاقة الحركية. نلاحظ أولا أن جزيئات الغاز لا تزال متكثفة على جدران التي صادفتها لفترة غير محددة، عندما يكون النظام في حالة توازن ، تترك العديد من الجزيئات الجدران التي وصلتها. يمكن محاكاة حالة التوازن بإفتراض أن الجزيئات ترتد بشكل مرن على الجدار، من أجل سرعات إبتدائية ناظمية على الجدار، السرعات النهائية تكون معاكسة في حالة تصادم مرن على جدار لانهائي الكتلة، كل جزيء يأتي بكمية حركة $\vec{p}_i = m\vec{v}$ ويعود ب $\vec{p}_f = -m\vec{v}$. فإنها تعطي إذن للجدار كمية الحركة $\Delta\vec{p} = \vec{p}_i - \vec{p}_f = 2m\vec{v}$. إن الشعاع المرسل على الجدار،من مثانه أن يؤدي إلى ضغط ضعف الذي تحصلنا عليه في التصادم لين. بينما من أجل غاز في وعاء مغلق نتحصل مجددا على العبارة (1-8) لأن α تكتب :

في هذه الحالة يسمح ل $\mathrm{ns}v\Delta t$ جزئ محتوى في الحجم $sv\Delta t$ النصف يأتي ويرتطم بالجدار بينما الأخرين يكونونا قد إبتعد وبسرعة $\vec{v}$- .

1-4-3 تصادم الجزيئات (طاقة الحركية المتوسطة):

التعديل الوحيد الذي يجري على عبارة $\mathrm{P} = \mathrm{nm}v^2$ ينشأ في الحقيقة من أن جزيئات الغاز في حالة التوازن تمتلك سرعات موزعة بالتساوي في كل الاتجاهات ولسيت منحازة إن ناظمي الجدار، بالإضافة إلى أن سرعاتها لا تكون متساوية لكن تتوزع حول قيمة معينة لسرعة والتي هي سرعة متوسطة.

لدينا واحد مول من الغاز يحتوي على $6{,}02.10^{23}$ جزيء في تأثير دائم، حيث تتم تحولات الطاقة فيما بينهم عن طريق التصادمات . وفي حالة الغاز المثالي تكون هذه تحولات الطاقية تتكون على شكل حركة لأن إفترضنا أن تصادمات مرنة كل جزيء عند لح ظة معينة يمتلك طاقة حركية أكبر من طاقة المتوسطة، بعد عدة تصادمات المتعاقبة ، يغادر تجاوزهم عليه وبالتالي يستعيد تجوله بشكل عشوائي .

في سياق هذه التصادمات الجزئية، نستطيع أن نميز الغاز في توازن المكروسكوبي بطاقة الحركية المتوسطة لجزيئاته

$$\langle E_c \rangle = (1/N) \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{E_{ci}} \qquad (10-1)$$

حيث $E_{\mathrm{ci}}=1/2m_i\ v_i^2$ هي الطاقة الحركية للجزيء و N هو العدد الإجمالي للجزيئات الغاز الموجود في الإناء. من أجل غاز مكونة من نوع واحد من الجزيئات ذو كتلة m نستطيع أن نكتب :

$$\langle E_c \rangle = 1/2\mathrm{m}\langle v^2 \rangle = 1/2\mathrm{m}v_q^2 \qquad (11-1)$$

حيث v_{q} تدعى متوسط مربع سرعة والتي تعرف كما يلي:

$$v_q = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} v_i^2)}{N}} \qquad (12-1)$$

1- 5 التفسير الإحصائي للضغط :

فمن هذه القواعد بالإحصائية يمكن أن نعبر عن ضغط الغاز بدلالة متوسط الطاقة الحركية للمكونات ،من أجل دلك نلاحظ أن للجزيئات التي تضرب سطحا s خلال الزمن ΔT بعدد مساوي إلى نصف المحتويات في إسطوانة مائلة ذات قاعدة S و ممدد $\vec{\vartheta}$,حجم الاسطوانة هو $\vartheta\ \Delta t$ حيث $\mathrm{S}\vartheta$ هي مركبة $\overrightarrow{\vartheta}$ وفق الناظمي

للجدار، لدينا $\alpha = nS\vartheta_x \Delta t/2$ لكن كل جزيء يحول كمية حركة $2\,m\vartheta_x$ إلى الجدار وبالتالي من الأن فصاعدا نستعمل المتوسط على جميع $\vec{\vartheta}$، فنتحصل بعد التعويض في العبارة (1-8) على :

$$P = nm < \vartheta_x^2 > \qquad (13-1)$$

حيث $< \vartheta_x^2 >$ هي القيمة المتوسطة لمربع مركبة السرعة وفق الناظمي على الجدار.
نلاحظ في أخيرا أنه إذا كانت vx، vy و vz مركبات $\vec{\vartheta}$ على محاور ثلاثة المتعامدة ، فإن القيم متوسطة $\vartheta_x^2, \vartheta_y^2$ و ϑ_z^2 هي متساوية بسبب التناظر سرعات الجزيئات هي موجهة بشكل متجانس في جميع الاتجاهات ، ومنه لدينا : $(14-1)$

$$< \vartheta^2 >=< \vartheta_x^2 > +< \vartheta_y^2 > +< \vartheta_z^2 >= 3 < \vartheta_x^2 >= 3 < \vartheta_y^2 >= 3 < \vartheta_z^2 >$$

نأخذ على سبيل مثال المحور oy وفق الناظمي على الجدار $(< \vartheta_x^2 >=< \vartheta_y^2 >)$ *العبارة* $(1\text{-}13)$ ويمكن أن نكتب على الشكل:

$$P = \frac{1}{3} nm < \vartheta^2 >= \frac{1}{3} nm\vartheta_q^2 \qquad (15-1)$$

وفي الأخير نجد :

$$P = \frac{2}{3} n < E_c > \qquad (16-1)$$

حيث $< E_c >$ هي الطاقة الحركية المتوسطة لجزيئات الغاز كذلك الضغط المطبق من طرف الغاز عند التوازن الماكروسكوبي هو يتناسب مع عدد الجزيئات في وحدة الحجم و الذي يميزه ومع الطاقة الحركية المتوسطة للجزيئات.

1-6 معنى الديناميكا الحراري :

بما أن $n = \frac{N}{V}$، حيث N هو العدد الكلي للجزيئات المحتواة في حجم V ، والعبارة (1-16) تؤدي إلى العلاقة:

$$PV = \frac{2}{3} N < E_c >= \frac{2}{3} n\mathcal{N} < E_c > \qquad (17-1)$$

حيث n عدد مولات الغاز و $\mathcal{N} = 6,023.10^{23}$. هو عدد أفوغادرو.

بتعريف هذه العلاقة في معادلة الحالة لغاز مثالي $PV = nRT$ يمكن أن نكتب :

$$< E_c > = \frac{3}{2}\frac{R}{N}\ T\ = \frac{3}{2}\ KT \qquad (18-1)$$

حيث $K = \frac{R}{N} = 1{,}3810^{-23} J/K$ وهو ثابت أساسي ويدعى بثابت بولتزمان ،هذه العلاقة الأخيرة تشير إلى معنى ميكانيكي بطريق إحصائي لدرجة الحرارة :حيث درجة الحرارة المطلقة لغاز مثالي عند التوازن الهكروسكوبي هي قيمة عيانية (مقاسة) للطاقة الحركية المتوسطة لهده المكونات المجهرية (الميكروسكوبية).

الفصل الثاني

نظرية فيريال والطاقة الداخلية

2-1 مقدمة.....

2-2 نظرية فيريال..... 10

2-3 النجم..... 13

2- 4 الطاقة الداخلية لنجم في الميكانيك الكلاسيكي..... . 16

2- 5 تحويل الطاقة الداخلية للإشعاع..... 17

2-6 معادلة حالة نجم..... 18

2-1 مقدمة :

في الميكانيك الكلاسيكي ،نظرية فيريال (virial theorem) هي العلاقة العامة التي تطبق على النظام ذو N جسيم في تفاعل فيما بينهم، حيث تربط بين المتوسط الزمني لطاقتهم الحركية بالكامنة. كما طبقنا نظرية فيريال على غاز مثالي والنجم لتعميم العلاقة (1-17).

2-2 نظرية فيريال(virial theorem):

اقترحت في عام 1870 من قبل رودولف كلوسيوس، الذي كان يعمل على أساسيات الديناميكا الحرارية ويبحث في ربط بين مفاهيم درجة الحرارة و الطاقة الحرارية لجزيئات الغاز، العلاقة (1-17) يمكن الحصول عليها بتطبيق نظرية فيريال [2].

2-2-1 تعريف النظرية:

نادرا جيدا ما تكون المفاهيم الفيزيائية الناشة من جداء الشعاعي أو السلمي لمقدارين شعاعين غير مهمة، مثل على ذلك العزم الحركي والعمل اللذان هما معروفان جدا.حالة فيريال أقل دراية فمن أجل نقطة مادية m يعرف كما يلي :

$$\vartheta = \vec{F} . \vec{r} \qquad (1-2)$$

حيث $\vec{r}$ هو شعاع موضع النقطة المادية المعتبرة و $\vec{F}$ القوة مطبقة عليها .من أجل نظام يتألف من N نقطة مادية .يعرف فيريال الكلي ب:

$$\vartheta = \sum_{i=1}^{N} \overrightarrow{\varphi_i} . \vec{r} \qquad (2-2)$$

حيث $\vec{r}$ هو شعاع موضع نقطة المادية i و $\overrightarrow{\varphi_i}$ هو مجموع القوى الداخلية و الخارجية المؤثرة عليها ، من أجل القوى تخضع إلى مبدأ تراكب يمكن أن نكتب:

$$\overrightarrow{\varphi_i} = \overrightarrow{F_i} + \sum_{j \neq i} \overrightarrow{f_{ji}} \qquad (3-2)$$

حيث $\overrightarrow{F_i}$ هي القوة الخارجية المطبقة على (i) و $\overrightarrow{f_{ji}}$ هي القوة الداخلية التي تطبقها على النقطة المادية (j) على (i) واستغلال مبدأ تبادل الأفعال $\overrightarrow{f_{ij}} = -\overrightarrow{f_{ji}}$ واعتمادا $\overrightarrow{r_{ij}} = \overrightarrow{r_j} - \overrightarrow{r_i}$ يمكن كتابة العلاقة (2-2) كما يلي :

$$\vartheta = \sum_i \overrightarrow{F_i} . \overrightarrow{r_i} + \sum_i \sum_{j<i} \overrightarrow{f_{ji}} . \overrightarrow{r_{ji}} \qquad (4-2)$$

حيث $i > j$ أدخلت في مجموع مزدوج لتجنب مضاعفة حساب مساهمة كل زوج مشكل من النقطتين الماديتين i و j ،الحد الأول يدعى بفيريال الخارجي للنظام والحد الثاني يعد مساهمة جميع الأزواج وهو فيريال داخلي .

2-2-2 بيان النظرية :

لتحديد مبادئ أساسية وفكرة جديدة بفائدة ، إذا نظرية فيريال هي إلعلاقة تربط بمفاهيم أخرى معترف بأنها مثالية وذلك بإستخدام مبادئ أساسية في فيزياء والإنشاء العلاقة بين الطاقة الحركية و فيريال نبدأ من خلال إستغلال مبدأ أساسي من مبادئ الديناميك $\vec{\varphi} = m_i d^2\vec{r}_i/dt^2$ نكتب العلاقة كما يالي :

$$\frac{d^2 r_i^2}{dt^2} = 2\vec{r_i} \cdot \frac{d^2\vec{r_i}}{dt^2} + 2\left(\frac{d\vec{r_i}}{dt}\right)^2 \qquad (5-2)$$

بضرب هذه العلاقة من قبل m_i ونجمع على i ،فإننا نستنتج العلاقة :

$$\frac{d^2}{dt^2}\left(\sum_i m_i\ r_i^2\right) = 2\left(\sum_i \vec{\varphi_i}\vec{r_i} + \sum_i m_i\ v_i^2\right) \qquad (6-2)$$

$\vec{v_i} = \vec{r_i}$ هي سرعة نقطة المادية ذات الكتلة m_i .

هذه العلاقة تطبق في أي مرجع كان،ولكن من الد أن نعكمة أزفي المعلم المرافق لمركز الكتلة لنظام **المعبر**،المعلم الذي أصله النقطة التي كتلتها وهمية $\sum_{m_i v_i}$ في m_i **في حالةساكنة** ،**نحن بذلك نتخلص من حركة مجموعة النظام** (الذي هو مركز عط: ني نا،**و** الحل يكون بدون صعوبة لما نعلم القوى الخارجية، ومنه العلاقة تكون كما **يلي**

$$\sum v_i^2 \vec{\varphi} + \sum \vec{\varphi}\vec{r} \qquad (7-2)$$

ونجد :

$$E_C\rangle = N\langle E_C = \frac{1}{2} \sum_C$$ (8-2)

$E_{ci} = \sum v_i i^2 c\rangle$ هي الطاقة الحركية المرتبطة مع جميع النقاط المادية في النظام ،وتدعى الطاقة الحركية الداخلية حيث $E_c\rangle$ هي متوسط الطاقة الحركية لهذه النقاط مادية ،حسب تعريف العلاقة (1-10)« **الطاقة** الحركية الداخليه لنظام مكونة من N **نقطة** مادية **عند توازن مكروسكوبي** يساوي ناقص نصف مقدار فيريال الكلي حيث جميع الكميات ميكروسكوبي معتبر في المرجع المرفق بالمركز العطالة هذا النظام »

2-2-3 تطبيق أولا على الغاز المثالي :

كتطبيق أول **على** نظرية فيريال، **نعطى معادلة الحالة لغاز مثالي**. يعالج هذا النظام المكون من جزيئات **الغاز في إطار** الميكانيك الكلاسيكي، **وفترض أن** (**هي منلسبة عندما** تكوز **تخضع لقوى** مركزية) فيريال **الكلي** يمكن أن يتفكك **على** الص 2-4) في **هذه العلاقة** القوى ا هي المسؤلة عن **تفاعل** الجزيئات فيما بينها فقط ،**قوى** خارج هي التي **تطبق على الجدارن** من قبل الجزيئات المحسوبة. **نفترض أن الإناء كرة مجوفة**، نصف قطرها R (مركزها ينطبق مع مركز عطالة الغاز الذي هو في الحالة **التوازن المكروسكوبي**) **و الذي لن** يغير من النتيجة النهائية. يسهل حساب فيريال **الخارجي**، **فنتحصل** عليه

بجمع فيريال $\vec{r_i}$ على جميع نقط الجدار كروي الذي يتميز $r_i = R$. بأخذ بعين الاعتبار تناظر المسألة، عنصر فيريال الخارجي بإقرانه مع عنصر مساحة الجدار dS يعطى ب :

$$d\Gamma_{ex} = -PRdS \qquad (9-2)$$

حيث P هو ضغط الغاز.

في الواقع PdS هي شدة القوة الخارجية التي يمارسها عنصر الجدار على الجزيئات التي تتفاعل معه، أما بالنسبة الإشارة (-) تأتي بفعل هذه القوة الناظمية مطبقة على الجدار متوجهة نحو مركز الكرة، أي في إتجاه المعاكس لشعاع الموضع المرتبط بطويلة R، نكامل على كل الجدار ذو المساحة $4\pi R^2$، نحصل الأخيرا على العلاقة :

$$\Gamma_{ex} = -P4\pi R^3 = -3PV \qquad (10-2)$$

حيث $V=4\pi R^3/3$ هو حجم الإناء.

أما بالنسبة لفيريال الداخلي $\Gamma_{in}=\sum_i \sum_{j<i} \vec{f}_{ji} \cdot \vec{r}_{ji}$ فإنه يساوي الصفر بالنسبة لغاز المثالي حسب الفرضية أن هذه الجزيئات لا تتفاعل مع بعضها البعض ($\vec{f}_{ij} = 0$) في حالة هذا النظام، ونظرية فيريال تكتب :

$$E_c = N\langle E_c\rangle = -\frac{1}{2}\vartheta_{ex} = \frac{3}{2}PV \qquad (11-2)$$

نستنتج معادلة الحالة لغاز مثالي والمعرفة بدرجة الحرارة كما يلي:

$$PV = \frac{2}{3}N\langle E_C\rangle = NkT = nRT \qquad (12-2)$$

بالنسبة للغاز الحقيقي، بنفس الطريقة نصل إلى المعادلة التالية :

$$PV = nRT + \frac{1}{3}\sum_i \sum_{j<i} \vec{f}_{ji} \cdot \vec{r}_{ji} \qquad (13-2)$$

حيث حساب فيريال الداخلي يسمح بإيجاد علاقة تسمى بفان درفالز، ولتحسين لا نفعل هنا فيريال الداخلي لأن القوى بين الجزيئات $\vec{f}_{ij}$ ذات شكل تحليلي معقدة للغاية، من أجل إعطاء بداية للمتابعة سنتناول هنا حساب مماثل حول ما يجري داخل نجم هناك، والقوى المؤثرة من السهل التعامل معها لأنها قوى الجاذبية[1] .

3-2 النجم:

2-3-1 دورة حياة النجوم:

إن النجوم هي أجرامٌ سماويةٌ مضيئةٌ غير صلبةٍ مكونةٌ من بلازما ، تختلف في أحجامها وأبعادها بحسب أعمارها وألوانها وبحسب الغازات المكونة لها و السديم الذي تكونت منه و الظروف التي خلقت فيها والزمن الذي استغرقته لتتكون ، وحجم الكتلة المكونة له ، تمر النجوم بمراحل عدة ككل الكائنات من الولادة فالصبا والشباب حتى تصل إلى مرحلة النضوج التام وتكون في أوج حالاتها استقرار وتباتا ، حتى تستنفذ طاقتها فيصيبها الهرم فتبدأ حالة اللاإستقرار فإما أن تنكمش أو تنفجر أو تنطمس فتضمحل فتتحول إلى ركام ، ومن ركامها تولد من جديد.

1) مرحلة النجم الأولي:

ينشأ النجم الأولي نتيجة انكماش سديم بارد جدا من الغازات والغبار المنتشرة في الفضاء تحت تأثير الجذب الذاتي لهذه المكونات ، ويتكون السديم في معظمه من غاز الهيدروجين اخف العناصر تبدأ هذه الكتلة بالدوران حول مركزها وتتسارع دقائق السديم نحو مركز الكتلة ،فتصطدم ببعضها مما يؤدي إلى تسخينها إلى درجة حرارة عالية جدا ، عندما تصل درجة إلى 15 مليون درجة مئوية ، يبدأ الاندماج النووي بين انويه الهيدروجين في مركز الكتلة ، وتعمل كمية الحرارة المتحررة في المركز على توهج الغاز وهذا ما يسمى بالنجم الأولي.

2) مرحلة البلوغ:

تزداد كتلة النجم الأولي وتعتمد كتلة النجم التي تتجمع على مقدار ما في السديم من مادة، ثم تستقر كتلة النجم ليصل مرحلة البلوغ، ويسمى عندها **النجم البالغ**.

3) مرحلة الشيخوخة (العملاق الأحمر):

يستمر النجم بالتوهج ملايين السنين ، وأثناء توهجه يتحول الهيدروجين الموجود في مركز النجم إلى الهيليوم،ويمر بمرحلة عدم استقرار ويبدأ النجم بالانكماش اذ تتغلب قوة الجذب على قوة الضغط الحراري.أما الطبقات الخارجية للنجم والتي تتكون في معظمها من الهيدروجين فإنها تتمدد فتبرد وتظهر بلون احمر ويسمى عندها النجم بالعملاق الأحمر.يبدو لون العملاق احمر لأنه برد أكثر من النجم الأولي ، وحجمه ضخم جدا لان الطبقات الخارجية تمددت.

4) مرحلة الموت:

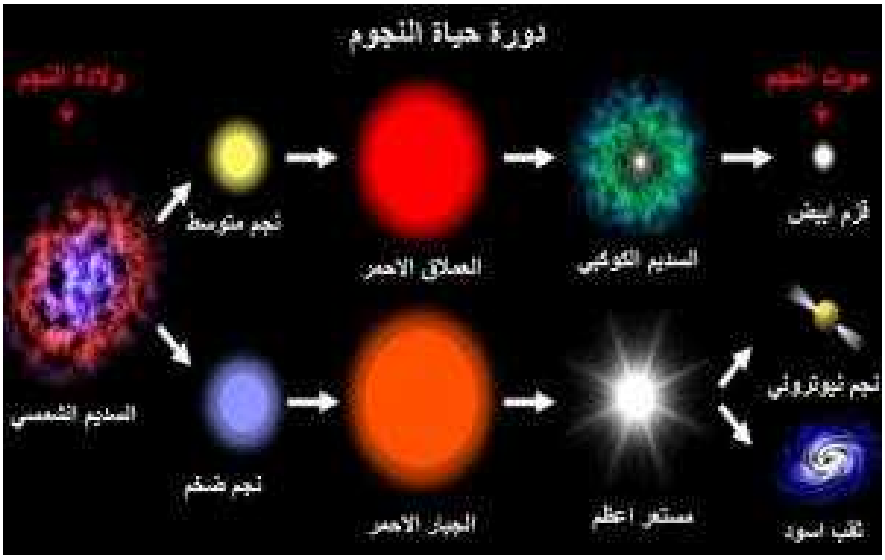
إن موت النجوم يعني نفاذ وقوده النووي وتوقف إنتاج الطاقة ،جميع النجوم تمر بالمراحل الثلاث السابقة حتى مرحلة النجم الأحمر ، غير أن مرحلة الموت تتخذ مسارات مختلفة اعتمادا على كتلة النجم وهي كما يلي: النجوم الصغيرة أو متوسطة الحجم هي نجوم كتلتها أثناء بلوغها اقل من 1.4مرة من كتلة الشمس ويستمر الهيدروجين بالاندماج والتحول إلى الهيليوم ، وتزداد درجة حرارة مركز النجم لتصل إلى 200

مليون درجة مئوية ، وفي هذه الحالة فان أنوية الهيليوم تندمج لتتحول إلى ذرات كربون ، وعندما يتحول معظم الهيليوم إلى كربون يبدأ النجم في مرحلة الموت ، حيث تعمل الجاذبية على انكماش النجم ليتحول إلى قزم ابيض , وهو نجم صغير عالي الكثافة ويشع بلون ابيض وتبلغ كثافته 64طن/سم3 في حين تبلغ كثافة الأرض 5.5غم/سم3 .

إذا كانت كتلة النجم أثناء البلوغ ما بين 2-3 **أضعاف كتلة الشمس**، فان قوة الانكماش تكون عالية ، ويتقلص النجم إلى حجم صغير جدا اقل من حجم القزم الأبيض، وتصبح كثافته كبيرة جدا موازنة مع القزم الأبيض ، وهنا يضيع تركيب الذرة حيث تقترب الالكترونات كثيرا من النواة وتلتحم بالبروتونات مكونة نيوترونات ، ويسمى النجم في هذه الحالة بالنجم النيوتروني , وتشير الدراسات إلى أن كثافة النجم النيوتروني تصل إلى 460 مليون طن/سم3.

النجوم الكبيرة:

أما إذا زادت كتلة النجم أثناء البلوغ عن 3 أضعاف كتلة الشمس فان مركز النجم ينجذب بقوة تفوق التصور ويتقلص إلى ما لا نهاية ، ويضيع التركيب النووي للمادة , ويتحول إلى **ثقب اسود** ويتميز الثقب الأسود بقدرته الهائلة على جذب الأشياء لدرجة انه يبتلع النجوم والضوء[3] .



الشكل (2-2): دورة حياة النجوم [3]

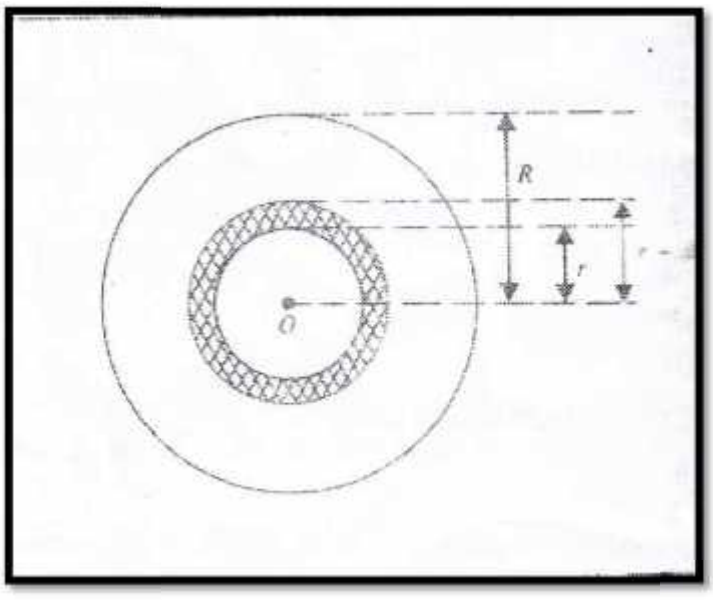
2-3-2الطاقة الكامنة الداخلية للنجم:

نعلم أن النجوم لا تحتاج إلى الجدران من أجل احتواء غازالبروتونات والالكترونات. الجاذبية بين مكوناتها كافية إلى أن تؤدي إلى إنهيارها تحت وزنها، ولكن تحت أي الظروف يمكن حصول على هذا؟ كم من الطاقة يملك النجم الأولي؟ للإجابة على هذين السؤالين يجب العودة إلى إنحفاظ الطاقة ونظرية فيريال، وقبل استعمالهما معا، يجب إعطاء عبارة الطاقة الكامنة الداخلية المخزنة في النجم كما يلي :

$$E_P = \sum_i \sum_{j<i} -G\frac{m_i m_j}{r_{ij}} \qquad (14-2)$$

حيث m_i وm_j كتلتين المكوينتين للنجم الذين يبعدان مسافة r_{ij}، حيث الترميز $j<i$ وضع لتخلص من حساب الطاقة الكامنة المرتبطة بكل زوج مرتين. الإشارة ناقص في الأمام هي العمل الذي يقدمه النظام من أجل تجميع مكوناته الأولية المختفة في كرة نصف قطرها R^2 على شكل غاز بين النجوم، إن حساب هذا العمل ليس صعبا، لأن قوى الجاذبية محفوظة ، مركبة الكتلة m_i يمكن ان تتبع أي مسار كان، وبالتالي فالعمل هو نفسه من أجل الوصول إلى داخل النجم، حيث العبارة (14-2) من أجل نجم كروي متجانس، نستطيع إذن أن نعالج المسألة كما هو موضح في الشكل (2-1) أين الطبقات الكروية المتناظرة تأتي مكومة واحدة فوق الأخرى حول مركز النجم إلى أن تصل إلى نصف قطرها R .

عندما المجال لايزال في كرة نصف قطرها r، الكتلة المحصورة نكتب على شكل :



(الشكل2-1) : يوضح طبقة كروية نصف قطرها r وسمكها dr، نقرنه بالعنصر التفاضلي الطاقة الكامنة الداخلي $dE_P = \frac{-GMdM}{r}$.

حيث ρ كثافة الوسط و $M = 4\pi R^3\rho/3$ هي كتلة النجم في نهاية الحساب، الطبقة التي بعد سمكها dr تحمل مساهمة في الطاقة الكامنة الداخلية كما يلي:

$$dE_P = -G\frac{M(r)dM(r)}{r} = -\frac{3GM^2}{R^6}r^4dr \qquad (16-2)$$

حيث $dM(r) = \frac{3Mr^2dr}{R^3}$ هي الكتلة المحتواة في هذه الطبقة القادمة من مالانهاية إلى المسافة r.

في الواقع بسبب جاذبية كل شيء يحدث كما لو أن كتلة M(r) في مركز الكرة ،إذا كتلة dM(r) تكمل مسارها إلى البعد r عن هذا المركز.

من أجل الحصول على الطاقة الكامنة الداخلية للنجمة كروية متجانسة نصف قطرها R، فإنه يكفي مكاملة dE_P من أجل المتغير r من الصفر إلى R :

$$E_P = -\frac{3GM^2}{R^6}\int_0^R r^4\,dr = -\frac{3}{5}\frac{GM^2}{R} \qquad (17-2)$$

2- 4 الطاقة الداخلية لنجم في الميكانيك الكلاسيكي:

الآلية الكامنة وراء ضغط الغاز بين النجوم وأدائها, لمعرفة ذلك يجب علينا أن نضمن أنه من حيث المبدأ لا يتعارض مع حفظ الطاقة و نظرية فيريال، على هذين الأساسين نحسب الطاقة الإجمالية المخزنة في نهاية الدائرة.

لنفترض أن عمل القوى الخارجية على النظام يبقى قابل للإهمال طوال ضغطها إذن فيرياله الخارجي هو الصفر في نهاية الدائرة، عند توازن نظرية فيريال تكتب على الشكل التالي :

$$E_c = -1/2\sum_i\sum_{j<i}\left(-G\frac{m_jm_i}{r_{ji}^2}\frac{\overrightarrow{r_{ji}}}{r_{ji}}\right).\underset{r_{ji}}{\rightarrow\rightarrow} \qquad (18-2)$$

حيث E_C الطاقة الحركية الداخلية الموزعة على عناصر النظام (نخذ الذي بين قوسين هي القوى الجاذبية التي تطبقها الواحدة على الأخرى) نستنتج :

E_{ic} :

E_p هي الطاقة الكامنة الداخلية .

بأخذ بعين الإعتبار هذه العلاقة، نستطيع تعبير عن الطاقة الداخلية للنجم (الطاقة الكلية المخزنة في نهاية الدائرة) بدلالة E_c أو E_p.

$$E_{int} = E_c + E_p = -E_c = 1/2\,E_p \qquad (20-2)$$

فمن الطبيعي أن هذه الطاقة هي سالبة لأن نجم هو نظام في حالة مقيدة. يجب توفير طاقة لتحرير جميع مكوناته إلى ما لا نهاية الحالة خاصة $E_{int} = 0$ لا نتحصل عليها إلا من أجل $E_c = E_P = 0$ والتي تتوافق مع نظام لم يتم نشأته في الحالة الأولية لأن الغاز بين النجوم يبقى مسترخي وبارد، وطاقته الداخلية عمليا تكون معدومة مع $E_c \simeq E_p \simeq 0$ الآن بإمكاننا الخروج من هذه الحالة دون المساس بحفظ الطاقة.

5-2 تحويل الطاقة الداخلية للإشعاع:

النظام يمكن أن يبقى لمدة طويلة على شكل غاز بين النجوم، وسيبقى على نفس الحالة إن لم يكن هناك عملية قادرة على تحويل الطاقة الداخلية تدريجيا إلى شكل أخر من الطاقة، كمثال الطاقة المحمولة بالإشعاع في باطن الكون. من أجل أن تصبح نجما مثل الشمس، يجب أن يكون النظام قادرا على خفض طاقته الداخلية من القيمة الأولية $0 \simeq E_{int}(I)$ إلى القيمة النهائية $E_{int}(F) = E_p/2$ و أخذ الطاقة الداخلية لنجم باعتباره في مجال متجانس بالعبارة :

$$E_{int}(F) = \frac{E_p}{2} = -\frac{3}{10} G \frac{M^2}{R} \qquad (21-2)$$

بسبب انحفاظ الطاقة، يجب أن يرسل النظام كمية من الطاقة إلى الفضاء الخارجي على الشكل التالي:

$$E_{int}(I) - E_{int}(F) = \frac{3}{10} G \frac{M^2}{R} \qquad (22-2)$$

هذا التوضيح هو الأكثر فاعلية لقوانين الحفظ والنظريات من دون معرفة أي شيء عن طبيعة العمليات المسؤولة عن انبعاث الطاقة إلى الخارج، يمكننا أن نتنبأ بالحد الإجمالي للنقل بواسطة اقتران نظرية فيريال بإنحفاظ الطاقة ، هنا لديه نفس قيمة الطاقة الحركية الداخلية التي يصلها في نهاية ضغط، والتي هي ناقص نصف مقدار الطاقة الكامنة الداخلية.

خلال أول انكماش، الأمر الذي يؤدي إلى ولادة النجم في حد ذاته ، أساسا هده العمليات تدخل فيها الكهرومغناطيسية ، فهي تؤدي أولا إلى إرسال موجات طويلة من قبل النظام بأكمله أو الفوتون من جانب مكوناته يتم تحريضها على نحو متزايد، كما هو مبين في العلاقة (2 - 2 0) يمكن أيضا أن نكتب:

$$< E_c >= \frac{3}{2} kT = -\frac{E_P}{2N} = \frac{3}{10} G \frac{M^2}{Nr} \qquad (23-2)$$

حيث r هو نصف قطر المحقق في اللحظة المعطاة، أين N هو عدد مكونات النظام $< E_c >= E_c/N$ هو متوسط الطاقة الحركية. يتوقف انكماش عندما يكون متوسط الطاقة الحركية (درجة الحرارة) لديه ما يكفي من الخام للتفاعلات النووية بين البروتونات الأولية ،النظام يبقى خلال هذه الفترة الزمنية (حوالي 10^{10}سنة من أجل الشمس) في حالة توازن، أو بتعبير أدق (شبه توازن) لأن في الواقع يبعث الفوتونات والنيوترونات، ولكن بمعدل منخفض جدا لطاقة بالمقارنة مع المصادر المتاحة للنجم لأن الحرارة المنتشرة بفعل الإحتراق البطيء للبروتونات يسمح بمقاومة إنضغاط الجاذبية.

نفس تسلسل مرة أخرى مع الفوتونات الأكثر نشاطا خلال انكماش الثاني وبعد ذلك يصبح النجم عملاقا أحمر. ويتكرر هذا عدة مرات حتى يؤدي على سبيل المثال إلى قزم أبيض. في هذه المرحلة لا يزيد في حدوث الانكماش . يصبح النظام غير قابل للانضغاط لأسباب لا يمكن خوض فيها لأنها ترتبط بمبدأ الميكانيكا الكم (مبدأ باولي) والتي هي خارج نطاق بحثنا.

6-2 معادلة حالة نجم:

وبما أن النجوم هي غازات من الإلكترونات ونيكليونات تحت تأثير تفاعلات الجاذبية. طارحة جزءا من طاقتها الداخلية إلى الفضاء الخارجي. هناسوف نضع معادلة حالته في الحالة التي يكون فيها حديث النشأة وكروي ومتجانس، باستعمال تقريبات الميكانيك الكلاسيكي العلاقة (2-23) بالنسبة للحجم $V = 4\pi R^3/3$ يمكن أن نكتب كالتالي :

$$NkT = \frac{1}{5}G\frac{M^2}{R} = \frac{1}{5}\left(\frac{4\pi}{3}\right)^{1/3}GM^2V^{-1/3} \qquad (24-2)$$

حيث T درجة الحرارة وv حجمه، إن هذه المعادلة هي معادلة تقريبية فقط ولا تصح في حالة اعتبار تأثير ميكانيكا الكم و / أو النسبية وعلى سبيل المثال: والأقزام البيضاء، النجوم النيوترونية والثقوب السوداء.

لقد قمنا بالتطبيق النظري الذي شرحناه سابقا والخاص بN جسيم على النجوم التي تتفاعل مكوناتها تحت تأثير قوة الجاذبية إذا كانت هذه الأنظمة تخضع لقوى أخرى فإننا سوف نسلك نفس الطريقة، تقدير الطاقة الداخلية لنظام وذلك باقتران نظرية فيريال و إنحفاظ الطاقة لاستخلاص معادلة الحالة [1] .

خلاصة عامة

خاتمة عامة :

إن موضوع هذا البحث واسع **وله** أهمية كبيرة في الفيزياء (**البلازما، المادة الصلبة**.....**الخ**) غير أننا قدمنا دراسة خفيفة على هذا الموضوع دون الغوص كثيرا في جميع مفاهيمه وتطبيقاته فقد قمنا في **الفصل الأول بأخذ الغاز المثالي كحالة لنظام** N جسيم **ثم عرجنا** على معادلة الحالة لهذا الغاز وماهية الظروف التي يمكن استعمالها في تقريب الغاز المثالي كما رأينا أساسيات النظرية الحركية للغازات، **و**مفهوم متوسط الطاقة الحركية لمكونات النظام وعلاقتها بالضغط وكذالك علاقتها بدرجة **حرارة النظام**.

في الفصل الثاني رأينا مفهوم فيريال (virial) وبيان النظرية ثم قمنا بتطبيق هذه النظرية ومبدأ إنخفاظ **الطاقة في معادلة الحالة للغاز** وقد أخدنا شروط الغاز المثالي فخلصنا إلا أن فيريال **الداخلي معدوم لعدم وجود** تفاعل بين جزيئات الغاز ومنه كانت الطاقة الحركية للنظام مساوية إلى ناقص نصف مقدار فيريال الخارجي، وهي نفس النتيجة التي وصلنا إليها في الفصل الأول، أما في حالة وجود تفاعل بين الجزيئات فهذا يؤدي إلى معادلة الغاز الحقيقي و المسماة بمعادلة فان درفالز حيث بمجرد معرفة طاقة التفاعل يمكن أن نقوم بحساب فيريال الداخلي وهذا ما رأيناه في تطبيق النجوم.

قائمة الأشكال

الفصل الأول: النظرية الحركية للغازات

شكل (1-1) : كل الجزيئات محتوية في حجم $Sv\Delta t$ تضرب الجدار في مدة زمنية Δt إذا كان لهم نفس كمية الحركة $m\vec{v}$..... 4

الفصل الثاني : نظرية فيريال والطاقة الداخلية

شكل (2-2): دورة حياة النجوم..... 14

شكل(2-1) :على الطبقة كروية نصف قطرها r وسمكها dr، نقرنه بالعنصر التفاضلي الطاقة الكامنة الداخلي $dE_P = \frac{-GMdM}{r}$ 15

قائمة المراجع

[1] L’univers Mécanique Introduction à la physique et à ses méthodes

Luc Valentin – Mermanin.1999

[2] ويكيبيديا الموسوعة الحرة .

-Saziz. Kau.edu.files.0000941.files

–Ferial jabouri ghazoul (2007)

[3]almustaeed.Wordpress.com

كتاب تاريخ الفلك الكواكب التسعة 25 **أغسطس** 2013

الملخص:

قمنا في هذا المذكرة بإعطاء مدخل لدراسة لمسألة N جسيم، حيث أخذنا كمثال الغاز المثالي، وتطرقنا إلى أساسيات النظرية الحركية للغازات حيث استخرجنا العلاقة التي تربط الضغط بمتوسط الطاقة الحركية **ودرجة حرارة النظام المكروسكوبي**. أخيرا استخرجنا مجددا علاقتي الضغط **وكذا درجة الحرارة بمتوسط** الطاقة الحركية عن طريق انحفاظ الطاقة ونظرية فيريال (virial theorem) **لكل من حالة الغاز المثالي و حالة النجوم**.

كلمات مفتاحية: مسألة ن جسيم، الغاز المثالي، نظرية فيريال (virial theorem)

Abstract:

We give in this work an introduction to the problem of N particle, where we take the example of an ideal gas. We have presented the basic ideas of kinetic theory of gases, and we demonstrated the relationship between pressure and the mean of kinetic energy and temprature. Finally we have derived again this relationship via Virial theorem and conservation of energy for the ideal gas and the stars.

Keywords: the problem of N particle, ideal gas, Virial theory.