

"دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

إعداد :

طالبة الماجستير: مها صلاح مشعل

إشراف:

أ.د حمزة الرحية

الملخص

تم حساب المتغيرات الحرارية σ و ϵ للفرينون R134a ضمن المجال الحراري 245-355K والفرينون R152a (245-285K) أما الأرغون ضمن المجال 84-145K وحصلنا على قيم للمتغيرات الحرارية عند كل درجة حرارة مفروضة وقد لاحظنا تزايداً في قيم σ للفرينونات المدروسة تدريجياً مع زيادة درجة الحرارة، بينما لاحظنا تناقصاً في قيم ϵ/k أيضاً مع زيادة درجة الحرارة. تم إجراء تلك الحسابات بالاعتماد على الثوابت التجريبية المستنتجة من المعامل المتغير الثاني كما تم حسابها أيضاً باستخدام علاقات تجريبية تقريبية تعتمد على المعاملات الحرجة للضغط والحجم ودرجة الحرارة لكل فرينون كما تم حساب كل من المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني المحول $B(T)$, $B^*(T)$ باستخدام علاقات رياضية تعتمد على قيم المتغيرات المحسوبة وقد لاحظنا تزايداً تدريجياً في القيم الناتجة مع زيادة درجة الحرارة وتبين أنها أيضاً تتقارب جداً بالاقتراب من الدرجة الحرجة.

كلمات مفتاحية: مواد تبريد بديلة (فريونات بديلة)، جهد لينارد جونز ١٢-٦، معامل متغير ثاني، معادلة فيريالية.

" Study and Calculation of thermal variables of the Lennard johnes potential for alternative Refrigerants. "

Abstract:

The thermal parameters σ and ϵ were calculated for Freon R134a in the temperature range 245-355 K and Freon R152a (245-282 K) and Argon in the range 84-145 K. The values of the thermal variables were obtained at each specified temperature, and an increase in the values of σ with increasing temperature was observed, while a decrease in the values of ϵ/k was noticed with increasing temperature. These calculations were based on empirical constants derived from the second virial coefficients. They were also calculated using empirical equations depending on the critical parameters of pressure, temperature, and volume for each Freon. $B(T)$, $B^*(T^*)$ were calculated using mathematical equations based on the calculated variables, and a gradual increase in the resulting values was observed, which converged closely as the critical temperature was approached.

Keywords: alternative refrigerants, Lennard johnes potential 12-6, second virial coefficient, virial equation.

مقدمة

تسبب استنزاف الأوزون في الغلاف الجوي بسبب الانبعاثات الناتجة عن مركبات الكلوروفلوروكربون CFCs إلى تغييرات جذرية في تكنولوجيا التبريد والتكييف. حتى تسعينيات القرن العشرين كانت مركبات الكربون الكلورية فلورية CFCs ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية HCFCs تستخدم في معظم أجهزة التبريد، ولكن بسبب المخاوف البيئية تم التخلص التدريجي منها مما استدعى البحث عن مبردات جديدة. لقد مر تطوير المبردات بأربعة أجيال، بحيث يبدأ الجيل الأول بـ HCFCs. من ثم، تم تطوير مركبات الكربون الكلورية فلورية CFCs وبهذا بدأ الجيل الثاني، حوالي عام 1950م كانت مركبات CFCs معروفة على نطاق واسع بتأثيرها على تدهور طبقة الأوزون لذلك تم الإعلان عن مركبات الكربون الهيدروفلورية ومن هنا ظهر الجيل الثالث مع التركيز على حماية طبقة الأوزون، بعدها ظهرت الهيدروكربونات HCs الجيل الرابع والأخير. تعد دراسة خصائص المبردات (الفريونات) الجزء الأساسي بعملية التطوير سواء لأجهزة التبريد أو المبردات بحد ذاتها بهدف التصميم والتصنيع الأمثل، و يتم ذلك من خلال حساب المتغيرات الحرارية لها [1].

أهمية البحث وأهدافه:

إن دراسة المتغيرات الحرارية للفريونات البديلة تُتيح لنا حساب خصائصها الترموديناميكية، مثل الأنتروبية والإنثالبية وغيرها، والتي تُعد ضرورية لمهندسي تصميم العمليات الكيميائية وأنظمة التبريد. إن حساب خصائص مواد التبريد النقية

يُعتبر أمراً أساسياً لتحقيق التصميم الأمثل لمواد تبريد مختلفة في مصانع العمليات الكيميائية، كما يُساعد في تحديد توابع الطاقة الكامنة بين الجزيئات وتطوير نظريات دقيقة حولها. لذا، فإنها تلعب دوراً حيوياً في مجموعة واسعة من التطبيقات الهندسية ولاسيما الكيميائية.

يهدف هذا البحث إلى:

- (١) حساب عمق الحفرة الكمونية ε بين جزيئات مواد التبريد البديلة عند درجات حرارة مختلفة قبل الدرجة الحرجة لكل منها.
- (٢) حساب المسافة الفاصلة بين الجزيئات σ عند درجات حرارة مختلفة قبل الدرجة الحرجة لكل منها.
- (٣) حساب المعامل المتغير الثاني $B(T)$ لعدد من المبردات البديلة.
- (٤) حساب المعامل المتغير الثاني المحول $B^*(T^*)$ لعدد من المبردات البديلة.

طريقة البحث:

- (١) تم صياغة واستخراج المعادلات الرياضية المستخدمة لحساب هذه المعاملات الحرارية المتغيرة لجهد لينارد جونز (6-12) للفيروونات البديلة Argon، R152a C2H4F2، R134a(CF3CH2F).
- (٢) استخراج الثوابت الفيريالية المستخدمة في المعادلات الخاصة بحساب المتغيرات الحرارية ε ، σ .
- (٣) حساب كل من المعاملات الحرارية ε ، σ اعتماداً على العلاقات السابقة المذكورة.
- (٤) أيضاً حساب كلاً من المعامل المتغير الثاني وكذلك المعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية $B(T)$ ، $B^*(T^*)$.

٥) وأخيراً تم رسم الخطوط البيانية للمتغيرات الحرارية للفيونات البديلة بدلالة درجة الحرارة.

تم إجراء الحسابات السابقة باستخدام برنامج Excel أما الخطوط البيانية تم رسمها باستخدام برنامج Origin .

1- مواد التبريد (الفيونات)

تتقسيم المبردات (الفيونات) إلى:

١) الكلوروفلوروكربونات (Chlorofluorocarbons CFCs)

وهي تتكون من الكربون والفلور والكلور (بدون هيدروجين)

مثل: R11، R12.

الفريون R11 (Trichloromonofluoromethane CCl_3F):

١. درجة غليانه $23,7^\circ\text{C}$ عند الضغط الجوي.

٢. غير سام وغير قابل للاشتعال.

٣. لا يحدث تآكلاً لكنه يذيب المطاط.

٤. يمكن الكشف عنه بواسطة مشعل (هاليد) Halide torch .

٥. يحفظ في اسطوانات بارتفاعية اللون.

الفريون R12 (Dichlorodifluoromethane CCl_2F_2):

١. كان من أكثر الفيونات استعمالاً .

٢. درجة غليانه $-29,4^\circ\text{C}$.

٣. غير سام، وغير قابل للاشتعال أو الانفجار.

٤. مستقر كيميائياً.

٥. يمكن الكشف عنه بواسطة مشعل (هاليد) Halide torch .
٦. يحفظ في اسطوانات بيضاء اللون.

(٢) الهيدروكلوروفلوروكربونات (Hydrochlorofluorocarbons or HCFCs) وهي تتكون من الكربون والفلور والكلور و الهيدروجين مثل R22 or R123.

R22: رمزه الكيميائي CHClF_2 درجة غليانه -40°C - تم تصنيعه عام 1936م وينتشر استعماله في أجهزة التكييف ويضر بطبقة الأوزون بنسبة بسيطة.

(٣) الهيدروفلوروكربونات (Hydrofluorocarbons or HFCs) وهي التي تكون خالية من الكلور، مثل: R134a الفريون (R134a) Tetrafluroethane ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$):

١. من مكونات HFC وهو بديل للفريون R12.
 ٢. غير سام وغير قابل للاشتعال والانفجار ولا يسبب تآكل المعادن.
 ٣. درجة غليانه $-26,1^\circ\text{C}$.
 ٤. لا يتفاعل مع الأوزون ($\text{ODP} = 0$).
 ٥. يعبأ في اسطوانات لونها أزرق خفيف light blue.
- ٤) مبردات مركبة (مختلطة): عبارة عن مزيج مكون من مبردين وتقسم إلى:

(a) المخاليط الأيزوبترية: خليط من مركبين تبريد أو أكثر ولكن خواص الخليط الناتج تكون مختلفة عن خواص المركبات الأصلية المكونة له ويتم تمييزها برقم 500 منها R507،R508،R502 .

(b) المخاليط الغير أيزوبترية: خليط من مركبين تبريد أو أكثر ولكن خواص الخليط الناتج تكون مشابهة لخواص المركبات الأصلية المكونة له ويتم تمييزها برقم 400 ومنها R407،R410،R404 [1،2].

تعتبر الفريونات R11،R12 من أكثر المبردات تخریباً للأوزون ($ODP=1.08$) وبلغ إنتاجها حوالي 85% من الإنتاج العالمي وكانت حصتها في تخریب الأوزون 86% بحيث تحتوي في تركيبها الكيميائي على ذرات الكلور العدو الأول لطبقة الأوزون [12]. مما استدعى وجود بدائل عنها والمبرد البديل: هو مبرد يملك خصائص مشابهة للمبرد الذي يحل محله ولكن يتمتع بكفاءة تبريدية تضاهيه أو تتفوق عليه مع ضرر بيئي أقل، تم استبدال معظم مركبات الكربون الكلورية فلورية بمركبات الكربون الهيدروفلورية التي لها بنية جزيئية مماثلة ولكنها لا تحتوي على ذرات الكلور. على سبيل المثال تم استبدال R12 بالفريون R134a ومن أشهر المبردات البديلة الفريون R152a [3].

الفريون (R152a) $C_2H_4F_2$:

١. من مكونات HFCs وهو بديل للفريون R134a.
٢. قابل للاشتعال والانفجار.
٣. درجة غليانه $-24,1\text{ C}$.
٤. لا يتفاعل مع الأوزون ($ODP = 0$).
٥. مساهمته في الاحتباس الحراري ضئيلة ($GWP=140$)

تم استخدام R152a لسنوات عديدة في خلاط المبردات و ليس كمبرد نقي حتى الآن ولكنه ويتميز بإنتاجية عالية من البرودة [3].

2- جهد لينارد جونز ١٢-٦

إن دراسة خصائص الجزيئات وسلوكها توفر معلومات قيمة حول كيفية تفاعلها و حدوث التصادمات فيما بينها، فالفهم العميق لقوى التجاذب والتنافر بين الجزيئات يلعب دوراً هاماً في معرفة كيفية تأثيرها على الخصائص الفيزيائية للمواد وعند إجراء مثل هذه الدراسة على غازات التبريد (الفريونات) يتم عادةً استخدام دوال معينة لوصف التفاعلات بين الجزيئات ومن أكثر النماذج شيوعاً واستخداماً جهد لينارد جونز ١٢-٦ يتميز هذا النموذج بقدرته على تمثيل قوى التنافر والتجاذب بين الذرات والجزيئات [4]. يعطى جهد لينارد جونز التجريبي جونز والذي يتوقف بشكل أساسي على المسافة الفاصلة بين الجزيئات بالعلاقة [5]:

$$U(r) = 4\varepsilon(T) \left[\left(\frac{\sigma(T)}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma(T)}{r} \right)^6 \right] \quad (1)$$

حيث يعبر الحد ذو القوة 12 عن طاقة التنافر المتبادلة بين الجزيئات، أما طاقة التجاذب يعبر عنها الحد ذو القوة 6 [3].

T : درجة الحرارة المطلقة وتقدر بالكلفن.

$\sigma(T)$: المسافة الفاصلة بين الجزيئات و تقدر بوحدة الأنجستروم $^{\circ}A$ التي يصبح عندها الجهد بين الجسيمات (الجزيئات) صفراً ($V=0$).

لما كانت r_0 أو (r_{min}) أصغر مسافة بين الجزيئات (الحد الأدنى للبعد بين الجزيئات) و r المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

في الحالة التي تكون فيها $r < r_0$: يحصل تدافع بين الجزيئات وهذا التدافع يعبر عنه الحد الأول في دالة الجهد (الحد ذو القوة 12).

في الحالة التي تكون فيها $r > r_0$: يحصل تجاذب بين الجزيئات وهذا التجاذب أيضا يعبر عنه الحد الثاني في دالة الجهد (الحد ذو القوة 6).
أما في الحالة التي يكون فيها $r = \sigma$: تكون قيمة الجهد (الكمون) معدومة.
 $\varepsilon(T)$: هو عمق الحفرة الكمونية بين الجزيئات.
 $U(r)$: هي جهد لينارد جونز.
إذاً σ و ε هما متحولات تابعة لدرجة الحرارة أي أنهما يتغيران بتغير درجة الحرارة وبالتالي نطلق عليها تسمية متحولات حرارية [6,7].
يعطى الرسم البياني لجهد لينارد جونز كما يلي [8]:

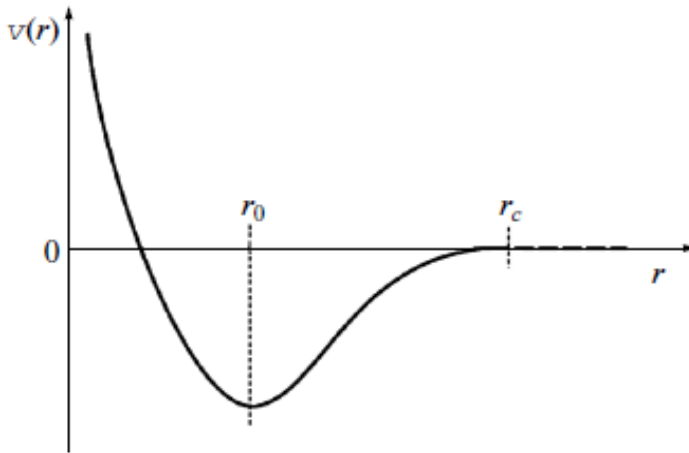


Fig. 1. The Lennard-Jones interatomic pair interaction potential.

الشكل 1: يعبر عن التمثيل البياني لجهد لينارد جونز التجريبي.

3- المعادلة الفيرالية والمعامل الفيريالي الثاني لجهد لينارد جونز

يتم وصف معادلة الحالة المتغيرة للغازات (فريونات في الطور الغازي) بواسطة المنشور الفيريالي (المعادلة الفيرالية) وهو نموذج رياضي متقدم يعبر عن معامل الانضغاط كتابع للكثافة ولمعاملات حرارية تدعى بالمعاملات الفيرالية، يتم حساب تلك المعاملات تجريبياً أو نظرياً باستخدام نماذج الجهود بين الجزيئات يعطى المنشور الفيريالي بالعلاقة [9,10]:

$$\frac{PV}{RT} = 1 + B_P(T)\rho + C_P(T)\rho^2 + D_P(T)\rho^3 + \dots (2)$$

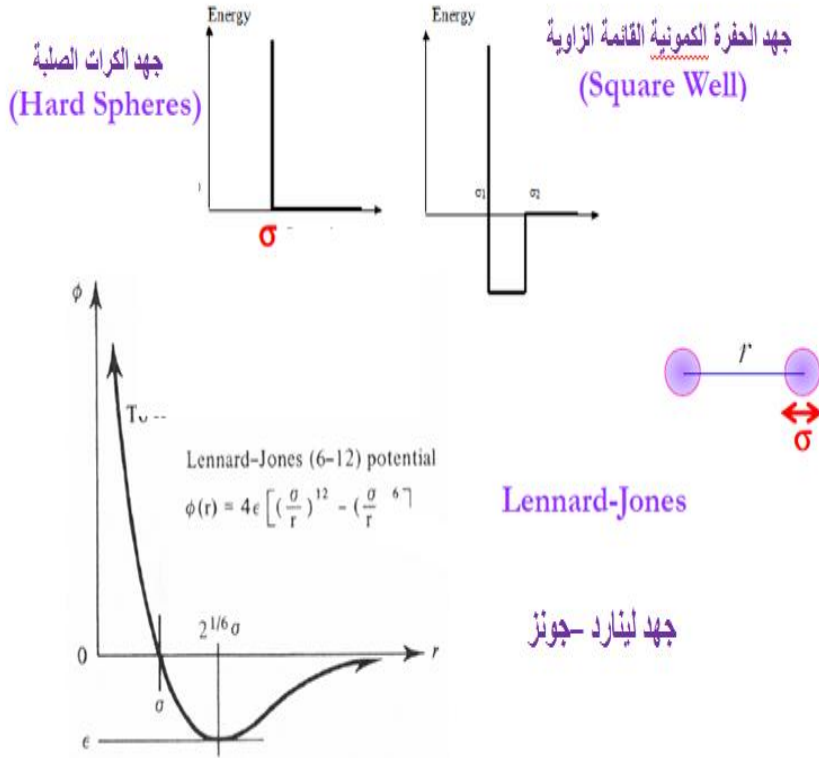
أو

$$\frac{PV}{RT} = 1 + \frac{\beta_{v(T)}}{V} + \frac{C_{v(T)}}{V^2} + \frac{D_{v(T)}}{V^3} \dots (3)$$

معامل الانضغاط $(Z = \frac{PV}{RT})$

$B_P(T), C_P(T), D_P(T)$ تعرف بالعوامل الفيرالية، وهذه المعاملات تعبر عن مقدار انحراف سلوك الغاز المدروس عن الغاز المثالي وهي توابع لدرجة الحرارة فقط. إن المعامل المتغير الثاني يعبر عن التأثير المتبادل بين جزيئين أما المعامل المتغير الثالث فيعبر عن التأثير المتبادل بين ثلاثة جزيئات إلخ....، إن معادلة الحالة للطور الغازي معادلة حالة متغيرة السبب هو أن لكل جزيء مدروس نصف قطر يختلف عن الآخر وكذلك عمق حفرة الكمونية .

إن المعادلة الفيرالية تتجاوز محدودية نماذج الغاز المثالي مما يجعلها أداة قيمة في دراسة سلوك الغازات في شروط مختلفة من الضغط والحرارة [9,10].



الشكل 2: بعض أشكال الجهود الناتجة بين الجزيئات.

4-المعاملات المتغيرة من أجل جهد لينارد جونز

عندما يتم حساب المعاملات المتغيرة نظرياً يتم استخدام تحويلات غير بعدية لتسهيل الحسابات ويتم ذلك بتعريف المتغيرات الجديدة (القيم المحولة) وهي بدون واحدة [12]:

$$r^* = \frac{r}{\sigma} \quad (4)$$

$$T^* = \frac{K_B T}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$B^* = \frac{B}{\frac{1}{2\pi N_A \sigma^3}} = \frac{B}{b_0} \quad (6)$$

$$C^* = \frac{c}{b_0^2} \quad (7)$$

يعطى الثابت b_0 بالعلاقة التالية [12]:

$$b_0 = \frac{2}{3} \pi N_A \sigma^3(T) \quad (8)$$

نلاحظ في العلاقة (4) و (5):

r^* : هي المسافة بين الجزيئات بالصيغة التحويلية (مسافة محولة).

T^* : هي درجة الحرارة المحولة بدون واحدة.

K : هو ثابت بولتزمان $1.38064 \times 10^{-23} J.K^{-1}$.

أما في العلاقة (6):

B^* : هي المعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية .

N_A : عدد أفوغادرو $6.022 \times 10^{23} g/mol$.

C^* : هي المعامل المتغير الثالث بالصيغة التحويلية.

المعامل المتغير الثاني يمكن كتابته بالشكل التالي [12]:

$$B(T) = b_0 B^* (T^*) \quad (9)$$

المعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية يمكن كتابته بالشكل التالي [12] :

$$B^*(T^*) = \sum_{J=0}^{\infty} b(J) T^{*-(2J+1)/4} \quad (10)$$

وقيمة الثابت $b(J)$ [12]:

$$b(J) = -\frac{2J+\frac{1}{2}}{4J!} \left[\left(\frac{2J-1}{4} \right) \right] \quad (11)$$

لحساب المعامل المتغير الثالث [12]:

$$C(T) = b_0^2 C^*(T^*) \quad (12)$$

المعامل المتغير الثالث بالصيغة التحويلية يمكن كتابته بالشكل التالي [12]

:

$$C^*(T^*) = \sum_{j=0}^{\infty} C(j) T^{*-(j+1)/2} \quad (13)$$

5- الحسابات والنتائج

تنقسم المبردات الحالية البديلة إلى فئتين مبردات نقية ومختلطة. تختلف طريقة حساب σ و ε لمواد التبريد بحسب نوعها إذا ما كانت مواد نقية أو مختلطة (مركبة من مزيج من مبردين)

في حالة مركبات التبريد المختلطة تحسب قيمة كل من σ و ε لكل مبرد على حدة ثم يتم تعويض قيمة كل منهما في العلاقتين [5]:

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{12} = (\varepsilon_1 \varepsilon_2)^{1/2} \quad (15)$$

أما في حالة مواد التبريد النقية نستطيع حسابها مباشرة إما من العلاقات التالية :

لدينا العلاقة التجريبية [11,12]:

$$b_0 = \frac{2}{3} \pi N_A \sigma^3 \quad (16)$$

$$\sigma^3 = \frac{b_0}{\frac{2}{3} \pi N_A} \quad ; \quad b_0 = V_C \times 0,75$$

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{b_0}{\frac{2}{3} \pi N_A}} \quad (17)$$

بحيث أن N_A : عدد أفوغادرو $6,022 \times 10^{23} \text{ g/mol}$

V_C : الحجم الحرج.

حساب $\frac{\varepsilon}{k}$ لمواد التبريد البديلة النقية باستخدام العلاقة :

$$\frac{\varepsilon}{k} = 0,77 \times T_C \quad (18)$$

k : ثابت بولتزمان $1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

1-5 حساب σ و $\frac{\varepsilon}{k}$ للفرين R134a باستخدام علاقات تجريبية تقريبية

إن الكتلة المولية له $M_{R134a} = 102,03 \text{ Kg/Kmol}$ ، والآن نحسب الحجم

الحرج له من العلاقة التالية [12]:

$$V_C = \frac{M}{\rho_C} = \frac{102,03 \times 10^{+3}}{515} = 198,1165049 (cm^3/mol) (19)$$

نحسب بالاستفادة من العلاقات (18,17,16) نحصل على:

$$b_0 = V_C \times 0,75 = 148,5873786 (cm^3/mol)$$

$$b_0 = \frac{2}{3} \pi N_A \sigma^3 ; N_A = 6,022 \times 10^{-23} (g/mol)$$

$$\sigma^3 = \frac{b_0}{\frac{2}{3} \pi N_A} = 1,178698635 \times 10^{-22} (cm^3)$$

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{b_0}{\frac{2}{3} \pi N_A}} = 4,903064355 \times 10^{-8} cm = 4,9 \text{ \AA}$$

حساب $\frac{\varepsilon}{k}$ للفيون R134a:

$$T_C = 374,25 k$$

$$\frac{\varepsilon}{k} = 0,77 \times 374,25 = 288,1725 k$$

2-5 حساب σ و $\frac{\varepsilon}{k}$ للفيون R142b باستخدام علاقات تجريبية تقريبية

إن الكتلة المولية له $M_{R142b} = 118,49 \text{ Kg/Kmol}$ ، والآن نحسب

الحجم الحرج له [12]:

$$V_C = \frac{M}{\rho_C} = \frac{118,49 \times 10^{+3}}{435} = 272,3908046 (cm^3/mol)$$

نحسب b_0 بالاستفادة من العلاقة التالية [12]:

$$b_0 = V_C \times 0,75 = 204,2931034 (cm^3/mol)$$

$$b_0 = \frac{2}{3} \pi N_A \sigma^3 ; N_A = 6,022 \times 10^{-23} (g/mol)$$

$$\sigma^3 = \frac{b_0}{\frac{2}{3}\pi N_A} = 1,62059265 \times 10^{-22} (cm^3)$$

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{b_0}{\frac{2}{3}\pi N_A}} = 5,452029393 \times 10^{-8} cm = 5,45 \text{ \AA}$$

حساب $\frac{\varepsilon}{k}$ للفرينون R142b :

$$T_C = 410,3k$$

$$\frac{\varepsilon}{k} = 0,77 \times 410,3 = 315,931k$$

3-5 حساب σ و $\frac{\varepsilon}{k}$ للفرينون R152a باستخدام علاقات تجريبية تقريبية

إن الكتلة المولية له $M_{R152} = 66,05 \text{ Kg/Kmol}$ ، وآآن نحسب الحجم الحرج له من العلاقة التالية [12]:

$$V_C = \frac{M}{\rho_C} = \frac{66,05 \times 10^{+3}}{386} = 171,1139896 (cm^3/mol)$$

نحسب b_0 بالاستفادة من العلاقة [12]:

$$b_0 = V_C \times 0,75 = 128,3354922 (cm^3/mol)$$

$$b_0 = \frac{2}{3}\pi N_A \sigma^3 ; N_A = 6,022 \times 10^{-23} (g/mol)$$

$$\sigma^3 = \frac{b_0}{\frac{2}{3}\pi N_A} = 1,018046559 \times 10^{-22} (cm^3)$$

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{b_0}{2\pi N_A}} = 4,669344104 \times 10^{-8} cm = 4,74 \text{ \AA}$$

حساب $\frac{\varepsilon}{k}$ للفريون R152a :

$$T_C = 386,57k$$

$$\frac{\varepsilon}{k} = 0,77 \times 386,57 = 297,6589k$$

4-5 حساب المتحولات الحرارية σ و $\frac{\varepsilon}{k}$ للفريونات البديلة باستخدام الثوابت الفيريالية

نقوم بتعويض قيم الثوابت الفيريالية الخاصة بكل فريون ضمن المجال الحراري

المحدد الثوابت المحسوبة في العلاقات التالية [11]:

$$\sigma = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4 + \dots (20)$$

كما ذكرنا a_0 و a_1 و a_2 و a_3 و a_4 ثوابت فيريالية تختلف قيمتها بحسب الفريون

المدرّوس و T درجة الحرارة تقدر بالكلفن من خلال هذه العلاقة نستطيع حساب σ عند أي درجة حرارة.

الجدول 1: يمثل قيم الثوابت المحسوبة اعتماداً على المعامل الفيريالي الثاني

والمستخدمة لحساب σ للفريونات البديلة ضمن المجال الحراري المذكور [11] .

	Argon	R134a	R152a
a_0	8.43634	62.8142	3.41060 $\times 10^{-3}$
a_1	-0.190340	-0.812735	5.65650 $\times 10^{-2}$
a_2	2.74193 $\times 10^{-3}$	4.25662 $\times 10^{-3}$	-2.36232×10^{-4}
a_3	-1.74373×10^{-5}	-9.87026×10^{-6}	3.69445 $\times 10^{-7}$
a_4	4.18056×10^{-8}	8.56891×10^{-9}	-1.15884 $\times 10^{-10}$
$\Delta T(K)$	84-145	245-355	245-285

أيضاً نستطيع حساب $\frac{\varepsilon}{k}$ عند درجات حرارة مختلفة باستخدام العلاقة التالية [11]:

$$\frac{\varepsilon}{k} = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 T^3 + b_4 T^4 + \dots \quad (21)$$

b_0 و b_1 و b_2 و b_3 ثوابت فيزيائية خاصة بحساب $\frac{\varepsilon}{k}$ تم حسابها بالاعتماد

على المعامل الفيزيائي الثاني تختلف باختلاف الفريون ودرجات الحرارة.

T: درجة الحرارة تقدر بوحدة الكلفن.

الجدول 2: يمثل قيم الثوابت المحسوبة اعتماداً على المعامل الفيزيائي الثاني

والمستخدمة لحساب $\frac{\varepsilon}{k}$ للفريونات البديلة ضمن المجال الحراري المذكور [11].

	Argon	R134a	R152a
b_0	-0.340718	1019.02	0.150507
b_1	5.675544	-2.32919	0.741636
b_2	-9.33452×10^{-2}	1.36448×10^{-2}	1.89271 $\times 10^{-2}$
b_3	6.44539×10	7.56312×10^{-5}	-9.13872×10^{-5}
b_4	1.6327×10^{-6}	9.94241×10^{-8}	1.09207 $\times 10^{-7}$
$\Delta T(K)$	84-145	245-355	245-285

الجدول 3: يوضح قيم $\sigma(T)$ المحسوبة للبريون R134a باستخدام الثوابت الفيريالية ضمن المجال الحراري (245-355)

$\sigma(T)$ A	T (K)	a4	a3	a2	a1	a0
4.91825 1243	24 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91802 1428	24 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91795 9039	24 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

4.91805 555	24 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91830 2639	24 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91869 2187	25 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91921 6286	25 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.91986 7229	25 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92063 7516	25 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92151 9855	25 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92250 7156	25 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92359 2536	25 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92476 932	25 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92603 1035	25 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

4.92737 1415	25 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.92878 4402	26 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93026 4139	26 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93180 498	26 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93340 1479	26 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93504 8401	26 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93674 0714	26 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.93847 359	26 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.94024 241	26 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.94204 2759	26 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.94387 0428	26 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

4.94572 1413	27 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.94759 1917	27 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.94947 8346	27 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.95137 7316	27 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.95328 5644	27 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.95520 0355	27 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.95711 8681	27 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.95903 8057	27 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.96095 6124	27 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.96287 0731	27 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.96477 993	28 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

4.96668 1979	28 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.96857 5344	28 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97045 8694	28 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97233 0905	28 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97419 1058	28 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97603 844	28 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97787 2544	28 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.97969 3068	28 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.98149 9916	28 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.98329 3197	29 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.98507 3227	29 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

4.98684 0527	29 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.98859 5822	29 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99034 0046	29 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99207 4337	29 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99380 0036	29 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99551 8695	29 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99723 2067	29 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
4.99894 2114	29 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.00065 1	30 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.00236 1098	30 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.00407 4986	30 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

5.00579 5446	30 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.00752 5468	30 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.00926 8245	30 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.01102 7177	30 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.01280 5871	30 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.01460 8137	30 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.01643 7993	30 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.01829 9661	31 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.02019 757	31 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.02213 6353	31 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.02412 085	31 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

5.02615 6107	31 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.02824 7374	31 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.03040 0108	31 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.03261 9971	31 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.03491 2831	31 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.03728 4761	31 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.03974 2042	32 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.04229 1156	32 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.04493 8796	32 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.04769 1857	32 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.05055 7441	32 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

5.05354 2855	32 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.05665 5613	32 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.05990 3434	32 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.06329 4241	32 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.06683 6165	32 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.07053 7541	33 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.07440 6911	33 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.07845 3023	33 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.08268 4828	33 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.08711 1485	33 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.09174 2358	33 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

5.09658 7016	33 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.10165 5236	33 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.10695 6997	33 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.11250 2487	33 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.11830 2098	34 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.12436 6427	34 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.13070 6279	34 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.13733 2662	34 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.14425 6791	34 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.15149 0088	34 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.15904 4177	34 6	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

5.16693 0891	34 7	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.17516 2268	34 8	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.18375 0551	34 9	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.19270 8188	35 0	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.20204 7833	35 1	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.21178 2348	35 2	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.22192 4797	35 3	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.23248 8452	35 4	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2
5.24348 6791	35 5	8.56891 E-09	- 9.87026E -06	0.004 257	- 0.812 74	62.814 2

الجدول 4: يوضح قيم $\sigma(T)$ المحسوبة للفيون R152a باستخدام الثوابت الفيريالية ضمن المجال الحراري (245-285 K).

$\sigma(T)$ A	T K	a4	a3	a2	a1	a0
4.697584 026	24 5	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.698100 166	24 6	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.698604 989	24 7	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.699100 026	24 8	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.699586 804	24 9	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.700066 85	25 0	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.700541 686	25 1	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.701012 833	25 2	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11

4.701481 807	25 3	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.701950 122	25 4	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.702419 291	25 5	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.702890 823	25 6	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.703366 223	25 7	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.703846 995	25 8	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.704334 638	25 9	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.704830 652	26 0	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.705336 531	26 1	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.705853 766	26 2	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.706383 849	26 3	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

4.706928 264	26 4	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.707488 495	26 5	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.708066 025	26 6	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.708662 331	26 7	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.709278 889	26 8	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.709917 171	26 9	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.710578 647	27 0	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.711264 784	27 1	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.711977 047	27 2	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.712716 897	27 3	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.713485 794	27 4	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11

4.714285 192	27 5	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.715116 546	27 6	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.715981 305	27 7	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.716880 918	27 8	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.717816 829	27 9	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.718790 481	28 0	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.719803 312	28 1	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.720856 76	28 2	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.721952 257	28 3	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.723091 236	28 4	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11
4.724275 123	28 5	- 1.15884 E-10	3.69445 E-07	- 0.000 24	0.056 565	0.0034 11

الجدول 5: قيم σ المحسوبة للأرغون باستخدام الثوابت الفيزيائية ضمن المجال

الحراري

.(84-145)K

$\sigma(T)$ A	T (K)	a4	a3	a2	a1	a0
3.541061 714	84	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.541480 836	85	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.542115 425	86	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.542946 641	87	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.543956 649	88	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.545128 617	89	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.546446 716	90	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4

3.547896 121	91	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.549463 01	92	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.551134 565	93	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.552898 969	94	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.554745 411	95	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.556664 082	96	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.558646 177	97	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.560683 893	98	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.562770 433	99	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.5649	10 0	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.567067 803	10 1	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

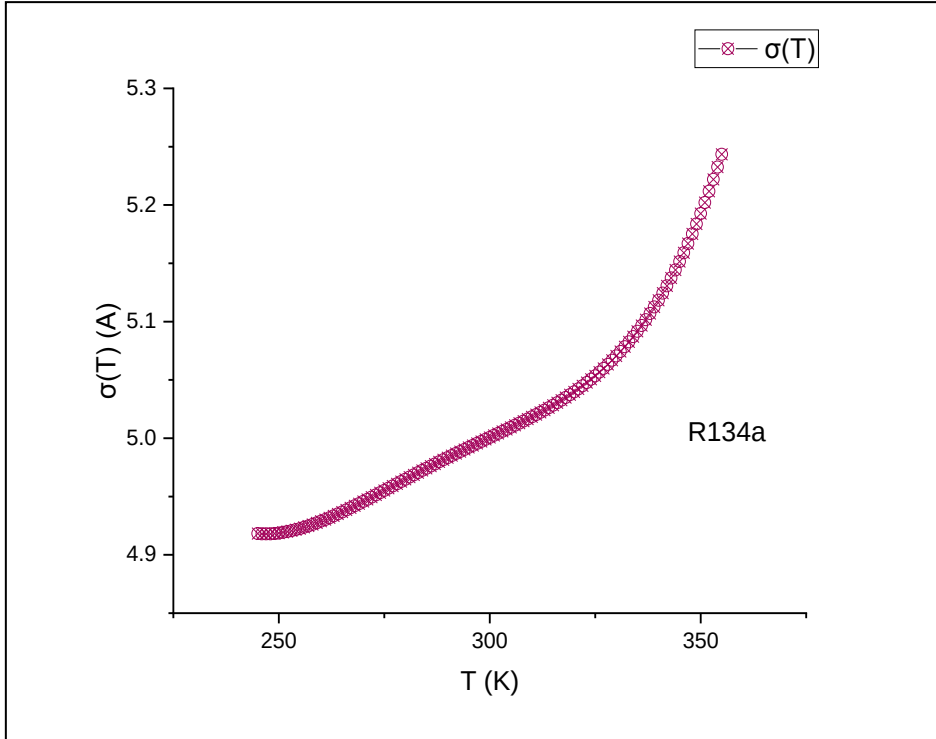
3.569270 052	10 2	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.571503 964	10 3	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.573767 754	10 4	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.576060 646	10 5	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.578382 863	10 6	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.580735 634	10 7	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.583121 189	10 8	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.585542 764	10 9	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.588004 596	11 0	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.590511 927	11 1	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.593071 001	11 2	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4

3.595689 067	11 3	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.598374 375	11 4	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.601136 181	11 5	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.603984 742	11 6	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.606931 32	11 7	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.609988 179	11 8	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.613168 587	11 9	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.616486 816	12 0	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.619958 14	12 1	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.623598 838	12 2	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.627426 19	12 3	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4

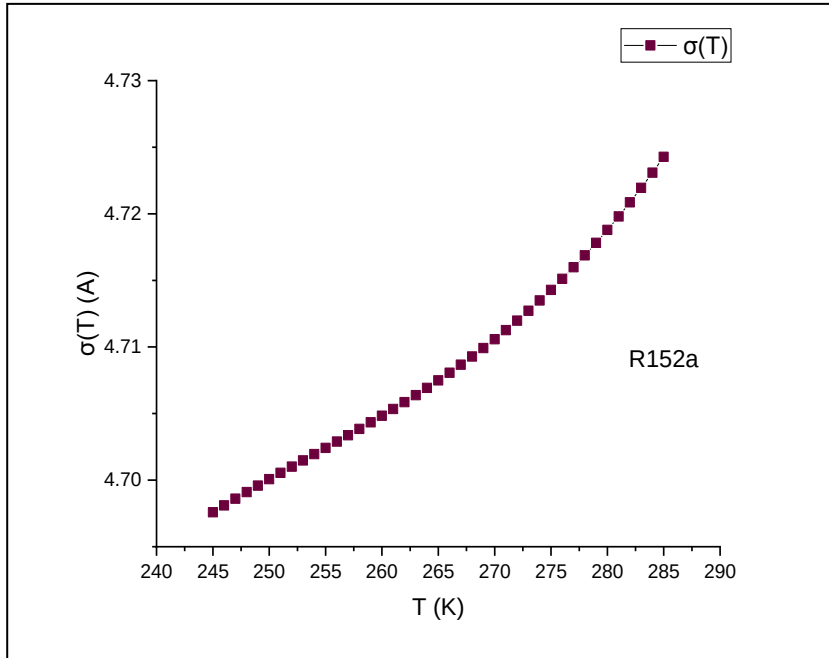
" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

3.631458 481	12 4	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.635715	12 5	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.640216 037	12 6	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.644982 888	12 7	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.650037 85	12 8	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.655404 224	12 9	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.661106 316	13 0	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.667169 433	13 1	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.673619 887	13 2	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.680484 992	13 3	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.687793 066	13 4	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4

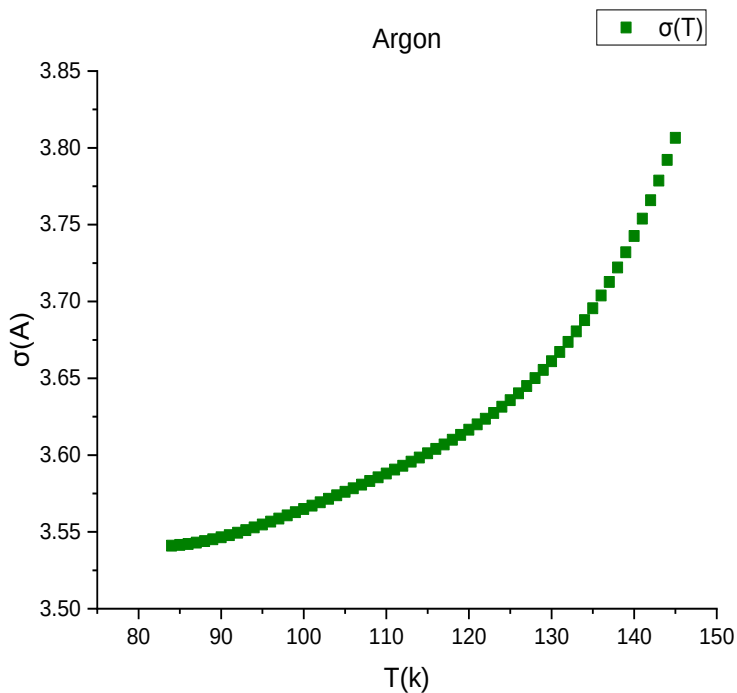
3.695573 431	13 5	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.703856 411	13 6	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.712673 335	13 7	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.722056 533	13 8	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.732039 341	13 9	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.742656 096	14 0	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.753942 14	14 1	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.765933 817	14 2	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.778668 476	14 3	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.792184 467	14 4	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4
3.806521 146	14 5	4.18056 E-08	- 1.74373E -05	0.002 742	- 0.190 34	8.4363 4



الشكل 3: يوضح تغيرات $\sigma(T)$ بدلالة درجة الحرارة T للفرينون البديل R134a



الشكل 4: يوضح تغيرات $\sigma(T)$ بدلالة درجة الحرارة T للفلزيون البديل R152a.



الشكل 5: يوضح تغيرات σ للأرغون بدلالة درجة الحرارة.

الجدول 6: حساب ϵ/k للفرينون R134a باستخدام الثوابت الفيريالية ضمن المجال الحراري K(245-355)

ϵ/k (K)	T (K)	b4	b3	b2	b1	b0
383.3561 167	24 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
382.1178 047	24 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

380.8916 335	24 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
379.6774 689	24 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
378.4751 739	24 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
377.2846 094	25 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
376.1056 338	25 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
374.9381 032	25 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
373.7818 712	25 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
372.6367 892	25 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
371.5027 059	25 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
370.3794 68	25 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
369.2669 195	25 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

368.1649 022	25 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
367.0732 553	25 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
365.9918 16	26 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
364.9204 187	26 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
363.8588 956	26 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
362.8070 765	26 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
361.7647 889	26 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
360.7318 578	26 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
359.7081 058	26 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
358.6933 532	26 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
357.6874 178	26 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

356.6901 151	26 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
355.7012 583	27 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
354.7206 58	27 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
353.7481 226	27 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
352.7834 58	27 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
351.8264 678	27 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
350.8769 531	27 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
349.9347 127	27 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
348.9995 43	27 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
348.0712 38	27 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
347.1495 894	27 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

346.2343 863	28 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
345.3254 157	28 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
344.4224 619	28 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
343.5253 071	28 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
342.6337 31	28 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
341.7475 108	28 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
340.8664 215	28 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
339.9902 357	28 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
339.1187 233	28 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
338.2516 524	28 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
337.3887 881	29 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

336.5298 935	29 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
335.6747 292	29 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
334.8230 534	29 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
333.9746 219	29 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
333.1291 882	29 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
332.2865 034	29 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
331.4463 16	29 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
330.6083 725	29 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
329.7724 166	29 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
328.9381 9	30 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
328.1054 317	30 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

327.2738 785	30 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
326.4432 646	30 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
325.6133 222	30 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
324.7837 808	30 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
323.9543 675	30 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
323.1248 073	30 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
322.2948 224	30 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
321.4641 33	30 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
320.6324 566	31 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
319.7995 087	31 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
318.9650 019	31 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

318.1286 47	31 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
317.2901 518	31 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
316.4492 222	31 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
315.6055 615	31 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
314.7588 706	31 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
313.9088 482	31 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
313.0551 903	31 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
312.1975 908	32 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
311.3357 41	32 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
310.4693 301	32 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
309.5980 446	32 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

308.7215 687	32 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
307.8395 843	32 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
306.9517 71	32 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
306.0578 057	32 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
305.1573 632	32 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
304.2501 158	32 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
303.3357 334	33 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
302.4138 836	33 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
301.4842 315	33 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
300.5464 399	33 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
299.6001 692	33 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

298.6450 773	33 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
297.6808 199	33 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
296.7070 502	33 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
295.7234 191	33 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
294.7295 749	33 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
293.7251 638	34 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
292.7098 295	34 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
291.6832 131	34 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
290.6449 537	34 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
289.5946 878	34 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
288.5320 495	34 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

287.4566 705	34 6	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
286.3681 802	34 7	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
285.2662 056	34 8	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
284.1503 712	34 9	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
283.0202 994	35 0	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
281.8756 098	35 1	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
280.7159 2	35 2	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
279.5408 449	35 3	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
278.3499 973	35 4	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02
277.1429 873	35 5	- 9.94241 E-08	7.56312 E-05	- 0.0136 4	- 2.329 19	1019. 02

الجدول 7: حساب ε/K للفريون R152a باستخدام الثوابت الفيريالية

ضمن المجال الحراري 245-285K

ε/K (K)	T (K)	b4	b3	b2	b1	b0
367.471 8072	245	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.446 3234	246	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.403 1119	247	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.342 2702	248	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.263 8989	249	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.168 1008	250	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
367.054 9815	251	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
366.924 6494	252	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
366.777 2152	253	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

366.612 7924	254	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
366.431 4971	255	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
366.233 4481	256	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
366.018 7666	257	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
365.787 5766	258	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
365.540 0047	259	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
365.276 1801	260	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
364.996 2346	261	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
364.700 3027	262	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
364.388 5213	263	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
364.061 0303	264	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507

363.717 9718	265	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
363.359 4908	266	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
362.985 7349	267	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
362.596 8542	268	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
362.193 0015	269	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
361.774 3323	270	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
361.341 0044	271	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
360.893 1787	272	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
360.431 0183	273	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
359.954 6891	274	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
359.464 3597	275	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

358.960 2012	276	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
358.442 3874	277	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
357.911 0945	278	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
357.366 5017	279	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
356.808 7905	280	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
356.238 1452	281	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
355.654 7526	282	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
355.058 8022	283	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
354.450 4861	284	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507
353.829 9991	285	1.09207 E-07	- 9.13872E -05	0.018 927	0.741 636	0.150 507

الجدول 8: قيم ε/K المحسوبة للأرغون باستخدام الثوابت الفيربالية ضمن
المجال الحراري $K(84-145)$

ε/K (K)	T (K)	b4	b3	b2	b1	b0
118.267 106	84	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
118.022 448	85	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
117.777 86	86	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
117.533 849	87	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
117.290 884	88	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
117.049 394	89	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
116.809 768	90	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
116.572 357	91	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
116.337 472	92	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

116.105 384	93	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
115.876 327	94	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
115.650 492	95	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
115.428 035	96	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
115.209 07	97	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
114.993 672	98	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
114.781 877	99	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
114.573 682	10 0	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
114.369 044	10 1	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
114.167 882	10 2	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
113.970 074	10 3	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2

113.775 46	10 4	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
113.583 84	10 5	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
113.394 975	10 6	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
113.208 587	10 7	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
113.024 358	10 8	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
112.841 931	10 9	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
112.660 91	11 0	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
112.480 86	11 1	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
112.301 305	11 2	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
112.121 732	11 3	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
111.941 587	11 4	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2

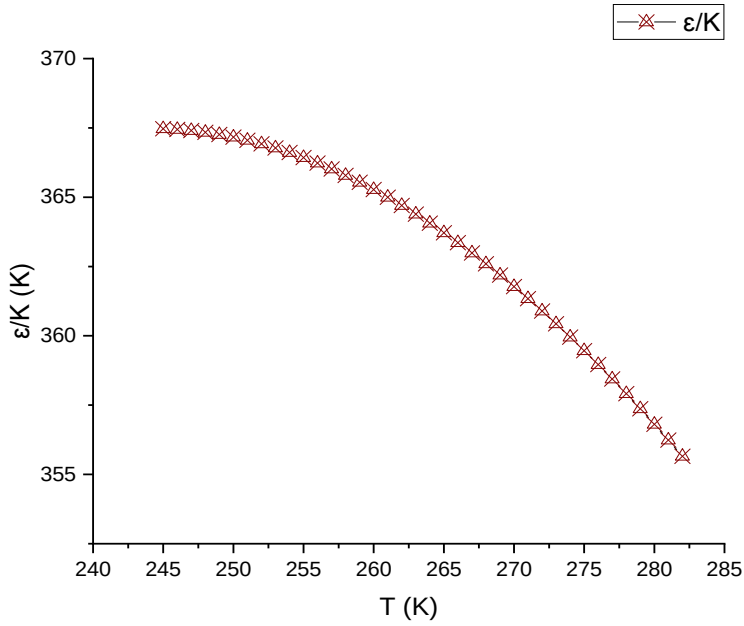
" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

111.760 277	11 5	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
111.577 171	11 6	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
111.391 597	11 7	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
111.202 845	11 8	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
111.010 165	11 9	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
110.812 767	12 0	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
110.609 823	12 1	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
110.400 466	12 2	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
110.183 788	12 3	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
109.958 843	12 4	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
109.724 645	12 5	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2

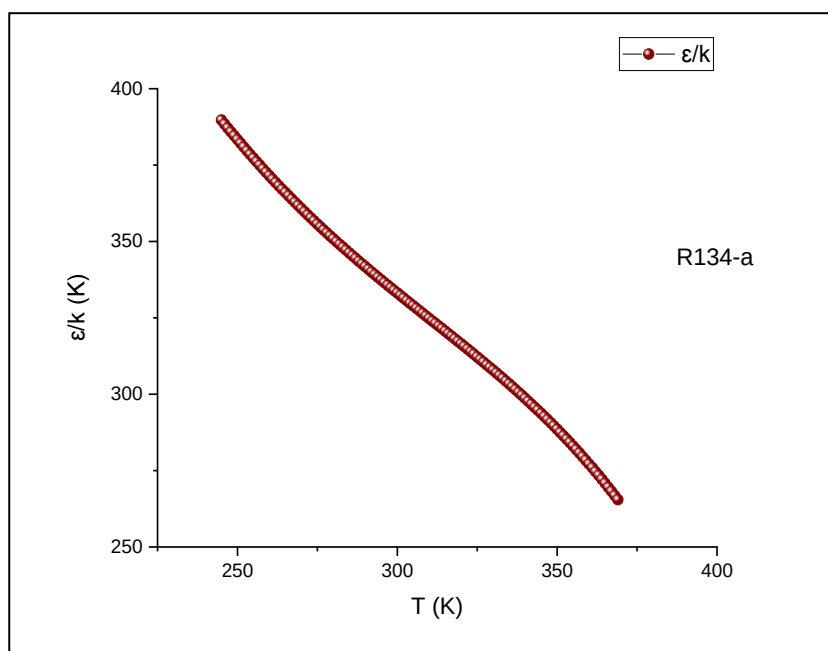
109.480 17	12 6	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
109.224 353	12 7	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
108.956 091	12 8	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
108.674 241	12 9	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
108.377 62	13 0	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
108.065 008	13 1	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
107.735 144	13 2	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
107.386 727	13 3	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
107.018 419	13 4	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
106.628 84	13 5	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
106.216 574	13 6	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

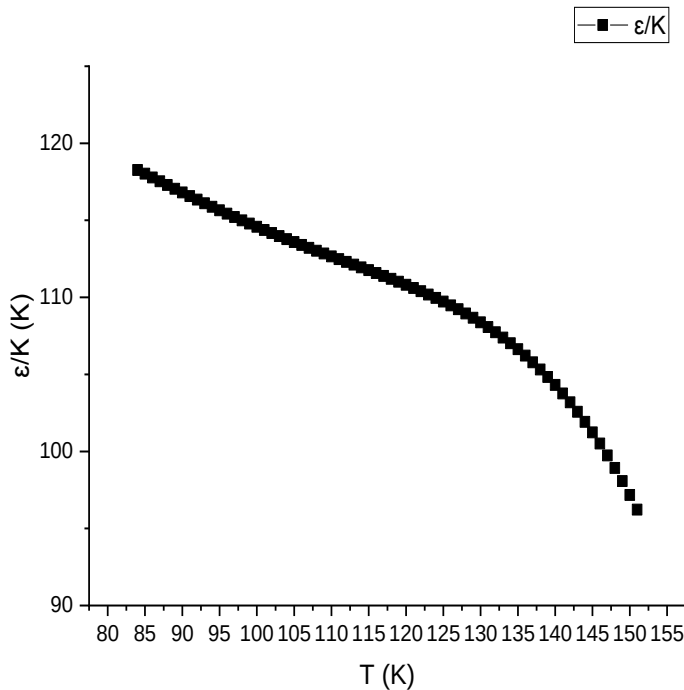
105.780 162	13 7	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
105.318 109	13 8	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
104.828 878	13 9	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
104.310 895	14 0	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
103.762 545	14 1	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
103.182 174	14 2	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
102.568 09	14 3	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
101.918 561	14 4	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2
101.231 814	14 5	- 1.63727E -06	0.000 645	- 0.093 35	5.6755 44	- 0.3407 2



الشكل 6: يوضح تغيرات ϵ/K للفرين R152a بدلالة درجة الحرارة



الشكل 7: يوضح تغيرات ϵ/k للفريون R134a بدلالة درجة الحرارة



الشكل 8: يوضح تغيرات ϵ/K على أرغون بدلالة درجة الحرارة.

5-4: حساب المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني بالصيغة

التحويلية للفريونات البديلة

باستخدام العلاقات (8)، (9) وكذلك (10,11) نستطيع حساب كل من المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية وذلك بعد

تعويض قيم الثوابت والقيم المحسوبة لكل من ϵ/K و b_0 في العلاقات المذكورة [11,12] .

الجدول 9: يوضح قيم المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني بالصيغة

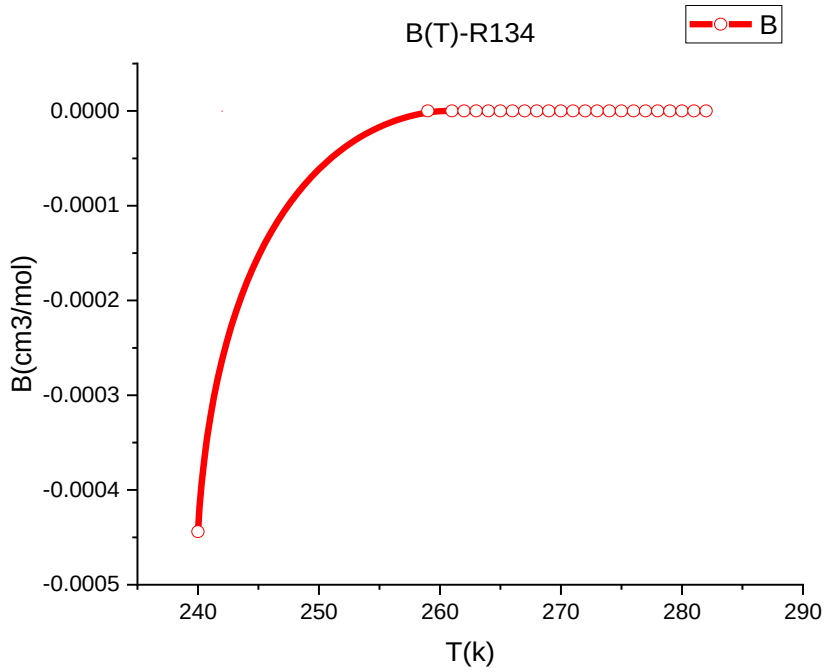
التحويلية للفرينون R134a ضمن المجال الحراري 245-282K

T K	B(T) cm ³ /mol	B*(T*))	Tc/Pc K/pa	Pc Pa	Tc K	b0(cm ³ / mol)
245	-2.2E-20	-1.3E-17	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
246	-1.4E-25	-8.2E-23	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
247	-4.2E-31	-2.5E-28	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
248	-6.9E-37	-4E-34	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
249	-6.6E-43	-3.9E-40	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
250	-4E-49	-2.3E-46	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
251	-1.6E-55	-9.2E-53	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
252	-4.2E-62	-2.5E-59	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
253	-7.9E-69	-4.7E-66	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
254	-1.1E-75	-6.4E-73	9.2203E-05	4059000	374.25	0.001697
255	-1.1E-82	-6.5E-80	9.2203E-05	4059000	374.25	0.80001697

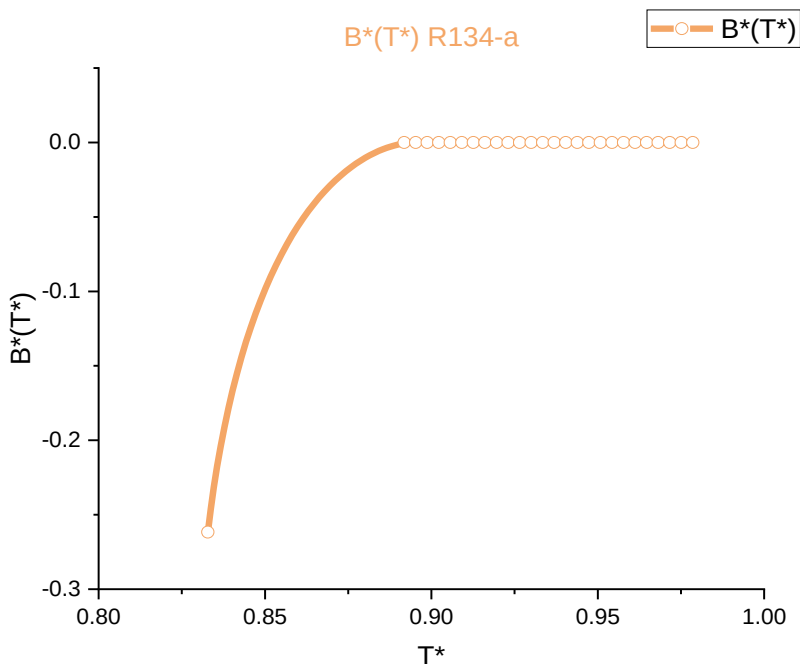
25 6	-8.5E- 90	-5E-87	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
25 7	-5.1E- 97	-3E-94	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
25 8	-2E- 104	-1E- 101	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
25 9	-9E- 112	-5E- 109	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 0	-3E- 119	-2E- 116	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 1	-6E- 127	-4E- 124	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 2	-1E- 134	-7E- 132	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 3	-2E- 142	-1E- 139	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 4	-3E- 150	-2E- 147	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 5	-3E- 158	-2E- 155	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 6	-3E- 166	-2E- 163	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 7	-3E- 174	-2E- 171	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 8	-2E- 182	-1E- 179	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
26 9	-1E- 190	-7E- 188	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 0	-6E- 199	-4E- 196	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 1	-3E- 207	-2E- 204	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

27 2	-1E- 215	-7E- 213	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 3	-4E- 224	-2E- 221	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 4	-1E- 232	-7E- 230	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 5	-3E- 241	-2E- 238	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 6	-8E- 250	-5E- 247	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 7	-2E- 258	-1E- 255	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 8	-4E- 267	-2E- 264	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
27 9	-6E- 276	-4E- 273	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
28 0	-1E- 284	-6E- 282	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
28 1	-1E- 293	-8E- 291	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697
28 2	-2E- 302	-1E- 299	9.2203E- 05	40590 00	374.2 5	0.001697



الشكل 9: تغيرات $B(T)$ للفرينون R134a بدلالة درجة الحرارة



الشكل 10: يوضح تغيرات $B^*(T^*)$ بدلالة T^* للفريون R134a

الجدول 10: يوضح قيم المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية للفريون R152a ضمن المجال الحراري 246-287K

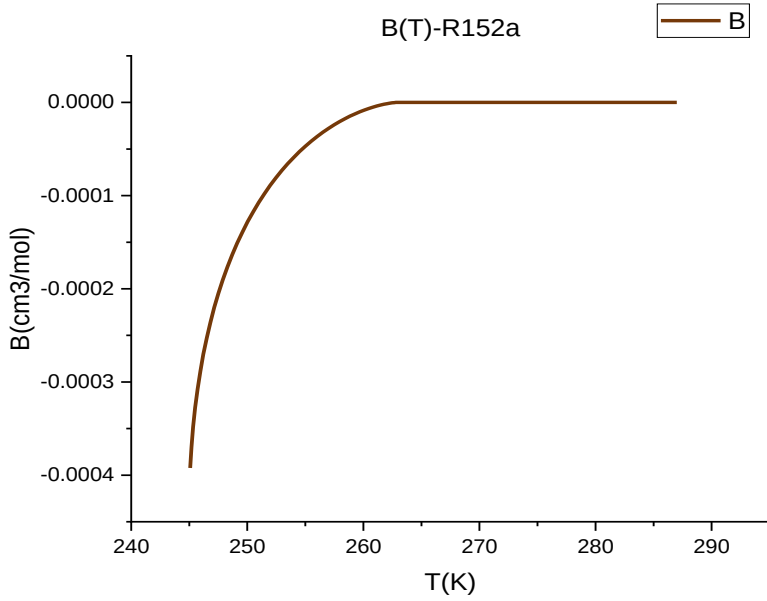
$B(T)$	$B^*(T^*)$	ϵ/K	b_0	T_c/P_c	T	$b(J)$
cm^3/mo	)	(K)	cm^3/mol	K/pa	(K)	
I						

سلسلة العلوم الأساسية د. حمزة الرحبة				مجلة جامعة حمص المجلد ٤٧ العدد ٣ عام ٢٠٢٥		
-0.00042	-	297.7	0.0015	8.60864E	245	-0.25
	0.2624	59	84	-05		
	9					
-1.9E-05	-	297.7	0.0015	8.60864E	246	-
	0.0120	59	84	-05		0.0104
	2					2
-1.1E-07	-7E-	297.7	0.0015	8.60864E	247	-5.6E-
	05	59	84	-05		05
-2.8E-11	-1.8E-	297.7	0.0015	8.60864E	248	-1.3E-
	08	59	84	-05		08
-1.4E-15	-8.8E-	297.7	0.0015	8.60864E	249	-5.9E-
	13	59	84	-05		13
-2.1E-20	-1.3E-	297.7	0.0015	8.60864E	250	-8.3E-
	17	59	84	-05		18
-1.3E-25	-8.5E-	297.7	0.0015	8.60864E	251	-4.9E-
	23	59	84	-05		23
-4.1E-31	-2.6E-	297.7	0.0015	8.60864E	252	-1.4E-
	28	59	84	-05		28
-6.8E-37	-4.3E-	297.7	0.0015	8.60864E	253	-2.1E-
	34	59	84	-05		34
-6.5E-43	-4.1E-	297.7	0.0015	8.60864E	254	-1.9E-
	40	59	84	-05		40
-4E-49	-2.5E-	297.7	0.0015	8.60864E	255	-1.1E-
	46	59	84	-05		46
-1.6E-55	-9.9E-	297.7	0.0015	8.60864E	256	-4.1E-
	53	59	84	-05		53
-4.2E-62	-2.7E-	297.7	0.0015	8.60864E	257	-1.1E-
	59	59	84	-05		59
-8.1E-69	-5.1E-	297.7	0.0015	8.60864E	258	-1.9E-
	66	59	84	-05		66
-1.1E-75	-7E-	297.7	0.0015	8.60864E	259	-2.6E-
	73	59	84	-05		73

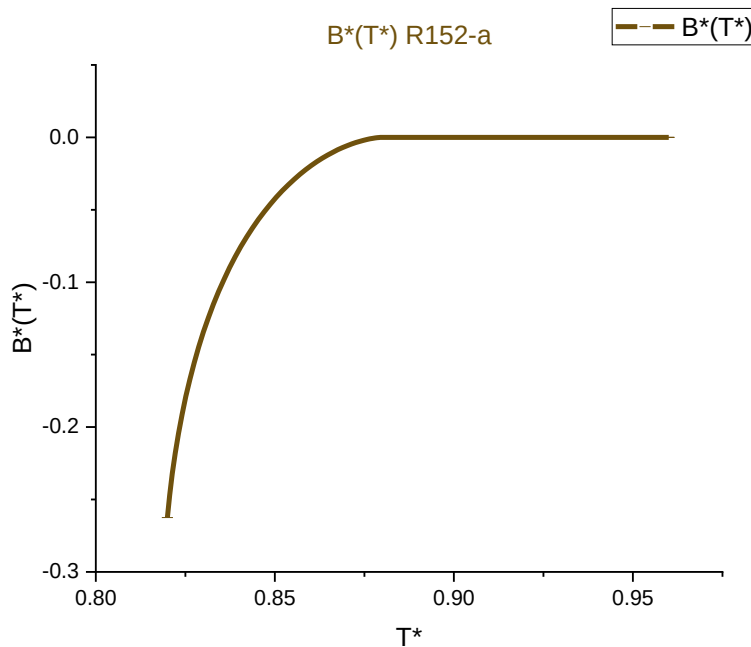
" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

-1.1E-82	-7.2E-80	297.759	0.001584	8.60864E-05	260	-2.5E-80
-8.9E-90	-5.6E-87	297.759	0.001584	8.60864E-05	261	-1.9E-87
-5.3E-97	-3.4E-94	297.759	0.001584	8.60864E-05	262	-1.1E-94
-2E-104	-2E-101	297.759	0.001584	8.60864E-05	263	-5E-102
-9E-112	-6E-109	297.759	0.001584	8.60864E-05	264	-2E-109
-3E-119	-2E-116	297.759	0.001584	8.60864E-05	265	-5E-117
-7E-127	-4E-124	297.759	0.001584	8.60864E-05	266	-1E-124
-1E-134	-8E-132	297.759	0.001584	8.60864E-05	267	-2E-132
-2E-142	-1E-139	297.759	0.001584	8.60864E-05	268	-4E-140
-3E-150	-2E-147	297.759	0.001584	8.60864E-05	269	-6E-148
-4E-158	-2E-155	297.759	0.001584	8.60864E-05	270	-6E-156
-3E-166	-2E-163	297.759	0.001584	8.60864E-05	271	-6E-164
-3E-174	-2E-171	297.759	0.001584	8.60864E-05	272	-5E-172
-2E-182	-1E-179	297.759	0.001584	8.60864E-05	273	-4E-180
-1E-190	-8E-188	297.759	0.001584	8.60864E-05	274	-2E-188
-7E-199	-4E-196	297.759	0.001584	8.60864E-05	275	-1E-196
-3E-207	-2E-204	297.759	0.001584	8.60864E-05	276	-6E-205

سلسلة العلوم الأساسية د. حمزة الرحبة				مجلة جامعة حمص المجلد ٤٧ العدد ٣ عام ٢٠٢٥		
-1E-215	-8E-213	297.759	0.001584	8.60864E-05	277	-3E-213
-5E-224	-3E-221	297.759	0.001584	8.60864E-05	278	-9E-222
-1E-232	-9E-230	297.759	0.001584	8.60864E-05	279	-3E-230
-4E-241	-3E-238	297.759	0.001584	8.60864E-05	280	-9E-239
-1E-249	-7E-247	297.759	0.001584	8.60864E-05	281	-2E-247
-2E-258	-1E-255	297.759	0.001584	8.60864E-05	282	-5E-256
-5E-267	-3E-264	297.759	0.001584	8.60864E-05	283	-1E-264
-8E-276	-5E-273	297.759	0.001584	8.60864E-05	284	-2E-273
-1E-284	-8E-282	297.759	0.001584	8.60864E-05	285	-3E-282
-2E-293	-1E-290	297.759	0.001584	8.60864E-05	286	-5E-291
-2E-302	-1E-299	297.759	0.001584	8.60864E-05	287	-7E-300



الشكل 11: تغيرات B(T) للفيون R152a بدلالة درجة الحرارة



الشكل 12: يوضح تغيرات $B^*(T^*)$ بدلالة T^* للفريون R152a

الجدول 11: يوضح قيم المعامل المتغير الثاني والمعامل المتغير الثاني بالصيغة التحويلية للأرغون ضمن المجال الحراري 84-126K

$B(T)(\text{cm}^3/\text{mol})$	$T_c/P_c(\text{kPa})$	$b_0(\text{cm}^3/\text{mol})$	$\epsilon/K(\text{k})$	T^*	$B^*(T^*)$	$b(\text{J})$	$T(\text{K})$
-0.00015	3.1047	0.0005	116	0.72	-	-0.25	84
	E-05	7126	.27	2456	0.271 17		

" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

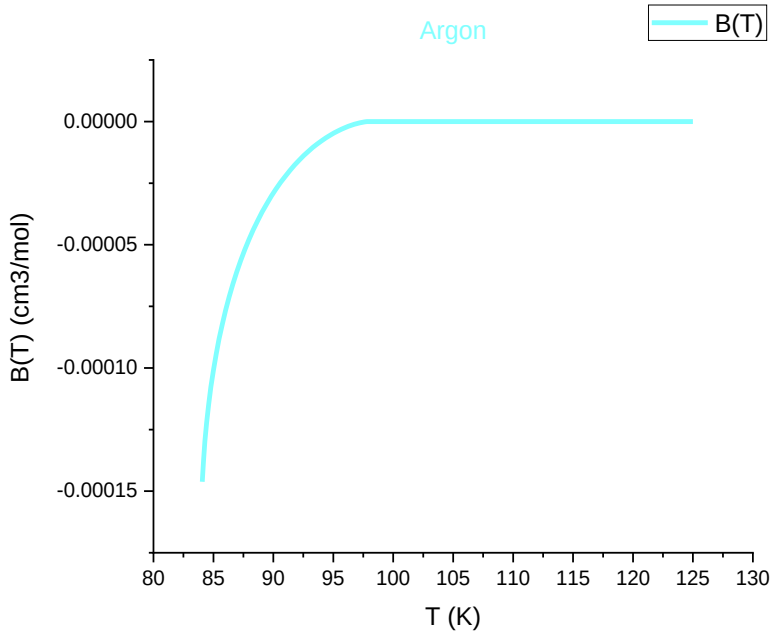
-7.5E-06	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.73 1057	- 0.013 18	- 0.01 042	85
-4.6E-08	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.73 9658	- 8.1E- 05	- 5.6E- 05	86
-1.2E-11	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.74 8258	- 2.2E- 08	- 1.3E- 08	87
-6.3E-16	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.75 6859	- 1.1E- 12	- 5.9E- 13	88
-9.9E-21	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.76 546	- 1.7E- 17	- 8.3E- 18	89
-6.4E-26	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.77 406	- 1.1E- 22	- 4.9E- 23	90
-2E-31	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.78 2661	- 3.5E- 28	- 1.4E- 28	91
-3.3E-37	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.79 1262	- 5.8E- 34	- 2.1E- 34	92
-3.2E-43	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.79 9862	- 5.6E- 40	- 1.9E- 40	93

-1.9E-49	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.80 8463	- 3.4E- 46	- 1.1E- 46	94
-7.6E-56	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.81 7064	- 1.3E- 52	- 4.1E- 53	95
-2E-62	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.82 5664	- 3.5E- 59	- 1.1E- 59	96
-3.8E-69	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.83 4265	- 6.6E- 66	- 1.9E- 66	97
-5.1E-76	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.84 2866	- 8.9E- 73	- 2.6E- 73	98
-5E-83	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.85 1466	- 8.8E- 80	- 2.5E- 80	99
-3.8E-90	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.86 0067	- 6.6E- 87	- 1.9E- 87	100
-2.1E-97	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.86 8668	- 3.8E- 94	- 1.1E- 94	101
-1E-104	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.87 7268	-2E- 101	-5E- 102	102
-3E-112	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.88 5869	-6E- 109	-2E- 109	103

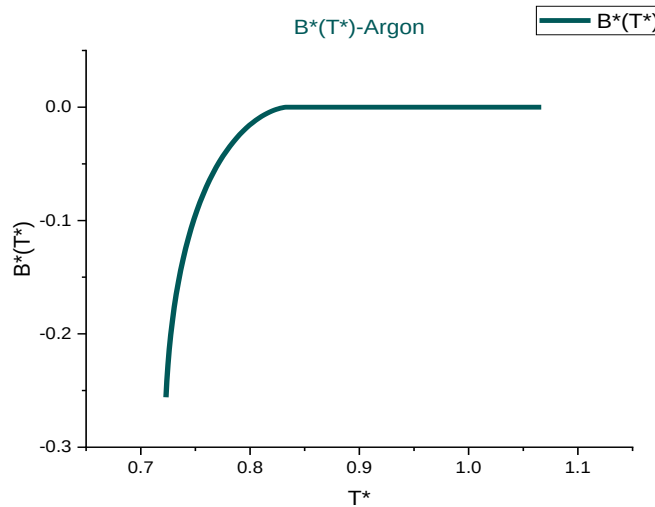
" دراسة المتغيرات الحرارية لكمون لينارد جونز وحسابها لمواد التبريد البديلة"

-1E-119	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.89 447	-2E- 116	-5E- 117	10 4
-2E-127	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.90 307	-4E- 124	-1E- 124	10 5
-4E-135	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.91 1671	-7E- 132	-2E- 132	10 6
-6E-143	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.92 0272	-1E- 139	-4E- 140	10 7
-8E-151	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.92 8872	-1E- 147	-6E- 148	10 8
-8E-159	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.93 7473	-1E- 155	-6E- 156	10 9
-8E-167	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.94 6074	-1E- 163	-6E- 164	11 0
-6E-175	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.95 4674	-1E- 171	-5E- 172	11 1
-4E-183	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.96 3275	-7E- 180	-4E- 180	11 2
-2E-191	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.97 1876	-4E- 188	-2E- 188	11 3
-1E-199	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.98 0476	-2E- 196	-1E- 196	11 4
-4E-208	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.98 9077	-7E- 205	-6E- 205	11 5
-2E-216	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	0.99 7678	-3E- 213	-3E- 213	11 6
-5E-225	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.00 6278	-9E- 222	-9E- 222	11 7

-1E-233	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.01 4879	-2E- 230	-3E- 230	11 8
-3E-242	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.02 348	-6E- 239	-9E- 239	11 9
-7E-251	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.03 2081	-1E- 247	-2E- 247	12 0
-1E-259	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.04 0681	-2E- 256	-5E- 256	12 1
-2E-268	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.04 9282	-4E- 265	-1E- 264	12 2
-4E-277	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.05 7883	-7E- 274	-2E- 273	12 3
-5E-286	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.06 6483	-9E- 283	-3E- 282	12 4
-6E-295	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.07 5084	-1E- 291	-5E- 291	12 5
-7E-304	3.1047 E-05	0.0005 7126	116 .27	1.08 3685	-1E- 300	-7E- 300	12 6



الشكل 4-15: الشكل 4-12: تغيرات $B(T)$ للأرغون بدلالة درجة الحرارة



الشكل 4-16: يوضح تغيرات $B^*(T^*)$ بدلالة T^* للأرغون

6-مناقشة النتائج:

نلاحظ من الرسوم البيانية لتغيرات σ بدلالة T الأشكال 3,4,5 للفريونات البديلة R152a:245-285K, R134a:245-355K والأرغون من الدرجة 84 إلى الدرجة 145K تزايد قيمة σ مع زيادة درجة الحرارة للفريونات المدروسة والسبب في ذلك أن المدارات الالكترونية للجزيئات تصبح أكثر انتظاماً من الحالة العادية بالتالي تزداد المسافة نتيجة الانتظام بين الجزيئات كما نستطيع تفسير ذلك بالاعتماد على نظرية الطاقة الحركية كما هو معلوم بأنه عند زيادة درجة الحرارة

تزداد الطاقة الحركية لجزيئات الغاز بالتالي ستزداد الحركة العشوائية لها وهذا يؤدي بدوره لزيادة المسافة الفاصلة بين الجزيئات أي زيادة σ [13,14].

أما الخطوط البيانية لتغيرات ε/K بدلالة T للفريونات البديلة R134a من الدرجة K 245 إلى الدرجة 355، R152a (245-380)، الأرغون من الدرجة 84 إلى الدرجة 145K الأشكال 4-10، 4-8، 6-4 فنلاحظ من خلالها تناقص في قيمة ε/K للفريونات مع تزايد درجة الحرارة (يتناقص عمق الحفرة الكمونية بشكل مضطرب مع زيادة الحرارة كنتيجة طبيعية نتيجة لتزايد المسافة بين الجزيئات) ونستطيع تفسيره من خلال مفهوم الطاقة الحرارية وتأثيرها على توزيع الجزيئات فعند زيادة درجة الحرارة، تزداد الطاقة الحركية للجزيئات، مما يؤدي إلى زيادة احتمال امتلاك الجزيئات طاقة كافية للانتقال من السويات الطاقية المنخفضة (احتمال وجودها في السويات الأعلى يزداد بزيادة درجة الحرارة). أي أنها تمتلك طاقة كافية لتجاوز الحواجز الكمومية، مما يؤدي بدوره لتقليل عمق الحفرة الكمونية [13,14].

بالنسبة للخطوط البيانية الممثلة للمعامل الفيريالي الثاني للفريونات البديلة الأشكال (13,15,17)

نلاحظ تزايد قيمته مع زيادة درجة الحرارة ونفسر ذلك بأن $B(T)$ يعبر عن التأثير المتبادل بين زوج من الجزيئات وكما هو معلوم بأن $B(T)$ يتبع إلى σ أي أنه يتغير بتغير σ ومع تزايد درجة الحرارة سيزداد التأثير المتبادل بين الجزيئات لأنه بزيادة درجة الحرارة تزداد الطاقة الحركية لجزيئات الغاز بالتالي ستزداد الحركة العشوائية لها بالتالي $B(T)$ ستزداد ولكن بالاقتراب من الدرجة الحرجة تصبح كثافة الغاز مساوية لكثافة السائل بالتدريج بالتالي لا يمكن تمييز حالة المادة فيما إذا كانت سائلة أو غازية (يحصل تداخل بين الحالة السائلة والغازية) أي يحصل توازن بين قوى التدافع والتجاذب فتصبح المسافة بين الجزيئات ثابتة نوعاً ما، وقد

لاحظنا أن قيم $B(T)$ للفيرون R134a بدأت تزداد تدريجياً مع زيادة درجة الحرارة إلا أنها تميل إلى أن تأخذ قيمةً متقاربة جداً (ثابتة نوعاً ما) وذلك ابتداءً من الدرجة 258K وكذلك الأمر بالنسبة للفيرون R152a بحيث بدأت بالتقارب بدءاً من الدرجة 263K أما الفيرون R142b من الدرجة 238K وأخيراً الأرغون عند الدرجة 102K [11,13].

وبما أن المعامل الفيريالي الثاني المحول مشتق من المعامل الفيريالي الثاني فيفسر الرسم البياني له بنفس الطريقة والسبب بذلك هو أن $B(T)$ و $B^*(T^*)$ مرتبطان بعلاقة (9) تبين تابعة المعامل الفيريالي الثاني المحول للمعامل الفيريالي الثاني أي أن $B^*(T^*)$ يزداد بزيادة $B(T)$ بالتوازي مع تزايد درجة الحرارة [11,12].

في الدراسات السابقة تم حساب قيم ε/K و σ للفيونات المذكورة بشكل عام أو حتى عند درجات حرارة محددة دون التطرق لتغير قيمتها بتغير درجة الحرارة ونشير هنا إلى أن معرفة المجال الحراري الذي تتغير ضمنه ε/K و σ للفيونات البديلة أو حتى التغيرات التي تطرأ على هذه الفيونات ضمن المجال الحراري له دور مهم في تصميم أجهزة التبريد وهندسة العمليات الكيميائية وذلك لأنها تستخدم بشكل مباشر في حساب خصائصها الترموديناميكية (خصائص الفيونات البديلة ([2]. كما توجب علينا الإشارة إلى أن الدراسة السابقة مبنية على استخدام جهد لينارد جونز الزوجي (ثنائي المعاملات) الذي لقي انتشار واسعاً كونه بسيطاً أما عن ثنائيات القوى للجهد كما هو معلوم هناك العديد من ثنائيات القوى (6-9) و (12-10) وغيرها الكثير لكن اخترنا الجهد (6-12) على وجه التحديد لأن الحسابات النظرية كانت أكثر تطابقاً مع النتائج التجريبية عند استخدامه بينما ثنائيات القوى السابقة لم تحقق هذا التطابق [11,12].

المراجع

- [1]Bolaji, B. O, & Huan, Z. (2012, August). "Energy performance of eco-friendly RE170 and R510A refrigerants as alternatives to R134a in vapour compression refrigeration system". In 2012 Proceedings of the 9th Industrial and Commercial Use of Energy Conference (pp. 1-8). IEEE.
- [2]Halim, N. F. C, & Sidik, N. A. C. (2020). "Nanorefrigerants: A review on thermophysical properties and their heat transfer performance". Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 20(1), 42-50p.
- [3]Vaghela, J. K. (2017). "Comparative evaluation of an automobile air-conditioning system using R134a and its alternative refrigerants". Energy Procedia, 109, 153-160p.
- [4]Oh, S. K. (2013). "Modified Lennard-Jones Potentials with a Reduced Temperature-Correction Parameter for Calculating Thermodynamic and Transport Properties: Noble Gases and Their Mixtures (He, Ne, Ar, Kr, and Xe)". Journal of thermodynamics, 2013(1), 828620.
- [5]Wang, X, Ramírez-Hinestrosa, S, Dobnikar, J, & Frenkel, D. (2020). "The Lennard-Jones potential: when (not) to use it". Physical Chemistry Chemical Physics, 22(19), 10624-10633p.
- [6]Ushcats, M. V. (2014). "Virial coefficients of modified Lennard-Jones potential". Ukrainian journal of physics, (59, № 2), 172-178p.
- [7]Mourits, F. M, & Rummens, F. H. (1977). "A critical evaluation of Lennard–Jones and Stockmayer potential

parameters and of some correlation methods". Canadian Journal of Chemistry, 55(16), 3007-3020p.

[8]Filippova, V. P, Kunavin, S. A, & Pugachev, M. S. (2015). "Calculation of the parameters of the Lennard-Jones potential for pairs of identical atoms based on the properties of solid substances". Inorganic Materials: Applied Research, 6, 1-4p.

[9]Oh, S. K. (2013). "Modified Lennard-Jones Potentials with a Reduced Temperature-Correction Parameter for Calculating Thermodynamic and Transport Properties: Noble Gases and Their Mixtures (He, Ne, Ar, Kr, and Xe)". Journal of thermodynamics, 2013(1), 828620.

[10]Tan, F. L., & Chua, P. S. (2003). "Java applet on computation of thermodynamic properties of steam and R134a refrigerant". Computer Applications in Engineering Education, 11(4), 211-225P.

[11]Ondstcnhenko ,Hamza,(1994)."Thermodynamic properties of the Alternative Refrigerants in the Gas Region ",USA,(1st ed),vol(1), 220-300P .

[12]Supurling,Mason,(1993),"The Virial Equation Of State " ,The international Encyclopedia Of Physical Chemistry and Chemical Physics, New york ,Volume 2,400-450p.

[13] Atkins, P.w, De Paula, J, & Friedman, R. (2014).
"Physical chemistry: quanta, matter, and change". Oxford
University Press, USA.

[14] McQuarrie, D. A. (2000). "Statistical Mechanics"
,University Science. Sausalito, CA, 222-223P.