مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (٤) العدد (٥) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- basic Sciences Series Vol. (4) No. (5) 2020

تشتت ثلاثة جسيمات ذات تأثير متبادل فعال
(جسيم منفرد – جسيمين مرتبطين)

د. علي محمد محمود*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٠/٩/٢٠. قُبِل للنشر في ٢٨/ ١٠ /٢٠٢٠)

□ ملخّص □

باستخدام تعريف الكمون الفعال المقترح من قبل فرنسيس وباتسون وطريقة تصميم فيشباخ وطريقة المعادلات التكاملية لفاديف، تم تطوير شكل محدد من ثلاث جسيمات ذات تأثير متبادل بين الجسيم ونظام ثنائي الجسيمات، والذي يأخذ في الاعتبار عدة تبعثرات (تشتتات) متتابعة للجسيمات في الجملة.

كما تم اشتقاق جملة من المعادلات التكاملية المرتبطة بمكونات المؤثر R، الذي يتوافق مع التأثيرات المتبادلة في الحالات غير المرنة، والتي بمساعدتها يتحدد كمون التأثير المتبادل الفعال.

تبين أن حل المعادلات من أجل R يعتبر مسألة أكثر بساطة من مسألة ثلاث جسيمات بدون شروط حدية.

الكلمات المفتاحية: الكمون الفعال، تأثير متبادل، تشتت غير مرن، المعادلات التكاملية لفاديف، تبعثرات متتالية.

*أستاذ مساعد في قسم العلوم الأساسية_ كلية الهندسة التقنية_ جامعة طرطوس.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (٤) العدد (٥) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- basic Sciences Series Vol. (4) No. (5) 2020

Scattering of Three Particles with Mutual Active Effect (A Solitary Particle – Two Bounded Particles)

Dr. Ali Mohammad Mahmoud*

(**Received 20 /9 /2020. Accepted 28/ 10 /2020**)

□**ABSTRACT** □

Using definition of the suggested, effective potential by Francis and Watson, the designing method of Fischbach and Faddew's method of the integrative equations - a definite form of three particles with mutual effective between a single particle and double particles system that take into consideration several consecutive scatterings for the particles in the set- have been developed.

A set of integral equations connected with components of the effective R has been derive which corresponds to the mutual effects in the inelastic cases through which the mutual, active effective potential is determined.

It is obviously clear that solution of equations with the effective R is simpler compared with the problem of three particles without boundary conditions.

Key words: Effective Potential, Mutual Effect, Inelastic cases, The Integrative Equations, Consecutive Scatterings.

* Professor assistant at Department of Basic Sciences, Faculty of Technology Engineering, Tartous university.

مقدمة

إن مفهوم التأثير المتبادل بين جسيم وجملة من الجسيمات المرتبطة وكذلك بين جملتين معقدتين، يستخدم على نطاق واسع في الفيزياء الذرية والجزيئية والنووية.

تحوي المعطيات (البيانات) حول التأثير المتبادل الفعال بين الجسيم والمجموعة، معلومات مهمة عن هيكلية (بنية) المجموعة وتشوهها في حقل جسيم آخر.

على سبيل المثال تحدد قوة التأثير المتبادل للاستقطاب بعيد المدى، الذي يصف انحراف التأثير المتبادل الفعال عن تفاعل كولون، غالباً على مسافات كبيرة، إحدى الخصائص الأساسية للجملة– استقطابها كثنائي قطب كهربائي.

في الفيزياء النووية تم استخدام الكمون الظاهري الفعال البسيط، المعروف باسم (كمون النموذج البصري) أو الكمون البصري، بنجاح لعدة عقود من الزمن وذلك من أجل تحليل البيانات التجريبية المتعلقة بتشتت النيكلونات أو (جسيمات أخرى) بواسطة النوى [1] أو نواة بواسطة نوى [2] .

يستخدم النموذج البصري بشكل واسع في تحليل البيانات حول التفاعلات النووية المباشرة لوصف تشتت جسيم بواسطة النواة أو نواة بواسطة نوى أخرى وذلك في بداية ونهاية الحالات [3]. ولكن التحليل الظاهري للبيانات بكل تأكيد لا يسمح بتحديد الكمون البصري.

تعتبر مسألة الوصف الميكروي (المجهري) للتأثير المتبادل الفعال بين الجسيم وجملة معقدة أو بين جملتين على أساس التأثير المتبادل المعطى بين اثنين من الجسيمات المكونة احدى أهم المسائل الموجودة في الفيزياء.

إن فكرة كمون التأثير المتبادل الفعال بين مجموعات منفصلة، ومتشكلة من بروتونات ونترونات في داخل نواة معقدة للغاية، وقد تم ادخالها من قبل أولر [4] وفق طريقة رنين المجموعات، التي اقترحها لوصف هيكل النوى وعمليات التشتت.

فيما بعد تحت عنوان (كمون النماذج البصرية) تمت صياغة مفهوم الكمون الفعال من قبل فرنسيس وفتوسن [5] وذلك لوصف التشتت المرن للجسيمات المعقدة. أما في [6] و [7] عند دراسة كمون التأثير المتبادل الفعال استُخدم مصطلح الكمون الوهمي، ومع مرور الزمن استخدمت تسمية مكافئة للكمون الفعال تحت اسم (الكمون البصري المعمم). أما فيشباخ [8] أنتج صيغة عامة لوصف مجموعة واسعة للعمليات النووية، التي تشمل التشتت المرن وغير المرن للجسيمات بواسطة النوى وكذلك التفاعلات النووية المباشرة.

تم الحصول على كميات كبيرة من المعلومات حول التأثير المتبادل بين جسيم و مجموعة وبين مجموعتين كنتيجة للحسابات التي أجريت وفق طريقة مجموعات الرنين [9].

وبناء على الطريقة المعاد صياغتها المعممة لمجموعات الرنين، تم اجراء دراسة مجهرية تفصيلية لخصائص التفاعلات العنقودية بواسطة شميت [10].

كما تمت دراسة الميزات المحددة للتأثير المتبادل بعيد المدى بين جسيم مشحون خفيف ومجموعة أو جملة [11].

تعتبر الدراسات حول امكانية التفاعل الفعال في أبسط الأنظمة الصغيرة التي يمكن اجراء تحليل دقيق لها رياضياً، ذات أهمية أساسية خاصة [12].

في [13] تم دراسة مسألة النتائج المجهرية للتفاعل الفعال في حالة خاصة من تشتت كولون للجسيم بواسطة جملة مركبة في سياق دراسة سلوكه التقريبي على مسافات كبيرة، وهذا ما يسمى بالكمون المستقطب.

في النماذج قيد الدراسة، التفاعل الزوجي الخارجي بين جسيم متشتت مشحون وأحد جسيمات الجملة عبارة تفاعل كولوني بحت. أما التأثير المتبادل الداخلي، الذي يضمن انشاء جملة في حالة مرتبطة، يكون نووياً. مع مرور الوقت تم في [14] استخدام الطريقة السابقة في حالة المسافات المتوسطة (دفع خارج مجال الطاقة). حيث وجد أن تأثير التعويض الكامل لشحنة ثنائي قطب والشحنة الرباعية يحدث لجميع الأجزاء شبه القطرية من مصفوفة الكمون الفعال، وليس فقط في حالة المسافات الكبيرة.

في الحالة العامة، عندما تؤثر القوى النووية بين كل زوجين من الجسيمات، تتعقد مسألة تحديد التأثير المتبادل الفعال بصورة واضحة. في هذه الحالة يجب أن يكون كمون التأثير المتبادل الفعال محدداً مهما كانت المسافات بين الجسيم والجملة، لذلك تحديد كمون التأثير المتبادل الفعال يجب أن يكون مصاغ منذ البداية.

علاوة على ذلك، في حالة التأثير المتبادل النووي الخارجي المعادلة الموافقة، التي تحدد الكمون الفعال يجب أن تكون محلولة بدقة، لكي نضمن الحسابات المتتالية لعمليات التشتت المختلفة لكل الجسيمات.

إن هذا البحث مبني على أساس تحديد كمون التأثير المتبادل الفعال، المقترح في [5] ، الذي يستخدم فيزيائياً بشكل واسع. وباستخدام طريقة معادلات فاديف التكاملية [12] تم بتطوير نظرية التشتتات المتتالية لثلاث جسيمات، والتي تخص كمون التأثير المتبادل الفعال بين جسيم وجملة مؤلفة من جسيمين في الفضاء بأكمله.

إن تطوير الهيكلية العامة لكمون التأثير المتبادل الفعال لجسيم واثنين من المركبات المعقدة جزئياً [15] انطلاقاً من معادلة ليبمان شفينغر لمسألة تشتت الجسيم بواسطة الجملة، تم في الجزء الأول من هذا البحث.

في القسم الثاني، باستخدام تقنية الاسقاط وادخال المؤثر R [16]، الذي يتوافق مع التأثير المتبادل الخارجي في حالة التشتت غير المرن، تم ادخال مسألة حل معادلتين تكامليتين محددتين بواسطة المؤثر R وإسقاط حالة الموجة الإجمالية على الحالة المرتبطة لجسيمين.

وفقاً لفاديف تم صياغة مكونات المؤثر R لجملة معادلات تكاملية موافقة لنوى مرتبطة.

هدف البحث

يهدف البحث إلى الحصول على الصيغة العامة لشكل التفاعل بين جسيم وجملة مؤلفة من جسيمين وجملة مؤلفة من جسيمين وتحديد الكمون الفعال المكافئ للتشتتات المتعددة للجسيم مما يضمن ايجاد الكمون الفعال في كامل الفراغ.

أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في أن تطوير نظرية التشتتات المتتالية لجملة مؤلفة من جسيم منفصل وجسيمين مرتبطين، التي تفيد في إيجاد البنية العامة لكمون التأثير المتبادل في الفضاء بأكمله.

تشتت جسيم على جملة مرتبطة مؤلفة من جسمين

لندرس تشتت الجسيم ١ على جملة مرتبطة مؤلفة جسمين نرمز لهما بـ ٢ و٣ ، نعلم أن الهاملتوني لجملة مؤلفة من ثلاث جسيمات بأخذ الشكل:

$$H = H_0 + V \qquad (١)$$

حيث $H_0 = h_0^{23} + h_0^1$ _ مؤثر الطاقة الحركية (h_0^{23}, h_0^1) علماً أنَ:

h_0^{23} – مؤثر الطاقة الحركية للحركة النسبية للجسيمين ٢ و ٣.

h_0^1 – مؤثر الطاقة الحركية للحركية النسبية للجسيم ١ومركز الكتلة للجسيمين ٢ و ٣.

أما $V = v_{12} + v_{23} + v_{31}$ – مؤثر التأثير المتبادل في الجملة، حيث (v_{ij} _كمون التأثير المتبادل الزوجي بين الجسيم i والجسيم j وللسهولة نفرض أن جميع الجسيمات مختلفة.

إن التابع الموجي (ψ) لهذه الجملة ، الذي يصف تشتت الجسيم ١ على جملة مرتبة (٣،٢) يحقق معادلة (ليبمان – شيفينغر)(Schwinger – Lippann) التكاملية التالية:

$$\psi = \phi_0 + G_{23}(E) v_1 \psi \qquad (٢)$$

حيث ($\boldsymbol{\phi_0}$) –التابع الموجي للحالة الابتدائية التقريبية ، حيث عند ادخال كمون التأثير المتبادل (v_{31} و v_{12}) تتحول إلى:

$$\phi_0(23,1) = \psi_0(23)\varphi_0(1) \qquad (٣)$$

حيث $\psi_0(23)$– التابع الموجي لجملة الجسيمين المرتبطين (٢،٣) وطاقة أساسية b – ، كما أن

$$(h_0^{23} + v_{23} + b)\psi_0 = 0 \qquad (٤)$$

$\varphi_0(1)$ التابع الموجي الذي يصف الحركة النسبية الحرة للجسيم ١ ومركز كتلة الجملة المكونة من الجسيمين (٢ و ٣) مع دفع نسبي (p_0) حيث $v_1 = v_{12} + v_{31}$: مؤثر التأثير المتبادل بين الجسيم ١ والجسيمات المؤلفة من تركيب ثنائي (١,٢) و (٣,١).

في هذه المسألة المؤثر

$$G_{23}(E) = (E - H_0 - v_{23})^{-1} \qquad (٥)$$

يلعب دور تابع غرين غير المضطرب، حيث E – الطاقة الكلية للحركة النسبية في جملة مؤلفة من ثلاث جسيمات وتأخذ الشكل التالي:

$$E = \varepsilon - b \qquad (٦)$$

(ε)− طاقة الحركة النسبية لجسيم منفرد وجسيمين مجتمعين،

أي $\left(\varepsilon = -\frac{{p_0}^2}{2V_1}\right)$

حيث $\left(V_1 = m_1(m_2 + m_3)/(m_1 + m_2 + m_3)\right)$ − تمثل الكتلة المختزلة للجسيم ١ والجسيمين ٢ و ٣ مجتمعين.

إن المؤثر:

$$v_1 = v_{12} + v_{31} \qquad (٧)$$

مع مؤثر التأثير المتبادل الكموني بين الجسيم وجملة مؤلفة من جسيمين (تأثير متبادل خارجي)، الذي يؤثر كمؤثر اضطراب ، يفقد تأثيره كلياً عندما تكون المسافة كبيرة بين الجسيم والجملة.

كما إن الكمون الفعال بين ١ و (٢،٣) يحدد وفق نموذج فرانسيس Francis و باتسون Patson [5] وفيشباخ [8,9] و يسمى الكمون البصري وذلك انطلاقاً من التابع الموجي (٢).

المؤثر R

لتحديد مجال (قناة) التشتت المرن بشكل واضح، نقوم بإسقاط المعادلة (٢) على أساس الحالة المرتبطة لجملة جسيمين في الفراغ والشاملة لجميع حالاتها المضطربة بما في ذلك حالة الطيف المستمر.

لنؤثر على الطرف الأيسر من المعادلة (٢) بمؤثرات الإسقاط:

$$P = |\psi_0(23)\rangle\ \langle\psi_0(23)|\ \text{و}\ Q = 1 - P \qquad (٨)$$

فنجد من أجل مكونات التابع الموجي (Ψ) :

$$\Phi(23,1) = \mathrm{P}\Psi(23,1)\ \text{و}\ \Gamma\ (23,1) = Q\Psi(23,1) \qquad (٩)$$

عندها نحصل على جملة معادلات مرتبطة

$$\Phi = \Phi_0 + G_{23}^{P}(E)v_1(\Phi + \Gamma) \qquad (١٠)$$

$$\Gamma = G_{23}^{Q}(E)v_1\ (Q + \Gamma)$$

حيث المؤثران (G_{23}^{P}) و (G_{23}^{Q}) يعتبران من مكونات مؤثر غرين G_{23}

$$G_{23}(\mathrm{E}) = G_{23}^{P}(E) + G_{23}^{Q}(E) \qquad (١١)$$

$$G_{23}^{P}(E) = PG_{23},\ G_{23}^{Q}(E) = QG_{23}(E)$$

بالتعويض عن (Γ) من خلال (Φ) نجد من المعادلة (١٠)

$$\Gamma = G_{23}^{Q}\ (\mathrm{E})\mathrm{R}(\mathrm{E})\Phi \qquad (١٢)$$

حيث المؤثر:

$$R\ (E) = \left|1 - v_1\ G_{23}^{Q}\ (\mathrm{E})\right|^{-1}\quad v_1 \qquad (١٣)$$

يحقق المعادلة التكاملية

$$R\ (E) = v_1 + v_1 G_{23}^{Q}\ (\mathrm{E})\mathrm{R}\ (\mathrm{E}) \qquad (١٤)$$

بوضع النتيجة (١٢) في المعادلة (١٠) نحصل على

$$\Phi = \Phi_0 + G_{23}^{p}\ (E)R\ (E) \qquad (١٥)$$

إن المعادلة (١٤) من أجل المؤثر R والمعادلة (١٥) من أجل التابع Φ مكافئان لجملة المعادلات المرتبطة (١٠) أو للمعادلة (٢) باستخدام المعادلة (١٢) نجد أن التابع الموجي $(\Psi = \Phi + \Gamma)$ يعبر عنه من خلال R و (Φ) كما يلي:

$$\Psi = |1 + G_{23}^{Q}\ (\mathrm{E})\mathrm{R}(\mathrm{E})\Phi \qquad (١٦)$$

بالتأثير من اليسار على المساواة (١٦) بمؤثر التأثير المتبادل الكموني (v_1) واستخدام المعادلة (١٤) نحصل على العلاقة

$$v_1\Psi = R\Phi \qquad (١٧)$$

إن ايجاد المؤثر R يعتبر أساسياً في تحديد الكمون الفعال للتأثير المتبادل بين جسيم وجملة مؤلفة من جسيمين. إنه يلعب دور مؤثر الانتقال في كل الحالات غير المرنة كما في المعادلة (١٤) التي تحدده، كما أنَ مؤثر التأثير المتبادل يعتبر مجموع كل التأثيرات المتبادلة الخارجية الزوجية، أما مؤثر غرين

$$G_{23}^{Q}(E) = G_{23}(E) - PG_{23}(E)$$

يساعد في حساب كل الاضطرابات الافتراضية الممكنة للجملة المؤلفة من الجسيم (٢، ٣) في الحالات الوسطية بما في ذلك الطيف المستمر.

نلاحظ أن نواة المؤثر (G_{23}^{Q}) ، الذي يدخل في المعادلة (١٤) والمختلفة عند نواة المؤثران (G_{23}^{P}) و (G_{23})، ليست فردية موجبة كنواة كوشي في نقطة، التي تتوافق مع الحالة المرتبطة الأساسية للجملة، حيث الطاقة الحركية للحركة النسبية للجملة تساوي (ε).

تحتوي المعادلة (١٤) في جوهرها على المؤثر (v_1) على شكل مجموع مؤثرات زوجية التفاعل [7].

إن إزالة الحد المفرد $(v_1\ G_0)$ من النواة ونقله إلى الجانب الأيسر يمكننا من تحويل المعادلة (١٤) إلى الشكل:

$$R\ (E) = T_1(E) + T_1(E)\left[G_{23}^{Q}(E) - G_0(E)\right]R(E) \qquad (١٨)$$

حيث المؤثر (T_1) معرّف بمعادلة ليبمان– شفينغر

$$T_1(E) = v_1 G_0(E)T_1(E) \qquad (١٩)$$

أما $(G_0(E)\ = (E_+ - H_0)^{-1}$ ، فهو تابع غرين الذي يصف ثلاث جسيمات حرة .

في المعادلة (١٨) المؤثر (T_1) الموافق لكمون التأثير المتبادل الخارجي (v_1) ، احتوى على الجزء الفردي من المؤثر R، الموجود في الحد $v_1 G_0$ في نواة المعادلة التكاملية (١٤).

يمكن صياغة المؤثرات المنظمة لمعادلة فاديف من أجل جملة نظامية و تجزئتها بالشكل ($T_1, T_1{}^{12}, T_1{}^{31}$) حيث :

$$T_1 = T_1{}^{12} + T_1{}^{31}$$

علماً أن:

$$T_1^{\alpha}(E) = v_{\alpha} G_0(E) T_1(E), \alpha = 12,31 \qquad (٢٠)$$

وبالتالي

$$T_1^{\alpha}(E) = T_{\alpha}(E) + T_{\alpha}(E) G_0(E) \sum_{\beta \neq \alpha} T_1{}^{\beta}(E) \qquad (٢١)$$

حيث المؤثر (T_{α}) محدد بمعادلة ليبمان شفينغر

$$T_{\alpha}(E) = v_{\alpha} G_0(E) T_{\alpha}(E) \qquad (٢٢)$$

حيث (α) و (β) يأخذان قيمتين ١٢ و ٣١

بدلاً من ذلك، نظراً للطبيعة المزدوجة لإمكانية التفاعل الخارجي (٧) (v_1)، يمكننا تطبيق طريقة فاديف [16] مباشرة على معادلة المؤثر (١٤) R وكتابة المؤثر R في شكل مجموع لأربع مكونات موافقة لكمونين ثنائيين ضمن تأثير متبادل خارجي:

$$R(E) = \sum_{\alpha\beta} R_{\alpha\beta}(E) \qquad (٢٣)$$

أي

$$R_{\alpha\beta} = v_{\alpha} \delta_{\alpha\beta} + v_{\alpha} G_Q v_{\beta} \qquad (٢٤)$$

$$G_Q = G_{23}^{Q} + G_{23}^{Q} R\, G_{23}^{Q} \ , \ \alpha, \beta = 12,31$$

نتيجة لذلك، نحصل على معادلات نظامية لمكونات المؤثر $(R_{\alpha\beta})$:

$$R_{\alpha\beta}(\mathrm{E}) = R_{\alpha}(E) \delta_{\alpha\beta} + R_{\alpha}(E) G_{23}^{Q}(E) \sum_{\gamma \neq \alpha} R_{\gamma\beta}(E) \qquad (٢٥)$$

حيث المؤثر (R_{α}) محدد بالمعادلة

$$R_{\alpha}(\mathrm{E}) = v_{\alpha} + v_{\alpha} G_{23}^{Q}(E) R_{\alpha}(\mathrm{E}) \qquad (٢٦)$$

حيث α, β, γ تأخذ القيم ١٢ و ٣١ –

إن المعادلة (٢٥) تتألف من جزيئين مستقلين لمعادلتين مرتبطتين في كل منهما $(R_{12,12}, R_{31,12}, R_{31,31}, R_{12,31})$

مناقشة النتائج

نلاحظ أنه عندما تكون المسافة كبيرة بين الجسيم ١ والجملة المؤلفة من الجسيمين الآخرين، يمكن اهمال مؤثر التأثير المتبادل الكموني الموافق، كما أن الكمون الفعال في حالة التأثير المتبادل يحدد باستخدام المؤثر R أما مؤثر غرين يساعد في حل المسألة في حال وجود حد اضطراب وكذلك في حالة الطيف المستمر. وهكذا نجد أن المؤثرات المنظمة لمعادلة فاديف والموافقة لكمون التأثير المتبادل الخارجي (v) تحتوي على الجزء الفردي من المؤثر R الموجود في نواة المعادلة التكاملية (١٤).

الاستنتاجات والتوصيات

١- تم التوصل إلى صيغة عامة لشكل التفاعل بين جسيم وجملة مؤلفة مرتبطة مؤلفة من جسيمين.

٢- لكي نحدد الكمون الفعال، يحب أولاً إيجاد المؤثرR ، الذي يلعب دور مؤثر الانتقال في المجالات المرنة، عن طريق ايجاد حلول للمعادلة (١٤) أو (١٨) .

٣- نلاحظ أنه لتحديد الكمون الفعال عن طريق ايجاد الحل المباشر للمعادلة (١٨) من أجل R يمكن أن يكون أكثر بساطة من تحديد حل عام لمسألة ثلاث جسيمات.

٤- إن نواة المعادلة التكاملية من أجل R لا تحتوي حدود فردية موجبة، موافقة لحالة مرتبطة مؤلفة من جسيمين، ولذلك هي أقل فردية بكثير من النواة الموافقة لثلاث جسيمات.

٥- إن الحل الدقيق للمعادلة (١٨) من أجل R يكافئ حساب أثر التشتتات المتعددة للجسيم. وهذا يضمن ايجاد الكمون الفعال في كامل الفراغ.

٦- يمكن البحث في أنماط أخرى مكونة من ثلاث جسيمات وايجاد التأثير المتبادل الفعال في أنظمة ذات تفاعلات زوجية مع نصف قطر محدد أو مع نصف قطر بعيد المدى وذلك في جملة مؤلفة من جسيم مشحون وجسيمين آخرين مؤلفين حالة مرتبطة.

المراجع

1. Hodgson P.E.(1996*). Optical model of elastic scattering*- Atom publisher.
2. Hodgson P.E. (1978). *Nuclear Heavy- Ion Reaction*- oxford: clarendon press.
3. Austern N.(1980). *Direct Nuclear Reaction theory*- New York: wiley.
4. Weeler. J.A. (1937*). Phys Rev*- N 11-P(1083-1106).
5. Fransin N.C Watson.(1953). *Theory collision*-. P(291-303).
6. Holdberger. M . Batson. K. (1976). *Theory collision*- M: Mir.
7. Joachain. J. (1975). *Quntum collision theory* – Amsterdam: North Holland.
8. Fesbach.H.(1958). *Annals of physics*- New York -N3 ,P (357-390).
9. Byldermum .K.Ton. Y.(1980). *Uniffed core theory*. Mir, P (241-270).
10. Schmid. E.W. (1986*). Phys. Rev*. N2, P(691-704).
11. Kurjnets .D.A, Pankof. F.M. (1993). *Theoretical physics*, P(80-93).
12. Faddenf. L.*D Mathematical questions of quantum scattering theory for a three-particale system* . P)69-91).. (1993).
13. Kharchenko. V.F, Shadchin . *S.A, Permyakov.V.S.A*. (1999). Phys- work, N1- P(1-4).
14. Kharchenk.V.F, Shadchin . S.A.(2009). *Few body systems*, P (45-67).
15. Berzen. V.S. *The scattering of three particles in dimension*. Math. Phys. V.13. P563-580, 2015.
16. Haurst.B.S. *Three interacting in an dimension*. T.math. phys. V.37.p 155-168.2017.