Effect of magnetic field on quantum dot semiconductor laser

Safa Mahmoud Naịm

University of Babylon, Faculty of Science for Girls, Department of Laser Physics
Correspondence author safanagim3@gmail.com

ABSTRACT

The quantum dot laser is the latest generation in a series of laser developments in general and semiconductors in particular. As long as this laser has become widely available, its application importance has increased in various fields such as communications. Semiconductor lasers differ from ordinary solid-state lasers in the method of pumping energy and in containing broad bands of energy levels instead of single levels between which transitions occur that participate in the emission process. Laser, where each beam contains a large number of close energy levels whose presence is not associated with specific atoms, but rather is shared by the crystalline material, and the increase in the value of the optical gain factor is related to the amount of current that passes through the link of the semiconducting medium. A semiconductor laser is a laser made of a semiconductor material characterized by a direct bandgap. The most common type is a calcium arsenide diode, which emits infrared rays with a wavelength of 0.85 microns.

Keywords: Magnetic fields, lasers, semiconductors, quantum dots

تأثير المجال المغناطيسي على ليزر اشباه الموصلات النقطي الكمي

صفا محمود نجم لفته

safanagim3@gmail.com

جامعة بابل/ كلية العلوم للبنات / قسم فيزياء الليزر

الملخص

يعّد ليزر النقطة الكمية الوليد الأحدث في سلسلة تطورات الليزر عموما وأشباه الموصلات خصوصا . وطالما أصبح هذا الليزر متوفرا بشكل واسع زادت أهميته التطبيقية في مجالات مختلفة مثل الاتصالات, تختلف ليزرات شبه الموصل عن ليزرات الحاله الصلبه الاعتياديه في طريقة الضخ الطاقي وفي احتوائها على حزم عريضه من مستويات الطاقة بدلا من المستويات المفردة التي تحدث بينها الانتقالات التي تشارك في عملية الانبعاث الليزري ، حيث تحتوي كل حزمه على عدد كبير من المستويات الطاقية المتقاربه والتي لا يقترن وجودها بذرات معينه وانما تشترك فيها الماده البلوريه ويكون ازدياد قيمه عامل الكسب الضوئي المتعلق بمقدار التيار الذي يمر عبر وصلة الوسط شبه الموصل. وان ليزر اشباه الموصلات هو ليزر من مادة شبه موصله تتميز بنها ذات فجوه حزميه مباشره واكثر انواعها شيوعا هو دايود زرنيخ الكاليوم الذي يصدر اشعه تحت الحمراء بطول موجي ٠,٨٥ ميكرون.

الكلمات المفتاحية : المجال المغناطيسي , الليزرات , اشباه الموصلات, النقاط الكمية.

١ – ١ المقدمة (Introduction)

كلمه ليزر (Laser) هي اختصار للأحرف الأولى لكلمات الجملة الانكليزية : (light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) والتي تعني (تضخيم الضوء بالانبعاث المحتث للإشعاع .). يقوم الليزر بتوليد نوع مميز من الضوء يختلف في خصائصه عن الضوء الطبيعي الصادر عن الشمس والنجوم والضوء الاصطناعي الصادر عن مختلف انواع المصابيح الكهربائية[1]. ويتميز ضوء الليزر بعده خصائص اهمها ان كامل الطاقة الضوئية تتركز في اشعاع له مقطع عرضي متناهي في الصغر قد لا يتجاوز في بعض انواعه عده ميكرو مترات مربعة ولهذا فاته يسير لمسافات طويله محتفظا بطاقته ضمن هذا الشعاع الدقيق. [2] وبما ان جميع الطاقة الضوئية التي يولدها الليزر تتركز ضمن هذا المقطع الصغير للشعاع فانه بالإمكان الحصول على شده اضاءه قد تزيد بملايين المرات عن شده الضوء الصادر عن الشمس او المصابيح الكهربائية. اما الخاصية الثانية فهي ان ضوء الليزر يتكون من حزمه ضيقه جدا من الترددات بعكس انواع الضوء الأخرى التي تتكون من طيف واسع من الترددات ولذا فهي تبدو للعين كضوء ابيض يحتوي على جميع الوان الطيف المرئي بينما يبدو ضوء الليزر للعين بلون واحد عالي النقاء كاللون الاحمر والازرق والاخضر [3]. ويعتبر اختراع الليزر من اكثر الاختراعات اثاره في هذا العصر حيث لم يكن يخطر على بال احد ان هذا المصدر الضوئي البسيط سيفتح أبوابا لا حصر لها من التطبيقات ذات الأهمية البالغة في حياة البشر. فلقد تساءل العلماء بعد تصنيع أول ليزر في عام ١٩٦٠ عن ما ستكون التطبيقات لهذا الجهاز حيث ان الدافع وراء الابحاث المكثفة التي ادت لاختراع الليزر كان لإشباع فضول العلماء ليس الا وذلك على العكس من كثير من الاختراعات والتي كانت الحاجه وراء اختراعها. ولكن وبعد مضي سنوات معدودة تلقف العلماء في مختلف الاختصاصات هذا الاختراع واستخدموه في تطبيقات لا حصر لها وقد احدث ثورة لا تقل عن الثورة التي احدثها الصمام الالكتروني والترانزستور. فعلا سبيل المثال فقد ادرك مهندسو الاتصالات الكهربائية اهمية هذا الاختراع بعد أن تبين لهم ان ضوء الليزر يمكن ان يستخدم بديلا عن الموجات الراديوية كحامل للمعلومات وذلك لقدرته على حمل كمية معلومات تفوق بألاف المرات قدره اعلى الحاملات الراديوية وذلك بسبب ارتفاع ترددات ضوء الليزر[4]. واما مهندسو الميكانيك فقد تبين لهم شده تركيز ضوء الليزر في استخدامه لقطع وقص الألواح المعدنية وغير المعدنية بدقه متناهيه وبالشكل الذي يريدونه لتلبي حاجه مختلف الصناعات وكذلك استخدامه في عمليات لحام المعادن. اما المهندسون المدنيون فقد وجدو في شعاع الليزر المرئي الذي يسير لمسافات طويله على شكل خيط دقيق ضالتهم المنشودة في اعمال المساحة والانشاءات بمختلف انواعها وذلك لضبط استقامتها وقياس الابعاد. أما الأطباء فقد كان لهم نصيب اوفر من هذا الاختراع فقد استخدموه كمشرط عالي الدقة لا يترك نزفا وراءه وقد يصل لاماكن في جسم الانسان لا يمكن ان تصل اليه مشارطهم المعدنية الا بعد حدوث ضرر كبير.[5] واستخدموه في تصحيح البصر وازالة الأورام وتفتيت الحصى وحفر الاسنان وازاله البثور والحبوب والتجاعيد والدمامل (الخراج) وغيرها من امراض وعيوب الجلد.

2–1–شروط حدوث الاشعاع المحتث (الليزر)

ان تثار ذرات المادة لمستويات طاقة عالية وبأعداد هائلة ويتم ذلك بتطبيق طاقة اثارة مناسبة عليها ان تكون المادة الفعالة المستعملة ذات ثلاث مستويات للطاقة او اكثر . ان توضع المادة الفعالة بين مرأتين كي يتحقق انعكاسات متعددة للشعاع بينهما وبالتالي تحقيق أكبر عدد ممكن من الاصدارات الحثوثة ذات الفوتونات المتماسكة. [6] أن تطبق على الجملة طاقة حقن خارجي كي تحدث اثارة لذرات المادة وشحنها بالطاقة وبالتالي لجعلها جاهزة ومهيأة لإطلاق الفوتونات المتماسكة حال حدوث اصطدامات مع فوتونات سريعة تعبر المادة. وهكذا يقصد بالإصدار المحتث الليزري هو ان نضبط ونروض بلاين المحركات الانفجارية الصغيرة في المادة الفعالة وهي الالكترونات بان تمتص الطاقة الواردة افراديا ونجعلها تحرر تلك الطاقة دفعة واحدة بشكل فوتونات متماسكة [6]

١–3 مبدا عمل الليزر

قام أينشتاين في عام ١٩١٧ بدراسة تفاعلات الامواج الكهرو مغناطيسية او ما يسمى اختصارا بالإشعاع(Radiation] مع ذرات المادة ووجد ان هناك ثلاثة انواع من التفاعلات وهي

١-3-١ – الامتصاص :(Absorption) وفيها تقوم ذرات المادة بامتصاص فوتونات الاشعاع المسلط عليها وتعمل طاقة الاشعاع الممتص على رفع الالكترونات من مدارات منخفضة الطاقة الى مدارات عالية الطاقة وتصبح الذرات في حالة الاثارة [7] (excited state). ولا يتم امتصاص الفوتونات من قبل المادة الا اذا كانت طاقتها تزيد عن فرق الطاقة بين المدارات الإلكترونات لذرات تلك المادة ولذا تكون المواد شفافة لجميع الإشعاعات التي تقل ترددتها عن قيم محدده تتحدد من التركيب الذري لتلك المواد كما هو الحال في الزجاج.

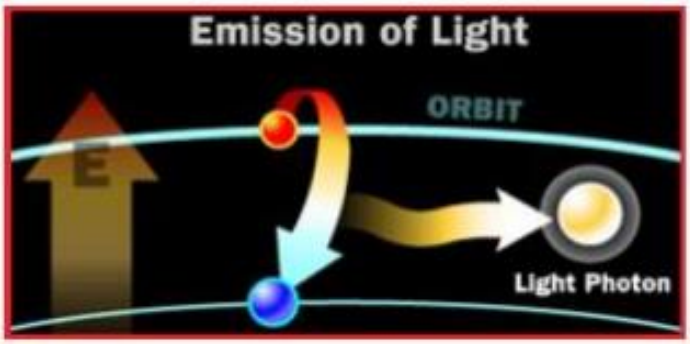
الشكل (٣-١) ظاهرة الامتصاص

١-3-2 الانبعاث التلقائي (Spontaneous mission) وفيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرو مغناطيسيه نتيجة نزل الالكترونات من المدارات عالية الطاقة الى المدارات منخفضة الطاقة وان الاشعاع التلقائي الصادر عن المادة المثارة يسمى اشعاعا غير مترابط (Noncoherent radiation) وذلك لان الإلكترونات تنزل من تلقاء نفسها وبطريقة عشوائية بين مدارات الذرة المختلفة ولذلك فان هذا الاشعاع يحتوي على عدد كبير جدا من الترددات وتعتمد مصادر على عملها.[8]

الشكل (١-٤) ظاهرة الانبعاث التلقائي

١- 3 – ٣ الانبعاث المحتث (Stimulated Emission) وفيها تقوم الذرات المثارة باشعاع موجات كهرو مغناطيسية نتيجة نزول الالكترونات من مدارات عالية الطاقة الى مدارات منخفضة الطاقة ولكن ليس بطريقة تلقائية وعشوائية كما في الانبعاث التلقائي بل نتيجة لحثها باشعاع له تردد محدد ان الاشعاع المحتث الصادر عن المادة المثارة يسمى اشعاع مترابط (Coherent) وذلك لان الموجات الكهرو مغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد وطور يساويان تماما تردد وطور الامواج التي قامت بحث الالكترونات على الاشعاع ولذلك فان هذا الاشعاع له تردد واحد من الناحية النظرية. ويمكن

حساب تردد الإشعاع المنبعث من المادة من خلال تقسيم فرق الطاقة بين المدارين الذي انتقل بينهما الإلكترون بثابت بلانك. [9]



الشكل(5–1) ظاهرة الانبعاث المحتث

4–1 النقاط الكمومية

بدأ مجال البحوث في النظم ذات الأبعاد المنخفضة مثل الآبار الكمومية، والأسلاك الكمومية، والنقاط الكمومية (QDs) يظهر بسرعة من أجل التطبيقات التكنولوجية الواعدة في الفيزياء والكيمياء والأحياء. ومن بين الأنظمة منخفضة الأبعاد، تم دراسة نظام الجودة العالمي بشكل في السنوات القليلة الماضية من حيث التجارب. تقوم QDs القائمة على طبقة رقيقة على البحث عن تطبيقات واسعة في الأجهزة الإلكترونية الفائقة والتصوير الطبي وتخزين المعلومات والحوسبة الكمية. إن احتجاز حاملات الشحن في منطقة QD يولد مستويات طاقة منفصلة مع تباعد قليل من الملي الكترون– فولت أو أكثر، فضلاً عن زمن عمر الحامل الطويل نسبيا. تجعل هذه الميزات من QD من هذه المادة الاختيار لعدد من الأجهزة مثل أشعة الليزر شبه الموصل وأجهزة كشف الصور ذات الثبات الحراري المحسن. وتستخدم QDS لتطوير الخلايا الشمسية منخفضة التكلفة وعالية الكفاءة والليزر شبه الموصل المستخدم في الاتصالات التي تنقل البيانات بسرعة عالية مع استهلاك منخفض للطاقة شاشات التلفزيون أو أجهزة الكمبيوتر التي يتم صنعه بواسطة QDS هي أجهزة أرفع، تستهلك طاقة منخفضة ومرنة. كما يمكن استخدام نظام بيانات قطر للأورام السرطانية لإنتاج صور لأورام السرطان. [10]

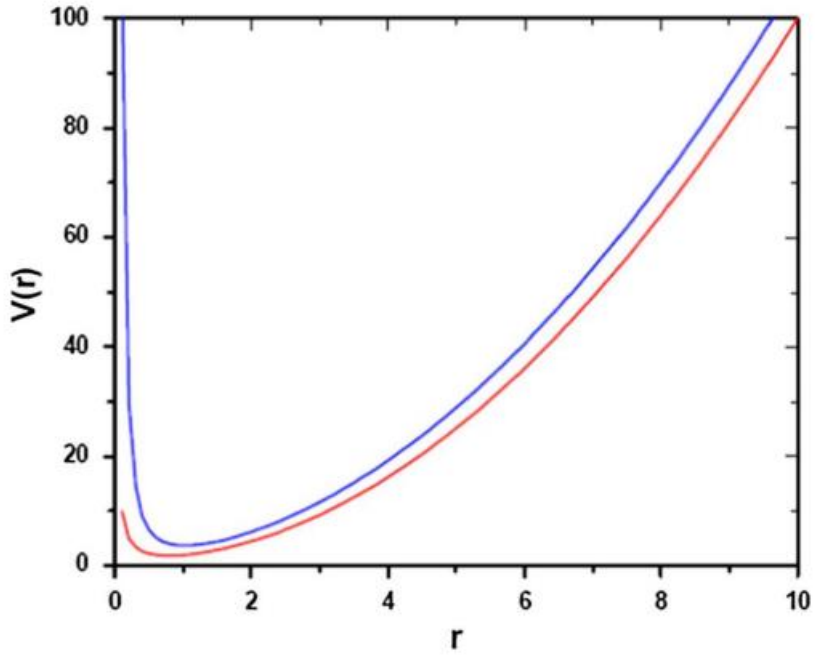
ولذلك، فإن توسيع قائمة التطبيقات التكنولوجية المستقبلية لنظام التوزيع العالمي، من المهم تحسين الخصائص الإلكترونية والبصرية لنظام التوزيع العالمي، التي تعتمد بدورها على مستويات الطاقة الإلكترونية من الناحية النظرية، يتم قياس طيف مستوى الطاقة في QD باستخدام التحليل الطيفي لنفق الإلكترون الواحد ، ولكن القياس النظري لطيف مستوى الطاقة في QD يستند إلى تقريبين أولاً، يجب أن تكون حركة الإلكترونات ثنائية الأبعاد وثانيا، تعتبر احتمالية التضييق التي كانت ترتبط بشكل جانبي بالإلكترونات في المستوى س ص كقطع مكافئ. قد يحتوي QD على إلكترون واحد إلى عدد عشوائي من الإلكترونات، ولكن أبسط نموذج لنظام QD يحتوي على إلكترونين محصورين بإمكانات قطع مكافئ ثنائي الأبعاد.[11]

إن معظم الدراسات المتعلقة بثنائية الأبعاد لكترون QD يتم إجراؤها باستخدام مصطلحات التوافقية زائد كولوم المحتملة أي V r. ولكن لتحقيق وضع إلكتروني أفضل، في هذه الدراسة، نضم مصطلحاً محتملاً غير موج في مزيج من إمكانيات التوافقية والكولومب. كما نضيف مصطلحاً محتملاً للتفاعل الخطي، لتجنب إزالة المصطلح المحتمل ج ر يتم إعطاء الإمكانية المقابلة كـ'

$$V(r) = ar^2 + br + \frac{c}{r} + \frac{d}{r^2}$$

حيث a,b,c معلمات الاقتران التعسفي للإمكانات. تظهر مقارنة رسومية بين إمكانيات وإمكانات Coulomb التوافقية والإمكانات (١) في الصورة رقم ١ يظهر من الصورة رقم 1 أن تضمين المصطلحات الخطية والأوهنية يجعل

الإمكانية أكثر فردية. في حالة وجود العديد من الأنظمة الإلكترونية، يصبح تفاعل كولوم (Coulomb) بين الإلكترونات معقدا في التعامل معه. لتحقيق البساطة، تم استبدال مصطلح تفاعل كولوم (Coulomb) بمصطلح Hartree المحتمل (علاقة الارتباط بين (الإلكترونات و Fock المحتمل إمكانية التبادل)؛ و يسمى الأسلوب المقابل للحصول على طيف الطاقة طريقة Hartree-Fock.



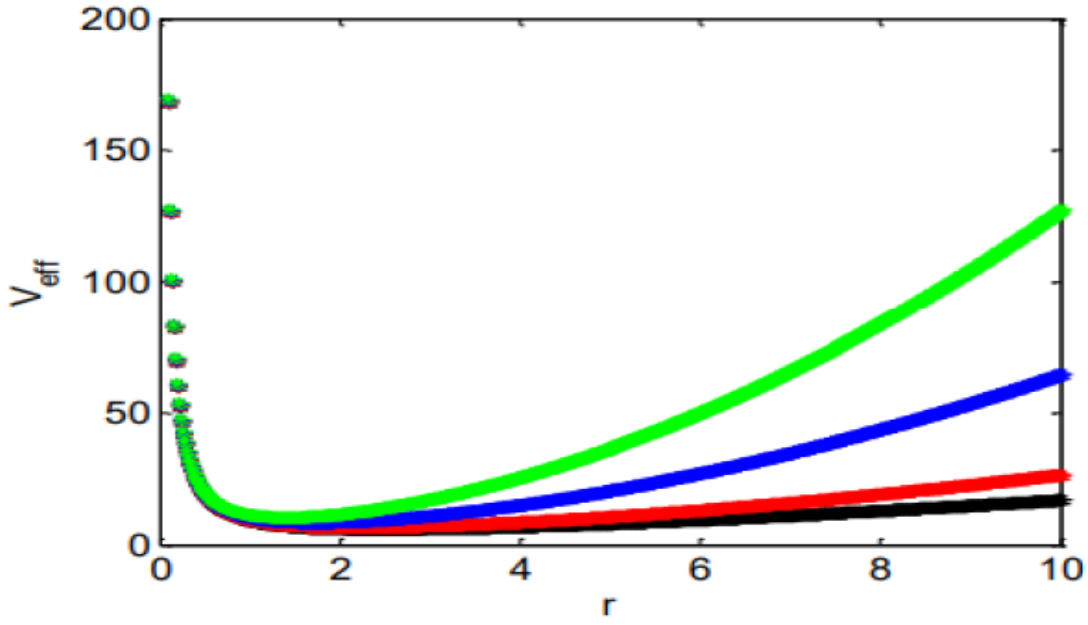
الشكل 1.1 الاختلاف في وظيفة الطاقة المحتملة مع قيمة المعلمات المحتملة

A=1 C=1 B =0.7442 D= 0.98 للحالة الأرضية يتوافق الخط الأحمر مع التوافقي زائد جهد كولوم ويتوافق الخط الأزرق مع الإمكانيات (١) لذلك، وبقصد إلقاء نظرة أكثر على الديناميكيات الأساسية لقيادة التوزيع، نقوم هنا، من الناحية التحليلية، بحل معادلة شرودينجر، من خلال النظر في إمكانية (١) المسؤولية عن الحبس الإلكتروني. نأمل أن توفر هذه الدراسة بعض البصيرة الأفضل لفهم الأنظمة منخفضة الأبعاد. 2.2 دوران الإلكترونات في النقاط الكمومية إن تطبيق دوران الإلكترونات في نقاط الكم لتوليد التشابك الإلكتروني ومعالجة المعلومات الكمية في أجهزة الحالة الصلبة هو من تجارب الحالية والاهتمام النظري التحكم في دوران الإلكترونات في نقاط كمية واحدة عن طريق ضبط المجال المغناطيسي الخارجي، وإمكانياته محدودة، تم توضيح عدد الإلكترونات ووصلة (زيمان – Zeeman) تبين أن الإلكترونات في مجال مغناطيسي قوي تشكل قطرة قاعة الكم الدوارة عند عامل تعبئة = ٢. تؤدي زيادة المجال المغناطيسي إلى الانتقال بين الدوران القلاب حتى يتم الوصول إلى عامل التعبئة المستقطب الدوار droplet.2 ترتبط الانعامات الدوارة بعد أول قلب دوران بالحالات المترابطة مثل الاستثارة الدورانية، التي يتم تحديدها ومراقبتها تجريبيا. توفر الجزيئات النمطية الكمومية إمكانية إضافية للتقارن والتحكم في عمليات الانتقال بين الدوران عن طريق ضبط حاجز النفق، الذي يتحكم في التوصيل بين النقاط. ١٤–١٨ – 21 للتحكم في الوقت الذي تم التدليل عليه مؤخرًا في ارتفاع حاجز الحفر والانحدار المحتمل، ٦ والحالة الكمية لدوران الإلكترون عن طريق تطبيق تذبذبات مجال مغناطيسي متأرجح Rabi، ٧ أدى إلى معالجة متسقة لدوارين إلكترونين مقرونة في جزيئات نقطة الكم. [12]

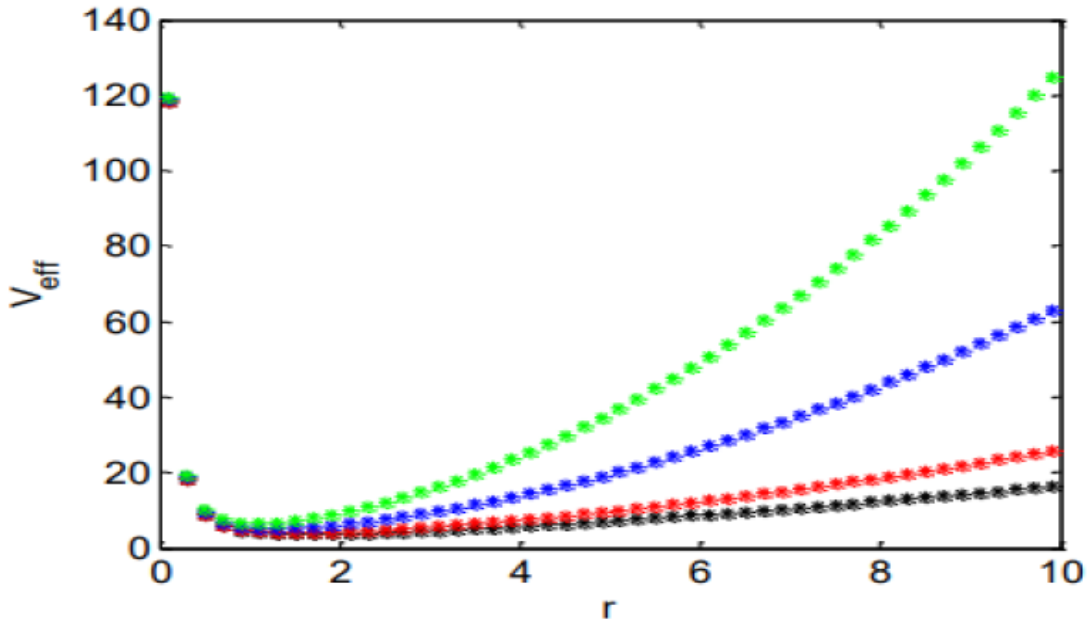
1–5 دراسة تأثيرات الجسم المتعددة في التحولات الدوارة

نحن ندرس من خلال دمج تفاعلات الكولومب الإلكترونية بين النقاط والداخل النقطة باستخدام تفاعل Hartree-Fock لتكوين النقطة -HF CI في الفضاء الحقيقي. نجد قطرات كوانتومهول ذات الصفر والاستقطاب الكامل، والتي يتم تعريفها على أنها = ٢ و = ١ قطرة قاعة الكم ١٤ قياساً على النقاط الكمية المفردة والفرمس المجسمية الكمومية. ٢٢ بين هاتين الولايتين، نجد سلسلة من التحولات المستمرة بين مراحل التلقيح المغزلية. هذه المراحل المستقطبة جزئيا تتوافق مع دوران. يجب أن يؤدي قلب كل نقطة معزولة في دوارة متزامنة إلى عدد زوجي من دوارة الدوران في نقطة مزدوجة. مؤخرا، وجدنا مراحل مس تقطبة جزئيا تتوافق مع عدد غريب من الانعكامات الدوارة. قد حددنا هذه الدول المترابطة على أنها كم٢ قاعة ferrim غائط. إن وجود مكانة متفردة لمستويين منفردين من مستويات SP في جهد مزدوج في شكل حالات متماثلة ومضادة للتماثل هو مثال من الكتاب المدرسي في ميكانيكا الكم، الذي يوضح تذبذب الشحنة المتماسك بين حالات الإلكترون المترجمة على بروتونات في H2 + جزيئات والتذبذب المتماسك بين الأحماض الأمينية اليمينية اليد واليد اليسرى. ٢٤ تتضمن الأعمال الأخيرة القائمة على هذا التأثير التحكم المتماسك في تذبذبات رابي من دوران الإلكترون في dots7 و وهناك مشكلة في صندوق كوبر المزدوج في المداخل المتناظرة للحبوب. تمثل الحالات المغناطيسية المعدنية في قاعة الكم أو الدوران غير المتوازن phases 2627 مظهراً مباشراً لنفقي ميكانيكي كمومي متماسك والارتباط بين النقاط الإلكتروني. ويمكن وصف هذه الحالات من حيث التوافيق الخطي من الاستثارة الدورانية المترجمة إلى نقاط يسرى ويمنى، والتي تؤدي بدورها إلى تذبذبات دوران متماسكة، مثل النظير الدوراني لتذبذبات الشحنة المتماسكة في الجزيئات Hz. [13]

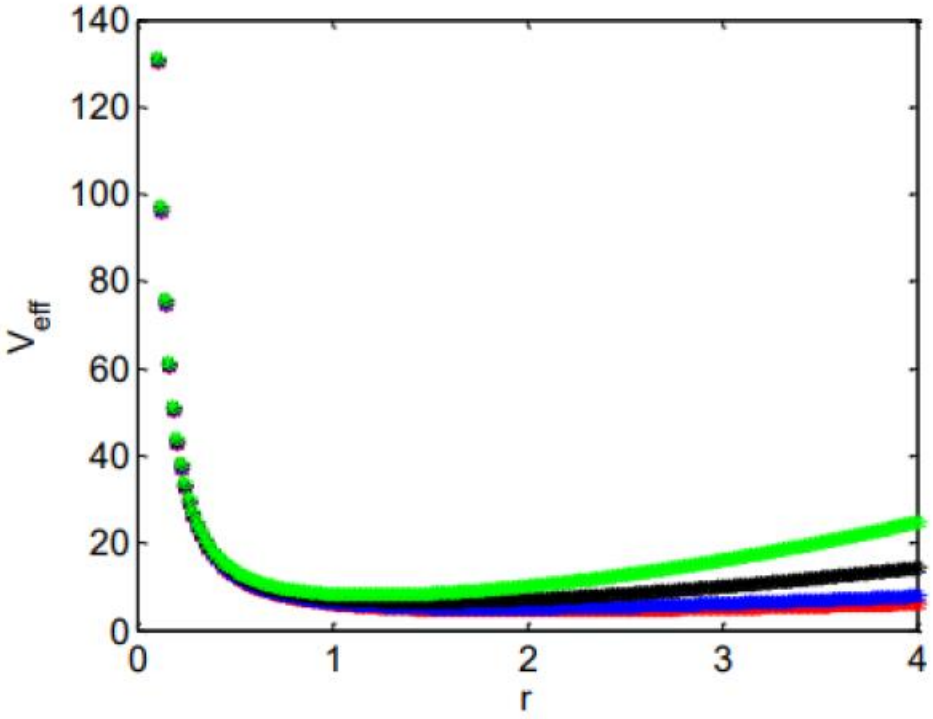
الجانب العملي


200
150
100
50
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

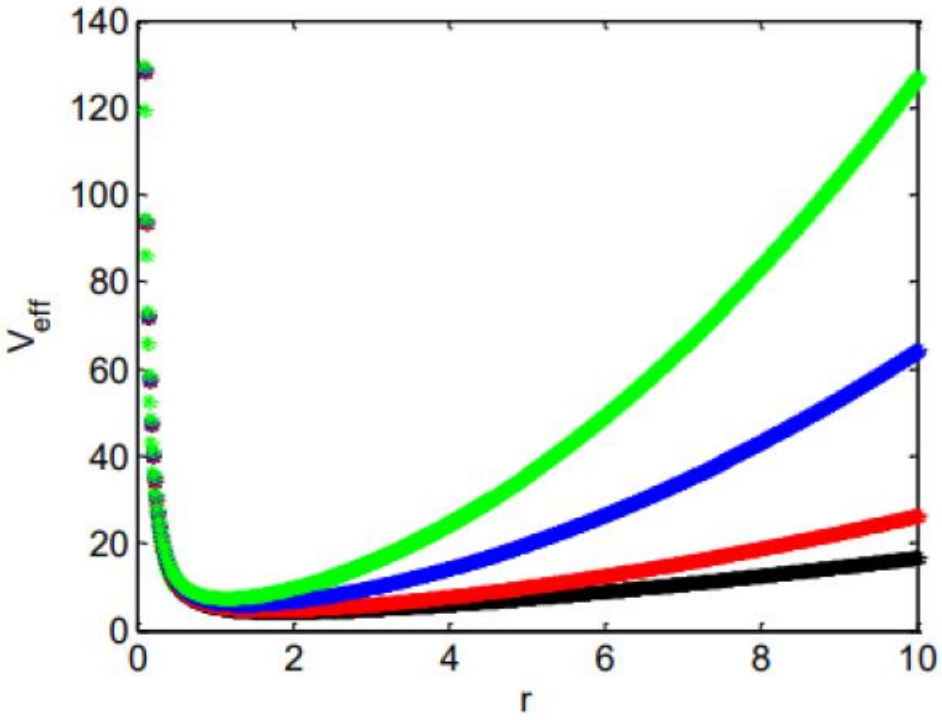
C7


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

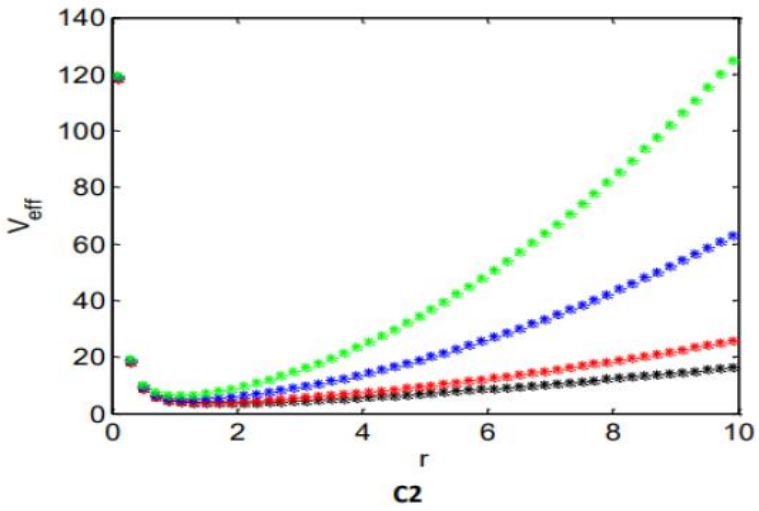
C9


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
1
2
3
4
r

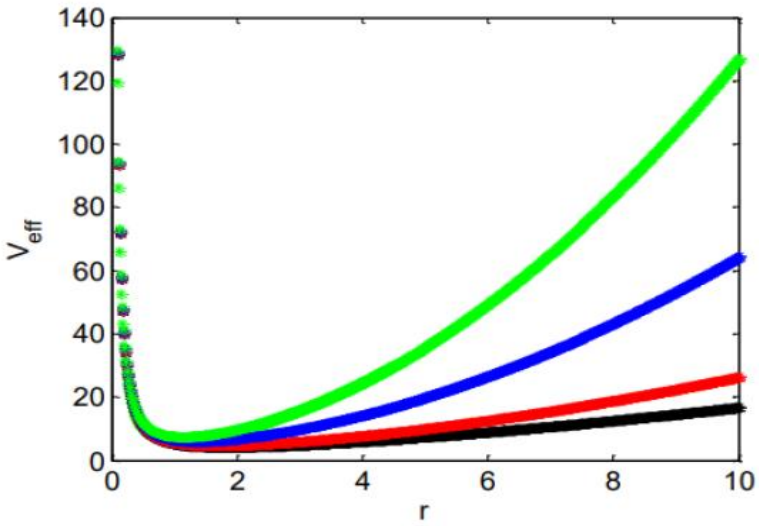
C43


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

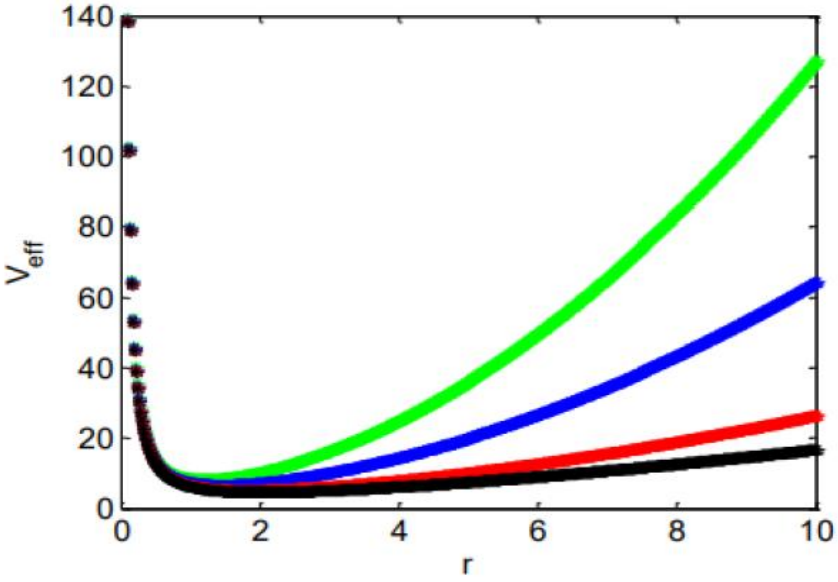
C


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

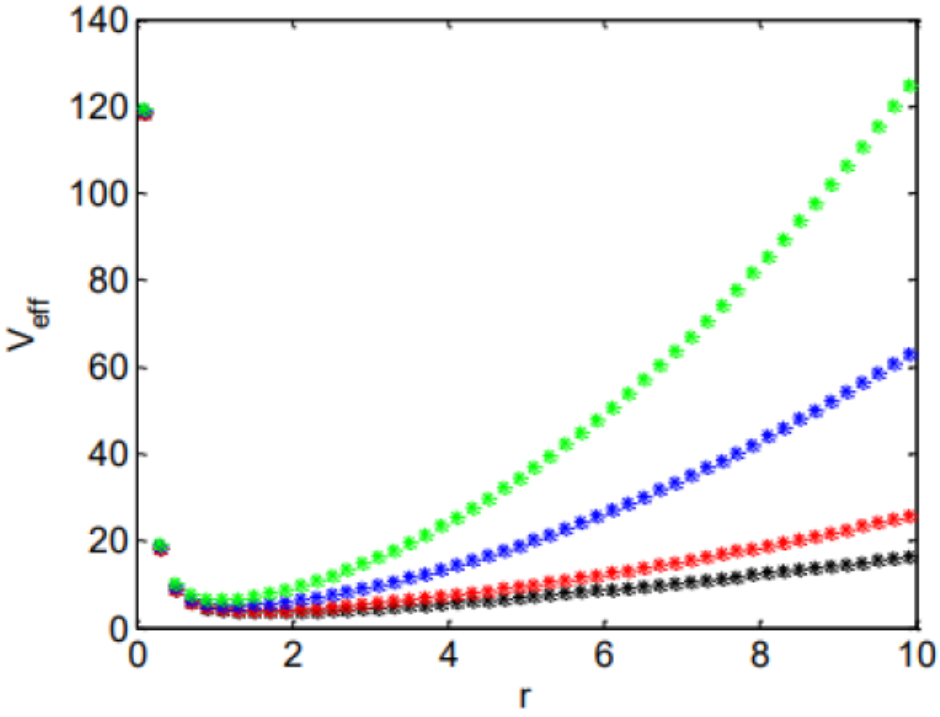
C2


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

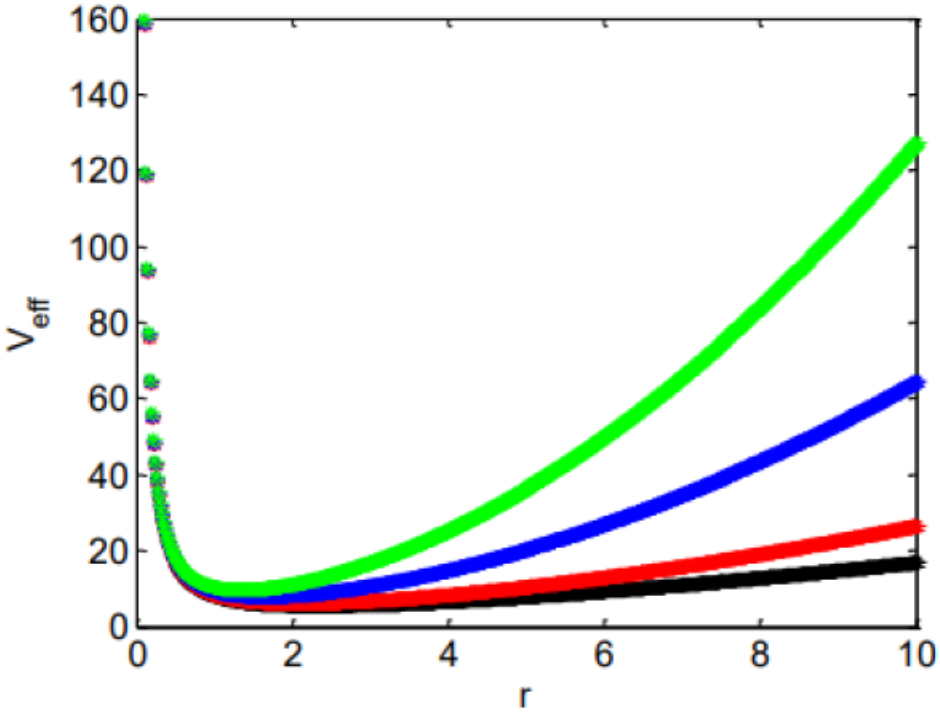
C3


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

C


140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

C5


160
140
120
100
80
60
40
20
0
V_{eff}
0
2
4
6
8
10
r

C6

المصادر

1- A. Barenco, D. Deustch, A. Eckert, and R. Jozsa, Phys. Rev. Lett. 74,4083 ~1995
2- G. D. Sanders, K. W. Kim, and W. C. Holton, Phys. Rev. A 60, 4146~1999
3- L. Quiroga and N. F. Johnson, Phys. Rev. Lett. 83, 2270 ~1999
4- . 4M. S. Sherwin, A. Imamoglu, and T. Montroy, Phys. Rev. A 60, 3508~1999
5- X.-Q. Li and Y. Arakawa, Phys. Rev. A 63, 012302 ~2000
6- X. Hu and S. Das Sarma, Phys. Rev. A 61, 062301 ~2000
7- B. E. Cole, J. B. Williams, B. T. King, M. S. Sherwin, and C. R. Stanley,Nature ~London! 410, 60 ~2001
8- Q. Li and Y. Yan, Phys. Rev. B 65, 205301 ~2002
9- C. Cohen-Tannoudju, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg, Processusd'Interaction entre Photons et Atomes ~Editions du CNRS, Paris, 1988
10- H. S. Brandi, A. Latge´, and L. E. Oliveira, Solid State Commun. 107, 31~1998
11- H. S. Brandi and G. Jalbert, ibid. 113, 207 ~2000
12- H. S. Brandi, A. Latge´, and L. E. Oliveira, Solid State Commun. 117, 83~2000
13- H. S. Brandi, A. Latge´, and L. E. Oliveira, Phys. Rev. B 64, 035323.2001!. 13. H. S. Brandi, A. Latge´, and L. E. Oliveira, Phys. Rev. B 64, 233315~2001