النقاط الكمية في نموذج هايزنبرج

ريم عبدالله محمد المطيري

المستخلص

النقاط الكمية هي أشباه موصلات نانونية ويطلق عليها أحيانا مسمى الذرات الصناعية وهي إحدى جسيمات النانو ، حيث تتراوح أبعادها من ١- ١٠ نانومتر، و تحتوي النقطة الكمية Quantum Dot (QD) مابين بضع مئات إلى بضع الاف من الذرات كذلك يمكن أن تحتوي من إليكترون واحد إلى بضع الاف من الالكترونات ويتم تصنيعها من عدد واسع من المواد شبه الموصلة، و حديثا يمكن صناعة النقاط الكمية من المعادن مثل : الذهب و الفضة . وتعتبر هذه المواد النانونيه من ضمن تصنيف المواد الفيرومغناطيسية .

تتميز النقاط الكمية بظاهرة التقييد الكمي حيث تتقيد حركة الإلكترونات في الأبعاد الثلاثة وينطبق عليها ماينطبق على المواد النانونية من مميزات وخصائص .

من الناحية النظرية يمكن اعتبار نموذج هايزنبرج نموذجا جيدا في وصف هذه النقاط ونستطيع بلاستخدام هذا النموذج التعرف على الخواص الفيزيائية لهذه المواد مثل الطاقة الأرضية وطاقات الإثارة والمغنطه. وسوف نستعين بنظرية الموجة المغزلية في التعامل مع نموذج هايزنبرج حيث أنها تمتاز بسهولة التعامل الرياضي وسرعة الحصول على النتائج كما أنها نظرية فعالة خصوصا في حالات المواد الفيرومغناطيسية.

في بحثنا هذا قمنا بدراسة عدد لا نهائي من النقاط الكمية تحتوي على عدد لا محدود من الإلكترونات تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي من خلال معالجتها بنموذج هايزنبرج ضمن نظرية الموجة المغزلية. وحيث أن هذه النظرية لا تشكل نظاما م غلقا في الهاملتونين المعرف في نموذج هايزنبرج قمنا باستخدام تحويلات هولتسين – بريمكوف للعوامل المغزلية ثم اتبعناه بتحويلات بوقليبوف لنقل الهاملتونين من العوامل المغزلية الى العوامل الطبيعيه وحصلنا على الترددات الطبيعه للنقاط. بعد ذلك قمنا باستخلاص العلاقات الرياضية للكميات الفيزيائية التي نود القاء الضوء عليها في هذه الر ساله وهي الطاقة الأرضية وطاقات الإثارة والمغنطة . وقد قمنا بهذه الدراسة ضمن النظرية الموجية الخطية حيث اخذنا التقريب الصفري في تحويلات هولتسين بريمكوف . وبعد ذلك أدخلنا التقريب الأول لكي ننتقل من النظرية الخطية الى النظرية الموجية غير الخطية.

بعد حصولنا على المعادلات الرياضية للكميات الفيزيائية قمنا بوضعها في برنامج رياضي بالفورتران وحسبنا من خلاله هذه الكميات عدديا وقمنا بدراستها وتحليلها.

وقد دلت نتائج الطريقة الخطية على أن المجال المغناطيسي له تأثير واضح على النظام ، حيث زادت طاقة الحالة الأرضية بزيادة ا لمجال المغناطيسي الخارجي . هذه الزيادة اتخذت شكل $E \sim (B)^{1/2}$. كما حصلنا على حالة انتقال للنقاط الكمية من الحالة المفردة إلى الحالة الثلاثية عندما تصبح شدة المجال المغناطيسي المسلط على النقاط عند $B \sim 1\ T$. هذه النتائج تطابقت مع نتائج سابقه قامت بدراسة هذه النقاط.

وكما هو معروف للمواد الفيرومغناطيسية فإن طيف الإثارة لها لا يحتوي على فجوة للطاقة عند $K = 0$ وهو ما حصلنا عليه للنقاط الكمية في حالة غياب المجال المغناطيسي الخارجي $B = 0\ T$. ولكن سرعان ما ظهرت هذه الفجو مع زيادة المجال المغناطيسي . حيث ازدادت هذه الفجوة بشكل خطي مع زيادة المجال المغناطيسي.

اما المغنطه للنقاط الكمية فقد اظهرت هي الاخرى اظهرت زيادة في مقدارها مع زيادة المجال المغناطيسي الخارجي B كما هو متوقع ، حيث يعمل المجال المغناطيسي على قلب معظم المغازل الالكترونية لتتجه جميعها في نفس اتجاهه. هذه الزيادة اتخذت شكل العلاقة $M \sim (B)^{0.3}$. لكذلك شاهدنا وصول المغنطة الى مرحلة الاشباع تقريبا بعد مرومه بنقطة التحول من الحالة الفردية الى الحالة الثلاثية للنظام $B \sim 1\ T$.

ويمكن الإستفادة من هذه النتائج في التطبيقات العملية للنقاط الكمية حيث أنها تدخل في كثير من التطبيقات الطبية والأمنية وصناعة الحاسبات الكمية والبوابات المنطقية فيها وغيرها من التطبيقات.

Quantum Dots in Hiezenberg Model

Reem Abdullah Mohammed Almotiri

ABSTRACT

Quantum Dots (QDs) are semiconductor-nanostructure materials which are also called artificial atoms. Their sizes range from 1 - 10 nm. A QD may contain few hundred or few thousands of atoms .It may also contain a single electron or few thousands of electrons. QDs are classified as ferromagnetic material. Recently experimentalists have succeeded to fabricate QDs from metals, such as: gold and silver.

QDs are characterized by the phenomenon of Quantum confinement; where electrons are confined in three dimensions.

Theoretically, Heisenberg model is regarded as a good model in describing these QDs.

We used the above mentioned model to explore the physical properties of these materials, such as ground state energy, excitation energy and magnetization with the help of Spin Wave Theory. It has easy mathematical calculations, quick in getting results compared with other methods and works well for the case of ferromagnetic materials.

In this research, we apply Heisenberg Hamiltonian to QDs containing unlimited number of electrons subjected to an external magnetic field.

Spin wave theory is applied to the system followed by Holtsin-Primakoff transformation and Bogoliubov transformation to get the diagonal Hamiltonian. Mathematical expressions for the physical quantities are then computed.

Linear as well as non-linear spin wave they were used in this calculation. We found that linear spin wave theory gives satisfactory results.

We found that the ground state energy increases with the external magnetic field as $E \sim (B)^{1/2}$. A point of transition from a singlet to a triplet state at $B \sim 1$ T was observed in agreement with previous studies.

Ferromagnetic materials are gapless in their excitation spectrum at K = 0. QDs show the same behavior in the absence of external magnetic field B = 0 T. But as soon as the magnetic field is switched on a gap appears in the spectrum and increases linearly with B.

Magnetization curve shows an increase to a saturated value with B - as expected- since the magnetic field forces the spins to align in its direction. This increase goes as $M \sim (B)^{0.3}$. We also observe a transition point around B ~ 1 T.

We can take advantages of these results in practical applications of the QDs where they enter in many medical applications, security, industry, computer logic gates and other applications.