 XIII_0319

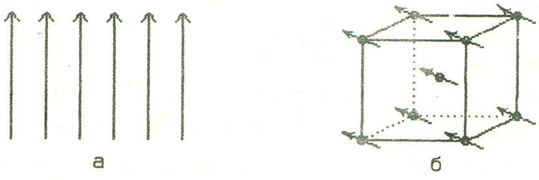
КОЛКУ СЕ ПАРАЛЕЛНИ "ПАРАЛЕЛНИТЕ" СПИНОВИ ?

Ѓ. Ивановски*, В. Петрушевски**

* Институт за физика, Природно-математички факултет, Скопје

** Институт за хемија, Природно-математички факултет, Скопје

Во системи што содржат две или повеќе честички возникнува прашањето за взаемната ориентација на нивните спинови (т.е. внатрешни или сопствени моменти на количество движење), што е во непосредна врска со правилото за собирање на моменти. Обидите за нагледност во презентирањето на овие прашања, доведуваат до широко распространетата претстава за тоа дека спиновите на честичките може да бидат паралелни (Сл. 1). Такви претстави се среќаваат во средношколските учебници по хемија, во оние нивни делови што ги проучуваат прашањата во врска со пополнувањето на атомските состојби со електрони. Сличен пристап може да се сретне и во ред универзитетски учебници и монографии од областа на физичките и хемиските науки [1-5]. Се поставува прашањето, колку ваквата нагледност е во согласност со физичката реалност ? Одговор на поставеното прашање треба да се бара во квантно-механичките претстави за спинскиот момент.




Сл. 1. Паралелни спинови : а) шематски приказ; б) елементарна ќелија на феромагнетик

Спинскиот момент $\vec{s}$ е вектор на кој му се придружува оператор $\hat{\vec{s}}$. Тврдењето дека во дадена квантна состојба спинскиот момент има одредена насока, треба да се сфаќа условно.

Причина за ова е фактот дека трите проекции на спинскиот момент - $s_x, s_y, s_z$ - не може да имаат едновремено одредени вредности, затоа што соодветните оператори - $\hat{s}_x, \hat{s}_y, \hat{s}_z$ - според квантно-механичките претстави, не комутираат помеѓу себе. Тоа значи дека никогаш не може да се укаже на одредена насока на спинскиот момент. Математичката формулација на проблемот се содржи во релациите на неодреденост на Хајзенберг, коишто покажуваат дека производот на средноквадратните отклонувања на две физички величини чии оператори не комутираат, не може да биде произволно мала величина. Применето на разгледуваниот случај, тоа изгледа вака. Ќе претпоставиме дека частицата се наоѓа во состојба со одредена проекција на спинскиот момент $s_x = \hbar/2$. Во согласност со потребата за нагледност, за која погоре стана збор, во тој случај се вели дека спинскиот момент е насочен долж $x$-оската. Лесно може, меѓутоа, да се види дека, иако средните вредности на проекцијата на спинскиот момент на насоки што се нормални на $x$-оската, во дадената состојба се еднакви на нула, т.е.

$$\langle s_y \rangle = \langle s_z \rangle = 0$$

соодветните средноквадратни отклонувања (дисперзии), се различни од нула :

$$\langle(\hat{s}_y - \langle s_y \rangle)^2\rangle = \frac{\hbar^2}{4} \quad , \quad \langle(\hat{s}_z - \langle s_z \rangle)^2\rangle = \frac{\hbar^2}{4}$$

На тој начин тврдењето "во разгледуваната состојба, спинот на частичката е насочен долж $x$-оската", е сосема условно.

По ова станува јасно дека претставата за спинови што се "паралелни" е погрешна. Непосредно, тоа може да се види и од следнава анализа : да разгледаме систем од две частички (на пример електрони) во состојби во кои едновремено определени вредности имаат проекцијата $s_z = \pm\hbar/2$ и квадратот на спинскиот момент $\vec{s}^2 = 3\hbar^2/4$, за секоја од частичките. Од друга страна, според векторскиот модел, проекцијата на вкупниот спински момент на $z$-оската може да добие две вредности : $S_z = \hbar S_1 = \hbar(s_1+s_2) = \hbar$ и $S_z = \hbar S_2 = \hbar|s_1-s_2| = 0$ ($s_1 = s_2 = 1/2$ - е спински квантен број или спин). Квадратот на вкупниот спин, тогаш, се пресметува по формулата $\vec{S}^2 = \hbar^2 S(S+1)$ и, соодветно $\sqrt{\vec{S}^2} \equiv |\vec{S}| = \hbar\sqrt{S(S+1)}$. Ако е $S = S_1$, тогаш $|\vec{S}| = \hbar\sqrt{2}$, а ако е $S = S_2$, тогаш $|\vec{S}| = 0$. Во нагледната претстава се вели дека во првиот случај спинските моменти се паралелни, а во вториот - дека се антипаралелни. Неточноста на ваквата претстава веднаш следува од фактот дека, поради тоа што $|\vec{s}_1| = |\vec{s}_2| = \frac{\hbar}{2}\sqrt{3}$, големината на векторот на вкупниот спински момент би била еднаква на $\hbar\sqrt{3}$, ако спинските моменти на електроните се паралелни, а не $\hbar\sqrt{2}$ како што погоре беше покажано. Треба да се забележи дека сѐ што досега беше речено се однесува не само на спински моменти, туку и на било кои други моменти на количество движење (орбитален, вкупен).

На крајот, сметаме за потребно да укажеме дека проблемот со "паралелни" спинови е коректно интерпретиран во монографијата на King [6].

Л и т е р а т у р а

1. C. Kittel, *Uvod u fiziku čvrstog stanja*, Savremena administracija, Beograd, 1970.

2. S. Gleston, *Udžbenik fizičke hemije*, Naučna knjiga, Beograd, 1967.

3. W.J. Moore, *Fizička hemija*, Naučna knjiga, Beograd, 1971.

4. G. Herzberg, *Atomic Spectra and Atomic Structure*, Dover Publications, New York, 1944.

5. W.J. Moore, *Physical Chemistry* (V$^{th}$ Edn.), Longman, London, 1974.

6. G.W. King, *Spectroscopy and Molecular Structure*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1964.

# HOW PARALLEL ARE THE "PARALLEL" SPINS ?

G. Ivanovski*, V. Petrusevski**

* Institute of Physics, Faculty of Science, Skopje, Yugoslavia

** Institute of Chemistry, Faculty of Science, Skopje, Yugoslavia

It is usually considered that the atomic spins in ferromagnetic materials below the phase-transition temperature (Curie-point) are parallel, *i.e.* parallel to some space-fixed axis. This simple notion is widely accepted and in the majority of school and university textbooks, pictures showing parallel spins (or, more general, parallel angular momentum-vectors) are often found. To what extent does this notion agree with the assertion that the three components of the angular momentum can not be simultaneously measured ? The answer will be given by a consistent application of the Heisenberg's uncertainty principle.