

ZEEMAN EFFECT

انقسام خطوط الطيف تحت تأثير المجال المغناطيسي

محمد زياد عزيز
2019/10/20

ZEEMAN EFFECT

1. الهدف من التجربة:

تهدف هذه التجربة إلى:

- ملاحظة انقسام زيمان باستخدام مقياس التداخل فابري- بيروت (Fabry - Perot etalon)
- تعيين قيمة Bohr's Magneton
- ملاحظة الخط الثلاثي لتأثير زيمان المستعرض العادي
- إيجاد حالة الاستقطاب للمركبات الثلاثية
- ملاحظة الخط الثلاثي لتأثير زيمان الطولي العادي

2. الاجهزة المستخدمة

يبين والشكل (١) والجدول الأجهزة والأدوات المستخدمة في تنفيذ هذه التجربة:



شكل (1)

العدد	اسم الجهاز	العدد	اسم الجهاز
١	Fabry-Perot interferometer	٤	Lens holder
١	Cadmium lamp f. Zeeman effect	٢	Lens, mounted, f +50 mm
١	Electromagnet w/o pole shoes	١	Lens, mounted, f +300 mm
١	Pole piece, drilled, conical	١	Iris diaphragm
١	Rot.table for heavy loads	١	Polarising filter, on stem
١	Power supply for spectral lamps	١	Polarization specimen, mica
١	Var.transformer, 25 VAC/20 VDC, 12 A	١	Screen, with aperture and scale
١	Capacitor, electrolyt., 22000 mic-F	١	Plate holder with tension spring
١	Digital multimeter	١	Swinging arm
١	Optical profile-bench, 1000 mm	١	Spirit level
٢	Base f. opt. profile-bench, adjust.	٢	Connecting cord, 500 mm, red
١	Slide mount, lateral.adjust., cal.	١	Slide mount f.opt.pr.-bench, h 80
٥	Slide mount f. opt. pr.-bench, h 30 mm	١	Connecting cord, l = 250 mm, 32 A, red
١	Connecting cord, l = 25 cm, 32 A, blue	١	Connecting cord, l = 50 cm, 32 A, blue
١	Connecting cord, l = 75 cm, 32 A, red	١	Connecting cord, l = 100 cm, 32 A, red
١	Connecting cord, l = 100 cm, 32 A, blue	١	Slide mount for optical profile-bench
١	Sliding device, horizontal	١	PC with software

جدول (1)

3. نظرية التجربة:

عندما تتعرض الذرات إلى مجال مغناطيسي خارجي فإن مستويات الطاقة الذرية تنقسم إلى عدد من المستويات اعتماداً على شدة هذا المجال. لقد كان فاراداي أول من أشار إلى وجود هذا التأثير ومن ثم تنبأ به لورنتز معتمداً على النظرية الكلاسيكية، تلى ذلك إجراء أول تجربة عملية لهذا الغرض من قبل العالم بيتر

زيمان Pieter Zeeman سنة ١٨٩٩ ومن ثم سميت هذه الظاهرة باسمه. ولقد أكدت الأعمال اللاحقة أن تعرض الذرات إلى مجال مغناطيسي ينتج عنه حالتين:

- A. تطبيق مجال مغناطيسي ضعيف وينتج عنه نوعين من الانقسام:
- (a) انقسام المستوى الذري إلى ثلاثة خطوط طيفية وهذا ما يعرف بتأثير زيمان العادي Normal Zeeman Effect والذي يمكن تفسيره باستخدام مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية.
- (b) انقسام المستوى الذري إلى أكثر من ثلاثة خطوط طيفية وهذا ما يعرف بتأثير زيمان الشاذ Anomalous Zeeman Effect ويتم تفسير هذا النوع باستخدام مفاهيم الفيزياء الكمية.

B. تطبيق مجال مغناطيسي قوي. وهذا يؤدي إلى تأثير باشن-باك Paschen - Back

ويعد تأثير زيمان من أهم الأدوات المستخدمة في معرفة تركيب الذرة. فمن مبادئ الفيزياء الكمية، نعلم أن الإلكترونات الذرية تمتلك مستويات طاقة محددة كما أنه، وبحسب مبدأ باولي، لا يمكن للإلكترونين أن يحتلا نفس المستوى في آن واحد. وإذا انتقل إلكترون من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر وجب أن يبعث أو أن يمتص طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية (فوتونات) تساوي الفرق بين طاقتي المستويين، أي أن:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

حيث أن h, ν, c, λ هي الطول الموجي و سرعة الضوء في الفراغ و وتردد الموجة، و ثابت بلانك على الترتيب.

وكما نرى، فبمجرد حصولنا على المعادلة (١) يكون بمقدورنا وصف تركيب المادة تحت الدراسة بشكل كامل وذلك أن كل ذرة تمتلك طيفا خاصا بها.

ويتعلق تأثير زيمان بخاصية برم الإلكترونات كما أن مستوى طاقة الإلكترون يوصف بواسطة أعداده الكمية وبالتالي فإن إلكترونين يمكن أن يكون لهما نفس المستوى طالما أختلفا في أعدادهما الكمية. وسنهتم فقط بأول ثلاثة أعداد كمية وهي العدد الأساسي n والمداري والمغناطيسي m_l والتي تعرف أيضا بالأعداد الكمية المكانية. فالعدد الكمي الأساسي n يصف مستوى طاقة الإلكترون والعدد الكمي (l) يعين الزخم الزاوي المداري للإلكترون من خلال المعادلة:

$$l = 0, 1, 2, 3 \dots n - 1 \quad (2)$$

ومقدار الحركة المدارية:

$$L^2 = l(l+1)\hbar^2 \quad (3)$$

بينما يصف العدد الكمي المغناطيسي m_l تكميم مركبة الزخم الزاوي المداري للإلكترون في الاتجاه Z أي L_z حيث

$$L_z = m_l \hbar \quad (4)$$

ويعتمد مقدار m_l على مقدار l من خلال العلاقة (5) التالية:

$$m_l = -l, -l+1, \dots, l \quad (5)$$

ولكي يكتمل فهمنا فسوف ندخل العدد الكمي للزخم الزاوي S والذي يعرف ببرم الإلكترون. وهذا العدد لا يمثل ولا يصف الحركة أو الموضع للإلكترون تحت الدراسة ولذلك فهو ليس بعدد مكاني وبدلاً من ذلك فهو يصف ما يعرف بالزخم الزاوي الذاتي S ويعتمد على S من خلال العلاقة (6)

$$S^2 = s(s+1)\hbar^2 \quad (6)$$

وتقودنا معادلة رقم (6) إلى العدد الكمي m_s والذي يصف مسقط الزخم الزاوي على محور Z كما مبين في معادلة رقم (7).

$$S_z = m_s \hbar \quad (7)$$

و ايضاً

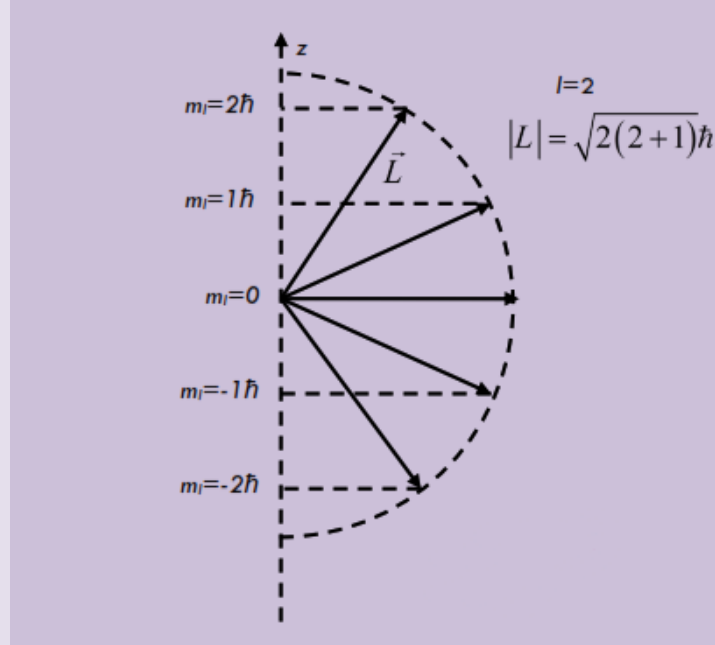
$$m_s = \pm s \quad (8)$$

وبالتالي فلنفس القيم n, l, m_l توجد فرصتان لتداخل المستويات فرصة واحدة لكل قيمة للعد S .

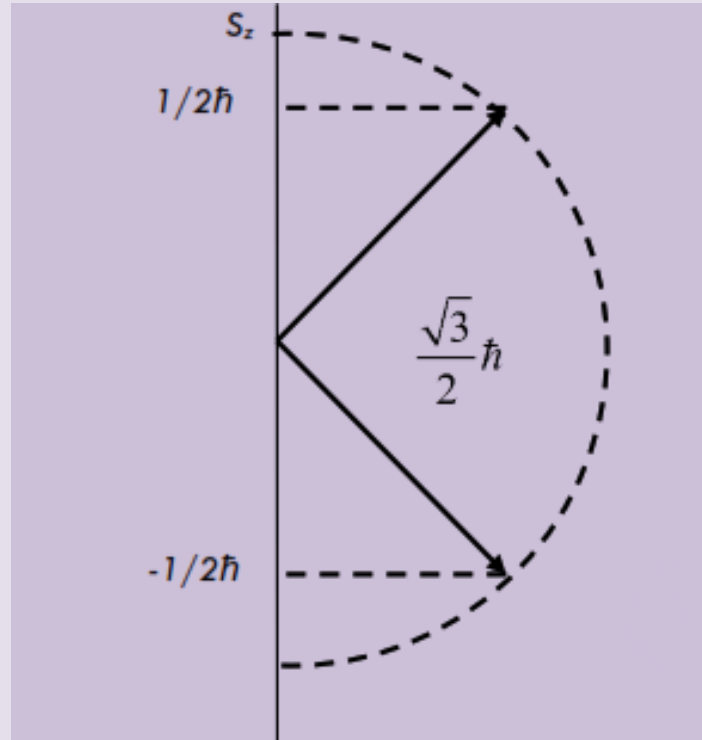
والآن، المعادلة رقم (5) تصف لنا انه لكل قيمة للعدد الكمي l توجد $2l+1$ قيمة ممكنة للعدد الكمي m_l . وبما ان العدد الكمي المغناطيسي m_l يصف مسقط \vec{L} على محور Z، فلكل قيمة للعدد الكمي l يوجد عدد محدد من الاتجاهات التي يمكن ان يشير اليها \vec{L} ، كما في الشكل (2).

وبالمثل يمكن تمثيل الزخم الزاوي \vec{S} الذي اثبتت التجارب العلمية ان قيمته 1/2 وبالتالي يكون بالنسبة للإلكترون:

$$S = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar \quad (9)$$



شكل (2)



شكل (3)

وبناء عليه فان للعدد الكمي قيمتين ممكنتين وهما $\pm 1/2$ حيث يشار للقيمة الموجبة بالعبرة " برم الى الاعلى spin up " والقيمة السالبة بالعبرة " برم الى الاسفل spin down " كما في شكل (3).

ويعرف الزخم الزاوي الكلي \vec{J} على انه المجموع الاتجاهي للكميتين الاتجاهيتين \vec{S} و \vec{L} اي ان

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (10)$$

والان سندخل اخر عددين كميين وهما j العدد الكمي للزخم الزاوي الكلي و m_j الذي يصف مسقط \vec{J} على المحور Z من خلال العلاقة الآتية:

$$J = \sqrt{j(j+1)}\hbar \quad (11)$$

$$j = l \mp s = l \mp 1/2 \quad (12)$$

$$J_Z = m_j \hbar \quad (13)$$

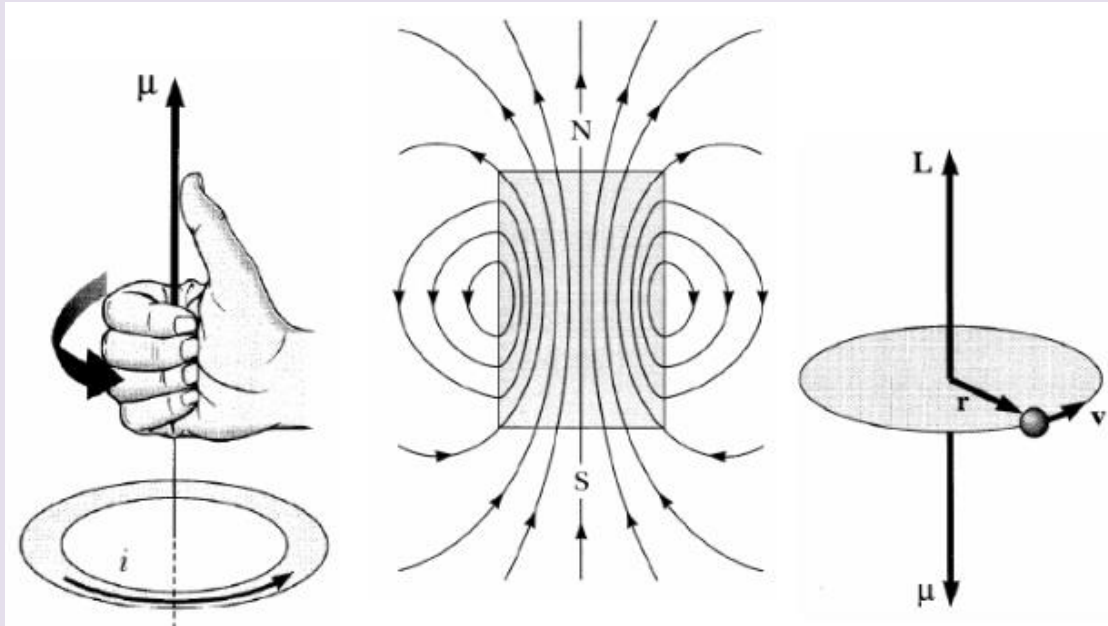
$$m_j = -j, -j+1, \dots, j-1, j \quad (14)$$

ان السبب الجوهري لاهتمامنا بمسقط الزخم الزاوي على طول المحور z هو كون هذه المركبة الزخم الزاوي الوحيدة التي يمكن قياسها عمليا حيث تتلاشى مركبتا الزخم الزاوي على محوري x, y .

ومن الناحية الكلاسيكية، يمكن تصور الالكترون اثناء دورانه حول النواة كما لو انه عروة تيار صغير تحمل تيارا قدره I مما يؤدي الى تدويم عزم مغناطيسي مداري قدره μ ، شكل (4) ذلك يعطى من خلال العلاقة:

$$\mu_l = IA \quad (15)$$

حيث A مساحة المدار



شكل (4)

ويمكن اعادة كتابة المعادلة (15) كما يأتي:

$$I = ef = ev/2\pi r \quad (16)$$

حيث e شحنة الالكترون و f تردد (1/ عدد الدورات، وان عدد الدورات = المحيط/السرعة) و r نصف قطر المدار و v السرعة. وبما ان الزخم الزاوي المدار الكلاسيكي لجسيم يسر بسرعة v ويمتلك كتلة مقدارها m هو $L = mvr$ فان المعادلة (16) ستصبح بالشكل الاتي:

$$\mu_l = \frac{-e}{2m_e} L \quad (17)$$

والان بالتعويض عن قيمة L في معادلة رقم (17) بقيمتها من معادلة (2)، نحصل على

$$\mu_l = \frac{-e}{2m_e} \sqrt{l(l+1)} \hbar = \sqrt{l(l+1)} \mu_B \quad (18)$$

حيث μ_B عزم مغناطيس بور Bohr's Magnetron وقيمته هي $9.274 \times 10^{-24} J/T$ وبما ان مركبة μ_l على محور Z مكممة اعتمادا على m_l ينتج لدينا

$$\mu_{l,z} = -m_l \mu_B \quad (19)$$

فضلا عن عزم المغناطيس المنتج بالمعادلة (19) فالزخم الزاوي الذاتي ينتج عزمًا مغناطيسيًا μ_s بحيث تعطى مركبته على طول محور Z بالعلاقة:

$$\mu_{s,z} = -m_s g \mu_B \quad (20)$$

ويعطى العزم المغناطيسي الكلي كمجموع اتجاهي لكل من μ_l و μ_s فتكون مركبته في اتجاه Z هي

$$\mu_{j,z} = -m_j g_j \mu_B \quad (21)$$

حيث g_j هو عامل لاندي Lande factor وتعطى قيمته من خلال المعادلة:

$$g_j = 1 + \frac{j(j+1)+s(s+1)-l(l+1)}{2j(j+1)} \quad (22)$$

تأثير زيمان العادي Normal Zeeman Effect

عند وضع الكترون في مجال مغناطيسي B فسيؤدي ذلك الى توليد عزم تدوير على الأكثرون كلما حاول عزمه المداري المغناطيسي ترتيب وضعه ليكون عند اقل قيمة ممكنة لطاقة وضعه ليكون عند اقل ممكنة لطاقة وضعه وذلك عندما يكون العزم المغناطيسي المداري يشير عكس اتجاه خطوط المجال المغناطيسي. وفي هذه الحالة تعطى طاقة وضعه بالعلاقة:

$$U_B = \vec{\mu}_l \cdot \vec{B} \quad (23)$$

فاذا كان الاتجاه الموجب لمحور Z يشير في الاتجاه المجال المغناطيسي فيمكننا بذلك استخدام المعادلة (17) لاعادة كتابة المعادلة (23) وكما يأتي:

$$U_B = \frac{-e}{2m_e} L_z \quad (24)$$

في الحقيقة ان المعادلة المنتجة من معادلة (27) هي فرق الطاقة الناتج عن تأثير على نظام بمجال مغناطيسي خارجي B وذلك سنستبدل الرمز U_B بالرمز ΔE ثم نستخدم العلاقة (4) لنحصل على

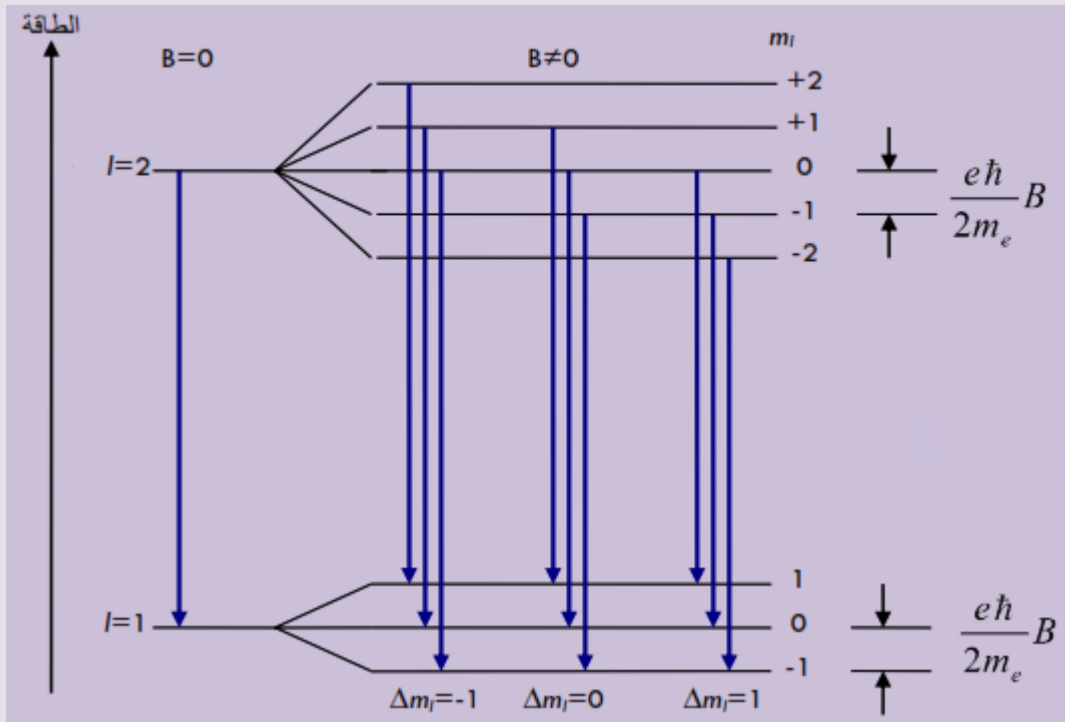
$$\Delta E = m_l \mu_B B \quad (25)$$

وهذه الطاقة (طاقة الفجوة Energy gap) هي التي تسبب حدوث تأثير زيمان. فكل قيمة للعدد الكمي l يترافق معه $2l + 1$ قيمة للعدد الكمي m_l . وبالتالي فعند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي تنفصل الإلكترونات التي لها نفس العدد الكمي l وبما انه يوجد عدد من الحالات تكون الالكترونات متواجدة فيها فسيكون هناك المزيد من الانتقالات الممكنة التي يمكن ان تحدثها الالكترونات شكل (5).

ومما تجدر الاشارة اليه هو وجود قواعد انتقاء معينة تطبق على الانتقالات الالكترونية مما يعني وجود انتقالات معينة ممنوعة. وتغطي الانتقالات لقواعد الانتقال الاتية:

$$\Delta m_l = 0, \pm 1, \quad \Delta l = \pm 1, \quad (26)$$

وهذا يفسر كيف انه في حالة انتقال من $l = 1$ الى $l = 2$ كما هو في شكل (5)، حصلنا على ثلاثة خطوط طيفية عند تطبيق المجال المغناطيسي. والخط المركزي عند $\Delta m_l = 0$ يسمى الخط الاساسي او خط π اما الخطين عند $\Delta m_l = \pm 1$ فيسميان بالتابعين او خطي σ



شكل (5)

المصادر

- 1. Nuclear physics منيب عادل ابراهيم 1994**
- 2. Topics in Atomic Physics Charles E. Burkhardt, Jacob J. Leventhal. Section 8 Zeeman effect. 2006**
- 3. PHYWE series of publication. Laboratory Experiments. Physics. 37070 Göttingen, Germany**