

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي

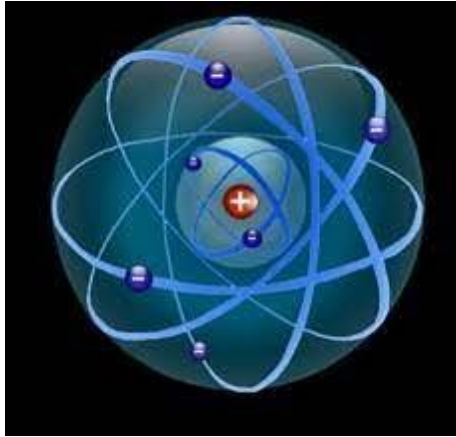
كلية العلوم الدقيقة

قسم الفيزياء



## محاضرات في مقياس الفيزياء الذرية و الجزيئية

. موجهة لطلبة السنة الثالثة . فيزياء .



إعداد الأستاذة: د/ سامية ديلمي

أستاذة محاضرة - أ

الموسم الجامعي : 2021/2020م

# فهرس المحتويات

الصفحة	المحتوى	الرقم
7	الفصل الأول: مقدمة عامة	
8	الذرة	1
8	الجانب التاريخي	1-1
8	تعريف الذرة	2-1
8	أجزاء الذرة	3-1
10	خواص الذرات	4-1
10	الفوتون	2
11	تعريف الفوتون	1-2
11	الدليل التجريبي على وجود الفوتون - مفعول كمبتون -	2-2
13	نتائج التجربة	3-2
15	أطياف الامتصاص والانبعاث للذرات	3
15	مقدمة	1-3
17	سويات الطاقة والانتقالات (الخطوط الطيفية)	2-3
18	أهمية المطيافية	4
18	تعريف	1-4
20	استخدامات المطيافية	2-4
22	السلسلة 1 -	
24	الفصل الثاني: نظرية بور للذرة	
25	التركيب الذري والملاحظات التجريبية	1
25	نموذج رذرفورد	1-1
25	نموذج طومسون للذرة	2-1
29	تجربة غايغر - مارسدين	3-1
32	النموذج المداري للذرة	4-1
35	نظرية بور	2
35	مقدمة	1-2
35	مسلمات بور	2-2
35	نموذج بور وفرضية دي بروي	3-2
38	مستويات حالات الطاقة	4-2
39	حالات الطاقة	3
39	الحالات الأساسية والحالات المثارة	1-3
40	مسلمة بور الأولى: الحالات المستقرة	2-3

40	مسلمة بور الثانية: الأطياف الذرية	3-3
41	سلسلة بالمير للهيدروجين	4-3
42	السلاسل الطيفية للهيدروجين	5-3
44	نموذج بور لذرة الهيدروجين والذرات الشبيهة بالهيدروجين	6-3
45	فشل نظرية بور	4
47	<b>السلسلة 2 .</b>	
49	<b>الفصل الثالث: العزوم الزاوية</b>	
50	العزم المداري للذرة	1
50	الدراسة الكلاسيكية	1-1
50	الدراسة الكمية	2-1
53	عزم ثنائي القطب المغناطيسي للإلكترون	2
53	مقدمة	1-2
53	الدراسة الكلاسيكية	2-2
59	عزم الازدواج وترنح لارمور	3
62	العزم المغزلي أو السبيني للذرة	4
63	العزم المغناطيسي للسبين	5
63	العزم الزاوي الكلي	6
63	مقدمة	1-6
64	نموذج المنح	2-6
65	النموذج الكمي	3-6
65	عزم ثنائي القطب المغناطيسي الكلي	7
70	نموذج المنح	1-7
71	النموذج الكمي	2-7
73	<b>السلسلة 3 .</b>	
75	<b>الفصل الرابع: الذرات متعددة الإلكترونات</b>	
76	التأثيرات المتبادلة المختلفة في ذرة معقدة	1
77	مستويات الطاقة لجملة ذات N إلكترون مستقل في كمون مركزي	2
77	مستويات الطاقة	1-2
78	مبدأ باولي	3
78	الأعداد الكمية الأربعة ومبدأ باولي	1-3
79	العدد الأعظمي للإلكترونات المنتمية لنفس الطبقة أو تحت الطبقة	2-3
80	مبدأ مستويات الطاقة للذرات متعددة الإلكترونات	4
80	التقريبات الممكنة على الهاملتوني	1-4

82	الترتيب الدوري للإلكترونات	5
82	مقدمة	1-5
82	قاعدة هوند	2-5
83	الانتقالات المسموحة والانتقالات الممنوعة	3-5
84	البنية الإلكترونية للذرة	6
84	مقدمة	1-6
84	الأعداد الكمية المعتمدة في بناء الذرة	2-6
85	بناء الذرة بالإلكترونات	3-6
88	البناء الكلي للذرة بالإلكترونات	4-6
89	الحالة الذرية أو الرموز الطيفية للذرة	5-6
90	الحالة الأساسية للذرات التي بها إلكترون تكافؤ وحيد	6-6
93	<b>السلسلة 4 .</b>	
95	<b>الفصل الخامس: أثر المجال المغناطيسي للذرة</b>	
96	تجربة شترين-جبرلاخ (اكتشاف السبين)	1
96	مقدمة	1-1
97	هدف التجربة	2-1
97	سير عمل التجربة	3-1
98	الدراسة النظرية	4-1
99	النتائج	5-1
100	ما الحل ؟	6-1
100	أثر الحقل المغناطيسي على الذرة	2
100	مقدمة	1-2
101	أثر زيمان العادي	3
104	أثر زيمان الشاذ	4
109	أثر باشن باك	5
110	<b>السلسلة 5 .</b>	
113	<b>الفصل السادس: فعل الحقل الكهربائي على الذرة</b>	
114	فعل ستارك	1
114	مقدمة	1-1
114	تأثيرات زيمان وستارك	2-1
115	اكتشاف تأثير ستارك وتفسيراته النظرية المبكرة	3-1
115	اكتشافات العالم يوهانس ستارك	4-1
116	فعل ستارك على ذرة الهيدروجين	2

## محاضرات في مقياس الفيزياء الذرية و الجزيئية

118	مغناطيسية المواد	3
118	أنواع المواد المغناطيسية	1-3
124	معطيات وقيم بعض الثوابت الفيزيائية	
126	قائمة المراجع المعتمدة	

## المقدمة

يتراوح العالم من حولنا من الصغير اللامتناهي ( $15^{-10}$  م) إلى الكبير اللامتناهي ( $10^{26}$ ). تهتم الفيزياء بدراسة هذين العالمين "المجهري والمجهري" والقوانين التي تحكمهما: مكونات المادة ، وحركة الجسيمات ، وحركة الأجرام الأرضية أو السماوية ، وطبيعة الضوء...

أظهرت الفيزياء الكلاسيكية من خلال "قوانين نيوتن" (1687) و "قوانين ماكسويل" (1864) ، كفاءة كبيرة في تفسير حركة الجسيمات ، وفي فهم سلوك الموجة وعلى وجه الخصوص سلوك الضوء. ومع ذلك ، حتى بداية القرن التاسع عشر ، لاحظ الكيميائيون والفيزيائيون ظواهر يظل تفسيرها صعباً إن لم يكن مستحيلاً بواسطة الفيزياء الكلاسيكية.

تعتبر الفيزياء الذرية فرع من الفيزياء التي تهتم بدراسة الذرة وهيكلتها، وحالاتها للطاقة وتفاعلاتها مع الجسيمات الأخرى والمجالات الكهربائية والمغناطيسية. وفي كثير من المصادر العلمية تدرج الفيزياء الذرية ضمن مواضيع الفيزياء الحديثة، كما ويتداخل مفهوم الفيزياء الذرية أحيانا مع مفهوم الفيزياء النووية، ولكنه يختلف عنه، إذ أن الأخير معني بالتفاعلات النووية التي تحدث في النواة فقط، في حين أن الفيزياء الذرية تعنى بالذرة ككل. وكذلك يتداخل مع مفهوم الفيزياء الجزيئية الذي يعنى بدراسة الخواص الفيزيائية للجزيئات والأطياف ودراسة الروابط الكيميائية التي تربط الذرات المختلفة مكونة الجزيئات. وقد برهن أن الفيزياء الذرية تمثل تطبيقا ناجحا للميكانيك الكمي الذي يمثل ركيزة أساسية للفيزياء الحديثة.

## الفصل الأول: مقدمة عامة

محتويات الفصل :

1-الذرة

2-الفوتون

3-الدليل التجريبي على وجود الفوتون

4-أطياف الامتصاص و الانبعاث للذرات

5-أهمية المطيافية



## 1- الذرة

### 1-1 الجانب التاريخي:

ظل حلم تفسير كل الظواهر الفيزيائية بمجموعة صغيرة من القوانين الأساسية دون تحقق. و بدلا من ذلك بدأت اكتشافات عديدة تظهر أن مثل هذه الظواهر أكثر تعقيدا مما كان العلماء يظنون.

- ففي عام 1897 اكتشف العالم الفيزيائي البريطاني جوزيف طومسون أول جسيم تحت الذري، سمي فيما بعد بالإلكترون.
- وفي عام 1898 استخلص الفيزيائيين الفرنسيين بيير وماري كوري عنصر الراديوم المشع. وكانت هذه التطورات بداية مهمة للفيزياء.

### 2-1 تعريف الذرة:

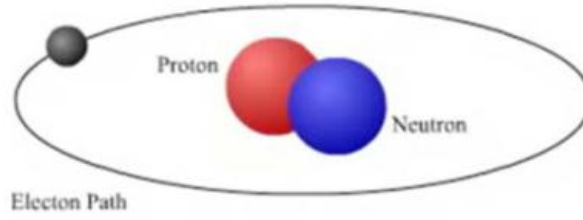
الذرة هي احدى الوحدات الأساسية لبناء المادة. فكل شيء حولنا مكون من ذرات. والذرة الواحدة بالغة الصغر، فهي لا تتعدى واحد على مليون من سمك شعرة. وتحتوي أصغر عينة يمكن رؤيتها بمجهر عادي على ما يزيد من عشرة بلايين ذرة.

- وتكون الذرات القوالب البنائية لأبسط المواد وهي العناصر الكيميائية وتشمل العناصر الشائعة: الهيدروجين، الأوكسجين، الحديد والرصاص.
  - تتفاوت الذرات كثيرا في الوزن ولكنها جميعا تتساوى تقريبا في الحجم.
- مثال: ذرة اليورانيوم: أثقل الذرات الموجودة وزنها 200 ضعف وزن الهيدروجين الذي يعد أخف العناصر المعروفة حتى الآن. ومع ذلك فإن قطر ذرة اليورانيوم لا يتعدى ثلاثة أمثال قطر ذرة الهيدروجين (H)
- و مع ان الذرات تعد من أدق الأشياء إلا أنها تعد من أعظمها قوة وذلك راجع إلى كمية الطاقة الكامنة الهائلة بداخلها.

### 3-1 أجزاء الذرة:

بالرغم من ضآلة الذرة إلا أنها تتكون من جسيمات أكثر صغرا منها والجسيمات الثلاث الأساسية هي: البروتونات-النيوترونات-الإلكترونات ولكل ذرة عدد محدد من هذه الجسيمات. تزدهم البروتونات والنيوترونات داخل النواة وهي منطقة بالغة الصغر في مركز الذرة.

مثال: ذرة الهيدروجين



الشكل ( 1-1 ) : تصور بور لذرة الهيدروجين

لو كان قطرها 6 كلم فان النواة تضاهي كرة المضرب وما يتبقى من الحجم من الفراغ تدور فيه الإلكترونات بسرعة عالية جدا. لذلك تبدو الذرة كأنها جامدة. (المبدأ الذي يمنع مرور قلم الرصاص خلال إنصال مروحة تدور بسرعة عالية)

• **النواة:** تشكل النواة تقريبا كل كتلة الذرة. والكتلة هي كمية المادة في الذرة وتبلغ كتلة البروتون 1836 ضعف كتلة الإلكترون وكذلك من 1839 إلكترون نحصل على نترون.

- يحمل كل إلكترون شحنة سالبة.

- يحمل كل بروتون شحنة موجبة.

- النيوترونات غير مشحونة.

وفي الغالب تحتوي الذرات على نفس العدد من الإلكترونات والبروتونات فهي متعادلة كهربائيا.

• **البروتونات والنيوترونات:** هي في الحقيقة اصغر 100000 مره تقريبا مقارنة بوزن النواة ولكنها تتألف بدورها من جسيمات أصغر منها تسمى بالكوارك. ولكن كل هذه الجسيمات تتفكك وتتحلل في غضون أزمة متناهية في الصغر لذلك لا يوجد أي منها في الذرات العادية.

• **الإلكترونات:** على عكس البروتونات والنيوترونات فان الإلكترونات لا تحتوي على جسيمات

أصغر وكتلة الإلكترونات بالغة الصغر و تقدر ب  $1.9 \cdot 10^{-27}$  kg

ونظرا لكون الشحنات المتضادة تتجاذب فان النواة الموجبة تعمل على جذب الإلكترونات بقوة سالبة الشحنة مما يؤدي إلى بقاء هذه الإلكترونات داخل الذرة ولكن لكل إلكترون طاقة تمكنه من

مقاومة جذب النواة . فكلما ازدادت طاقة الإلكترون ازداد بعده عن النواة. ولذلك تنتظم الإلكترونات في مدارات على مسافات مختلفة من النواة حسب مقدار قوة و طاقة كل منها. ويعطي العلماء لكل مدار إلكتروني رقما خاصا به (1,2,3.... ترتيب تصاعدي) ويشار إليها كذلك بالحروف: f,d,p,s:

#### 4-1 خواص الذرات:

• **العدد الذري:** وهو يمثل عدد البروتونات التي تحتوي عليها الذرة

مثال: الهيدروجين ← عدده الذري يساوي إلى 1

اليورانيوم ← عدده الذري يساوي إلى 92

يحدد العدد الذري ترتيب العنصر في الجدول الدوري

• **العدد الكتلي:** وهو حاصل جمع عدد البروتونات + النيوترونات

وبالرغم من أن كل الذرات في عنصر ما تحتوي على نفس عدد البروتونات إلا أنها تختلف من حيث النيوترونات ويطلق عليها اسم النظائر.

مثال: الهيدروجين له ثلاث نظائر: بروتيوم - ديوتريوم - تريتيوم.

-العناصر الأخف : نفس العدد من البروتونات والنيوترونات.

- العناصر الأثقل: عدد النيوترونات أكبر من البروتونات.

• **الوزن الذري:** هو وزن الذرة معبرا عنه بوحدات الكتلة الذرية.

• **الشحنة الكهربائية:** رغم ان الذرة عادة متعادلة كهربائيا إلا أنها قد تفقد أو تكتسب إلكترون

في بعض التفاعلات الكيميائية أو عند اصطدامها بالإلكترون أو ذرة أخرى و ينتج عن ذلك

ما يسمى بالأيون وتسمى العملية **بالتأيين**.

#### 2- الفوتون

تملك الفوتونات طاقة معينة تتناسب مع تردد الضوء. في عملية الانبعاث الضوئي، إذا

امتص إلكترون في مادة ما طاقة فوتون واحد وكانت طاقته أكبر من اقتران الشغل (طاقة ربط

الإلكترون) للمادة فسينبعث الإلكترون. أما إذا كانت طاقة الفوتون صغيرة جداً، لن يصبح

الإلكترون قادراً على التحرر من المادة. وعند زيادة شدة الضوء فإن عدد الفوتونات المنبعثة يزداد، ويؤدي هذا إلى زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة، ولكنه لا يؤدي إلى زيادة الطاقة الممتصة للإلكترون الواحد. ومن هذا نستنتج أن طاقة الإلكترون المنبعث لا تعتمد على شدة الضوء الساقط عليه، بل تعتمد فقط على تردد (طاقة) هذا الضوء. وهذا يربط طاقة الفوتون الساقط وطاقة الإلكترون المنبعث.

تستطيع الإلكترونات امتصاص طاقة الفوتونات عند تعريضها لإشعاع، ولكنها في العادة تتبع مبدأ "كل شيء أو لا شيء". كل طاقة الفوتون يتم امتصاصها واستخدامها لتحرير إلكترون واحد من الرابطة الذرية، وإلا فإن طاقة الفوتون ستنبعث مرة أخرى. فإذا تم امتصاص طاقة فوتون، جزء من الطاقة سيحرر الإلكترون من الذرة، والباقي سيعمل على زيادة الطاقة الحركية للإلكترون الحر .

## 1-2 تعريف الفوتون

هو جسيم متناهي في الصغر، وهو المسؤول عن الظاهرة الكهرومغناطيسية. فهو حامل للإشعاع الكهرومغناطيسي لكل أطوال الموجات، بما في ذلك الأشعة فاما، الأشعة السينية، الضوء تحت الأحمر و فوق البنفسجي.

يختلف الفوتون عن غيره من الجسيمات الأولية الأخرى مثل الإلكترونات و الكوارك في أن كتلة استقراره معدومة، لذلك فهو يتحرك في الفراغ بسرعة الضوء .

• يتميز الفوتون بخواص موجية وأخرى جسيمية (ازدواجية الموجة - جسيم).

• يمكن للفوتون أن يتفاعل مع المادة عبر نقل كم من الطاقة تقدر:  $E = hv$

$h$ : ثابت بلانك و  $v$  تواتر الفوتون وهو اصغر قدر من الطاقة يمكن تبادله بين موجة كهرومغناطيسية وبين المادة. فالطاقة المتبادلة في تجربة ما بين موجة كهرومغناطيسية والمادة تساوي دوما عددا صحيحا من الفوتونات.

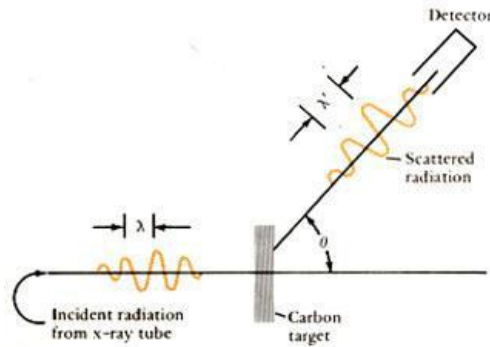
## 2-2 الدليل التجريبي على وجود الفوتون - مفعول كمبتون -

حسب نظرية انشتاين لعام 1905، فان الضوء مكون من جسيمات وهي الفوتونات أين طاقتها معرفة حسب ألوانها بعلاقة بلانك:

$$E = hv \quad (1)$$

وقد أدى هذا الاكتشاف إلى ثورة في علم فيزياء الكم ومنح أنشتاين عام 1921 جائزة نوبل في الفيزياء على تفسيره التأثير الكهروضوئي.

- في الظاهرة الكهروضوئية يعطي الفوتون كامل طاقته للإلكترون المرتبط بسطح المادة. ولكن في بعض الأحيان يمكن أن يعطي الفوتون جزء من طاقته إلى الإلكترون الحر وهذا النوع من التفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والإلكترون يسمى بتشتت الفوتونات بواسطة الإلكترونات. وتعرف هذه الظاهرة بـ **مفعول كمبتون**.
- خلال دراسة تشتت أشعة X عن المادة لاحظ آرثر كمبتون عام 1923 أن الأشعة المتشتتة عن السطوح تمتلك أطوالا موجية أكبر من الأطوال الموجية للأشعة الساقطة عليها. وبموجب النظرية الكهرومغناطيسية فإن الطول الموجي للإشعاعات المتشتتة ينبغي أن يكون مساويا للطول الموجي للأشعة الساقطة. وهذا يعني أن هنالك مشكلة من المطلوب حلها لتفسير الظاهرة. ومن الواضح أن النظرية الكهرومغناطيسية تخفق مرة أخرى في تفسير تصرف الإشعاعات القصيرة وعلاقتها بالمادة. لذلك قدم كمبتون تفسيره للظاهرة على أساس أن الإلكترونات الحرة في المادة تمتص جزء من الطاقة التي تحتويها فوتونات الأشعة X فتتطلق بطاقة أقل أي بطاقة حركية تتناسب مع الطاقة التي امتصتها. تم التحقق من هذه الظاهرة عمليا عام 1923 في جامعة سان لويس من قبل العالم آرثر كمبتون وذلك بإسقاط أشعة X على لوح من الكربون.



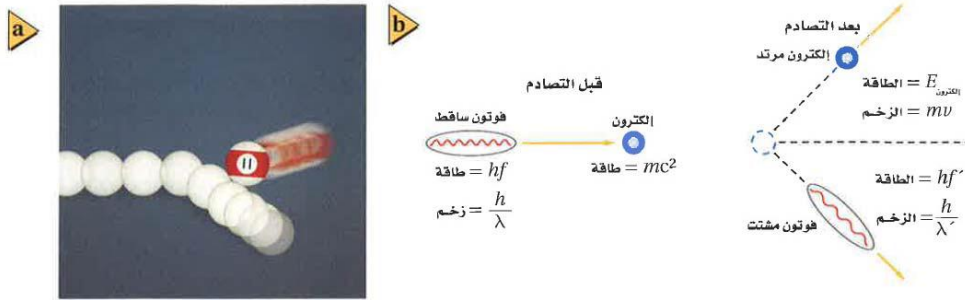
الشكل (1-2): ظاهرة مفعول كمبتون

هذه الظاهرة تؤكد أن للفوتونات زخماً يمكن أن تتبادله مع الجسيمات (الإلكترونات) وهنا نجد مرة أخرى أن للطاقة صفات جسيمية، حيث أن تبادل الزخم هو الأساس صفة جسيمية وفي العادة فإن الطاقة الكهرمغناطيسية يمكن أن يكون لها ضغط ولكنها لا تتبادل الزخم. لكننا هنا أمام حقيقتين:

- كمومية الطاقة الكهرمغناطيسية.
  - تمتع كمات الطاقة (الفوتونات) بالصفة الجسيمية.
- لذلك أدرجت ظاهرة كمبتون ضمن الظواهر التي مهدت لظهور الفيزياء الكمومية.

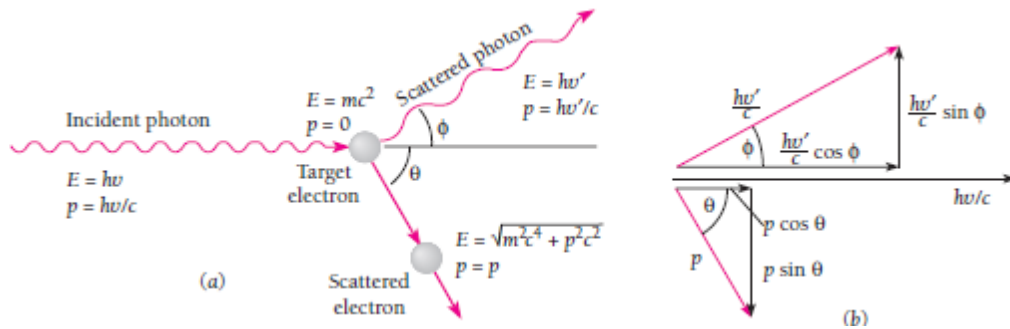
### 3-2 نتائج التجربة

1- الأشعة المشتتة لها طولين موجيين هما  $\lambda$  و  $\lambda'$  وبالرغم من ان الإشعاع الساقط يحوي طول موجي وحيد.



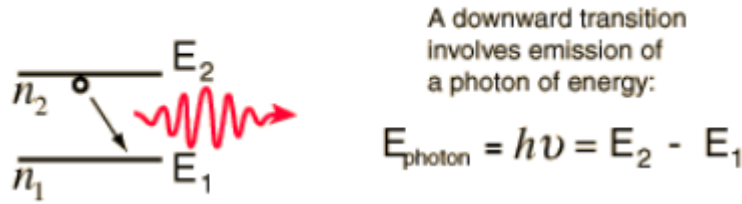
2- تم قياس الفرق في الطول الموجي للفوتونات المشتتة و وجد أنها تعتمد على زاوية التشتت للأشعة المشتتة حيث ان هذا الفرق يكون اكبر ما يمكن عندما تكون الزاوية تساوي إلى

$$180^\circ$$



3- تم الاعتماد على النموذج الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية إذ لا يمكن إيجاد تفسير للزيادة في الطول الموجي للأشعة المشتتة من لوح الكربون لأنه حسب النظرية الكلاسيكية فان إلكترونات ذرات الكربون سوف تتذبذب بنفس التردد للفوتونات الساقطة. لا يحدث في هذه الحالة أي زيادة في الطول الموجي للفوتونات المشتتة.

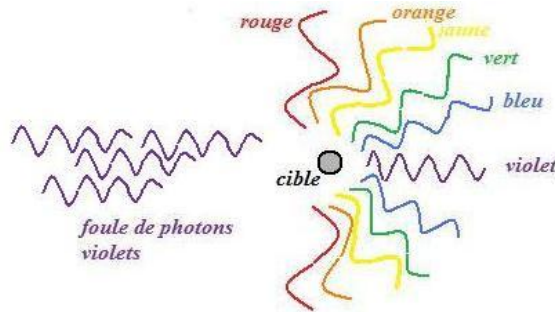
4- الأشعة الساقطة تتكون من سيل من الفوتونات لها طاقة  $E$  و كمية حركة  $p$



الشكل (1-3): إصدار فوتون

5- عندما تتصادم بعض من هذه الفوتونات مع الإلكترونات في لوح الكربون فإنها تفقد جزء من طاقتها كما ان الجزء الآخر من الفوتونات يصطدم بالإلكترونات تصادما مرنا فلا تفقد طاقتها و هذا ما يؤدي إلى الحصول على طولين موجيين.

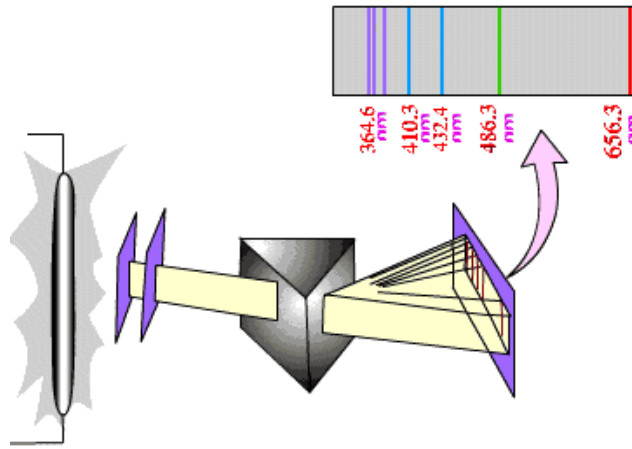
6- ان الطول الموجي يكون صفرًا إذا كانت الزاوية  $0^\circ$  (هذه الحالة هي حالة بُعد واحد) ، وتزداد عندما ينحرف الفوتون عن اتجاه سقوطه. بإرسال حزمة من الفوتونات بنفس الطول الموجي إلى هدف ضيق ، نحصل على نوع من قوس قزح ، كما هو مبين في الشكل التالي :



### 3- أطيف الامتصاص والانبعث للذرات:

#### 1-3 مقدمة:

ان الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الذرة له من الأهمية في علم الفيزياء الذرية في التعرف على العناصر المختلفة حيث ان لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصرين لهما نفس الطيف. ولدراسة الطيف الكهرومغناطيسي نحتاج إلى تحليل الضوء المنبعث من إثارة ذرات العنصر إما بواسطة الموشور أو بواسطة محرز الحيود، كما في الشكل التالي:



الشكل (1-4): إثارة الذرات عن طريق الموشور

يتم إثارة ذرات عنصر مثل الهيدروجين من خلال التفريغ الكهربائي (electric discharge) حيث يوضع الغاز عند ضغط منخفض في أنبوبة زجاجية مفرغة وبتطبيق فرق جهد كهربائي على طرفي الأنبوبة الزجاجية، تحدث تصادمات بين الإلكترونات وذرات الغاز داخل الأنبوبة وتعمل على إثارة هذه الذرات إلى مستويات طاقة عالية ما تلبث إلى ان تعود الذرة إلى الحالة المستقرة وتتطلق طاقة على شكل فوتون يحمل فرق الطاقة بين مستوى الطاقة الأعلى إلى مستوى الطاقة الأقل يخرج على شكل طيف كهرومغناطيسي ليسقط على الموشور والذي يعمل على تحليله على أساس ان لكل طول موجي زاوية انحراف معينة ويتم استقبال الضوء المتحلل على شاشة، والعلم



الذي يدرس الطيف الكهرومغناطيسي يسمى المطيافية (Spectroscopy) والجهاز المستخدم لتحليل الضوء (الطيف الكهرومغناطيسي) يسمى راسم الطيف (spectrograph).  
الطيف الكهرومغناطيسي يكون إما طيف متصل (continuous spectrum) حيث يكون نتيجة تحليل الضوء هو الحصول على ألوان الطيف التي تنتقل تدريجياً من لون إلى آخر بدون وجود انقطاع كما في الشكل التالي:

### Continuous Spectrum



الشكل (1-5) : طيف متصل لذرة الهيدروجين

- وإما ان يكون طيف خطي Line Spectrum يحتوي على مناطق لونية منفصلة تظهر على شكل خطوط كما في الشكل التالي:

### Line Spectrum



الشكل (1-6) : طيف خطي لذرة الهيدروجين

ان السبب في الطيف الخطي يعود إلى الإلكترونات الموجودة في مستويات الطاقة المختلفة للذرة حيث ان وجود الذرة في التفريغ الكهربائي (electric discharge) يعمل على إثارة هذه الإلكترونات إلى مستويات طاقة عالية وعند عودة الإلكترونات إلى مستوى طاقة أدنى تنطلق طاقة في صورة طيف كهرومغناطيسي ذو طول موجي محدد من فرق الطاقة بين المستويين. ولقد ركز العلماء على دراسة الطيف المنبعث من ذرة الهيدروجين لسبب أن ذرة الهيدروجين أبسط ذرة لاحتوائها على إلكترون واحد وان الهيدروجين المكون الرئيسي للكون.

ان انتقال المجموعة الذرية من وضع مستقر إلى وضع مستقر آخر مرتبط وفقاً بقانون حفظ الطاقة وذلك بإعطاء هذه المجموعة أو الأخذ منها كمية من الطاقة: هذه الانتقالات تكون ضوئية اذا كانت مصحوبة بإشعاع وغير ضوئية اذا كانت عكس ذلك.

ان القانون الكوانتي الذي يحكم الانتقالات الضوئية هو :

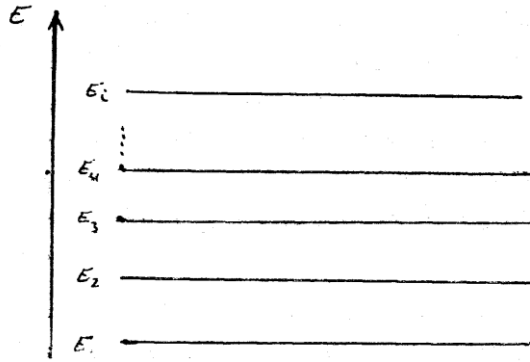
$$E_f - E_i = hv$$

$h$  : ثابت بلانك.

هذا الإشعاع يمتص الضوء اذا كان  $E_f > E_i$  ويصدر الضوء اذا كان  $E_f < E_i$  وذلك بدفعات محددة من  $hv$  تسمى كميات الإشعاع (الفوتونات).

### 2-3 سويات الطاقة و الانتقالات ( الخطوط الطيفية )

ان مفهوم سوية الطاقة قائم على التشابه الكائن بين طاقة الحالات المستقرة والطاقة الكامنة لجسم ما عندما يكون على ارتفاعات مختلفة أي مستويات مختلفة اعتبارا من مستوى أساسي . وكما هو الحال في الطاقة الكمومية لجسم مرفوع فإن قيمة الصفر تعطى لطاقة أخفض سوية وتسمى السوية الأساسية.



الشكل (1-6) : مخطط سويات الطاقة

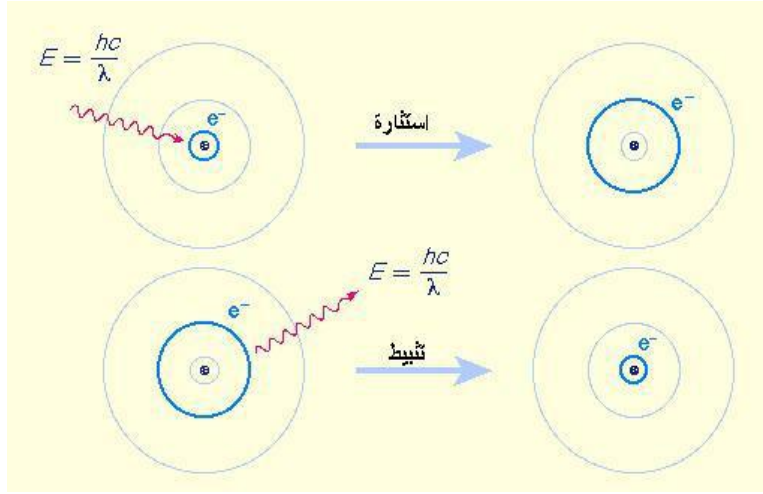
### 1-2-3 سويات الامتصاص:

ان الانتقال من سوية طاقة منخفضة إلى سوية أخرى أعلى منها يؤدي إلى زيادة طاقة المجموعة الذرية أي إلى امتصاص فوتون. وهكذا نجد ان مجموعة الانتقالات المشعة التي تحدث انطلاقا من السويات السفلى باتجاه السويات الأعلى تعطى طيف الامتصاص.



الشكل (1-7) : طيف امتصاص الهيدروجين

ان شدة كل خط طيفي معين تتعلق باحتمالات الانتقالات المختلفة أي بإسكان مختلف سويات الطاقة وبالتالي فان شدة طيف الامتصاص يتعلق بإسكان السويات المنخفضة.



الشكل (1-8) : انبعاث الضوء وامتصاصه في الذرات

### 3-2-2 سويات الانبعاث أو الإصدار

هو الانتقال من سوية مرتفعة إلى سوية أخرى منخفضة يؤدي إلى نقصان في طاقة المجموعة أي إلى إصدار فوتون وهكذا فان الانتقالات التي تحدث من السويات العليا نحو السويات السفلى تعطي طيف إصدار أو انبعاث.



الشكل (1-9) : طيف انبعاث الهيدروجين في المجال المرئي

### 4- أهمية المطيافية :

#### 4-1 تعريف:

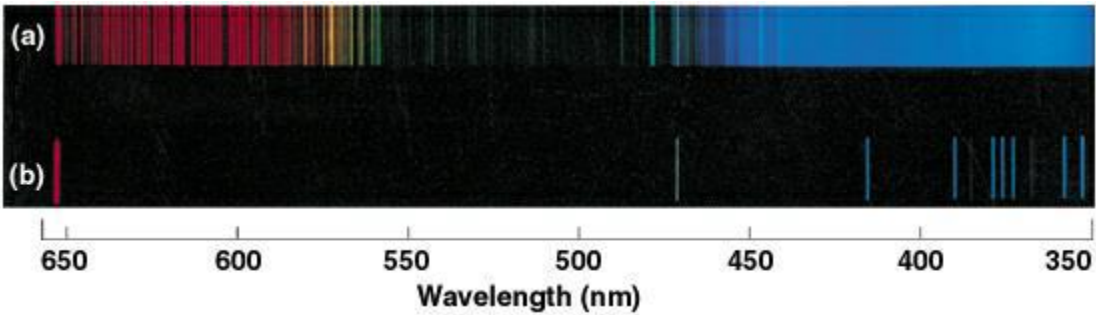
هو علم دراسة التأثير بين الإشعاع سواء كان كهرومغناطيسي أو إشعاع جسيمات مع المادة والتي تشمل الذرات والجزيئات في حين تكون القياسات الطيفية هي قياس هذه التأثيرات سواء كانت

عملية امتصاص أو انبعاث أو تبعثر (تشتت). والأجهزة التي تقوم بهذه القياسات تسمى بالمطياف أو الراسم الطيفي.

مثال: تحليل الضوء الأبيض بواسطة الموشور إلى ألوان هو مثال جيد على المطيافية.



- أشير إلى المطيافية على أنها احد فروع العلوم الذي يستخدم فيه الضوء المرئي للدراسة النظرية لبنية المادة والتحليل الكيفي والكمي وتم توسيع التعريف بعد إدخال وتطوير تقنيات جديدة لا تستخدم فقط الضوء المرئي بل أي نوع من أنواع الإشعاع.
- تصدر المادة طيفا عند امتصاصها لطاقة. فمثلا اذا قمنا بتسخين قطعة من الحديد فإنها تحمر أولا ثم يتغير لونها بارتفاع درجة الحرارة لتصبح برتقالية اللون. وإذا زادت درجة الحرارة فيميل وميضها إلى الاصفرار كل هذا يسمى طيفا.



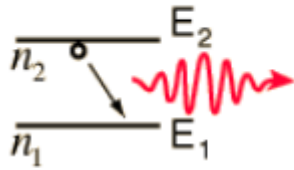
طيف ذرة الهيدروجين



Helium

طيف الهيليوم

- إذا قمنا بتحليل طيف قطعة الحديد و صورناه عل فيلم تصوير فإننا نجده مكون من خطوط من الضوء المتوازية و المتراسة بين خطوط حمراء فبرتقالية صفراء, و هذا هو طيف قطعة الحديد الساخنة و يظهر في هيئة خطوط ضوئية لونية لأنها تمثل انتقالات لإلكترونات الحديد بين مستويات الطاقة المختلفة لإلكترون في ذرة الحديد وعند انتقال الإلكترون من مستوى طاقة في الذرة عالي إلى مستوى طاقة منخفض فهو يصدر إشعاع ضوئي له طاقة تعادل الفرق بين طاقتي المستويين في الذرة.
- إذا قمنا في المعمل بتسخين الصوديوم مثلا إلى درجة عالية نجد أنه يشع ضوءا أصفرا برتقاليا، وإذا قمنا بتحليل طيفه هذا لوجدنا أن له خطوطا طيفية تختلف عن خطوط طيف الهيدروجين. الاختلاف يظهر كاختلاف في ترددات الأشعة الصادرة من الصوديوم عن ترددات الأشعة الصادرة من الهيدروجين. فكل عنصر كيميائي له بصمة تسمى طيفه أين يمكن التعرف عليه من خلالها البصمة).



A downward transition involves emission of a photon of energy:

$$E_{\text{photon}} = h\nu = E_2 - E_1$$

#### 2-4 استخدامات المطيافية

تاريخيا، أشير للمطيافية على أنها أحد فروع العلوم الذي يستخدم فيه الضوء المرئي لدراسة بنيات المادة و للتحليل النوعي والكمي لها. وكان تقدما كبيرا عند معرفة مكونات الشمس من مجرد تحليل طيف ضوئها و كان ذلك نصرا عظيما للمطيافية. ونحن هنا على الأرض، فنعرف أنها في معظمها تتكون من الهيدروجين مع قليل من الهيليوم (نحو 4% ) وقليل من الليثيوم (أقل من 1% ). يوجد في قلب الشمس أيضا الحديد والعناصر الأخرى كالكربون والأكسجين والنترجين وغيرها بنسب صغيرة ولكن الحديد على الأخص لا يظهر على السطح. سطح الشمس هو الذي يصدر الضوء الذي نتلقاه منها. وبتطبيق الطريقة على النجوم وجدنا أن أغلبها يماثل الشمس في تكوينها

وطيفها؛ إلا أن للنجوم أجيال وأجيال ولهذا تختلف أطيفها عن طيف الشمس. وهذا الموضوع له متخصصيه في علم الفلك.

ثم تم توسيع تعريف المطيافية بعد إدخال وتطوير تقنيات جديدة لإنتاج الأشعة، مثل الأشعة السينية والأشعة الراديوية وأشعة الرادار واكتشفنا أشعة غاما التي تصدرها بعض الذرات . واتضح لنا أن الطيف أعرض بكثير من الحيز الضيق الذي نسميه الطيف المرئي ؛ فكلها أنواع من الأشعة الكهرومغناطيسية ولكنها تختلف فيما تحمله من طاقة . أشدها طاقة هي أشعة غاما.

تستخدم المطيافية غالبا في الكيمياء الفيزيائية والتحليلية للتحليل النوعي والكمي للمواد الكيميائية سواء كانت ذرية باستخدام الأطياف الذرية لتلك العناصر أو لتحليل الجزيئات . يتم ذلك بتسليط الأشعة المرئية على العينة أو أشعة فوق البنفسجية أو أشعة تحت الحمراء للتفاعل معها، اذ تمتص منها بعض ذرات العنصر، وقياس ما يصدر منها من ضوء أو موجات كهرومغناطيسية . وابتكرت أنواع مختلفة من المطياف ، فمنها مطيافية الأشعة فوق البنفسجية ومطيافية الأشعة تحت الحمراء ومطيافية إلكترون أوجيه ، ومطيافية الانبعاث الضوئي ، وغيرها.

وابتكرت أنواع أخرى من المطياف تستخدم أيضا بكثرة في علم الفلك والاستشعار عن بعد. تزود التلسكوبات الكبيرة دوما بمطياف أو مطاييف مختلفة لقياس إما التركيب الكيميائي أو الخواص الفيزيائية للأجرام الفلكية أو قياس السرعات حسب انزياح دوبلر لخطوطهم الطيفية.

الموسم الجامعي 2020/ 2021

كلية العلوم الدقيقة

السنة الثالثة -فيزياء ذرية و جزيئية

قسم الفيزياء

### السلسلة -1-

#### التمرين الأول:

يمكن تمثيل جسيم في حالة حركة بواسطة مجموعة أمواج بحيث أن سرعته  $v$  تعادل سرعة المجموعة  $v_g$ . إذا كانت سرعة المجموعة تكتب بالشكل التالي:

$$v_g = \frac{dv}{d\left(\frac{1}{\lambda}\right)}$$

حيث أن  $\lambda$  و  $v$  هما على التوالي طول موجة وتواتر مجموعة الأمواج .  
بين ان:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu$$

m: كتلة الجسيم.

#### التمرين الثاني:

ليكن فوتون يملك طاقة :  $E_{ph} = 50\text{keV}$

1. أوجد طول موجة هذا الفوتون.

2. اذكر مجال أطوال أمواج الأشعة السينية و استنتج اذا كان هذا الفوتون ينتمي إلى هذا المجال أو لا.

يعطى قانون الامتصاص لفوتونات الأشعة السينية من اجل معدن معين بالشكل :

$$I = I_0 e^{-ka}$$

• ماذا يمثل كل مقدار من المعادلة.

من اجل عنصر الرصاص يعطى :  $I_0 = 100\text{wm}^{-2}$  ;  $a = 1\text{mm}$  ;  $k = 7910\text{m}^{-1}$

3. أوجد  $I$

4. اذكر بعض التطبيقات للأشعة السينية.

### التمرين الثالث

أوضح طيف ما تحت الأحمر لمزيج من الديتريوم والهيدروجين (D - H) خطين متجاورين بأطوال موجات  $\lambda = 1.215664\mu$  و  $\lambda' = 1.215334\mu$  . أمكن إرفاقهما للشاردتين.

• استنتج من خلال هذه الملاحظة قيمة تقريبية للكتلة الذرية للديتريوم D.

$$m_H = 1.672 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \quad ; \quad m_e = 9.1 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \text{ تعطى:}$$

### التمرين الرابع

أوجد العلاقة التي تربط بين سرعة جسيم (إلكترون) و سرعة الضوء في حال كانت الطاقة الحركية للجسيم تساوي إلى طاقته الكامنة.



## الفصل الثاني : نظرية بور للذرة

### محتويات الفصل

- 1- التركيب الذري و الملاحظات التجريبية
  - 2- نظرية بور
  - 3- حالات الطاقة
  - 4- فشل نظرية بور
-

## 1- التركيب الذري و الملاحظات التجريبية

شكلت التجارب التي قام بها كلا من أرنست رذرفورد وهنري موزلي وجيمس فرانك وغوستاف هرتس بداية من سنة 1914 الصورة في تكوين الذرة كنواة كثيفة ذات شحنة موجبة تحيط بها إلكترونات أقل كتلة، ثم أتى الفيزيائي الدانماركي نيلز بور فافترض في سنة 1913 بأن الإلكترونات تكمن في حالات طاقة كمية، ويحدد العزم الزاوي لمدار الإلكترون حول النواة تلك الطاقة، وبإمكان تلك الإلكترونات التنقل بين تلك الحالات أو المدارات عن طريق إطلاق أو امتصاص فوتونات ذات ترددات محددة، وخلال تلك المدارات محددة الكم أوضح بور بدقة خطوط الطيف لذرة الهيدروجين، ومع ذلك ف نموذج بور لم يتمكن من تفسير الفروق في الكثافة النسبية لخطوط الطيف، وكذلك أطيف العناصر الأثقل من الهيدروجين، فهي بالكاد اقتصر على تفسير ذرة الهيدروجين.

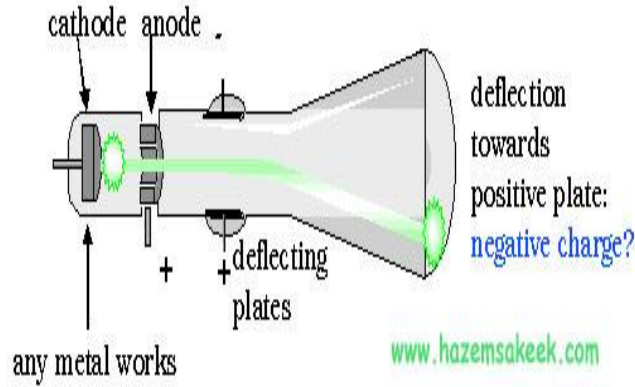
### 1-1 نموذج رودرفورد :

- لقد صنف رودرفورد الإشعاعات الناتجة عن النشاط الإشعاعي الطبيعي إلى ثلاثة أصناف:
- \* جسيمات ألفا ( $\alpha$ ): وهي أيونات هيليوم (ذات شحنة تساوي  $+2e$ )
  - \* إشعاع بيتا ( $\beta$ ): هي الإلكترونات (شحنتها تساوي  $-e$ )
  - \* إشعاع غاما ( $\gamma$ ): وهي شبيهة بالأشعة السينية. أي أمواج كهرومغناطيسية .

### 1-2 نموذج طومسون للذرة:

كان مفهوم الذرة كمكون أساسي للمادة متفقاً عليه في نهايات القرن التاسع عشر وفهم الكيميائيون والفيزيائيون أن المواد مكونة من جزيئات هي نفسها عبارة عن تجمع من الذرات. في العام 1897 قام العالم طومسون **J. J. Thomson** في مختبر كافندش في كامبردج ببريطانيا بإجراء تجربة ناجحة تمكن فيها من قياس النسبة بين شحنة الإلكترون إلى كتلته، حيث اعتمد في ذلك على قياس انحراف الإلكترون في وسط فيه مجال كهربائي ومجال مغناطيسي.

العالم طومسون عالم كيميائي بريطاني عمل ككيميائي وفيزيائي في جامعة كامبردج وكان له دور كبير في الكشف عن الكثير من الحقائق المتعلقة بالذرة ومكوناتها في الوقت الذي لم يكن يعرف عن الذرة سوى الكم الضئيل من المعلومات وقد وضع في نهاية مشواره العلمي نموذج للذرة عرف باسمه نموذج طومسون وكان هذا أول نموذج تصوري للذرة ومحتوياتها. ركز طومسون على دراسة العلاقة بين الكهرباء والمادة وذلك عن طريق مليء أنبوبة زجاجية بغاز عند ضغط منخفض (مثل غاز الزئبق أو النيون) وطبق فرق جهد كهربائي كبير على طرفي الأنبوبة الزجاجية. يمر التيار الكهربائي بين طرفي (الكاثود والانود) الأنبوبة الزجاجية عبر الغاز وسمى هذا التيار بتيار الكاثود. أجرى طومسون العديد من التجارب والتي حصل منها على النتائج التالية:



الشكل ( 1-2 ) :مخطط يوضح أنبوبة طومسون التي استخدمها لدراسة تأثير الكهرباء على المواد

1- نعلم إن المجال الكهربائي يؤثر على الشحنة الكهربائية بقوة كهربية تعطى بالعلاقة :

$$F_e = qE \quad (1)$$

حيث :  $F_e$  هي القوة الكهربائية و  $q$  الشحنة الكهربائية و  $E$  المجال الكهربائي

وعليه إذا وضعت شحنة كهربائية في مجال كهربائي فإنها سوف تتحرك في اتجاه المجال إذا كانت شحنتها موجبة وتتحرك في عكس اتجاه المجال إذا كانت شحنتها سالبة.

2- نعلم إن المجال المغناطيسي يؤثر على الشحنة الكهربائية بقوة مغناطيسية اذا كانت الشحنة

تتحرك بسرعة في المجال الكهربائي. وتعطى القوة المغناطيسية بالعلاقة:

$$F_m = qv_0B \quad (2)$$

حيث  $F_m$  القوة المغناطيسية و  $q$  الشحنة الكهربائية و  $v_0$  سرعة الشحنة و  $B$  المجال المغناطيسي. إذا توفر وسط فيه مجال كهربائي ومجال مغناطيسي وأطلقت في اتجاهه حزمة من الشحنات فإن القوة المؤثرة على الشحنات في هذه الحالة هي محصلة القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية وتعرف هذه القوة باسم قوة لورنتز **Lorentz Force**.

$$F = qE + qv \times B \quad (3)$$

يوضح الشكل (2-2) الجهاز الذي استخدمه طومسون لتجربة تعيين النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته وهي عبارة عن أنبوبة أشعة المهبط مفرغة من الهواء وفيها على اليسار فتيلة حرارية تسخن عندما يمر فيها التيار الكهربائي فتنبعث منها الإلكترونات التي يتم تسريعها بواسطة فرق جهد لنحصل على حزمة مركزة من الإلكترونات تنطلق بسرعة إلى الجزء الأيمن من الأنبوبة. تدخل الإلكترونات بعد ذلك في منطقة فيها مجال كهربائي ومجال مغناطيسي ويكون اتجاه المجال الكهربائي عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي حتى تكون القوة الكهربائية مؤثرة على الإلكترونات للأسفل بينما تكون القوة المغناطيسية مؤثرة على الإلكترونات للأعلى.

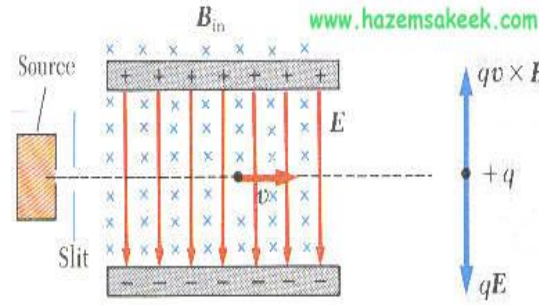
عندما لا يكون هناك مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي فإن الإلكترونات تنطلق في مسار مستقيم وتصطدم في نهاية أنبوبة الكاثود على لوحة عليها مادة فلوريسنت (مثل شاشة التلفاز) تتوهج عندما تصطدم بها الإلكترونات فتعطي في هذه الحالة بقعة مضيئة في وسط اللوحة.



الشكل (2-2): الجهاز المستخدم لتجربة تعيين النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته.

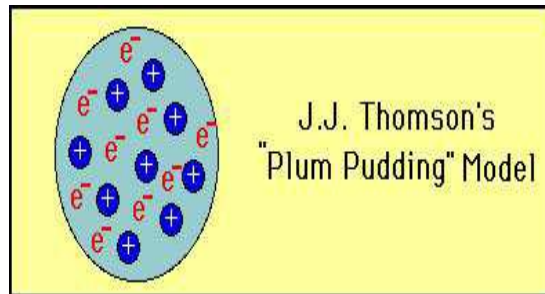
عندما نقوم بتعريض الإلكترونات إلى المجال المغناطيسي من خلال ملفات هولمهولتز (عبارة عن ملفين متوازيين يمر فيهما التيار الكهربائي بحيث يكون المجال المغناطيسي منتظم في مركز الملفين) فتتحرف حزمة الإلكترونات للأعلى نتيجة للقوة المغناطيسية ونلاحظ ذلك على البقعة المضيئة على لوحة الفلوريسنت ويمكن التحكم في انحراف الإلكترونات بزيادة المجال المغناطيسي عن طريق زيادة التيار الكهربائي المار فيه.

ولدراسة تأثير المجال الكهربائي على حزمة الإلكترونات نقوم بفصل التيار الكهربائي المار في ملفات هولمهولتز فيصبح المجال المغناطيسي صفر وتعود حزمة الإلكترونات إلى المسار المستقيم مرة أخرى، نقوم بعد ذلك بتشغيل المصدر الكهربائي الخاص بتزويد اللوحين المتوازيين بفرق جهد كهربائي بحيث يكون اللوح الأعلى موجب واللوح السفلي سالب فيكون المجال الكهربائي منتظم من اللوح الموجب إلى اللوح السالب وهذا سيؤثر على الإلكترونات بقوة كهربائية للأعلى لأن الإلكترونات سالبة الشحنة فيتحرف مسار حزمة الإلكترونات للأعلى كما في الشكل (2-3).



الشكل (2-3): تأثير المجال الكهربائي على حزمة الإلكترونات

في نهاية القرن العشرين اقترح طومسون مكتشف الإلكترونات نموذجاً للذرة يسمى نموذج كعكة الزبيب وفيه يشكل جسم الذرة جسم الكعكة موجب الشحنة ويحيط به إلكترونات سالبة الشحنة.

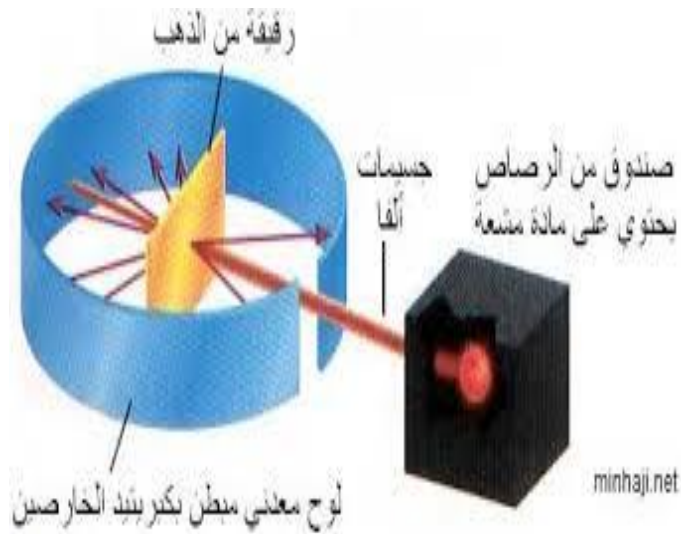


الشكل (2-4): نموذج طومسون للذرة

- الذرات عبارة عن أجسام كروية منتظمة تحمل شحنات موجبة مرصعة بالإلكترونات السالبة.
- الذرة كتلة كروية مصمتة
- تتوزع الشحنات بانتظام داخل الذرة.
- لا يوجد تركيز للشحنات في منطقة معينة.
- الذرة متعادلة كهربائياً.

### 1-3 تجربة غايغر - مارسيدن:

ان الطريقة المباشرة لدراسة التركيب الداخلي لنموذج طومسون هي دراسة تفاعل هذه الذرات مع جسيمات أخرى دقيقة مشحونة. وبناء على توجيهه من العالم ارنيست رودفورد، قام كل من غايغر ومارسيدن عام 1911 بتجربة تستخدم بها جسيمات الفا المنبعثة من العناصر المشعة كأداة فاحصة لتركيب الذرة. حيث جسيمات الفا هي ذرات الهيليوم التي فقدت إلكترونين وبالتالي أصبحت مشحونة بشحنة موجبة (+2e). لقد وضع غايغر ومارسيدن مصدرا لجسيمات الفا خلف حاجز من الرصاص فيه فتحة صغيرة، وبذلك حصلوا على حزمة ضيقة من هذه الجسيمات سلطت هذه الحزمة على طبقة رقيقة من الذهب، وكانت هناك شاشة مطلية بمادة كبريتات الزنك في الجهة الثانية من الهدف تبعث ومضة ضوئية كلما سقطت عليها جسيمة الفا.

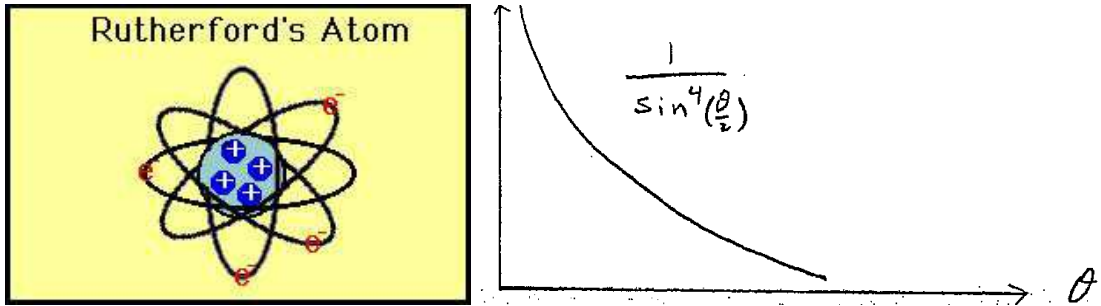


الشكل (2-5): تجربة غايغر ومارسيدن.

### 1-3-1 نتائج التجربة:

شاهد كل من غايغر و مارسيدين ما يلي:

- 1- تستمر نسبة كبيرة من جسيمات ألفا الساقطة في طريقها بالتشتت بزوايا أقل من  $1^0$ .
- 2- هناك نسبة صغيرة لكنها محسوسة تشتتت بزوايا أكبر من  $1^0$  وقد تجاوزت زاوية التشتت لبعض الجسيمات  $90^0$
- 3- المشاهدة الأهم هي ان عددا قليلا من الجسيمات الساقطة يرتد بزوايا  $180^0$  عن الصفيحة الهدف.



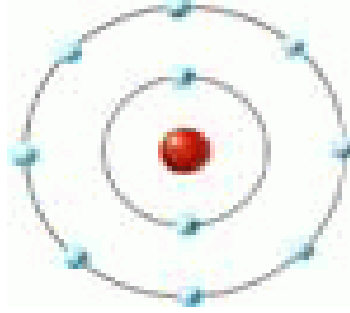
### 2-3-1 تفسير رutherford :

- توقع رutherford مرور دقائق الفا عبر الصفيحة الرقيقة دون ان تعاني انحرافات كبيرة وذلك للأسباب التالية
- افتراض طومسون ان الشحنات الموجبة والسالبة تتوزع بانتظام داخل الذرة وعدم وجود نقاط تتركز فيها الشحنات.
  - افتراض طومسون ان الذرة تتكون من كتلة كروية متجانسة.

• اقترح رutherford التفسير التالي:

1. الذرة معظمها فراغ.
2. كتلة الذرة تتركز في حيز صغير جدا (النواة) يحمل كل الشحنة الموجبة.
3. تنتشر الشحنات السالبة (الإلكترونات) على مسافات كبيرة حول النواة.

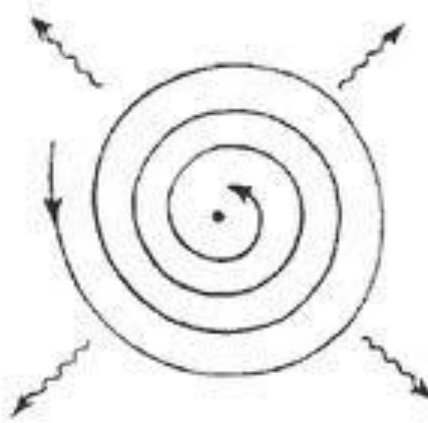
4. يجب ان تكون الإلكترونات متحركة لأنها لا تستطيع المحافظة على حالة استقرارها بوجود قوة إلكتروستاتيكية تجذبها نحو النواة.



### 1-3-3 عيوب نموذج رذرفورد

إذا كانت الإلكترونات تدور حول النواة في مسار دائري سوف تنشأ قوة مركزية ويتحرك الإلكترون بتسارع مركزي ويكون مع النواة ثنائي متذبذب يشع أمواجاً كهرومغناطيسية ويدور في مسار حلزوني إلى أن يسقط في النواة، كما في الشكل أدناه.

بما أن الإلكترون يدور حول النواة ويكون معها زوجاً متذبذباً، إذا الذرة تشع طيفاً مستمراً متغيراً في التردد والطول الموجي وتتناقص طاقته تدريجياً، وهذا يتناقض مع نتائج التجارب العملية التي تثبت أن الذرات تشع طيفاً خطياً له طول موجي محدد بدقة.



اقترح رذرفورد النموذج التالي: تتكون الذرة من جسم صلب يحوي معظم كتلة الذرة ذي كثافة عالية و تجول حوله على مسافات كبيرة مقارنة بأبعاد النواة إلكترونات (عددها الذري يساوي العدد الذري  $Z$ ) لكي تبقى الذرة متعادلة الشحنة فيجب أن تكون شحنة النواة تساوي  $+Ze$ .



### 4-3-1 حساب عدد الجسيمات المشتتة $N(\theta)$ :

يعطى عدد الجسيمات المشتتة ( بتأثير مركز تشتيت واحد ( نواة واحدة)) بدلالة زاوية  $\theta$  في وحدة الزمن  $N(\theta)$  بالعلاقة التالية:

$$N(\theta) = \frac{I \cdot n \cdot t \cdot Z^2 \cdot e^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \cdot r^2 \cdot T_a \cdot \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

حيث :

$I$  عدد الجسيمات الساقطة الكلي في وحدة المساحة و وحدة الزمن (التدفق)

$n$  : كثافة مراكز التشتت الحجمية ( $m^{-3}$ )

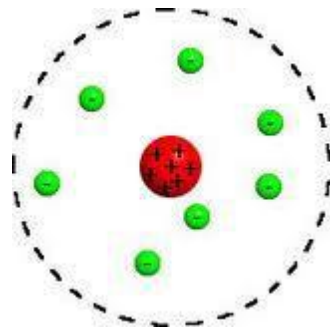
$t$  : سمك الصفيحة الهدف.

$r$  : المسافة بين الهدف و الكاشف

$T_a$  : طاقة الجسيمات

### 4-1 النموذج المداري للذرة:

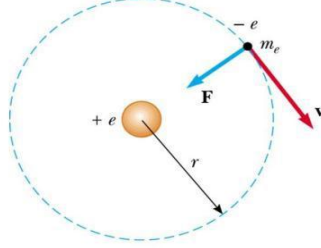
حسن نموذج رذرفورد الصورة عن الذرة و بدأ بذلك عصر جديد في محاولة فهمها و فهم الأطياف التي تشاهد عند إخضاع العناصر خاصة الهيدروجين في تلك الأيام لتفريع كهربائي. ان نموذج رذرفورد يفرض على الإلكترونات ان تكون دائمة الحركة لأنها خاضعة للقوة الكولومبية التي تؤثر بها النواة عليها.



الشكل ( 2-6 ) : ذرة رذرفورد

### 1-4-1 ذرة الهيدروجين :

يبين الشكل ( 7-2 ) ذرة الهيدروجين و هي أبسط ذرة إذ تحوي إلكترونًا واحدًا و نواتها التي تحتوي بروتونًا فقط.



الشكل ( 7-2 ) : ذرة الهيدروجين.

يؤثر البروتون على الإلكترون بقوة جذب كولومبية  $\vec{F}_e(r)$  و التي تعتمد عكسيا على مربع المسافة بين الجسيمين و تعطى بالعلاقة:

$$\vec{F}_e(r) = -k \frac{e \cdot e}{r^2} \vec{r} = -k \frac{e^2}{r^2} \vec{r} \quad (4)$$

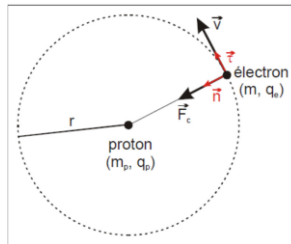
حيث:  $\vec{r}$  متجه وحدة يمثل بعد الإلكترون عند البروتون .

### 1-4-2 الفرضية المدارية:

تلعب القوة الكولومبية دور قوة مركزية  $\vec{F}_c$  و نحن نعلم من دراسة الحركة في ميكانيك نيوتن

ان :

$$\vec{F}_c = m \frac{v^2}{r} (-\vec{r}) \quad (5)$$



الفرضية المدارية التي اقترحها بور تنص على ان الإلكترون يدور حول البروتون في مدار دائري كما تدور الأرض حول الشمس بسرعة  $v$  تعني ان :

$$F_c = F_e \Rightarrow m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \Rightarrow v^2 = \frac{ke^2}{mr}$$

تعطى الطاقة الحركية  $E_c$  و الطاقة الكامنة  $E_p$  للإلكترون بالعلاقتين :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r} \quad (6)$$

$$E_p = -\frac{ke^2}{r} \quad (7)$$

طاقة الإلكترون الكلية هي :

$$E_T = E_c + E_p = \frac{ke^2}{2r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{2r} = -E_c \quad (8)$$

طاقة الإلكترون سالبة هذا يعني ان الإلكترون غير حر ( مقيد).

و هذا هو الحال بالنسبة لأي إلكترون في الذرة لان طاقة موجبة يعني ان الإلكترون يستطيع الهروب أو مغادرة الذرة .

**نتيجة:** تفسير هذه الصورة البسيطة لشحنتين يعني ثبات الذرة و تجانسها عبر ارتباط الإلكترون بالنواة (البروتون).

### 3-4-1 فشل الفيزياء الكلاسيكية:

الإلكترون في الصورة السابقة بتسارع :  $a = \frac{v^2}{r}$  و حسب النظرية الكهرومغناطيسية فان جسيم مشحون متسارع مثل الإلكترون هنا يشع طاقة كهرومغناطيسية و يخسر تدريجيا من طاقته حتى تصبح طاقته تساوي صفر و عندها سوف يسقط داخل النواة. ان هذا يعني ان الذرة سوف تتداعى و هذا مناقض لمشاهداتنا اليومية في الحياة و في المختبر و التي تثبت ان الذرات متماسكة و متجانسة.

## 2- نظرية بور:

### 1-2- مقدمة :

في عام 1913 وضع نيلز بور نموذجا للذرة يمزج بين الفيزياء الكلاسيكية ومفاهيم جديدة ونجح هذا النموذج في تفسير ظواهر عديدة تظهر أثناء دراستنا للذرات .

ولتفسير ثبات الذرة اقترح بور التسليم بأن الذرة يمكن أن تتواجد بدون أن يكون هناك إشعاع للطاقة (ناتج عن إلكترونات الذرة المتسارعة والتي تدور في مسارات دائرية حول النواة (البروتين في ذرة الهيدروجين) في واحدة من مجموعة منفصلة من حالات الطاقة المستقرة ذات طاقة ثابتة .

ولتفسير طيف ذرة الهيدروجين اقترح بور التسليم بأن الذرة يمكن أن تشع أو تمتص أموجا كهرومغناطيسية فقط في عملية انتقال بين حالتين من حالات الطاقة المستقرة.

إذا كان الانتقال من حالة طاقة ابتدائية  $E_i$  الى حالة طاقة نهائية  $E_f$  فان تردد الاشعاع يساوي :

$$\tilde{\nu} = \frac{E_f - E_i}{h}$$

$h$  : ثابت بلانك

### 2-2- مسلمات بور:

- يمكن أن تتواجد الذرة بدون أن يكون هناك إشعاع للطاقة في واحدة من مجموعة منفصلة من حالات الطاقة المستقرة ذات الطاقة الثابتة.

- يمكن أن تشع الذرة أو تمتص أموجا كهرومغناطيسية فقط في عملية انتقال بين حالتين من حالات الطاقة المستقرة وبالتالي يكون تردد خط الطيف المرافق يساوي إلى:

$$\tilde{\nu} = \frac{E_f - E_i}{h}$$

### 2-3- نموذج بور وفرضية دي بروي :

كانت الفكرة وراء عمل دي بروي هي تفسير نموذج بور :

في عام 1924 كتب الفيزيائي الفرنسي لويس دي بروي رسالة دكتوراه بعنوان "بحث حول نظرية الكم" وافترض فيها أن كل المواد تمتلك "موجة دي بروي" مشابهة للضوء، حيث أنه وتحت ظروف

مناسبة سنُظهر الإلكترونات والمواد الأخرى خصائص كل من الجسيمات والضوء، ويُستدل على الخصائص الجسيمية لجسيم ما عندما يُظهر أنه يملك موقعاً متمركزاً في المكان يعتمد على انحناء مساره أثناء حركته، أما الطبيعة الشبيهة الموجية للجسيم فيمكن أن تلاحظ - على سبيل المثال - عندما يمر شعاع من الضوء عبر شقوق متوازية ويخلق نمطاً متداخلاً من الأشعة. ان للجسيمات المادية خاصية موجية، كما للموجات خاصية جسيمية، فإذا كانت كمية حركة الفوتون  $p$  فإن طول موجة دي بروي للإلكترون الذي يدور في مدار دائري حول النواة يعطى بالعلاقة:

$$\tilde{e} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} ;$$

$$E_c = -\frac{ke^2}{2r} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$p = \sqrt{2m|E|} = \sqrt{\frac{ke^2}{r}} \quad (9)$$

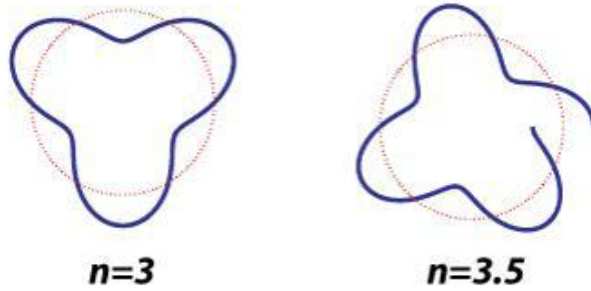
$$\tilde{e} = \sqrt{\frac{h^2}{2m|E|}} = \sqrt{\frac{(hc)^2 r}{mc^2 ke^2}} = 2\tilde{d} \sqrt{\frac{(hc)^2 r}{mc^2 ke^2}} \quad (10)$$

$$\tilde{e} = 2\tilde{d}r$$

و عليه يكون طول موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون يساوي بالضبط محيط المدار الدائري .

### 2-3-1 - موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون

موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون دائرية ولذا فإذا أردنا أن يدور الإلكترون في مدار دائري مستقر فإن نصف قطر المدار الدائري لا يمكن أن يأخذ إلا قيماً محددة (منفصلة) من طول الموجة .



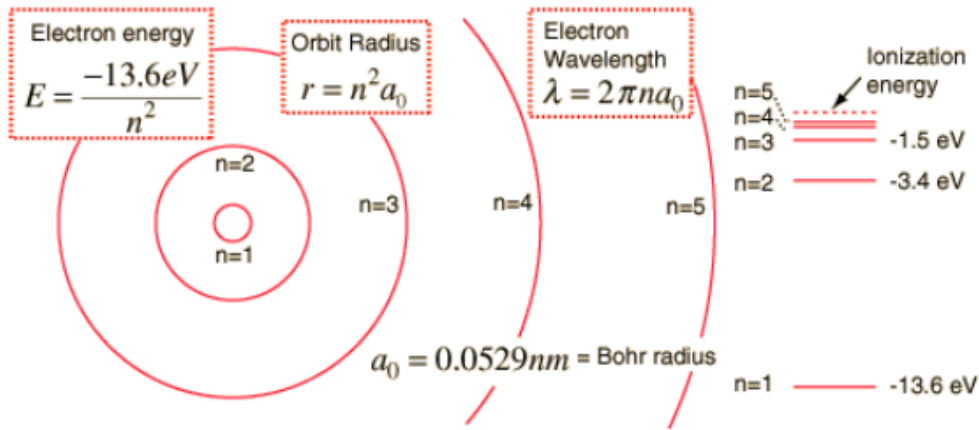
الشكل ( 2-8 ): موجة دي بروي ومدار الإلكترون

$$r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{2m_e k e^2} ; n = 1, 2, 3, \dots$$

$$r_n = n \sqrt{\frac{(\hbar c)^2 r}{m c^2 k e^2}} ; n = 1, 2, 3, \dots$$

$$r_n = n^2 \frac{(\hbar c)^2}{m c^2 k e^2} = n^2 a_0 \quad (11)$$

$$0.53 \text{ \AA} = \frac{(1970)^2}{511000 \times 14.4} = a_0 = \frac{(\hbar c)^2}{m c^2 k e^2} \quad \text{: تطبيق عددي}$$



الشكل (2-9): أنصاف الأقطار لإلكترون ذرة الهيدروجين كدالة للعدد الكمي.

### 2-3-2 العدد الكمي الرئيسي:

فسر بور خطوط طيف ذرة الهيدروجين على أساس الطاقة الإلكترونية للأوربيبتات (أو الأغلفة) ذات الطاقة المحددة، وقد افترض ان ترقيم هذه الأغلفة يبدأ من اقربها إلى النواة. فالغلاف الأول يأخذ الرقم (1) والغلاف الثاني يأخذ الرقم (2) والغلاف (n) يأخذ الرقم (n)، هذه الأرقام تعرف بأعداد الكم الرئيسية أو الأساسية.

سمي العدد الصحيح n بالعدد الكمي الرئيسي وسوف نرى انه يحدد مستوى الطاقة التي يمكن للإلكترون أن يمتلكها.

## 4-2- مستويات الطاقة و تأيين الذرة :

لقد رأينا أن الطاقة الكلية لإلكترون ذرة الهيدروجين تعطى بالعلاقة :

$$E_T = -E_c = -\frac{ke^2}{2r}$$

باستخدام قيمة  $r_n$  من علاقة نصف قطر المدار الدائري نجد أن :

$$E_n = -\frac{k^2 \cdot e^4 \cdot m_e}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (12)$$

$$E_n = -\frac{E_1}{n^2}$$

حيث  $E_1$  هي الطاقة المرافقة للعدد الكمي  $n = 1$

**تطبيق عددي:**

$$n = 1 \rightarrow E_1 = -\frac{E_1}{1^2} = -13.6eV$$

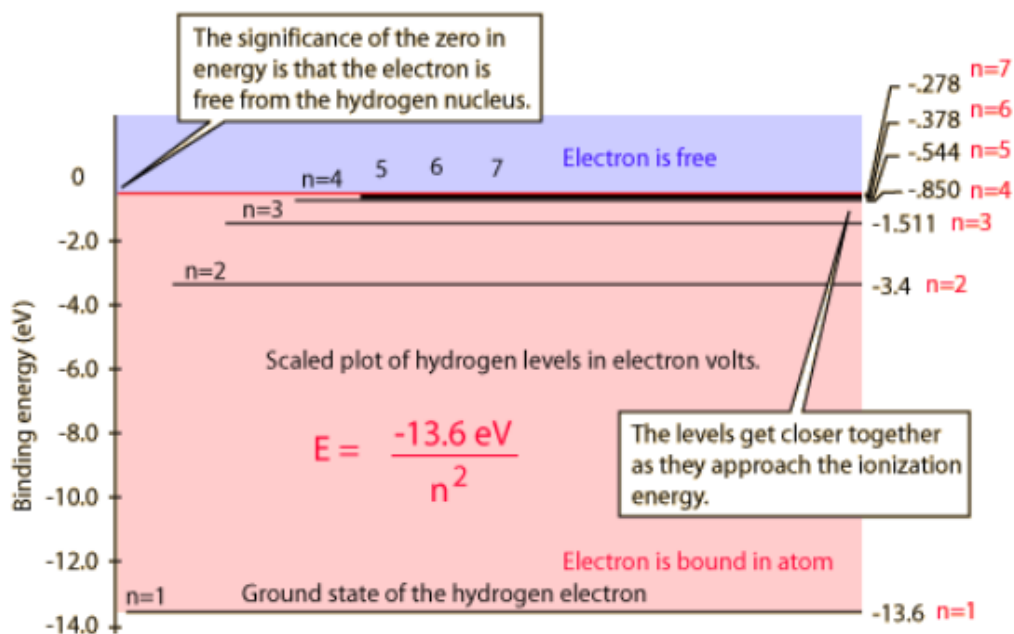
$$n = 2 \rightarrow E_2 = -\frac{E_1}{2^2} = -3.4eV$$

$$n = 3 \rightarrow E_3 = -\frac{E_1}{3^2} = -1.51eV$$

$$n = 4 \rightarrow E_4 = -\frac{E_1}{4^2} = -0.84eV$$

طاقة ارتباط الإلكترون في ذرة الهيدروجين كدالة للعدد  $n$  أين العدد  $n$  يسمى بالعدد الكمي الرئيسي أو الاساسي.

ونلاحظ أنه كلما زاد العدد  $n$  كلما اقتربت المستويات من بعضها البعض حتى تصبح على شكل طيف مستمر بعدما كانت طيف منقطع في القيم الأولى أو الصغرى لـ  $n$ .



الشكل (2-10): مستويات الطاقة لإلكترون ذرة الهيدروجين وفقا لنموذج بور.

### 3-حالات الطاقة:

- اذا كان النظام ( الإلكترون هنا ) يمتلك الطاقة  $E_n$  فاننا نقول أنه في الحالة  $E_n$  وأنه موجود في المدار  $n$ .
- تسمى أقل قيمة للطاقة للنظام المكون من الإلكترون والبروتون طاقة الحالة الأساسية ونقول أن النظام (الذرة) موجود في حالته الأساسية (الأرضية).
- اذا كانت طاقة الذرة أكبر من طاقة الحالة الأساسية فإننا نقول أن الذرة موجودة في حالة مثارة .

### 3-1- الحالات الأساسية والحالات المثارة:

نلخص في الجدول (2-1) قيم الطاقة ونصف قطر المدار لعدة مستويات في ذرة الهيدروجين:



الجدول (1-2) : قيم الطاقة ونصف قطر المدار لعدة مستويات في ذرة الهيدروجين

الحالة	العدد الكمي $n$	$E_n(eV)$	$r_n(A^0)$
الأساسية	1	$E_1 = -13.6$	$r_n = a_0 = 0.53$
المثارة الأولى	2	$E_2 = -3.4$	$r_2 = 4a_0 = 2.12$
المثارة الثانية	3	$E_3 = -1.51$	$r_3 = 9a_0 = 4.77$
المثارة الثالثة	4	$E_4 = -0.84$	$r_4 = 16a_0 = 8.48$
.....	.....	.....	.....
	$\infty$	$E_\infty = 0$	$r_n = \infty$

### 3-2- مسلمة بور الأولى: الحالات المستقرة

1- نلاحظ أن جميع قيم الطاقة التي يمكن للإلكترون أن يمتلكها سالبة أي أنه مقيد أي كانت الحالة التي يتواجد فيها.

2- كما اقترح بور فإن مستويات الطاقة منفصلة ( **discrète** ) ونقول أن الطاقة مكممة ويقل تباعد مستويات الطاقة الواحد عن الآخر كلما زاد العدد الكمي  $n$ ، ونصل إلى منطقة يصعب تمييز مستويات الطاقة فيها.

3- أكبر قيمة للطاقة هي  $E_\infty = 0$  وهذا يعني أن الإلكترون مقيد دوماً.

4- تسمى الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون من الذرة في حالتها الأساسية أي  $E_1$  طاقة التأين وتساوي في ذرة الهيدروجين إلى  $13.6 eV$  .

### 3-3 مسلمة بور الثانية : الأطياف الذرية

إذا انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من حالة الطاقة  $E_2$  إلى حالة الطاقة  $E_1$  (المستوى الأساسي) فإن فرق الطاقة  $\Delta E = E_2 - E_1$  موجب وتردد الإشعاع الصادر في هذه الحالة (الفوتون) هو :

$$\tilde{\nu} = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{-3.4 - (-13.6)}{12400} \cdot 3 \cdot 10^{16}$$

$$\tilde{\nu} = 2.47 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

وطول الموجة المرافقة هي:

$$1215 \text{ \AA} = \lambda = \frac{c}{\tilde{\nu}} = \frac{hc}{\Delta E}$$

وهو طول موجة أول خط من سلسلة ليمان

وإذا كان الانتقال من المنطقة المتصلة ( $n = \infty; E_\infty = 0$ ) إلى المستوى الأساسي

( $n = 1; E_1 = 13.6 \text{ eV}$ ) فان طول موجة الإشعاع الصادر هي:

$$912 \text{ \AA} = \lambda = \frac{c}{\tilde{\nu}} = \frac{hc}{\Delta E}$$

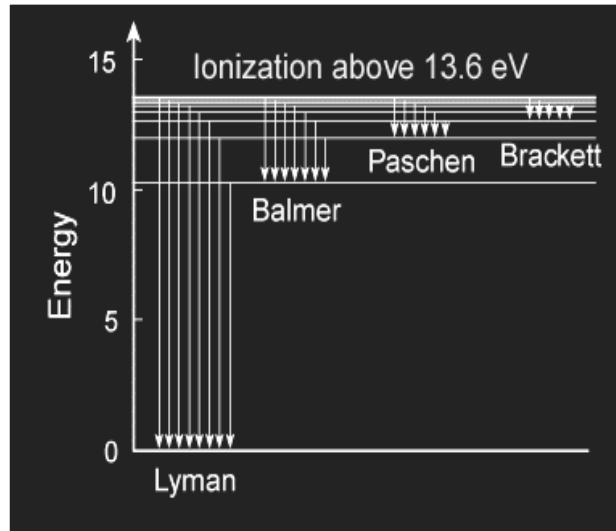
وهو طول موجة آخر خط من سلسلة ليمان.

### 4-3 سلسلة بالمر للهيدروجين:

ركز العلماء على دراسة طيف ذرة الهيدروجين وتوالت الاكتشافات في هذا المجال حيث

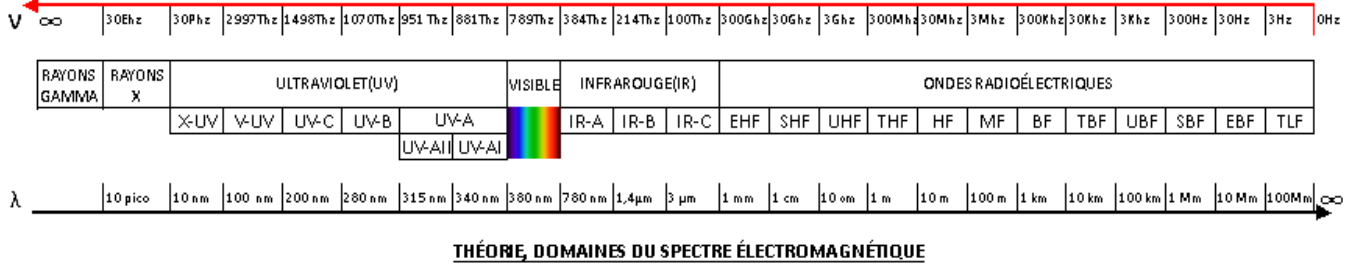
رصد العالم **Balmer** في العام 1885 الطيف المرئي لذرة الهيدروجين وهي الانتقالات التي

يحدثها الإلكترون إلى المستويات كما في الشكل التالي:



لاحظ العالم بالمير أن إخضاع غاز الهيدروجين لتفريغ كهربائي يسبب ظهور سلسلة من الخطوط الطيفية.

تبدأ السلسلة بالخط  $H_{\alpha}$  الذي طول موجته  $656\text{\AA}$  يليه الخط  $H_{\beta}$  وطول موجته  $4863\text{\AA}$  ثم  $H_{\gamma}$  ذو الطول الموجي  $4341\text{\AA}$  و هكذا حتى نصل إلى طول موجة  $3646\text{\AA}$  الذي يشكل حد لهذه السلسلة .



### • ثابت ريدبارغ:

وجد بالمير علاقة بسيطة تربط بين خطوط السلسلة السابقة على الصيغة:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (13)$$

$$m = 2, n = 3, 4, 5, \dots;$$

حيث  $R$ : ثابت يسمى ثابت ريدبارغ اشتقت قيمته من النتائج المخبرية ويساوي :

$$R = 1.096 \cdot 10^7 m^{-1} = 0.001096 \text{\AA}^{-1} = 0.01096 nm^{-1}$$

وظهرت لاحقا أربع سلاسل مشابهة لسلسلة بالمر سميت بأسماء مكتشفها وأظهرت النتائج المخبرية أن صيغة بالمير صالحة لهذه السلاسل أيضا وذلك بتغيير قيم كل من  $n$  و  $m$  المرافقة

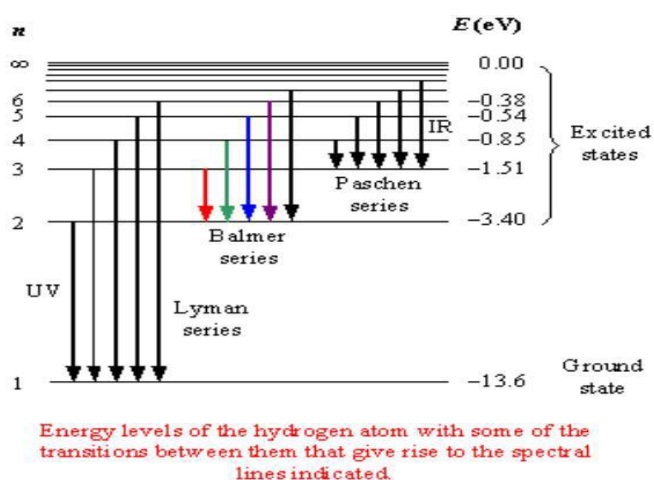
### 5-3 السلاسل الطيفية للهيدروجين:

هناك مجموعة من طيف ذرة الهيدروجين اكتشفها العالم ليمان **Lyman** وهي في مدى الأشعة فوق البنفسجية واكتشف العالمان باشن و براكيت **Bracket - Paschen** مجموعتين آخريتين في مدى الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي. ووضعت العديد من المعادلات التي تحسب هذه المجموعات من الأطوال الموجية. وفي العام 1890 توصل العالم ريدبارغ **Rydberg** إلى معادلة واحدة لحساب كل الأطوال الموجية لكل الانتقالات المتوقعة من الذرة.

يلخص الجدول (2-2) صيغة ريديبارغ للسلاسل الأربعة :

الجدول (2-2) : صيغة ريديبارغ للسلاسل الأربعة

$\frac{1}{\bar{e}} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4, \dots$	سلسلة ليمان - Lyman
$\frac{1}{\bar{e}} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5, \dots$	سلسلة بالمير - Balmer
$\frac{1}{\bar{e}} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$	سلسلة باشن - Paschen
$\frac{1}{\bar{e}} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$	سلسلة براكت - Brackett
$\frac{1}{\bar{e}} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$	سلسلة بفند - Pfund



الشكل ( 2-11 ) : مجموع السلاسل الطيفية المعروفة

هذه المعلومات الدقيقة عن طيف ذرة الهيدروجين مع نتائج نموذج رذرفورد يجب ان تؤخذ في الحسبان وهذا ما قام به العالم بوهر في فرضيته لنموذج ذرة الهيدروجين.



عدد الإلكترونات بعين الاعتبار وهنا تختلف الحسابات البسيطة التي توصل إليها بور مع النتائج المخبرية.

2- هناك مجموعة من الذرات تشبه في خواصها ذرة الهيدروجين وهي تلك التي تملك إلكترونات وحيدا في مدارها حول النواة وتسمى الذرات الشبيهة بالهيدروجين. تنطبق عليها حسابات بور السابقة بوضع الشحنة  $+Ze$  بدلا من الشحنة  $+e$

كان للعالم بور فضلا كبيرا في إدخال مفهوم تكميم الطاقة، أي حقيقة أن الطاقة على المستوى الذري لا يمكن أن تأخذ قيما متصلة كما هو الحال في ميكانيك نيوتن بالرغم من أن نموذج بور لم يكن كافيا لتفسير جميع الظواهر على المستوى الذري.

#### 4 - فشل نظرية بور:

وجدنا مما سبق أن نموذج بور حقق نجاحا في تفسير السلاسل الطيفية و في حساب ثابت ريدبارغ و كذلك في حل المشاكل التي عجز عنها نموذج رذرفورد. علاوة على ذلك فقد بينت التجارب صحة توقعات نموذج بور فيما يتعلق بمستويات الطاقة المكتمة. و مع هذا النجاح إلا أن هناك أمورا لم يستطع هذا النموذج مناقشتها أو التعرض لها و تشكل في مجملها قصورا في هذا النموذج يدعو إلى البحث عن تطوير أو استحداث نماذج أخرى. و من مظاهر القصور في نموذج بور ما يلي:

- 1- لم يستطع نموذج بور تفسير أطياف الذرات الأكثر تعقيدا من ذرة الهيدروجين التي تحتوي على أكثر من إلكترون واحد.
- 2- افترض أن الإلكترون يدور في مدارات محددة وفي مستوى واحد حول النواة مما يعني أن ذرة الهيدروجين مسطحة مما يتنافى مع ما ثبت بعد ذلك من أن الذرة مجسمة.
- 3- افترض ان الإلكترون جسيم مادي ولم يأخذ بعين الاعتبار الطبيعة الموجية للإلكترونات.
- 4- افترض أنه يمكن تعيين كلا من مكان وسرعة الإلكترون في نفس الوقت بدقة وهذا عمليا مستحيل لأن جهاز القياس المستخدم سوف يغير المكان أو السرعة.

5- لم يعتبر بور احتمال تجاوز الإلكترون للمدارات الثابتة التي حددها واحتمال وجوده في منطقة حول هذا المدار الثابت.

كل تلك الأمور شكلت صعوبات في نموذج بور و للتغلب عليها فقد اقترح شرودينغر نظرية جديدة في ذلك الوقت هي نظرية الكم التي تعتمد على مفاهيم ميكانيكا الكم و التي استطاعت معالجة كثير من تلك الصعوبات في نموذج بور.

الموسم الجامعي 2021/2020  
السنة الثالثة -فيزياء ذرية و جزيئية

كلية العلوم الدقيقة  
قسم الفيزياء

السلسلة -2-

التمرين الأول

نعتبر إلكترون يقوم بحركة دائرية منتظمة حول بروتون ثابت.

1- أوجد المسافة و السرعة و الطاقة للجملة بدلالة العدد الكمي  $n$

2- احسب المقادير السابقة من اجل المستوى الأول :  $n=1$

التمرين الثاني

نعتبر ذرة هيدروجين مكونة من إلكترون يدور حول بروتون معتبر ثابت.

1- احسب طاقة الجملة بدلالة المسافة إلكترون - بروتون.

2- يكتب تكميم الفعل بالشكل :  $nh = \int p \cdot ds$

3- استنتج العبارة الجديدة للطاقة.

4- أوجد تواتر الفوتونات المنبعثة أو الممتصة من قبل الذرة لحظة الانتقال بين المستويين.

التمرين الثالث

لتكن ذرة الهيدروجين مكونة من إلكترون يدور حول بروتون معتبر ثابت.

1- بين ان العزم الحركي المداري للإلكترون ثابت بالنسبة للبروتون خلال الزمن. ماذا يمكن ان نستنتج.

2- يصنع الإلكترون حركة دائرية منتظمة حول البروتون. استنتج المسافة إلكترون - بروتون باعتبار ان القيمة السلمية للعزم الحركي المداري تعطى بالشكل :  $L = \hbar k$

3- باستعمال تكميم الفعل و كذا مجموع القوى المطبقة على الإلكترون. أوجد المسافة إلكترون - بروتون.



### التمرين الرابع

1 . ذرة هيدروجين مثارة إلى المستوى العاشر . احسب الطول الموجي وطاقة الفوتون المنبعث إذا عادت الذرة إلى المستوى الأرضي .

• كم يحتاج الإلكترون من طاقة حتى تتأين الذرة ؟

2 . إذا كانت كمية الحركة الزاوية لإلكترون ذرة الهيدروجين تساوي  $3.15 \times 10^{-34} \text{ j/s}$

\* ففي أي مدار يوجد هذا الإلكترون وكم تبلغ طاقته ؟.

### التمرين الخامس

1- اصطدم فوتون بإلكترون ذرة الهيدروجين في الحالة الأرضية . فإذا كانت طاقة

الفوتون  $12.0889\text{eV}$

\* احسب الأطوال الموجية الممكنة لطيف الانبعاث .

\* أثبت أن طاقة تأيين ذرة الهيدروجين تساوي طاقة الإلكترون بالمستوى الأول .

2- إذا كانت كتلة أيون الهيليوم أحادي التكافؤ  $\text{He}^+$  تساوي  $6.645 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$

\* فما هي قيمة الطول الموجي للخط الأول من سلسلة ليمان من طيف هذا الأيون ؟

### التمرين السادس

1 احسب طاقة الفوتون الذي اذا اصطدم مع ذرة الهيدروجين في الحالة الأرضية حصلنا على

اقصر الأطوال الموجية التي يمكن ان نرصدها في طيف الهيدروجين .

2 حدد العدد الذري للذرات شبيهة بالهيدروجين التي تتساوى فيها طاقة المستوى الرابع مع

طاقة المستوى الثاني في ذرة الهيدروجين .

## الفصل الثالث : العزوم الزاوية

### محتويات الفصل

- 1- العزم المداري للذرة
- 2- عزم ثنائي القطب المغناطيسي للإلكترون
- 3- عزم الازدواج و ترنج لارمور (Larmor precessio)
- 4- العزم المغزلي أو السبيني للذرة
- 5- العزم المغناطيسي للسبين
- 6- العزم الزاوي الكلي
- 7- عزم ثنائي القطب المغناطيسي الكلي

## 1-العزم المداري للذرة:

### 1-1 الدراسة الكلاسيكية:

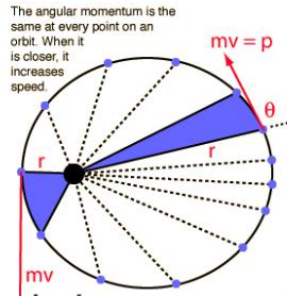
كمية الحركة الزاوية المدارية كمية شعاعية ويطبق عليها نظام المتجهات أين نكتب:

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \theta \quad (1)$$

وتعطي كمية الحركة الزاوية لجسم يتحرك على مسار ما بالنسبة إلى نقطة مرجعية بالعلاقة التالية:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times (m\vec{v}) \quad (2)$$

$$\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) \quad (3)$$



الشكل (1-3) : قانون كبلر لمسح المساحات لجسم بحركة مركزية

### 2-1 الدراسة الكمية:

تعطى معادلة شرودينغر بالنسبة لذرة الهيدروجين بالعلاقة:

$$H\psi = E\psi$$

$$\left[ -\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + U(r) \right] \psi = E\psi \quad (4)$$

حيث  $-\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2$  يمثل الطاقة الحركية للذرة في جملة مركز الكتل حيث  $\mu$  هي الكتلة المختزلة.

$U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$  : يمثل طاقة التفاعل الكهروستاتيكي بين الإلكترون والبروتون.

$\psi$  هي دالة الموجة و هي حل لهذه المعادلة حيث تصف الحالات المستقرة بقيمة معلومة للطاقة E

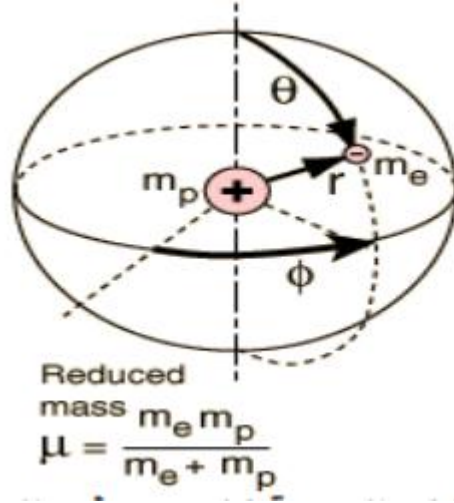
تكتب دالة الموجة باستعمال الإحداثيات الكروية بالشكل التالي:

$$\psi = \psi_{nlm}(r, \theta, \phi) = R_{nl}(r) Y_{lm}(\theta, \phi)$$

حيث:  $R_{nl}(r)$  هي دالة الموجة القطرية ، و  $Y_{lm}(\theta, \phi)$  هي دالة الموجة التوافقية الكروية.

و  $R_{nl}(r)$  هي حل لمعادلة شرودينغر:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dR}{dr} \right) - \frac{l(l+1)}{r^2} R + \frac{2i}{\hbar^2} \left( E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) R = 0 \quad (5)$$



الشكل (2-3) : الإحداثيات الكروية للإلكترون ذرة الهيدروجين.

إذا كانت  $E > 0$  : فإن حلول هذه المعادلة مستمرة و منتهية من أجل أي قيمة ل  $E$  و  $l$

إذا كان  $E < 0$  : فإن حلول هذه المعادلة ممكنة عند بعض القيم المنقطعة للطاقة  $E$

$$E = -\frac{1}{2} \frac{Z^2 e^4}{n^2 \hbar^2} \quad (6)$$

$n$ : هو العدد الكمي الرئيسي.

$l$ : هو العدد الكمي المداري و يحدد عن طريق الشروط الحدية لحل معادلة شرودينغر.

من أهم نتائج حل الجزء القطري هو قيم الطاقة المكتملة كدالة للعدد الكمي  $n$  و تأخذ الشكل:

$$E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2 n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad (7)$$

وهي على توافق مع نظرية بور.

من نتائج حلول الجزء الزاوي من معادلة شرودينغر نجد:

$$\hat{L}^2 = -\hbar^2 P(\theta) F(\phi) = l(l+1) \hbar^2 \psi(\theta, \phi) \quad (8)$$

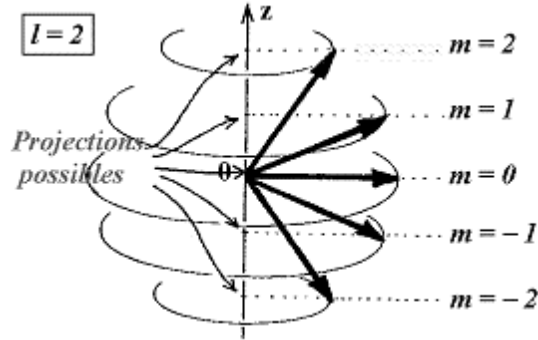
وعليه يمكن استنتاج القيم الذاتية لكمية الحركة المدارية بالشكل التالي:

$$L^2 = l(l + 1)\hbar^2 \quad (9)$$

$$L = \sqrt{l(l + 1)} \hbar$$

ملاحظة

هذا التكميم الجديد يتناقض مع فرضية بور وبالتالي فهو تفسير جديد لما عجزت عنه النظريات السابقة.



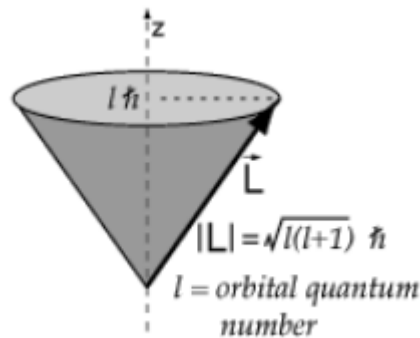
بالعودة إلى المؤثر  $\hat{L}$  على المحور  $z$  لكمية الحركة الزاوية المدارية نحصل على:

$$\hat{L}_z F(\varphi) = m_l \hbar F(\varphi) \quad (10)$$

ومنه تعطى القيم الذاتية للمؤثر  $L_z$  بالعلاقة:

$$L_z = m_l \hbar \quad (11)$$

يسمى  $m_l$  بالعدد الكمي المغناطيسي المداري لكمية الحركة المدارية ويساعد هذا العدد في فهم توجهات كمية الحركة الزاوية المدارية في وجود حقل مغناطيسي موجه نحو المحور  $z$ .



الشكل (3-3) : التوجه الفضائي لكمية الحركة الزاوية و مسقطها على المحور الموجه.

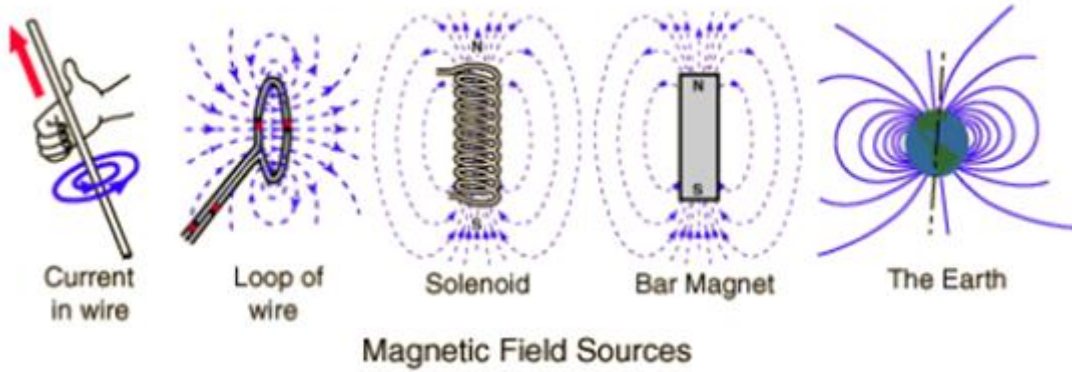
## 2- عزم ثنائي القطب المغناطيسي للإلكترون:

### 2-1 مقدمة:

نعلم أن التيار الكهربائي ينشأ عن حركة الشحنة الكهربائية وفق توجه محدد , و حسب تجربة اورستد ينشأ عن التيار مجال مغناطيسي له عزم ثنائي قطب مغناطيسي يتعلق بحركة الإلكترونات, و إذا كان التيار على شكل لفة أو عدة لفات (وشيجة) فإنه ستولد مجال مغناطيسي يتحدد توجهه وفق قاعدة أمبير (أصابع اليد اليمنى مع جهة التيار و الإبهام العمودي على مستوي الأصابع يحدد جهة المجال) و ينشأ مغناطيس له اصطلاحاً قطبين أحدهما شمالي (جهة الإبهام) و الآخر جنوبي له عزم مغناطيسي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\vec{\mu} = NI\vec{A} \quad (12)$$

حيث  $N$  عدد اللفات  $I$  شدة التيار المستمر ,  $A$  مساحة اللفة الواحدة الشكل (3-4) يحدد توجيهات المجال المغناطيسي لعدة حالات و دراستنا تتعلق بالشكل الثاني من اليسار.



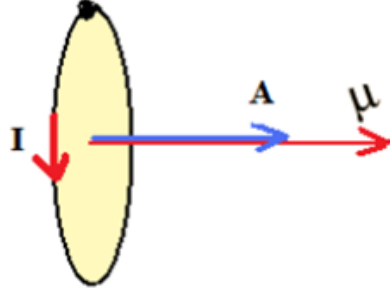
الشكل (3-4): توجهات المجال المغناطيسي لعدة حالات

### 2-2 الدراسة الكلاسيكية:

حسب فرضية بور فإن الإلكترون في الذرة و بشحنته المتحركة ينشأ عنه تيار كهربائي (لفة واحدة) و هذا التيار سينشأ عنه مجال مغناطيسي و سنكون هنا أمام لفة تقليدية لها تيار شدته  $I$  مساره يحيط بدائرة ((مسار بور) حيث أنه ليس كل المسارات دائرية عموماً) مساحتها  $A$  و سينشأ عنها

مجال مغناطيسي له عزم ثنائي قطب مغناطيسي له العلاقة (13) و عدد لفاته لفة واحدة الشكل (3-5) و تصبح العلاقة:

$$\vec{\mu}_t = I\vec{A} \quad (13)$$



الشكل (3-5) : شكل تخطيطي لأثر حركة إلكترون بور

و مشكلتنا هنا تخيلية أي أننا لا نستطيع قياس شدة التيار مباشرة و لذلك سنلجأ إلى الطرق الغير مباشرة لحساب شدة التيار و ذلك وفق الخطوات التالية:

التيار الكهربائي الذي تسببه شحنة كهربائية واحدة خلال فترة زمنية تساوي دورة واحدة له العلاقة التالية:

$$I = \frac{q}{T} \quad (14)$$

حيث  $T$  الزمن الدوري للحركة و  $q$  الشحنة المتحركة وهي شحنة الإلكترون.

في الحركة الدائرية السرعة الخطية  $v$  ترتبط مع السرعة الزاوية  $\omega$  و مع نصف قطر المسار  $r$  بالعلاقة التالية:

$$v = \omega r$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow v = \frac{2\pi}{T} r \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} \quad (15)$$

نعوض العلاقة (15) في العلاقة (14) فنجد:

$$I = \frac{qv}{2\pi r} \quad (16)$$

و هذه علاقة شدة التيار بدلالة كميات يمكن حسابها.

نعوض العلاقة (15) في العلاقة (13) فنجد:

$$\vec{\mu}_l = I\vec{A} = \frac{qv}{2\pi r}\vec{A} \quad (17)$$

و هذه علاقة عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري عموما لإلكترون يدور حول النواة. إن المساحة  $A$  عموما ليست مساحة دائرة (مسار بور دائرة) وإذا لم تكن دائرة تحسب بطريقة التكامل (راجع تكامل سطح إهليلجي) و بما أننا انطلقنا من نموذج بور فإن مساحة الدائرة خلال دورة تساوي إلى:

$$A = \int_0^A dA = \pi r^2 \quad (18)$$

نعوض العلاقة (17) في العلاقة (14):

$$\mu_l = IA = \frac{qv}{2\pi r}\pi r^2 = \frac{qvr}{2} \quad (20)$$

السؤال المطروح هنا هل يمكن ربط العلاقة (20) بكمية الحركة الزاوية المدارية التي درست تفصيلا سابقا ???

بالعودة إلى كمية الحركة الزاوية المدارية الكلاسيكية نحصل منها على  $v$  في العلاقة (20) و منه بالعلاقة التالية:

$$L = mvr \Rightarrow vr = \frac{L}{m} \quad (21)$$

نعوض العلاقة (20) في العلاقة (21) فنحصل على علاقة رائعة تربط عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري مع كمية الحركة الزاوية المداري بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} \mu_l &= \frac{qvr}{2} = \frac{q}{2m}L \\ q = -e &\Rightarrow \mu_l = \frac{-e}{2m}L \\ \vec{\mu}_l &= \frac{-e}{2m}\vec{L} \end{aligned} \quad (22)$$

العلاقة (22): تربط عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري مباشرة مع كمية الحركة الزاوية المدارية و بشكل كامل و إشارة السالب تعني أن وجهة العزم المغناطيسي معاكسة مباشرة لجهة كمية الحركة و هذا يعني لا فرق في الدراسة سواء درسنا كمية الحركة أو العزم المغناطيسي فنصل إلى نفس النتيجة الفيزيائية مع الفارق في الاتجاه و الوحدات. بالإضافة لما سبق فإننا هنا لا نحتاج لمعرفة مسار الإلكترون لأن معرفتنا له معرفتنا له معرفة احتمالية.



تسمى النسبة  $\left| \frac{-e}{2m} \right|$  في العلاقة (22) بالنسبة الجيرومغناطيسية (gyro magnetic ratio)

و تساوي عدديا إلى العزم المغناطيسي مقسوما على كمية الحركة الزاوية المدارية أي:

$$\frac{\mu_l}{L} = \left| \frac{-e}{2m} \right| \quad (23)$$

عند ضرب العلاقة (23) بثابت بلانك نحصل على ثابت يسمى مغنطون بور (the bohr

magneton) و يرمز له بالرمز  $\mu_B$  ويساوي إلى:

$$\mu_B = \frac{eh}{2m} = 9.247 \times 10^{-24} \text{A. m}^2 = 9.247 \times 10^{-24} \text{J. T}^{-1}$$

السؤال الآن هل عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري (العزم المغناطيسي) مكتمل؟؟؟؟

وجدنا مما سبق أن القيمة السلمية لكمية الحركة الزاوية المدارية مكتملة وقد أعطت القيم التالية:

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

$$L = \sqrt{l(l+1)} \hbar \quad (24)$$

حيث  $l$ : هو العدد الكمي المداري ويرتبط بالعدد الكمي الرئيسي  $n$  بالعلاقة:

$$0 < l < n - 1$$

نعوض العلاقة (24) في العلاقة (22) فنجد:

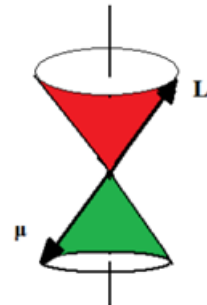
$$\mu_l = \frac{-e}{2m} L = \frac{-e}{2m} \sqrt{l(l+1)} \hbar$$

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

$$\mu_l = -\sqrt{l(l+1)} \mu_B \quad (25)$$

العلاقة (25) تعطي القيمة العددية للعزم المغناطيسي المكتمل و تقاس بوحدات مغنطون بور و

إشارة السالب تعني أن العزم المغناطيسي يعاكس كمية الحركة في الاتجاه انظر الشكل (3-6).



الشكل (3-6): العلاقة بين كمية الحركة و العزم المغناطيسي

نؤكد من جديد أن كل دراسات كمية الحركة الزاوية المدارية ترتبط مع العزم المغناطيسي الذي يرافق كمية الحركة دوما و لكن في جهة المعاكسة. و الآن نعطي لأنفسنا العذر لماذا ندرس دوما كمية الحركة الزاوية دون التطرق للعزم المغناطيسي أحيانا.

انظر العلاقة التكافئية التالية:

$$L = \sqrt{l(l+1)} \hbar \Leftrightarrow -\sqrt{l(l+1)} \mu_B \quad (26)$$

ماذا يحصل عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي؟

لقد وجدنا فيما سبق أنه اذا كان المجال المغناطيسي B في الاتجاه Z فإن مسقط L على المحور Z قد أعطي بالعلاقة التالية:

$$L_z = m_l \hbar \quad (27)$$

$$m_l = -l, -l+1, \dots, \dots, \dots, +l$$

و بإسقاط العلاقة (25) على المحور Z و تعويض العلاقة (27) فيها فنجد:

$$\mu_l = \frac{-e}{2m} L \Rightarrow \mu_z = \frac{-e}{2m} L_z = -m_l \frac{e \hbar}{2m}$$

$$\mu_z = -m_l \mu_B \quad (28)$$

في العلاقة (28) لاحظ أن مسقط العزم المغناطيسي على المحور z هو من مضاعفات مغنطون بور. قارن بين العلاقتين في (26) و (27) و لاحظ أنه إذا كانت إحداها موجبة فالأخرى سالبة من خلال المقارنة التالية:

$$L_z = m_l \hbar \Leftrightarrow \mu_z = -m_l \mu_B \quad (29)$$

$$m_l = -l, \dots, \dots, \dots, +l$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, \dots, \dots, n-1$$

**مثال:** بين توجهات العزم المغناطيسي عندما يكون العدد الكمي المداري يساوي 2.

**الحل**

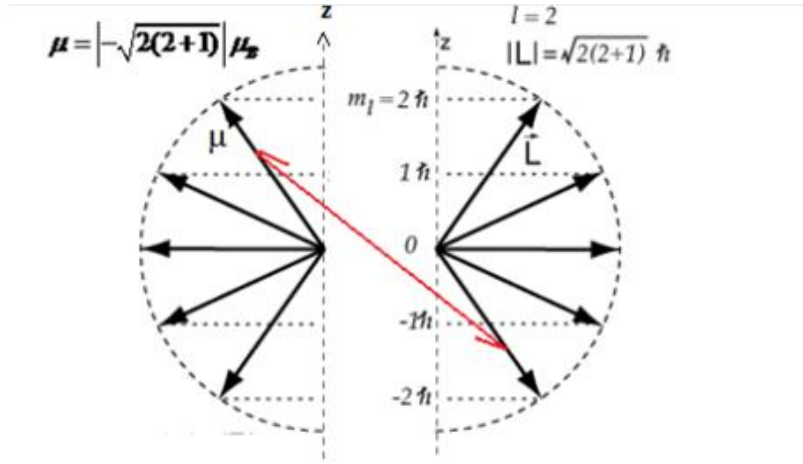
عندما:

$$l = 2 \Rightarrow m_l = -2, -1, 0, 1, 2$$

أي انه لدينا خمسة احتمالات لمسقط العزم المغناطيسي على المحور z و هي:

$$\mu_z = - \begin{vmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{vmatrix} \quad \mu_B = \begin{vmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{vmatrix} \mu_B \quad \Leftrightarrow L_z = \begin{vmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{vmatrix} h$$

و الشكل (7-3) يوضح المقارنة بين المسقطين. و لكن ماذا على مستوى مستويات الطاقة؟؟؟؟ هل مستوي الطاقة هذا ينشطر إلى خمسة مستويات؟؟؟؟



الشكل (7-3): مقارنة بين مسقط العزم المغناطيسي و مسقط كمية الحركة الزاوية.

ولا اعتبارات طيفية أخذت الأرقام التابعة للعدد l شكل رموز أي:

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

0 يرمز له ----- s

1 يرمز له ----- p

2 يرمز له ----- d

3 يرمز له ----- f

وهناك بعض الكتب أعطت تلك الرموز تسميات نسبة إلى السلاسل الطيفية.

• المتسلسلة الرئيسية (Principal): وتتم فيها الانتقالات من الحالات المثارة P إلى

الحالة الأساسية S .

- المتسلسلة الحادة (Sharp) : وتتم فيها الانتقالات من الحالات المثارة S إلى الحالة الأرضية P .
- المتسلسلة المنتشرة (Diffuse): وتتم فيها الانتقالات من الحالات المثارة D للحالة الأرضية P.
- المتسلسلة الأولية (Fundamental): وتتم فيها الانتقالات من الحالات المثارة F للحالة الأرضية (الأساسية).

ملاحظة:

الأحرف الكبيرة تعبر عن الحدود الطيفية.

حتى تتم الانتقالات من الحالات المثارة إلى الحالات الأساسية فهي تخضع إلى شروط صارمة وتسمى قواعد الانتقاء.

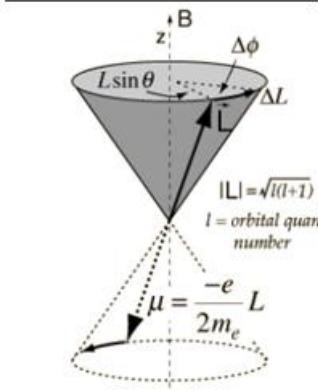
### 3- عزم الازدواج و ترنج لارمور (Larmor precession):

إن تأثير المجال المغناطيسي الخارجي على إلكترون الذرة سيؤثر على عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري (مغناطيس أول يؤثر على مغناطيس ثاني) بعزم تدوير (عزم ازدواج) (الكهرباء و المغناطيسية+الميكانيكا التقليدية) يعطى بالعلاقة التالية:

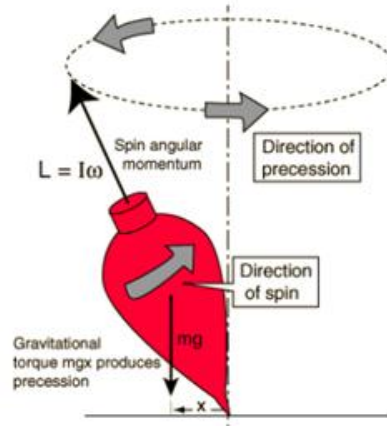
$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{\mu}_l \times \vec{B} \quad (30)$$

يحاول هذا العزم أن يثير عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري ليحمله منطبقا على اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي و هذا يحصل لو كان العزم المغناطيسي ساكنا و لكي تصل الجملة إلى نهاية صغرى من الطاقة. و لكن إذا كان العزم المغناطيسي ناجما عن حركة الإلكترون في مسار حول النواة فان العزم المغناطيسي يتناسب مع كمية الحركة الزاوية المدارية للإلكترون. و في هذه الحالة فان المجال المغناطيسي الخارجي (ثابت ليس متغير) سوف يغير في كمية الحركة الزاوية المدارية و كمية هذا التغير ستكون عمودية على كمية الحركة الزاوية المدارية مسببة إلى ترنج العزم المغناطيسي (causing the magnetic moment to precess) حول اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي و تسمى هذه الحالة بترنج لارمور (Larmor precession) و الشكل (3-3)

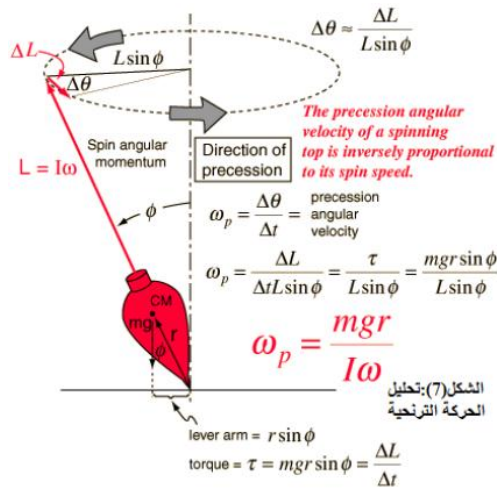
8) يبين بشكل تخطيطي ما سبق شرحه و الإشكل (3-9) و (3-10) و (3-11) تبيين ميكانيكا عملية الترنج لجهاز يويو أو بلبل الأطفال و الجيروسكوب و الذي يمثل أعقد حركة ميكانيكية.



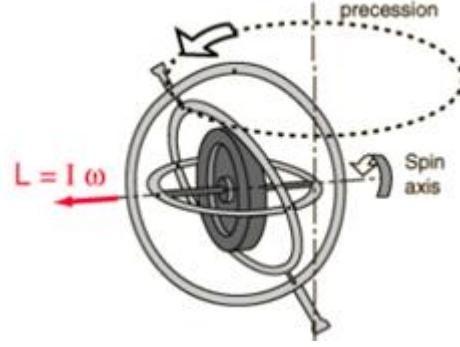
الشكل (3-8) : شكل تخطيطي لترنج لارمور



الشكل (3-9) : حركة بلبل الأطفال الترنحية



الشكل (3-10) : تحليل الحركة الترنحية



الشكل (3-11) : حركة الجيروسكوب

في العلاقة (30) إذا عوضنا قيمة العزم المغناطيسي بما يساويه من العلاقة (28) نجد:

$$\vec{\tau} = -\frac{e}{2m} \vec{L} \times \vec{B} \quad (31)$$

وفق قاعدة اليد اليمنى تبين العلاقة (31) أن العزم عمودي على  $\vec{L}$  و ان التغير في  $\vec{L}$  بمقدار  $\Delta \vec{L}$  سيسبب الترنح حول المحور Z نرمز لزاوية الترنح ب  $\Delta \theta$  يمكننا أن نصف ما سبق رياضيا من الشكل (3-10) كما يلي:

$$\Delta \theta = \frac{\Delta L}{L \sin \theta} \Rightarrow \Delta L = L \sin \theta \cdot \Delta \theta$$

و لكن

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t} \approx \frac{dL}{dt} = L \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \quad (32)$$

بمساواة العلاقة (31) مع (32) نجد:

$$\begin{aligned} \hat{\theta} &= -\frac{e}{2m} LB \sin \theta \Rightarrow \\ \tau &= \frac{\Delta L}{\Delta t} \approx \frac{dL}{dt} = L \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \\ -\frac{e}{2m} LB \sin \theta &= L \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \\ \frac{d\theta}{dt} &= -\frac{eB}{2m} = \omega_{\text{Larmor}} = \omega_L \end{aligned} \quad (33)$$

العلاقة (33) تعطينا تردد الحركة الترنحية و تسمى  $\omega_L$  تردد لارمور و هي تعاكس مباشرة المجال المغناطيسي B.

ملاحظة:

القوة المؤثرة على عزم ثنائي القطب المغناطيسي في حال وجود مجال مغناطيسي خارجي:

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}(\Delta E) = \vec{\nabla}(\mu\vec{B})$$

$$F_x = \mu_x^1 \frac{\partial B_x}{\partial x}$$

$$F_y = \mu_y^1 \frac{\partial B_y}{\partial y}$$

$$F_z = \mu_z^1 \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad (34)$$

العلاقة (34) تبين أنه اذا كان المجال المغناطيسي الخارجي ثابت فإن العزم المغناطيسي يتحرك حركة دورانية مخروطية فقط لان القوة المؤثرة تساوي الصفر و لكن اذا كان المجال لا يساوي الصفر فان حركة انتقالية تضاف إلى المخروطية.

### مثال

أوجد العلاقة بين التردد الزاوي قبل التطبيق المجال  $\omega_0$  و التردد الزاوي بعد تطبيق المجال  $\omega$ .

### الجواب :

$$\omega = \omega_0 - \frac{eB}{2m} = \omega_0 - \omega_L$$

## 4-العزم المغزلي أو السبيني للذرة

أثبتت التجارب الطيفية ذات الدقة العالية المجراة على مستويات طاوية للذرات داخل حقل مغناطيسي أن عدد هذه المستويات تكون أكثر مما نتوقه باستعمال الأعداد المكتملة  $l$  و  $m_l$ . و حتى في حقل مغناطيسي معدوم فان الخطوط الطيفية متكونة من زوج للخطوط المتقاربة ثنائية. ان هذه النتائج أدت إلى التفكير بأن الإلكترون لا يملك عزما حركيا مداريا فقط، بل يملك كذلك عزما حركيا ذاتيا. وباستعمال هذه الاعتبارات أمكن شرح كل مفعول ملاحظ تجريبيا باستعمال العزم القطبي المتعلق بحركة الإلكترون المدارية وبلفه السبيني.

يعطى العزم الزاوي للف السبيني لجسيم بالعلاقة:

$$S = \sqrt{s(s+1)} \hbar \quad (35)$$

حيث:  $s$  هو العدد الكمي للف السبيني

بالنسبة للإلكترون- البروتون و النترون فان  $s = \frac{1}{2}$  اما الفوتون فان  $s = 0$

في دراستنا للبنية الذرية فإننا ندخل عادة الإسقاط  $S_z$  للعزم  $S$  على المحور  $z$  و نكتب:

$$S_z = m_s \hbar \quad (36)$$

حيث:  $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

تسمى حالات السبين  $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$  حالات اللف السبيني (Up) و (Down) وعليه فكل حالة معرفة  $l, n, m_l$  تكون مضاعفة وهذا ناتج عن قيم  $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ . فاللف السبيني أو سبين الإلكترون قد رفع اللبس الناتج عن الملاحظات التجريبية للتحليل الطيفي أين شوهدت ثنائية الخطوط الطيفية.

## 5-العزم المغناطيسي للسبين

نعرف ان لجسيم معين يدور في مداره الدائري قطب مغناطيسي متناسب مع العزم الحركي المداري للجسيم. نفس الشيء فانه لشحنة تدور حول نفسها كذلك عزم قطبي مغناطيسي  $\mu_s$  متناسب مع عزمها الحركي السبيني  $S$ .

بالنسبة للإلكترونات تعطى عبارة العزم المغناطيسي بالشكل:

$$\vec{\mu}_s = -g_s \frac{e}{2m} \vec{S} \quad (37)$$

حيث:  $g_s$  معامل لاندي.

## 6-العزم الزاوي الكلي :

### 1-6 مقدمة :

إن الدراسات السابقة كانت فردية و درست كميات الحركة و العزوم المغناطيسية بشكل منفصل في حين أن الدراسة الدقيقة يجب أن تأخذ في الحسبان أثر محصلة تلك الكميات و في هذه الفقرة سنحاول إعادة الدراسة على كمية الحركة الكلية و العزم المغناطيسي الكلي و لنرى ما الفرق الناجم عن هذه الدراسة و الدراسات السابقة.

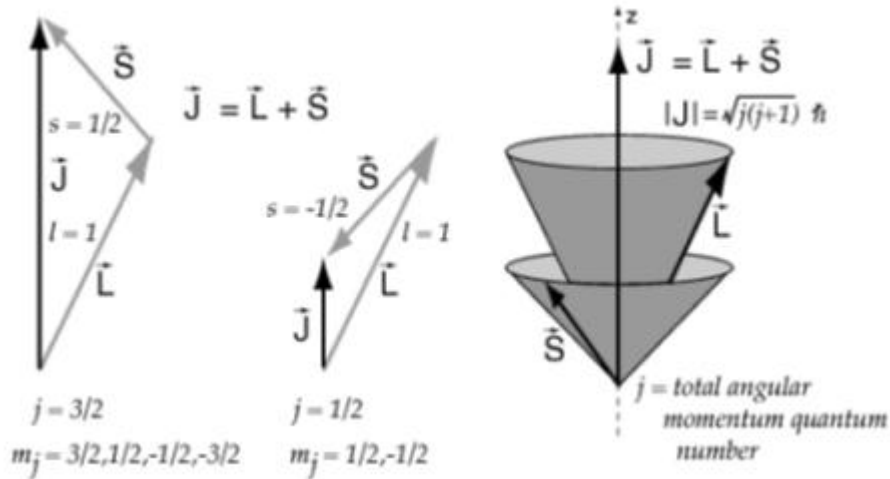


6-2 نموذج المتجه :

وجدنا فيما سبق أنه يوجد كميتين زاويتين لحركة الإلكترون حول نواة الذرة (لا ننسى أننا مازلنا في نطاق ذرة الهيدروجين البسيطة) و جمع المتجه لكمية الحركة الزاوية المدارية مع كمية الحركة الزاوية الذاتية سيعطي المحصلة التي تمثل كمية الحركة الزاوية الكلية لإلكترون الذرة و التي تأخذ العلاقة التالية:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (38)$$

حيث  $\vec{J}$  يمثل متجه كمية الحركة الزاوية الكلية و تنطبق عليها كل قوانين حفظ كمية الحركة و حفظ الطاقة. و في تمثيل المتجه لكلا الكميتين المدارية و الذاتية تترنحان حول اتجاه كمية الحركة الزاوية الكلية انظر الشكل (3-12) الذي يصف حالة إلكترون واحد مع الأخذ بعين الاعتبار توجهات سببين و ان  $l = 1$  و  $s = 1/2$  ، وفي حالة عدة إلكترونات ستصبح الأمور أكثر تعقيدا و عليه سندرس الارتباط  $L - S$  في أبسط أشكاله و ليكن قاعدة للانطلاق نحو الحالات الأبعد. و بالتالي فان دراستنا هي حالة خاصة لجمع المتجه لكميات الحركة الزاوية.



الشكل (3-12) : تمثيل متجه كمية الحركة الزاوية الكلية.

### 3-6 النموذج الكمي :

لدينا:

$$\hat{J}^2 \psi(\theta, \varphi) = j(j+1)\hbar^2 \psi(\theta, \varphi) \quad (39)$$

$$J = \sqrt{j(j+1)} \hbar \quad (40)$$

حيث:  $j$  هو العدد الكمي الزاوي الكلي و يأخذ قيمه من العدد الكمي المداري و العدد الكمي السبيني وفقا للعلاقة:

$$j = |l \pm s| = \left| l \pm \frac{1}{2} \right|$$

### 7- عزم ثنائي القطب المغناطيسي الكلي :

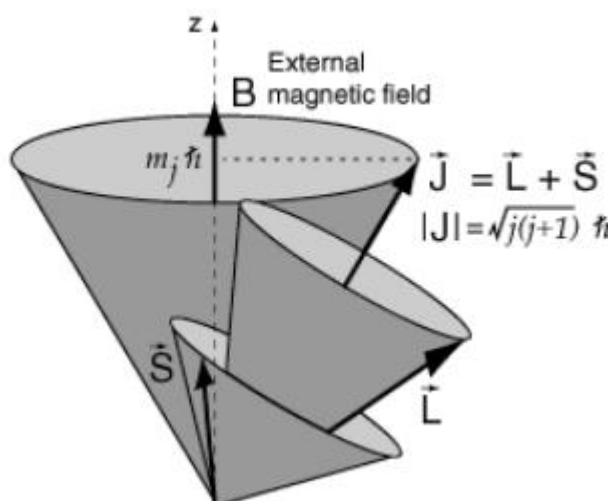
في حال وجود مجال مغناطيسي خارجي موجه وفق  $\mathbf{z}$  فان معادلة القيم الذاتية او الخاصة تعطي بالشكل :

$$J_z = m_j \hbar \quad (41)$$

حيث ان:  $-j \leq m_j \leq +j$

$J_z$  مسقط كمية الحركة الزاوية الكلية على توجه المجال المغناطيسي الخارجي.  $m_j$  العدد الكمي المغناطيسي الكلي لكمية الحركة الزاوية الكلية و قيمه الكلية تعطي دوما عددا زوجيا لعدد مستويات الطاقة المنشطرة بوجود المجال المغناطيسي، و هذا ما سنلاحظه عند دراستنا لأثر زيمان الشاذ (Zeeman effects anomalous).

الشكل (3-13) يبين الحركة الترنحية ل  $J$  حول المحور  $Z$  اتجاه المجال المغناطيسي و هي حالة خاصة عندما يكون المجال ضعيفا و في حال كون المجال شديدا فان الحركة الترنحية تكون مستقلة عن الحركة المدارية السبينية أنظر الشكل (3-13).



الشكل (13-3) : حركة كمية الحركة الزاوية الكلية الترنحية حول مجال مغناطيسي خارجي.

لاحظ على الشكل (13-3) أن حركة L ترسم مخروطاً و كذلك S و محصلتها ترسم مخروطاً يمثل حركة J أي أن L و S يدوران دورانا مخروطياً حول مجموعهما و بالتالي فإن قيمة J و مركباته  $J_z$  تبقى ثابتة و من المفترض هنا ان  $J_z$  تحقق العلاقة الغاية في الأهمية التالية:

$$J_z = L_z + S_z \quad (42)$$

$$J_z \psi = (L_z + S_z) \psi$$

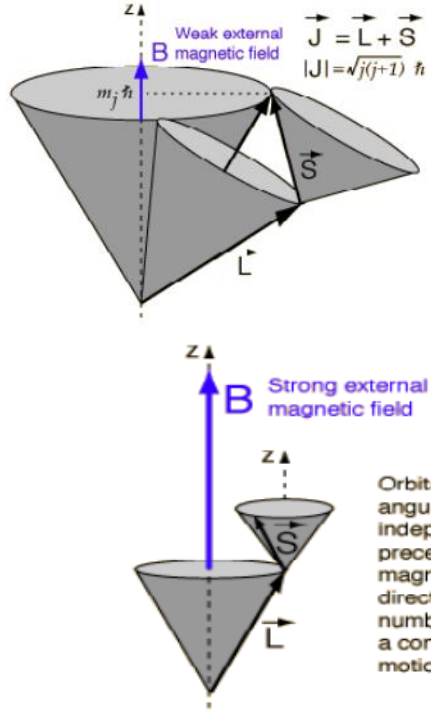
$$m_j \hbar = m_l \hbar + m_s \hbar$$

$$m_j \hbar = (m_l + m_s) \hbar$$

$$m_j = m_l + m_s$$

وعليه فإن:

$$J_z = m_j \hbar \quad (43)$$



الشكل (3-14) : الشكل العلوي المجال ضعيف و الشكل السفلي المجال قوي.

### أمثلة

ماهي كمية الحركة الزاوية الكلية  $J$  و مركبتها  $J_z$  لإلكترون ذرة الهيدروجين و هو في الحالة الأساسية (الأرضية)؟

الحالة الأساسية تعني أن  $n=1$  و عندها يكون العدد الكمي المداري  $l=n-1=1-1=0$  و العدد الكمي السبيني  $s=1/2$  و منه نجد قيمة  $z=l \pm 1/2$  و بالقيمة المطلقة أي:

$$j = \left| 0 \pm \frac{1}{2} \right| = \frac{1}{2}$$

$$J = \sqrt{j(j+1)} \hbar = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right)} \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$$

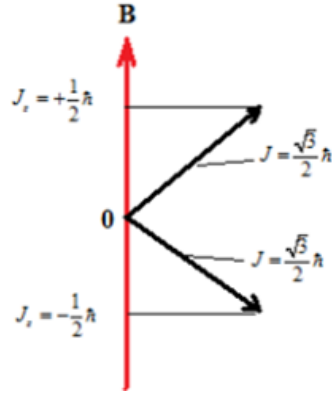
أما المسقط  $J_z$  على اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي فيأخذ القيم التالية:

$$J_z = m_j \hbar$$

$$m_j = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$J_z = \pm \frac{1}{2} \hbar$$

أي أن مسقط  $J$  على اتجاه المجال يأخذ قيمتين (تجربة شتينر-جيرلاخ). الشكل (3-15)



الشكل (3-15) : تمثيل تخطيطي لمجريات التمرين

ماهي القيم المحتملة لكمية الحركة الزاوية الكلية  $J$  و مركباتها  $J_z$  من أجل إلكترون في الحالة المدارية  $p$ ؟

الحالة المدارية  $p$  تعني أن  $l = 1$  و منه نجد قيم  $J$  من العلاقة:

$$j = |l \pm s| = \left| 1 \pm \frac{1}{2} \right| = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$$

$$J_{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right)} h = \frac{\sqrt{3}}{2} h$$

$$J_{\frac{3}{2}} = \sqrt{\frac{3}{2} \left( \frac{3}{2} + 1 \right)} h = \frac{\sqrt{15}}{2} h$$

يلاحظ أنه لدينا قيمتين لكمية الحركة الزاوية الكلية راجع الشكل (3-15). وهنا يجب معالجة  $J_z$  لكل حالة على حده.

الحالة الأولى:

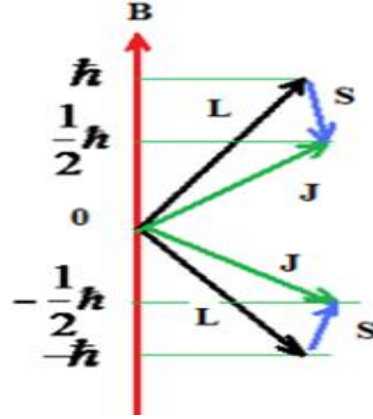
$$J_z^{\frac{1}{2}} = m_j \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar \Rightarrow$$

$$J_z^{\pm \frac{1}{2}} = L_z + S_z = \pm \frac{1}{2} \hbar$$

$$J_z^{+\frac{1}{2}} = \left( 1 - \frac{1}{2} \right) \hbar = +\frac{1}{2} \hbar$$

$$J_z^{-\frac{1}{2}} = \left( -1 + \frac{1}{2} \right) \hbar = -\frac{1}{2} \hbar$$

أي أن هذه الحالة شبيهة بالمثال السابق لكن القيمة المدارية مختلفة و الرسم التمثيلي يوضحه الشكل(3-16).



الشكل(3-16) :رسم تخطيطي للحالة الأولى.

### الحالة الثانية:

$$j = \frac{3}{2} \Rightarrow J = \frac{\sqrt{15}}{2} \hbar$$

$$J_z = m_j \hbar \Rightarrow m_j = -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$$

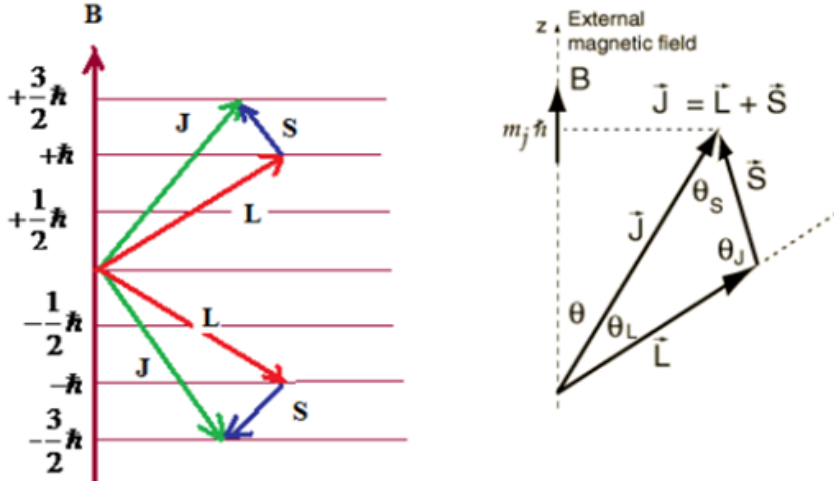
$$J_z = \hbar \begin{pmatrix} \frac{3}{2} \\ -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ -\frac{3}{2} \end{pmatrix}$$

تعطي الحالة الثانية على المحور Z أربعة قيم محتملة (سوية الطاقة تنتشر إلى أربع سويات) لمسقط كمية الحركة الزاوية الكلية. ان الحالة  $\pm 1/2$  عولجت في الحالة الأولى و لنعالج الحالة  $\pm 3/2$  كمايلي:

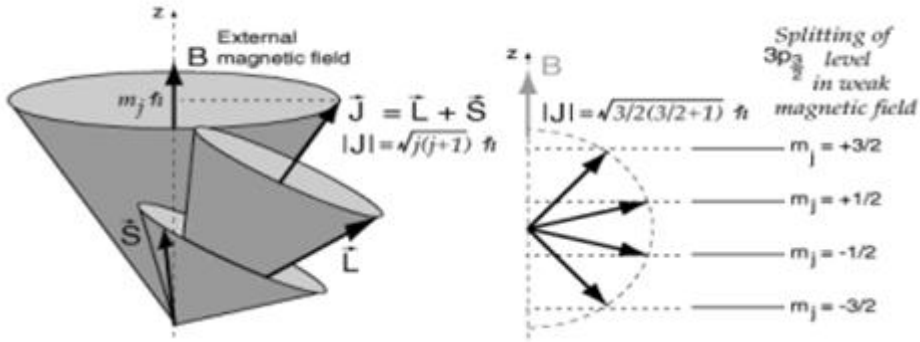
$$j = \frac{3}{2} \Rightarrow J_z = L_z + S_z = m_j \hbar$$

$$J_z^{+\frac{3}{2}} = (m_l + m_s) \hbar = \left(1 + \frac{1}{2}\right) \hbar = \frac{3}{2} \hbar$$

$$J_z^{-\frac{3}{2}} = (m_l + m_s)\hbar = \left(-1 - \frac{1}{2}\right)\hbar = -\frac{3}{2}\hbar$$



الشكل (3-17) : رسم تخطيطي للحالة الثانية.



الشكل (3-18) : التوجه الفضائي و عدد القيم المسموحة على المحور الموجه.

نذكر أنه عندما  $l = 1$  فإن  $L_z$  تأخذ ثلاثة قيم و في مثالنا هذا لم نعالج حالة  $m_l = 0$  لأنها عولجت في المثال الأول.

### 1-7 نموذج المتجه:

وجدنا سابقا أن عزم ثنائي القطب المغناطيسي المداري و السبيني يشكلان عزم ثنائي القطب المغناطيسي الكلي و قد أعطيت علاقته بالشكل التالي:

$$\vec{\mu}_J = \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S$$

$$\vec{\mu}_J = -\frac{e}{2m} (\vec{L} + g\vec{S}) \quad (44)$$

حيث  $g$ : يمثل معامل لاندي

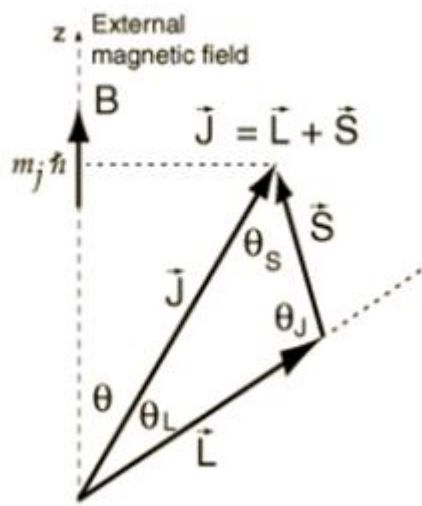
و الدراسة هنا لا تختلف عما قمنا به للشكل المتجه لكمية الحركة الزاوية الكلية سوى أن اتجاه العزم المغناطيسي الكلي يعاكس بالاتجاه كمية الحركة الزاوية الكلية و لكن التعاكس ليس مطلق و ذلك لوجود المعامل  $g = 2$

### 7-2 النموذج الكمي:

سيتم مناقشة هذا الموضوع تفصيلا في فصل اثر زيمان لأن المعالجة الكمية للعلاقة (44) تحتاج إلى إدخال هاملتوني الطاقة الكلية بوجود و عدم وجود المجال المغناطيسي الخارجي وفيما إذا كان هذا الأخير قويا أم ضعيفا. فمثلا إذا كانت العلاقة بين كميتي الحركة الزاوية المدارية والسبينية كما في الشكل (3-19) فإن العلاقة (44) تعطي النتيجة الكمية التالية:

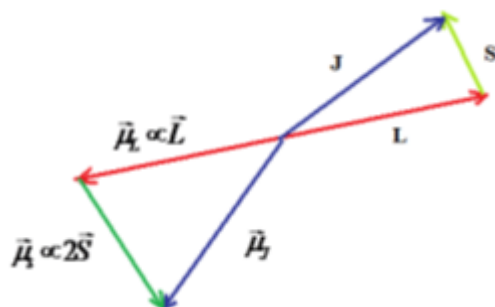
$$\begin{aligned} \mu_J^2 &= \frac{e^2}{4m^2} (L^2 + 4S^2 + 4\vec{L}\vec{S}) \\ 2\vec{L}\vec{S} &= J^2 - L^2 - S^2 \Rightarrow 4\vec{L}\vec{S} = 2(J^2 - L^2 - S^2) \\ \mu_J^2 &= \frac{e^2}{4m^2} (L^2 + 4S^2 + 2(J^2 - L^2 - S^2)) \\ \mu_J^2 &= \frac{e^2}{4m^2} (L^2 + 4S^2 + 2J^2 - 2L^2 - 2S^2) \\ \mu_J^2 &= \frac{e^2}{4m^2} (2J^2 + 2S^2 - L^2) \\ \mu_J &= \pm \frac{e^2}{4m^2} (2J^2 + 2S^2 - L^2) \\ \mu_J &= \pm \frac{e^2}{4m^2} \sqrt{2J^2 + 2S^2 - L^2} \quad (45) \end{aligned}$$





الشكل (3-19): تمثيل كمية الحركة الزاوية الكلية بأكثر قيمة

و هذا يعني أن كمية الحركة الزاوية الكلية والعزم المغناطيسي الكلي ليسا على استقامة واحدة و متعاكسين كما وجدنا في كمية الحركة الزاوية المدارية أنظر الشكل (3-20).



الشكل (3-20) : شكل تخطيطي لتوجه العزم المغناطيسي الكلي

السلسلة -3-

التمرين الأول:

- 1 . أكتب معادلات القيم الخاصة للعزم الحركي للإلكترون ذرة الهيدروجين. نسمي  $l$  و  $m_l$  الأعداد الكمية المرافقة.
- 2 . أكتب معادلات القيم الخاصة لسبين الإلكترون مع أخذ نتائج نموذج السؤال 1. نسمي  $S^2$  و  $S_z$  بالمؤثرات و  $s$  و  $m_s$  | لأعداد الكمية المرافقة. ماذا يمكن أن نقول عن  $m_s$  .
3. نعتبر الأعداد الكمية  $n; l; m_l$  ثابتة. أوجد قيمة العدد الكمي الذي يمكننا من مضاعفة عدد الحلول. إستنتج درجة إنحلال المستوى  $n$  عند الأخذ بعين الإعتبار السبين .

التمرين الثاني:

لتكن ذرة الهيدروجين في الحالة المثارة  $n$

الإلكترون مرفق بالعزم الحركي  $\vec{L}$  و العزم السبيني  $\vec{S}$  . نعرف العزم الزاوي الكلي :  $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$

- 1 . أكتب معادلات القيم الخاصة للعزم الزاوي الكلي. نسمي  $J^2$  و  $J_z$  بالمؤثرات و  $z$  و  $m_j$  الأعداد الكمية. ماهو مجال تغير  $m_j$  ؟.

- 2 . ما هي العلاقة التي تربط  $m_s, m_l, m_j$  ؟.

3 . إنطلاقا من العلاقة الشعاعية الكلاسيكية:  $\vec{J}_c = \vec{L}_c + \vec{S}_c$

- أوجد مجال تغير القيمة المطلقة  $J_c$  بدلالة  $L_c$  و  $S_c$
- استنتج مجال تغير العدد الكمي  $z$  المرافق بدلالة  $l$  و  $s$
- أوجد عدد القيم الممكنة لـ  $m_j$  بالنسبة لأي مستوى طاقة.

### التمرين الثالث:

نعتبر مستوى طاقة  $n$  لذرة هيدروجين.

- 1 . أكتب معادلة القيم الخاصة للعزم الحركي ولسبين الإلكترون. استنتج درجة إنحلال هذا المستوى انطلاقا من الأعداد الكمية  $m_l, s, m_s$  .
- 2 . أكتب معادلة القيم الخاصة للعزم الزاوي الكلي. استنتج درجة إنحلال هذا المستوى إنطلاقا من الأعداد الكمية  $z, m_j, s, l$  .
- 1 . أوجد درجة إنحلال مستوى الطاقة  $n = 2$  إعتقادا على الطريقتين السابقتين.

### التمرين الرابع:

1. ماهي كمية الحركة الزاوية الكلية  $z$  و مركباتها  $J_z$  لإلكترون ذرة الهيدروجين و هو في الحالة الأساسية.
2. ماهي القيم المحتملة لكمية الحركة الزاوية الكلية  $z$  و مركباتها  $J_z$  من اجل إلكترون في الحالة  $d$ .

### التمرين الخامس:

إذا كانت  $\theta$  هي الزاوية التي يصنعها المتجه  $\vec{L}$  مع محور التكميم. فماهي القيم التي يمكن للزاوية ان تأخذها إذا كانت ذرة الهيدروجين موجودة في الحالات  $\Psi_{n1}, \Psi_{n2}; \Psi_{n3}$

## الفصل الرابع: الذرات متعددة الإلكترونات

محتويات الفصل:

- 1- التأثيرات المتبادلة المختلفة في ذرة معقدة
- 2- مستويات الطاقة لجملة ذات  $N$  إلكترون مستقل في  
كمون مركزي
- 3- مبدأ باولي
- 4- مبدأ مستويات الطاقة للذرات متعددة الإلكترونات
- 5- الترتيب الدوري للإلكترونات
- 6- البنية الإلكترونية للذرة

## 1 التأثيرات المتبادلة المختلفة في ذرة معقدة:

عند دراسة ذرة معينة، من الواجب عند وضع معادلة المسألة دراسة كل التأثيرات المتبادلة من ذلك:

1. التأثيرات المتبادلة الكهروستاتيكية للإلكترونات مع النواة المعتبرة كنقطة.
2. التأثير الكهروستاتيكي المتبادل بين الإلكترونات فيما بينها.
3. التأثير الكهرومغناطيسي بين الإلكترون مع كمية الحركة المدارية.
4. التأثير المتبادل للعزوم المغناطيسية بين الإلكترونات فيما بينها.
5. التأثيرات المتبادلة للعزوم المغناطيسية المدارية وبين الإلكترونات مع العزم المغناطيسي.
6. التصحيحات تبعا لانجذاب النواة حيث أن شكلها ليس كرويا وبالتالي فإن التوزيع ليس متناظر كرويا.

ملاحظة: التأثيرات 5 و 6 تعتبر ضعيفة مقارنة بالتأثيرات الأخرى.

وحتى نتمكن من استنباط الأفكار الأساسية لمعظم الذرات نستعمل الفرضيتين:

1. استعمال معادلة شرودينغر اللانسية.
2. التأثير المتبادل 4 (التأثير المتبادل للعزوم المغناطيسية بين الإلكترونات فيما بينها) أكثر ضعفا من 5 (التأثيرات المتبادلة للعزوم المغناطيسية المدارية وبين الإلكترونات مع العزم المغناطيسي).

ملاحظة: هذه الفرضيات ليست مقبولة للذرات التي تحتوي على عدد قليل من الإلكترونات مثل (H, He).

4- يعطى هاملتوني في الجملة بالشكل:

$$H = \sum_i \left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \Delta_i - \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ze^2}{r_i} + \sum_{j>i} \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_{ij}} \right] \quad (1)$$

لا يوجد حل دقيق لهذا الهاملتوني لذلك نلجأ إلى التقريبات.

**التقريب الأول:** الإلكترونات مستقلة فيما بينها وخاضعة لكمون مركزي  $w(r)$

نأخذ  $H \rightarrow H_0$  وعليه يصبح الهاملوني بالشكل:

$$H_0 = \sum_i \left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \Delta_i + w(r) \right] \quad (2)$$

إذا أخذنا بالنسبة للكُمون  $w(r_i)$  الحد  $-\frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_i}$  يكون الأمر غير مقبولا لأننا لم نأخذ التأثيرات بين الإلكترونات فيما بينها.

$$\text{وعليه نأخذ: } \sum_{j>i} \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_{ij}} \text{ و } -\frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_i}$$

**التقريب الثاني:** نصحح التقريب الأول وذلك بإضافة الحدود المغناطيسية الممهلة آنفا.

$$H = H_0 + T_1 + T_2$$

• الحد  $T_1$  يمثل الخطأ الحاصل عند تعويض مدى التأثيرات المتبادلة الكهروستاتيكية  $w(r_i)$  ويأخذ الشكل:

$$T_1 = \sum_i \left[ -\frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ze^2}{r_i} + \sum_{j>i} \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_{ij}} - w(r_i) \right] \quad (3)$$

• الحد  $T_2$  يمثل التأثير المتبادل المغناطيسي السبيني مع كمية الحركة المدارية

## 2 مستويات الطاقة لجملة ذات $N$ إلكترون مستقل في كمون مركزي:

### 1-2 مستويات الطاقة:

يمكن أن نكتب الهاملتوني  $H_0$  بالشكل:

$$H_0 = \sum_i h_i$$

$$h_i = \sum_i \left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \Delta_i + w(r) \right] \quad (4)$$

يمكن حساب القيم الخاصة لـ  $H_0$  بناء على كل حد من الحدود المستقلة لـ:  $h_i$  وكل حد من حدود  $h_i$  يمثل هاملتوني الالكترن بدون سبين خاضع لكمون مركزي  $w(r)$  والبحث عن قيمه الخاصة وهو في الحقيقة إيجاد سويات الطاقة بدلالة العددين الكميين  $n$  و  $l$  للإلكترون والذي هو مرتبط أساسا بالقيمة الحقيقية لطاقة الكمون  $w(r)$  والتي تتعاقب حسب ترتيب الطاقة المتزايدة.

للبحث عن القيم الخاصة لـ  $H_0$  يجب معرفة سويات الطاقة  $E_i$  التي هي في الأساس قيم الهاملتوني  $h_i$  ولكون كل الإلكترونات متكافئة فإنه لايجاد سويات الطاقة يمكننا تطبيق نظرية

الجسيمات المتماثلة (**Les particules identiques**) والتي نذكرها بنتائجها المبرهنة في دروس ميكانيك الكم.

1. نحصل على سويات الطاقة لجملة مكونة من  $N$  جسم بجمع الطاقات  $E_i$  التي يمكن أن يأخذها كل جسم موضوع في الكمون  $w(r_i)$ .
2. يمكن وضع التابع الموجي لجملة  $N$  إلكترون على شكل معين والذي نتحصل على عناصره بواسطة التوابع الموجية للإلكترونات الفردية، وشكل هذا التابع الموجي يمنع الحالة التي تكون فيها عدة إلكترونات موصوفة بنفس مجموعة الأعداد الكمية (مبدأ باولي).

### 3 مبدأ باولي (principe de pauli):

#### 3-1 الأعداد الكمية الأربعة ومبدأ باولي:

يُميز الإلكترون في الذرة بأربعة أعداد كمية هي:

$n$ : العدد الكمي الرئيسي

$l$ : العدد الكمي المداري.

$m_l$ : العدد الكمي المغناطيسي المداري

$m_s$ : العدد الكمي المغناطيسي السبيني ويأخذ القيم  $(\pm \frac{1}{2})$

- إن مبدأ باولي هو نتيجة لعدم التمييز بين الإلكترونات ويمكن أن ينص على: في ذرة ما يجب أن تكون توابع الموجة للإلكترونات الفردية كلها مختلفة عن بعضها البعض والإلكترونين لا يمكنهما أن يأخذا قيم متساوية من أجل مجموعة الأعداد الكمية الأربعة.

ولهذا المبدأ نتائج أساسية هي:

1- فهو يسمح لنا بتحديد العدد الأقصى من الإلكترونات في الذرة والتي يمكن أن يكون لها نفس الطاقة.

2- تقدير رتبة التطابق (التوالد-الانحلال-**Dégénérescence**) لتشكيل أو توزيع ما.

### 2-3 العدد الأعظمي للإلكترونات المنتمة لنفس الطبقة أو تحت الطبقة:

1-2-3 حالة تحت الطبقة: نبحث عن الإلكترونات التي لها نفس  $n$  ،  $l$

$$0 < l < n - 1$$

$$-l \leq m_l \leq +l$$

$$-s \leq m_s \leq +s \quad , \quad m_s = \mp \frac{1}{2}$$

فيوجد إذن  $2(2l + 1)$  حالة كوانتية موافقة لنفس قيم  $n$  ،  $l$  ، وعليه يمكن تحديد

$2(2l + 1)$  إلكترون على الطبقة الثانوية ذات العدد الكمي  $l$

$$l = 0 \rightarrow s \rightarrow 2$$

$$l = 1 \rightarrow p \rightarrow 6$$

$$l = 3 \rightarrow d \rightarrow 10$$

$$l = 4 \rightarrow f \rightarrow 14$$

ملاحظة: الطبقة الثانوية (تحت الطبقة) الواحدة التي تحوي  $2(2l + 1)$  يقال عنها أنها مملوءة.

2-2-3 حالة الطبقة الواحدة: العدد الأقصى من الإلكترونات التي يمكن أن تكون لها نفس  $n$  ولكن أعدادها الكمية،  $m_l$  ،  $m_s$  مختلفة.

$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2n^2 \quad \text{ونكتب:}$$

من أجل:

$$n = 1 \rightarrow 2e^-$$

$$n = 2 \rightarrow 8e^-$$

$$n = 3 \rightarrow 18e^-$$

وتمسى الطبقة التي تضم العدد الأقصى من الإلكترونات  $2n^2$  بالمملوءة

### 3-2-3 ترتيب تطابق التشكيل:

الحالة الأولى: يوجد إلكترون واحد في تحت الطبقة.

ليكن الإلكترون  $i$  ويأخذ تباعا  $Y_i$  حالة تمثل عدد الأمكنة في تحت الطبقة.

$$Y_i = 2(2l_i + 1)$$

وعليه يكون  $G = \prod Y_i$  حالة مختلفة موافقة لهذا التشكيل

مثال:



$$1s2s2p \rightarrow G = 2 \times 2 \times 6 = 24$$

$$3p3d3f \rightarrow G = 6 \times 10 \times 14 = 840$$

الحالة الثانية: يمكن إيجاد عدة إلكترونات في نفس تحت الطبقة.

في تشكيل ما يكون  $x$  إلكترون له نفس الأعداد الكمية  $n$  و  $l$  ومن أجل كل قيمة  $l$  لدينا

$$y = 2(2l + 1)$$

ولتجميع عدد الحالات الممكنة يجب البحث عن عدد التوافق الموافقة لترتيب  $x$  كرية مميزة في  $y$

خانة بحيث أن كل خانة تحوي على الأكثر كرية واحدة. ويعطى بالشكل:

$$g = \frac{y!}{x!(y-x)!}$$

العدد  $g$  يمثل عدد الحالات المختلفة الموافقة ل  $x$  إلكترون.

مثال:

$$1s \rightarrow x = 2 ; y = 2 ; g = 1$$

$$2s \rightarrow x = 2 ; y = 2 ; g = 1$$

$$2p \rightarrow x = 2 ; y = 2 ; g = 15$$

#### 4 - مبدأ مستويات الطاقة للذرات متعددة الإلكترونات:

لدينا:

$$H_0 = \sum_i \left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \Delta_i + w(r_i) \right] \quad (5)$$

$T_1$ : يمثل الخطأ الذي يكون عندما نعوض حدي التفاعل الكهروستاتيكي بـ  $w(r_i)$ :

$$T_1 = \sum_i \left[ \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ze^2}{r_i} + \sum_{j>i} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_{ij}} - w(r_i) \right] \quad (6)$$

$T_2$ : يمثل التفاعل المغناطيسي السبيني المداري

$$H = H_0 + T_1 + T_2$$

4-1- التقريبات الممكنة على الهاملوني:

يعبر الهاملتوني  $H$  عن ذرة معزولة في الفضاء وعليه فإن العزم الحركي الكلي ثابت. بما أن حل

الهاملتوني الدقيق غير ممكن إذن نلجأ إلى التقريبات .

- المرحلة الأولى: نعتبر  $H_0$ : في تقريب الإلكترونات المستقلة في كمون مركزي. تعطى التشكيلات الإلكترونية المعروفة.

• المرحلة الثانية:

$$H_1 = H_0 + T_1 \quad \text{si } T_1 \gg T_2 \quad (T_2 \text{ ضعيف أمام } T_1)$$

$$H_2 = H_0 + T_2 \quad \text{si } T_2 \gg T_1$$

• المرحلة الثالثة:

دراسة التصحيحات على النتائج و ذلك لدراسة التأثيرات للحد الذي تم إهماله سابقا.

5 إما تأثير  $T_2$  على الوصف الموافق لـ  $H_1$  ونتحدث عندئذ عن الأزواج  $L - S$  (الحالة  $T_1 \gg T_2$ ).

6 إما تأثير  $T_1$  على الوصف الموافق لـ  $H_2$  ونتحدث عن الأزواج  $J - J$

• حالة الأزواج  $L - S$  (الحالة  $T_1 \gg T_2$ ).

$H_1 = H_0 + T_1$  ← الذي يصف جملة معزولة مثل  $H$  وهذا يعني أن  $H$  يتبادل مع العزم الحركي  $\vec{J}$ .

من نتائج الميكانيك الكوانتي:  $H_1$  يتبادل مع  $\vec{L}$  ( $\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i$ )

$H_1$  يتبادل مع  $\vec{S}$  ( $\vec{S} = \sum_i \vec{s}_i$ )

من خصائص التبادل نجد أن القيم الذاتية تتعلق بزوج من الأعداد الكمية  $L$  و  $S$ . وتتعلق كل طاقة تشكيل بالعددين  $L$  و  $S$  وكل مستوى يتوالد بقيمة  $(2L + 1)(2S + 1)$ .

يمكن إيجاد مستويات الطاقة المختلفة الناتجة عن نفس التشكيل بالبحث عن الأزواج الممكنة للأعداد الكوانتية  $L$  و  $S$  التي تتوافق مع ذلك التشكيل.

• المرحلة الرابعة:

$$H = H_0 + T_1 + T_2$$

يمكن أن نبرهن على أن  $H$  لا يتبادل مع  $\vec{L}$  و  $\vec{S}$  ولكن مع  $\vec{J}$  فقط.

لكل  $J$  معين ← قيمة الطاقة مختلفة ولدينا عدد الحالات الممكنة لتوالد  $J$  هي  $(2j + 1)$  ومنه

يمكن إيجاد كل مستويات الطاقة المختلفة الناتجة من نفس المستوى  $(L, S)$  (المرحلة 2) بالبحث

عن كل قيم  $J$  التي تتناسب مع الأعداد الكمية  $L$  و  $S$ .

تسمى  $(2j + 1)$  : التعددية (multiplicité) و نكتب:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 2s + 1 = 1 ; s = 0 \rightarrow & \text{أحادية} \\ 2s + 1 = 2 ; s = \frac{1}{2} \rightarrow & \text{مضاعفة} \rightarrow \text{مزدوجة} \\ 2s + 1 = 3 ; s = 1 \rightarrow & \text{ثلاثية} \\ 2s + 1 = 4 ; s = \frac{3}{2} \rightarrow & \text{رباعية} \end{array} \right.$$

## 5- الترتيب الدوري للإلكترونات:

### 1-5 مقدمة:

تتوضع الإلكترونات حول النواة وفق مستويات محددة تسمى بالمدارات أو الطبقات التي يمكن اعتبارها كرات لها مركز واحد وكل كرة يمكن أن تحوي عددا اعظما من الإلكترونات. الاستيعاب العددي لكل مستوى طاقة تحكمه نتائج حلول معادلة شرودينغر.

### 2-5 قاعدة هوند:

- يؤكد مبدأ هوند على أن توزع الإلكترونات على مستويات الطاقة يكون بأكبر عزم مغناطيسي ذاتي وبمعنى آخر أكبر سبين (مثلا الحالة  $p$  تستوعب 6 إلكترونات فلو كان لدينا ثلاثة إلكترونات فإن كل منها يأخذ  $(m_s = +\frac{1}{2})$  الموجب وبعدها الإلكترون الرابع حتى السادس يأخذ  $(m_s = -\frac{1}{2})$  السالب.
- إذا وجدت عدة قيم لـ:  $L$  التي توافق نفس القيمة العظمى لـ  $S$  بدون انتهاك مبدأ باولي، إذن فإن الحالة الأساسية توافق أكبر قيمة لـ:  $L$ .
- عندما تكون قيم كل من  $L$  و  $S$  مختلفة عن الصفر فإن قيمة  $J$  تعطى بالشكل:
  - يكون  $J = |L - S|$  إذا كانت الطبقة نصف مملوءة أو أقل.
  - يكون  $J = L + S$  إذا كانت الطبقة مملوءة إلى أكثر من النصف.

### 3-5 الانتقالات المسموحة والانتقالات الممنوعة:

#### 1-3-5 احتمال الانتقال:

يتناسب احتمال انتقال الإلكترون من المدار  $m$  إلى المدار  $n$  مع التكامل:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x \Psi_m^* \Psi_n dx$$

• إذا كان هذا التكامل منتهيا فإن الانتقال المرادف يسمى *انتقالا مسموحا*.

• إذا كان هذا التكامل غير منتهي فإن الانتقال المرادف يسمى *انتقالا ممنوعا*.

في حالة ذرة الهيدروجين: إذا كان النظام موجودا في الحالة الابتدائية المعرفة بالأعداد

$n', l', m'_l$  وإذا كانت الحالة النهائية بعد الانتقال معرفة بالأعداد الكمية  $m_l, l, n$  فإن الشرط

اللازم لحصول الانتقال هو:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} U \Psi_{n,l,m_l}^* \Psi_{n',l',m'_l} dV \neq 0$$

حيث يمثل  $U$  الإحداثية  $x$  أو  $y$  أو  $z$  والتكامل يكون على كامل الفراغ.

#### 2-3-5 قواعد الانتقاء:

عند حساب التكاملات السابقة نجد أن الانتقالات الوحيدة الممكنة هي تلك التي يكون فيها الانتقال

بين حالتين معرفتين بحيث أن:

$$\begin{cases} \Delta l = l - l' = \mp 1 \\ \Delta m_l = m_l - m'_l = 0 ; \mp 1 \\ \Delta s = 0 \\ \Delta j = 0 ; \mp 1 \end{cases}$$

إذا أضفنا إلى ذلك أن لا تحديد على قيمة العدد الكمي الرئيسي  $n$  في الانتقالات نجد:

	$n, l, m_l$	الانتقال
$l', m'_l, n'$ $0, 0, 1$	1, 0, 0	ممنوع $\Delta l = 0$
	2, 0, 0	ممنوع $\Delta l = 0$
	2, 1, -1	مسموح $\Delta l = -1$
	2, 1, 0	
	2, 1, 1	

	3, 0, 0	ممنوع $\Delta l = 0$
	3, 1, -1	
	3, 1, 0 3, 1, 1	مسموح $\Delta l = -1$
	3, 2, -2 3, 2, +2	ممنوع $\Delta l = -2$

### 3-3-5 تركيب الخط $H_{\alpha}$ :

$H_{\alpha}$  : هو أول خط من سلسلة بالمير وهو ينتج من الانتقال بين مستوى الطاقة  $n=3$  ومستوى  $n=2$ . المنظر الجانبي لهذا الخط طبقا لنظرية بوهر يظهر توزيع مماثل لتوزيع غاوس. هذا التوزيع المتوقع لم يتم الحصول عليه عمليا ولكن بدلا من ذلك لوحظ وجود توزيع أكثر تعقيدا وخاصة مع أجهزة التحليل الطيفي الأكثر دقة.

## 6 - البنية الإلكترونية للذرة:

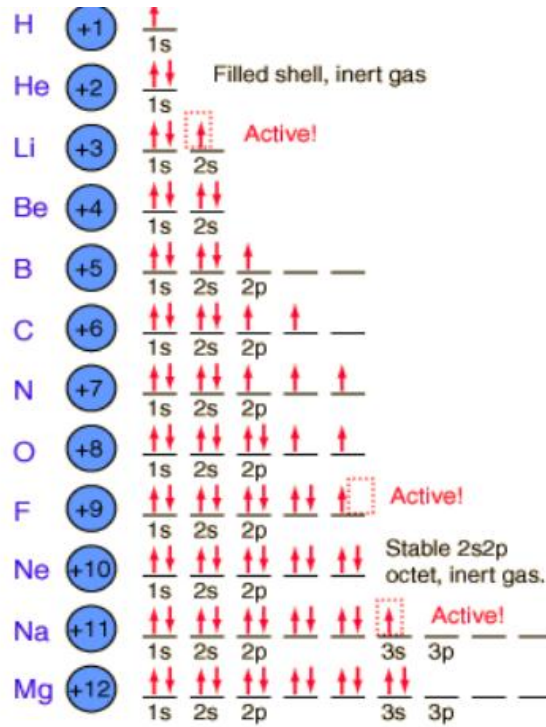
### 1-6 مقدمة:

تتموضع الإلكترونات حول النواة وفق مستويات طاقة محددة تسمى عادة بالمدارات أو الطبقات الذرية التي يمكن اعتبارها سلسلة من كرات لها مركز واحد وكل كرة يمكنها أن تحتوي عددا أعظما محددًا من الإلكترونات. تترقم مستويات الطاقة اعتبارًا من اقرب مستوى للنواة.

### 2-6 - الأعداد الكمية المعتمدة في بناء الذرة:

- العدد الكمي الرئيسي  $n$  : ويمثل مستويات الطاقة الأساسية بدون أي انشطار.
- العدد الكمي المداري  $l$  : ويمثل مستويات الطاقة الفرعية أي المتفرعة من المستويات الأساسية.
- العدد الكمي المغناطيسي المداري  $m_l$  : وهو شرط آخر لانشطار كل حالة من حالات العدد الكمي المداري وبالتالي زيادة عدد التفرعات للمستويات الأساسية.

- العدد الكمي المغناطيسي السبيني  $m_s = \pm 1/2$ : أين يشتر كل حالة من حالات العدد الكمي المغناطيسي المداري إلى مستويين طاقيين.
- . مبدأ باولي: وينص على انه لا يمكن لإلكترونين في الذرة أن يملكا نفس الأعداد الكمية فاذا اتفقا في واحد اختلفا في الآخر.
- . قاعدة هوند: تؤكد على أن التوزيع الإلكتروني على مستويات الطاقة يكون بأكبر عزم مغناطيسي ذاتي (سبيني) أي  $m_s = +1/2$  ثم  $m_s = -1/2$



الشكل (4-1): توزيع الإلكترونات في بعض العناصر وفق قاعدة هوند و مبدأ باولي

### 3-6 بناء الذرة بالإلكترونات:

للتبسيط نأخذ كل مستوي أساسي على حده و كما يلي:

- **مستوى الطاقة الأول:** ويسمى عادة بالمستوى  $k$  وفيه :

$$n = 1 , l = 0, m_l = 0, m_s = \pm \frac{1}{2}$$

يوجد هنا مستوى طاقة واحد حسب العدد الكمي المغناطيسي وبالتالي يكون الاستيعاب الأعظمي للإلكترونات حسب مبدأ باولي في هذا المستوى 2 إلكترون.

يأخذ هذا المستوى الترميز التالي للتوزيع الإلكتروني  $1s^2$  ويعني أننا في المستوى الرئيسي الأول والحالة المدارية  $s$  حيث العدد الكمي المداري يساوي الصفر والأس 2 يعني الاستيعاب الأعظمي للإلكترونات وهو وصف كامل ودقيق لوضع الإلكترون الطاقوي في الذرة.

• **مستوى الطاقة الثاني:** ويسمى عادة بالمستوى  $L$  و فيه :

$$n = 2 \quad , \quad l = 0, 1 \left\{ \begin{array}{l} m_l = m_0 = 0 \\ m_l = m_1 = -1, 0, +1 \\ m_s = \pm 1/2 \end{array} \right. ,$$

كل حالة من الحالات السابقة لقيم  $m_l$  تنتشر الى حالتين وفق العدد الكمي المغناطيسي السبيني

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

وعليه يكون عدد الحالات المنشطرة من الحالة الأساسية ثمانية و عدد مستويات الطاقة الجاهزة لاستقبال الإلكترونات حسب مبدأ باولي هو ثمانية.

يأخذ هذا المستوى الترميز التالي للتوزيع الإلكتروني  $2s^2 2p^6$ .

• **مستوى الطاقة الثالث:** ويسمى  $M$  و فيه :

$$n = 3 \quad , \quad l = 0, 1, 2 ; \left\{ \begin{array}{l} m_l = m_0 = 0 \\ m_l = m_1 = -1, 0, +1, \quad , m_s = \pm \frac{1}{2} \\ m_l = m_2 = -2, -1, 0, +1, +2 \end{array} \right.$$

كل حالة من الحالات السابقة لقيم  $m_l$  تنتشر الى حلتين وفق العدد الكمي المغناطيسي السبيني

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

وعليه يكون عدد الحالات المنشطرة من الحالة الأساسية هو 18 وعدد مستويات الطاقة الجاهزة لاستقبال الإلكترونات حسب مبدأ باولي هو ثمانية عشر.

يأخذ هذا المستوى الترميز التالي للتوزيع الإلكتروني  $3s^2 3p^6 3d^{10}$

• مستوى الطاقة الرابع: ويسمى N و فيه:

$$n = 4, \quad l = 0, 1, 2, 3, \left\{ \begin{array}{l} m_l = m_0 = 0, \\ m_l = m_1 = -1, 0, +1 \\ m_l = m_2 = -2, -1, 0, +1, +2, \\ m_l = m_3 = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 \end{array} \right.$$

كل حالة من الحالات السابقة لقيم  $m_l$  تنشطر الى حلتين وفق العدد الكمي المغناطيسي السبيني

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

وعليه يكون عدد الحالات المنشطرة من الحالة الأساسية هو (32).

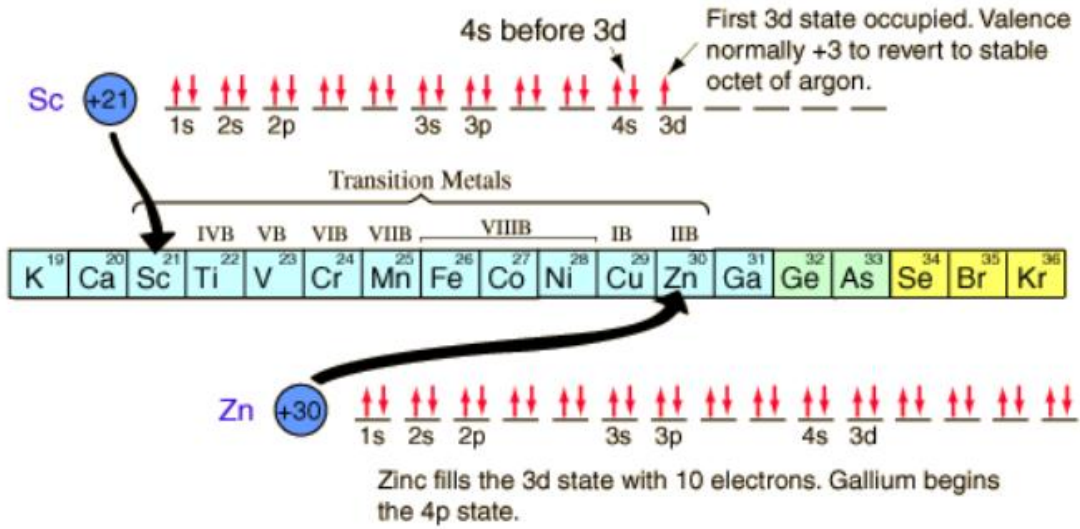
التوزيع الإلكتروني يأخذ الشكل:  $4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}$ .

وهكذا بالنسبة لبقية الحالات. و الجدول الموالي يوضح كافة الحالات.

جدول (2-4) : جدول تفصيلي لكافة حالات الامتلاء لمستويات الطاقة الفرعية

n	s	p	d	f	g	h	k	عدد الإلكترونات الكلي في الطبقة $N_n = 2n^2$	رمز الطبقة
1	1s <sup>2</sup>							2	K
2	2s <sup>2</sup>	2p <sup>6</sup>						8	L
3	3s <sup>2</sup>	3p <sup>6</sup>	3d <sup>10</sup>					18	M
4	4s <sup>2</sup>	4p <sup>6</sup>	4d <sup>10</sup>	4f <sup>14</sup>				32	N
5	5s <sup>2</sup>	5p <sup>6</sup>	5d <sup>10</sup>	5f <sup>14</sup>	5g <sup>18</sup>			50	O
6	6s <sup>2</sup>	6p <sup>6</sup>	6d <sup>10</sup>	6f <sup>14</sup>	6g <sup>18</sup>	6h <sup>22</sup>		72	P
7	7s <sup>2</sup>	7p <sup>6</sup>	7d <sup>10</sup>	7f <sup>14</sup>	7g <sup>18</sup>	7h <sup>22</sup>	7k <sup>26</sup>	98	Q

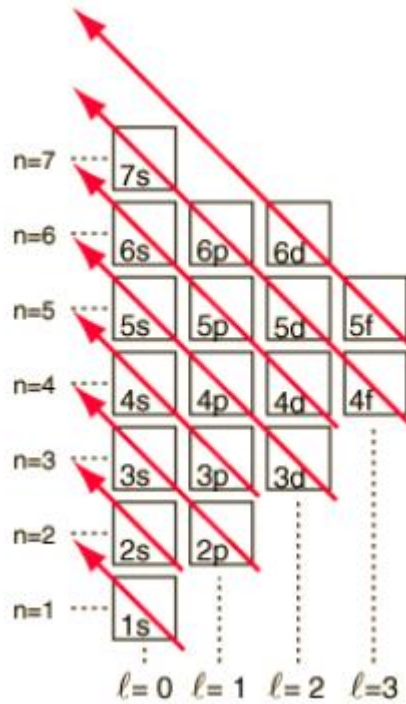




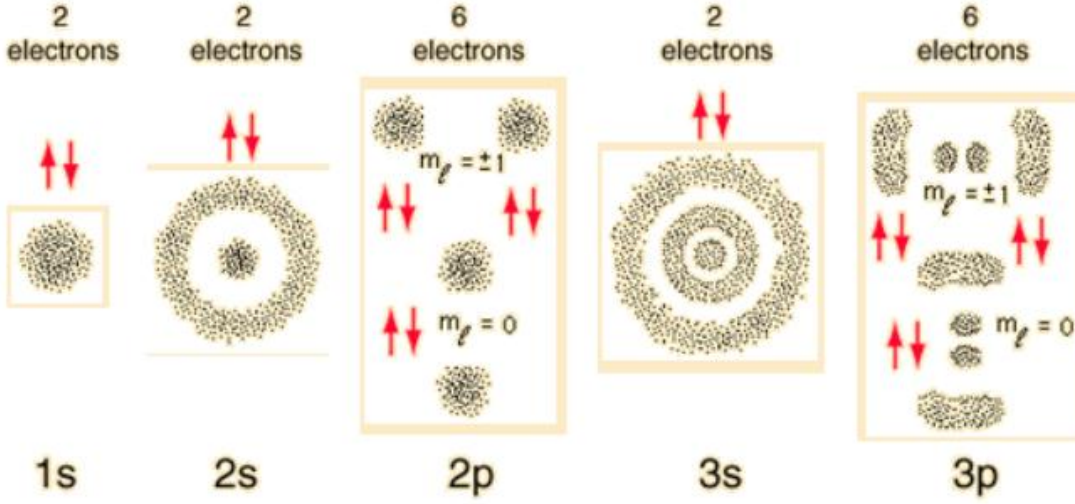
الشكل (4-2): بدء عملية الشدود في الامتلاء لمستويات الطاقة .

#### 4-6 البناء الكلي للذرة بالإلكترونات:

نظرا لصعوبة حفظ التوزيع الإلكتروني والخاضع لحالات الشدود فقد وضع الفيزيائيون والكيميائيون عدة مخططات ترشد لعملية التوزيع على مستويات الطاقة. وهذا المخطط يمثل أحد هذه المخططات والذي يمكن من كتابة التوزيع الإلكتروني للذرة مهما كان عدد الإلكترونات.



الشكل (4-3): عملية امتلاء مستويات الطاقة وفق توجه الأسهم المتعاقب



الشكل (4-4): توزيع الكثافة الإلكترونية وفقا لمستويات الطاقة و الأعداد الكمية الموافقة

### 5-6 الحالة الذرية أو الرموز الطيفية للذرة

يمكن تحديد الحالة الذرية أو الهيئة الإلكترونية للذرة من خلال الأعداد الكمية التالية :

العدد الكمي المداري الكلي  $L \leftarrow$

العدد الكمي السبيني الكلي  $S \leftarrow$

العدد الكمي الزاوي الكلي  $J \leftarrow$

وتوصف الحالة الذرية عن طريق الرمز الطيفي كما يلي :

$$2s+1L_j$$

حيث :

$$L = 0 \rightarrow S$$

$$L = 1 \rightarrow P$$

$$L = 2 \rightarrow D$$

$$L = 3 \rightarrow F$$

ونكتب :

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

$$\vec{L} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \dots = \sum_i \vec{l}_i$$

$$\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \dots = \sum_i \vec{s}_i$$

حيث ان  $\vec{l}_1$  و  $\vec{s}_1$  هي اشعة مككمة لانها تاخذ كل الاتجاهات في الفضاء وأطوالها هي على التوالي:  $\sqrt{l_1(l_1 + 1)}\hbar$  و  $\sqrt{s_1(s_1 + 1)}\hbar$  و نكتب اصطلاحا :

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$$

وطول الشعاع هو

$$L = \sqrt{l(l + 1)}\hbar$$

## 6-6 الحالة الأساسية للذرات التي بها إلكترون تكافؤ وحيد

### 1-6-6 ذرة الهيدروجين أو الذرات القلوية

يكون إلكترون التكافؤ عند  $ns^1$

حيث:  $S = s = \frac{1}{2}$  ,  $L = l = 0$

$$|L - S| \leq J \leq |L + S| \quad \leftrightarrow \quad j = 1/2 \quad \frac{1}{2} \leq J \leq \frac{1}{2}$$

وعليه فان الرمز الطيفي للحالة الأساسية لذرة الهيدروجين أو أي ذرة قلوية هو  $^2S_{1/2}$

### • الحالات المثارة للذرات القلوية

انتقال إلكترون التكافؤ من الطبقة  $s$  إلى الطبقة  $p$

$$L = l = 1$$

$$\Rightarrow J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \Rightarrow ^2P_{1/2}, ^2P_{3/2}$$

$$S = s = \frac{1}{2}$$

الانتقال من الطبقة  $s$  إلى الطبقة  $d$

$$L = l = 2$$

$$J = \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \Rightarrow ^2D_{3/2}, ^2D_{5/2}$$

$$S = s = \frac{1}{2}$$

## 2-6-6 حالة ذرة الهليوم

تتكون ذرة الهليوم من نواة شحنتها  $+Ze = +2e$  و إلكترونين لهما الشحنة  $-e$ ، و تعطى معادلة شرودينغر لذرة الهليوم في وحدة الكتل الذرية بالعلاقة :

$$\left\{ -\frac{\nabla_1^2}{2} - \frac{Z}{r_1} - \frac{\nabla_2^2}{2} \pm \frac{Z}{r_2} + \frac{1}{r_{12}} \right\} \varnothing = E\varnothing \quad (26)$$

حيث :  $r_1$  و  $r_2$  موضعي الإلكترونين الأول والثاني على الترتيب و  $|r_1 - r_2| = r_{12}$  هي المسافة بين الإلكترون الأول والثاني و التنافر الكهروستاتيكي للإلكترونات متناسب مع  $1/r_{12}$ ، بإهمال هذا التنافر و بفصل دالة الموجة بالشكل:

$$\varnothing(r_1, r_2) = \varnothing_1(r_1)\varnothing_2(r_2) \quad (27)$$

تكتب المعادلة ( 26 ) على الشكل:

$$\left( -\frac{\nabla_1^2}{2} - \frac{Z}{r_1} \right) \varnothing_1(r_1) = E_1\varnothing_1(r_1)$$

$$\left( -\frac{\nabla_2^2}{2} - \frac{Z}{r_2} \right) \varnothing_2(r_2) = E_2\varnothing_2(r_2)$$

حيث:  $E = E_1 + E_2$

كل من هاتين المعادلتين مماثلة لمعادلة شرودينغر لذرة الهيدروجين، و باستعمال هذا التقريب حيث  $Z = 2$  يتم الحصول على طاقة الحالة الأساسية  $n = 1$  للهليوم باعتبار استقلالية حركة الإلكترونين عن بعضهما. قيمة الطاقة المحسوبة غير مقاربة للقيمة التجريبية للحالة الأساسية لذرة الهليوم، لهذا فإن هذا التقريب بعيد جدا عن النتائج المتحصل عليها تجريبيا، إذ يتوقع أن طاقة المستوي الأساسي تقارب القيمة  $-108.8 \text{ eV}$  في حين أن القيمة التجريبية تقارب  $-79 \text{ eV}$  لذا وجب اللجوء لطرق تقريبية أنجع.

I	II	Transition Metals										III	IV	V	VI	VII	0
H <sup>1</sup>																	He <sup>2</sup>
Li <sup>3</sup>	Be <sup>4</sup>											B <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	N <sup>7</sup>	O <sup>8</sup>	F <sup>9</sup>	Ne <sup>10</sup>
Na <sup>11</sup>	Mg <sup>12</sup>	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII			IB	IIB	Al <sup>13</sup>	Si <sup>14</sup>	P <sup>15</sup>	S <sup>16</sup>	Cl <sup>17</sup>	Ar <sup>18</sup>
K <sup>19</sup>	Ca <sup>20</sup>	Sc <sup>21</sup>	Ti <sup>22</sup>	V <sup>23</sup>	Cr <sup>24</sup>	Mn <sup>25</sup>	Fe <sup>26</sup>	Co <sup>27</sup>	Ni <sup>28</sup>	Cu <sup>29</sup>	Zn <sup>30</sup>	Ga <sup>31</sup>	Ge <sup>32</sup>	As <sup>33</sup>	Se <sup>34</sup>	Br <sup>35</sup>	Kr <sup>36</sup>
Rb <sup>37</sup>	Sr <sup>38</sup>	Y <sup>39</sup>	Zr <sup>40</sup>	Nb <sup>41</sup>	Mo <sup>42</sup>	Tc <sup>43</sup>	Ru <sup>44</sup>	Rh <sup>45</sup>	Pd <sup>46</sup>	Ag <sup>47</sup>	Cd <sup>48</sup>	In <sup>49</sup>	Sn <sup>50</sup>	Sb <sup>51</sup>	Te <sup>52</sup>	I <sup>53</sup>	Xe <sup>54</sup>
Cs <sup>55</sup>	Ba <sup>56</sup>	57-71	Hf <sup>72</sup>	Ta <sup>73</sup>	W <sup>74</sup>	Re <sup>75</sup>	Os <sup>76</sup>	Ir <sup>77</sup>	Pt <sup>78</sup>	Au <sup>79</sup>	Hg <sup>80</sup>	Tl <sup>81</sup>	Pb <sup>82</sup>	Bi <sup>83</sup>	Po <sup>84</sup>	At <sup>85</sup>	Rn <sup>86</sup>
Fr <sup>87</sup>	Ra <sup>88</sup>	89-103	Rf <sup>104</sup>	Ha <sup>105</sup>	106	107	108	109									
Lanthanides		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
Actinides		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Metal
  Metalloid
  Nonmetal

الشكل (4-5): الجدول الدوري للعناصر

الموسم الجامعي 2020 / 2021

كلية العلوم الدقيقة

السنة الثالثة -فيزياء ذرية و جزيئية

قسم الفيزياء

#### السلسلة -4-

#### التمرين الأول:

لتكن ذرة الهيدروجين. نريد معرفة الأعداد الكمية التي تسمح بتمثيل الرموز الطيفية:

1- ماهي القيم الممكنة لكل من العزم المداري و العزم الذاتي و كذا العزم الزاوي الكلي من اجل مستوى طاقة  $n$ .

2- أعطي الحالات أو الرموز الطيفية الممكنة الموافقة للحالة  $n=2$ .

#### التمرين الثاني:

لتكن ذرة ذات  $Z=5$  إلكترون. نبحث عن التمثيل أو التوزيع الإلكتروني للإلكترونات على مختلف المستويات.

1- كم هو عدد الإلكترونات التي يمكن وضعها على الطبقة.

2- كم هو عدد الإلكترونات التي يمكن وضعها على ما تحت الطبقة.

3- نعتبر ذرة ذات  $Z=5$ . أعطي التوزيع الإلكتروني (عن طريق السبين) لهذه الذرة مع تبين مختلف الحالات الكمية الممكنة.

#### التمرين الثالث :

بين الحالات الأساسية للعناصر التالية :

élément	H	He	Li	Be	B
Z	1	2	3	4	5

#### التمرين الرابع :

قاعدة هوند تنص على انه بالنسبة لتوزيع الإلكترونات معطى فان الطاقة الدنيا تنتج من القيم العظمى لكل من L و S

- 1- أعطي التمثيل البياني للتوزيع الإلكتروني على مختلف المستويات من اجل ذرة الكربون ( $Z=6$ ). ندرس كل التوافقات الممكنة و ذلك بتبيين القيم الموافقة للعزم السبيني الكلي  $S$  و الإحداثية الكلية للعزم المداري  $M_L$ .
- 2- استنتج من خلال قاعدة هوند الحالة الأساسية لذرة الكربون.

### التمرين الخامس:

لتكن طبقة ذرية غير مملوءة. اذا كان  $N$  هو العدد الكلي للإلكترونات الموجودة في ما تحت الطبقة. نعرف العزم الزاوي الكلي بالشكل:

$$J = |L - S| \quad \text{Si , } N \leq . N_m/2$$

$$J = L + S \quad \text{Si , } N > . N_m/2$$

أين:  $N_m$  هو العدد الأعظمي الذي يمكن وضعه على ما تحت الطبقة.

1- أوجد  $N_m$ .

2- استنتج من خلال قاعدة هوند الحالات الأساسية للعناصر التالية:

élément	N	O	F	Ne
Z	7	8	9	10

## الفصل الخامس: أثر المجال المغناطيسي على الذرة

### محتويات الفصل:

- 1- تجربة شترين - جيرلاخ (اكتشاف السبين)
- 2- اثر الحقل المغناطيسي على الذرة
- 3- أثر زيمان العادي
- 4- أثر زيمان الشاذ
- 5- أثر باشن - باك



## 1- تجربة شترين-جيرلاخ (اكتشاف السبين)

### 1-1 مقدمة:

في دراستنا لعزم ثنائي القطب المغناطيسي بوجود و عدم وجود المجال المغناطيسي الخارجي توصلنا إلى نتائج تجريبية و نظرية لا تعارض بينها , و شرع المختصون بإجراء العديد من التجارب لاكتشاف انشطار مستويات الطاقة الأساسية (المنطبقة **degeneracy**) إلى المستويات الفرعية (اللامنطبقة **non degeneracy**) في حال وجود المجال المغناطيسي الخارجي و التركيز على العدد الكمي المغناطيسي الذي يحدد عدد المستويات الطاقوية التي ستتشرط إليها السوية الأساسية و التي يكون عددها  $2l + 1$  سوية طاقة و لنحاول معالجة الموضوع من وجهة نظر الطاقة لأننا سنتعامل مع مستويات الطاقة.

تعطى طاقة التفاعل بين عزم ثنائي القطب المغناطيسي و المجال المغناطيسي الخارجي B بالعلاقة الآتية :

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad (1)$$

فإذا كان المجال المغناطيسي موجه نحو المحور z فإن العلاقة (1) تصبح:

$$\Delta E = -\mu_z \cdot B_z \quad (2)$$

و لكن

$$\mu_z = -\frac{e}{2m} L_z = -m_l \mu_B$$

و عليه فان

$$\Delta E = -\left(\frac{e}{2m} L_z\right) \cdot B_z = -(-m_l \mu_B) \cdot B_z \quad (3)$$

$$\Delta E = \frac{e}{2m} L_z \cdot B_z = -m_l \mu_B \cdot B_z = m_l \hbar \omega_L \quad (4)$$

العلاقة (4) تبين بوضوح ان تغير مستويات الطاقة متعلق بالعدد الكمي المغناطيسي  $m_l$ .

تشير العلاقة (3) أنه لا يوجد تغير في مستويات الطاقة (نظريا ؟؟؟؟) للحالة المدروسة بالرغم من وجود مجال مغناطيسي خارجي. و هذه الحالة الخاصة الوحيدة التي نتجت من الدراسات النظرية لا تتفق مع التجربة.

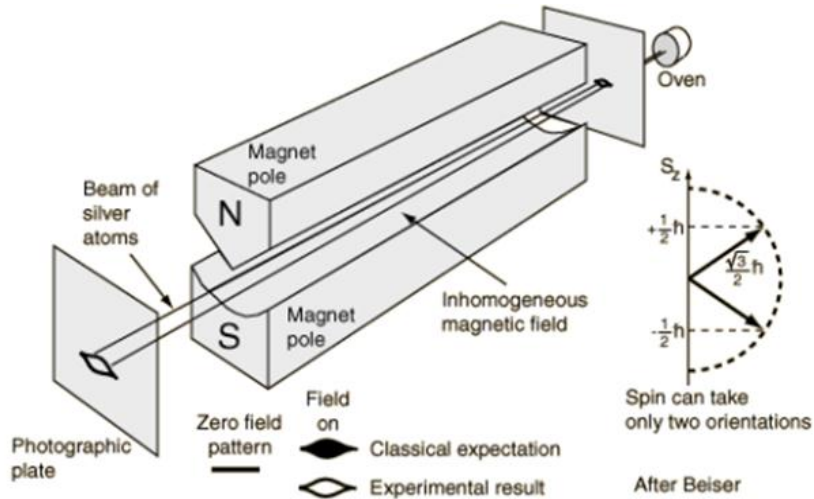
## 2-1 هدف التجربة

في عام 1922 م و السنة التي تلتها انجر العلمان شترين و جيرلاخ تجربة هدفها قياس عزم ثنائي القطب المغناطيسي للذرات الشبه الهيدروجينية (ذرات الفضة) من خلال انحرافها تحت تأثير مجال مغناطيسي متدرج الشدة باتجاه المحور  $Z$ .

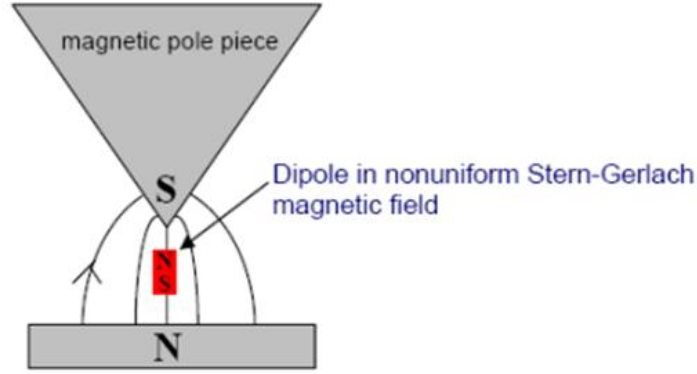
## 3-1 سير عمل التجربة

تم استخدام حزمة من ذرات الفضة المستقرة (غير مؤينة) تصدر من فرن خاص لهذه التجربة الشكل (1-5). تمر الحزمة من خلال فتحة للحصول على حزمة ضيقة من الذرات يتم توجيهها نحو مجال مغناطيسي ناجم عن مغناطيس خاص تزداد شدته باتجاه تزايد المحور  $Z$  الشكل (5-2). بعد خروج الذرات من المجال المغناطيسي تسقط على لوح تصوير يعمل ككاشف لترسب ذرات الفضة عليه.

و سبب اختيار الفضة لأنها تمتلك صفات الذرة أحادية الإلكترون (الهيدروجين) و ان نواتها تمتلك 47 بروتون محاطة ب 46 إلكترون داخلي و إلكترون خارجي له كمية حركة زاوية تساوي الصفر و العدد الكمي المداري له يساوي الصفر و هذا ما ينسجم مع هدف التجربة.



الشكل (1-5): مخطط تفصيلي لتجربة شترين-جيرلاخ



الشكل (5-2): مقطع أمامي للمغناطيس و تبيان قطبية ثنائي القطب المغناطيسي.

#### 4-1. الدراسة النظرية:

إن دخول حزمة من الذرات (ثنائيات أقطاب مغناطيسية ذرية) في مجال مغناطيسي غير منتظم (متغير مكانيا) سيجعلها تخضع إلى قوة متدرجة الشدة و علاقتها مع طاقة التفاعل تعطى بالعلاقة التالية:

$$\vec{F} = -\frac{d(\Delta E)}{d\vec{r}} = -\vec{\nabla}(\Delta E) = \vec{\nabla}(\vec{\mu} \cdot \vec{B}) \quad (5)$$

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k} = \left[ \left( \frac{\partial}{\partial x} \mu_x B_x \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial}{\partial y} \mu_y B_y \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial}{\partial z} \mu_z B_z \right) \vec{k} \right]$$

و عليه فان:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\partial}{\partial x} \mu_x B_x = \mu_x \frac{\partial B_x}{\partial x} \\ F_y &= \frac{\partial}{\partial y} \mu_y B_y = \mu_y \frac{\partial B_y}{\partial y} \\ F_z &= \frac{\partial}{\partial z} \mu_z B_z = \mu_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (6)$$

المجال المغناطيسي في التجربة و نظرا لشكله المنشوري يتوافق مع  $F_x = F_y = 0$  و بمعنى آخر المجال المغناطيسي متغير مكانيا فقط مع المحور Z و القوة الوحيدة المؤثرة على الذرات وفق المحور Z في العلاقة (6) هي:

$$F_z = \frac{\partial}{\partial z} \mu_z B_z = \mu_z \frac{\partial B_z}{\partial z}$$

و لكن

$$\mu_z = -\frac{e}{2m} L_z = -\mu_B m_l$$

إذن

$$F_z = -\mu_B m_l \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad (7)$$

أين

$$m_l = -l, -l + 1, \dots, 0, \dots, +l$$

تشير العلاقة (7) نظريا إلى أن الأماكن المتوقعة لترسب ذرات الفضة (تجربة شتين-جيرلاخ) يكون تابعا للعدد الكمي المداري  $l$ . أي ان الدراسة النظرية تشير أنه في حال  $l = 0$  فإن  $m_l = 0$  و هذا يعني أن القوة  $F_z = 0$  و هذا يتوافق مع العلاقات نظريا بعدم وجود تضاعف في مستوي الطاقة المدروس و لكن ماذا عن نتيجة التجربة؟؟؟

### 5-1. النتائج:

النتيجة كانت غير متوقعة بالنسبة للعالمين حيث أن حزمة ذرات الفضة انشطرت أثناء مسيرها في المجال المغناطيسي و اتخذت مسارين على شكل حزمتين حزمة في الاتجاه الموجب للمحور Z وأخرى في الاتجاه السالب لنفس المحور و هذا ما لوحظ على لوح التصوير من وجود بقعتين بدلا من بقعة واحدة كما هو متوقع نظريا. أجريت تجارب على ذرات مختلفة لها نفس الصفات فكانت تنحرف إلى حزمتين و بالتالي النتيجة غير متوافقة مع النظري. و بالتالي يمكن ان نستخلص نتائج التجربة كما يلي:

1- مركبة عزم ثنائي القطب المغناطيسي لذرات الفضة يمكن ان تأخذ قيمتين متعاكستين أي

ان هناك انشطار لمستوي الطاقة المدروس بخلاف الدراسة النظرية.

2- من الصعب على كمية الحركة الزاوية المدارية أن تتنبأ بما حصل لأنها تساوي الصفر

نظريا أي:

$$l = 0 \Rightarrow L = \sqrt{l(l+1)}\hbar = 0 \quad (8)$$

3- و بالتالي باتت الحاجة إلى فيزياء جديدة أمر غاية في الأهمية لتفسير النتيجة الأولى.

## 6-1 ما الحل؟؟:

جرت محاولات عديدة لتفسير نتائج التجربة و أعيدت التجارب اكثر من مرة للخروج من هذا المأزق العلمي الذي يواجه الفيزيائيين و قد كانت إحدى المحاولات المساواة بين علاقة عدد الحالات المتوقعة و عدد الحالات التجريبية و البالغة حالتين و العلاقة التالية توضح ذلك:

$$2l + 1 = 2 \Rightarrow l = \frac{1}{2}$$

**النتيجة:** تبين ان العدد الكمي المداري يساوي نصف و هذا لا يتفق مع الدراسات السابقة التي تؤكد ان قيم العدد الكمي المداري تأخذ أعداد تامة و ليس أنصاف و هذا يفرض امرين:

- إما البحث عن النظرية فيزيائية جديدة لمقدار فيزيائي جديد محجوب عن رؤية الدراسات السابقة.
- أو إعادة صياغة كافة النظريات السابقة لتواكب الوضع الجديد.

## 2 - اثر الحقل المغناطيسي على الذرة:

### 1-2 مقدمة:

أن وضع الذرة في مجال مغناطيسي خارجي سوف يؤثر على مستويات الطاقة الذرية و يجعلها تنتشر إلى عدة مستويات و ذلك حسب شدة المجال المغناطيسي الخارجي و نوع الدراسة و أول من لاحظ تلك الانشطارات العالم الفيزيائي زيمان عام 1896 م وسميت باسمه. و في ميكانيك الكم فإن تغير التردد أو الطول الموجي سوف يؤدي إلى تغير مكان مستوي الطاقة بالنسبة للنواة و بالتالي إلى تغير في خطوط الطيف.

يصنف أثر زيمان عادة إلى عادي و شاذ و ذلك حسب شدة المجال المغناطيسي الخارجي بالنسبة للمجال المغناطيسي الداخلي المتعلق بالذرة المدروسة و لا ننسى أن المجالات المغناطيسية الداخلية للذرة ناتجة عن ثنائيات أقطاب مغناطيسية مدارية و ذاتية لإلكترون الذرة.

عموما عندما نضع ثنائي قطب مغناطيسي في مجال مغناطيسي سوف يمتلك طاقة كامنة ( **potential energy**) تعتمد على توجه عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

بالنسبة للمجال المغناطيسي تعطى طاقة التفاعل (الطاقة الكامنة) بالعلاقة التالية:

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{\beta} = -\mu \cdot \beta \cdot \cos \theta ; \quad \mu = I \cdot A$$

عندها يكون  $\mu // \beta$

فإن

$$\Delta E = -\mu \cdot \beta \quad (9)$$

تشير العلاقة (9) أن طاقة التفاعل تأخذ أصغر قيمة عندما يكون اتجاه العزم المغناطيسي موازي للمجال المغناطيسي الخارجي ( $\theta = 0^\circ$ ) أي:

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu \cdot B \cos \theta$$

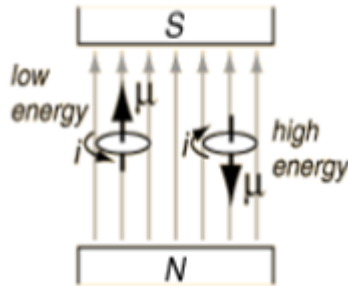
$$\Delta E = -\mu \cdot B \cos \theta = -\mu \cdot B \quad (10)$$

و تأخذ طاقة التفاعل أكبر قيمة عندما يكون اتجاه العزم المغناطيسي بعكس اتجاه للمجال المغناطيسي الخارجي ( $\theta = 180^\circ$ ) أي:

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu \cdot B \cos \theta$$

$$\Delta E = -\mu \cdot B \cos 180 = \mu \cdot B \quad (11)$$

و الشكل (3-5) يبين ما تم شرحه أعلاه.



الشكل (3-5): طاقة التفاعل بين العزم المغناطيسي و المجال المغناطيسي الخارجي.

### 3- أثر زيمان العادي (Effet zeeman normal):

يتميز أثر زيمان العادي بوضع الذرة في مجال مغناطيسي خارجي أكبر بكثير من المجال المغناطيسي الداخلي للذرة إلى درجة أنه يمكن إهمال طاقة التفاعل الناجمة عن التفاعل سبين-مدار.

فعندما نضع ذرة الهيدروجين في مجال مغناطيسي خارجي قوي فإن العزم المغناطيسي للإلكترون الذرة سوف يتفاعل مع ذلك المجال مسببا تغيرا في الطاقة للسوية التي يتواجد بها الإلكترون. تعطى عبارة طاقة التفاعل من خلال العلاقة:

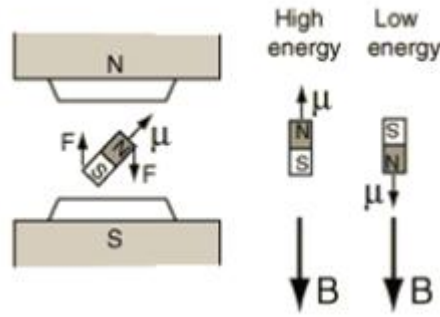
لدينا:

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{\beta} \quad (12)$$

حيث  $\mu$ : العزم المغناطيسي الكلي للإلكترون والتي تعطى عبارته بالشكل:

$$\vec{\mu} = -\frac{e}{2m} (\vec{L} + g\vec{S}) = -\frac{e}{2m} (\vec{L} + 2\vec{S}) \quad (13)$$

أنظر الشكل (4-5) لوضع ثنائي القطب المغناطيسي الذري في مجال مغناطيسي خارجي.



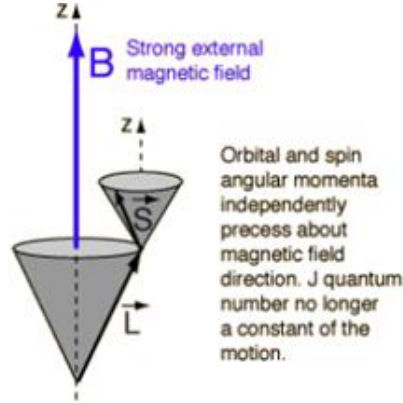
الشكل (4-5): ثنائي القطب المغناطيسي الذري في مجال مغناطيسي خارجي.

عندما نختار المحور (oz) الاتجاه المجال المغناطيسي الخارجي تصبح طاقة التفاعل بالشكل:

$$\begin{aligned} \Delta E &= -\mu_z \cdot B_z = - \left[ -\frac{e}{2m} (L_z + 2S_z) \right] B_z \\ \Delta E &= \frac{e}{2m} (L_z + 2S_z) B_z \\ \Delta E &= \frac{e}{2m} (m_l \hbar + 2m_s \hbar) B_z \\ \Delta E &= \frac{e\hbar}{2m} (m_l + 2m_s) B_z \\ \Delta E &= \mu_B (m_l + 2m_s) B_z \quad (14) \end{aligned}$$

تبين العلاقة (14) أن الإزاحة في الطاقة تعتمد على العدد الكمي المغناطيسي المداري  $m_l$  و العدد الكمي المغناطيسي السبيني  $m_s$  و بالتالي نحصل على عدد من المستويات الطاقوية المنفردة من

السوية الأم تكون فروق الطاقة بينها متساوية. تبين الدراسة أنه في حال المجال المغناطيسي الخارجي الشديد أن كمية الحركة الزاوية المدارية تترنح باستقلالية عن ترنح كمية الحركة الزاوية الذاتية كما يبين الشكل (5-5) و بالتالي فان المسقط لكميات الحركة يعبر عنها كمجموع جبري. و في بعض الأحيان تنسب هذه الحالة إلى باشن-باك و تسمى باسمه (Paschen-Back Effec).



الشكل (5-5): سلوك كميات الحركة المستقل بوجود المجال المغناطيسي القوي

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$E_f = E_i + \Delta E$$

$$E_f = E_i + \mu_B(m_l + 2m_s)\beta_z \quad (*)$$

تعتبر العلاقة (\*) عن الطاقة النهائية لأحد المستويات الطاقوية المنشطرة عن السوية الأساسية بعد تطبيق المجال المغناطيسي.

تعتبر العلاقة (14) أيضا عن الفرق بين سوية الطاقة قبل تطبيق المجال و نستطيع أن نكتب عبارة كل سوية طاقة جديدة بالشكل التالي:

$$\Delta E = E_f - E_i \Rightarrow E_f = E_i + \Delta E$$

$$E_f = E_i + \mu_B(m_l + 2m_s)B_z \quad (15)$$

تعتبر العلاقة (15) عن الطاقة النهائية لأحد المستويات الطاقوية المنشطرة عن المستوي الأساسي بعد تطبيق المجال كتابع للأعداد الكمية المغناطيسية المدارية و السبينية.

### مثال توضيحي:

ما هو عدد الحالات التي تنتشر إليها الحالة **3d** لذرة الهيدروجين بوجود مجال مغناطيسي خارجي شديد.



الإجابة:

$$3d \rightarrow l = 2 ; m_l = 0, \bar{1}, \bar{2} ; m_s = \bar{\frac{1}{2}}$$

$$2m_s = \bar{1}$$

$$m_l + 2m_s = 0, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}$$

$$\Delta E = \mu_B B_z [3 \ 2 \ 1 \ 0 \ -1 \ -2 \ -3]$$

أي أن الحالة 3d تنتظر إلى 7 مستويات الطاقة بين المستويات الثابتة.

• ملاحظة:

في الدراسات الأولية لأثر زيمان العادي و في حال ذرات تمتلك أكثر من إلكترون فإنه من الممكن أن السبين الكلي يساوي الصفر (الحالة المفردة  $2s+1=1$ ) و في هذه الحالة تعود طاقة التفاعل إلى الحركة المدارية فقط و تصبح العلاقة (5) بالشكل التالي:

$$\Delta E = \mu_B m_l B_z = m_l \hbar \omega_L \quad (16)$$

و في حال  $l = 2$  نحصل على خمسة مستويات طاقة منشطرة  $2l + 1$  عن المستوي الأصلي و هذا الذي يحصل في التجارب العملية للسهولة.

4- أثر زيمان الشاذ ( effet zeeman anormal ):

يتميز هذا الفعل بوضع الذرة في مجال مغناطيسي خارجي أضعف بكثير من المجال المغناطيسي الداخلي للذرة، وفي هذه الحالة لا يمكن إهمال التفاعل سبين-مدار كما أهملناه في الفقرة السابقة و تكون الانشطارات هنا معقدة نوعا ما لأن التفاعل سبين - مدار يشطر سلفا و قبل تطبيق المجال الخارجي كل مستوي طاقي عدده الكمي المداري لا يساوي الصفر إلى سويتي طاقة و بمعنى آخر فإن المجال المغناطيسي الخارجي يرى سويتي طاقة يتفاعل معهما كل على حده و لذلك سميت هذه الحالة أثر زيمان الشاذ.

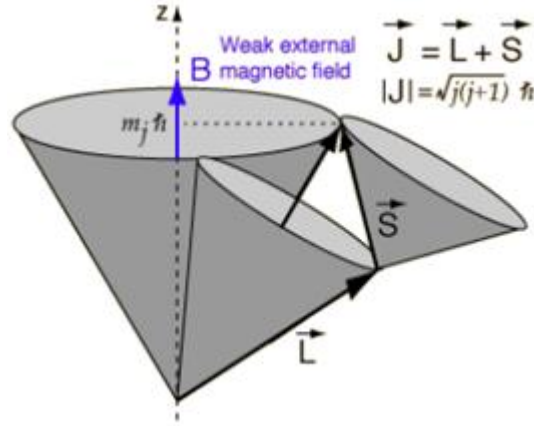
تعطى عبارة طاقة التفاعل هنا كمجموع حدين الأول ناجم عن التفاعل سبين-مدار و الثاني ناجم عن وجود المجال الخارجي و يمكن أن نكتب العلاقة كما يلي:

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2$$

$$\Delta E = f(R)\vec{L} \cdot \vec{S} + (-\vec{\mu}_j \cdot \vec{B})$$

$$\Delta E = f(R)\vec{L} \cdot \vec{S} + \frac{e}{2m}(\vec{L} + g\vec{S})\vec{B} \quad (17)$$

الحد الأول في العلاقة (17) تمت معالجته سابقا تفصيلا أما الحد الثاني فإن كميات الحركة الزاوية لا تتصرف باستقلالية هنا كون المجال الخارجي ضعيف بل تتفاعل مع بعضها البعض أولا و من ثم تتفاعل مع المجال المغناطيسي الخارجي الضعيف كمحصلة. انظر الشكل (5-6).



الشكل (5-6): تمثيل كميات الحركة في حال اثر زيمان الشاد

يلاحظ من الشكل (5-6) و العلاقة (17) أنه يجب أن نعالج الحد الثاني في العلاقة (17) من خلال كمية الحركة الزاوية الكلية و هذه تحتاج إلى المعالجة الرياضية التالية للحد الثاني و ذلك بضرب البسط و المقام بمرعب كمية الحركة الزاوية الكلية كما يلي:

$$\Delta E_2 = \frac{e}{2m} (\vec{L} + 2\vec{S})\vec{B}$$

$$\Delta E_2 = \frac{e}{2m} (\vec{L} + 2\vec{S}) \frac{\vec{J}\vec{B}}{J^2} = \frac{e}{2m} \frac{(\vec{L} + 2\vec{S}) \cdot \vec{J}}{J^2} \vec{J} \cdot \vec{B}$$

$$\Delta E_2 = \frac{e}{2m} \frac{(\vec{L} + 2\vec{S}) \cdot (\vec{L} + \vec{S})}{J^2} J_z \cdot B_z$$

$$\Delta E_2 = \frac{e}{2m} \frac{(\vec{L} + 2\vec{S}) \cdot (\vec{L} + \vec{S})}{J^2} m_j \hbar \cdot B_z \quad (18)$$

تتم معالجة الأقواس في العلاقة (18) من خلال المعالجة الرياضية التالية:

$$\begin{aligned} \frac{(\vec{L} + 2\vec{S}) \cdot (\vec{L} + \vec{S})}{J^2} &= \frac{L^2 + 2S^2 + 3\vec{L}\vec{S}}{J^2} \\ J^2 &= (\vec{L} + \vec{S})^2 = L^2 + S^2 + 2\vec{L}\vec{S} \\ 3\vec{L}\vec{S} &= \frac{3}{2}(J^2 - L^2 - S^2) \\ \frac{L^2 + 2S^2 + 3\vec{L}\vec{S}}{J^2} &= \frac{L^2 + 2S^2 + \frac{3}{2}(J^2 - L^2 - S^2)}{2J^2} = \frac{3J^2 - L^2 + S^2}{2J^2} = g_L \\ g_L &= \frac{3J^2 - L^2 + S^2}{2J^2} = 1 + \frac{J^2 - L^2 + S^2}{J^2} = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \end{aligned} \quad (19)$$

أين  $g_L$  يمثل معامل لاندي

في العلاقة (19) يسمى المقدار  $g_L$  معامل لاندي و ذلك بوضع قيم  $j$  التي تأخذ قيمتين حسب قيم  $s$  وفق المعالجة الرياضية التالية:

$$\begin{aligned} \Delta E_2 &= \frac{e}{2m} \frac{(\vec{L} + 2\vec{S})(\vec{L} + \vec{S})}{J^2} \cdot m_j \lambda B_z \\ \Delta E_2 &= m_j g_L \frac{e\hbar}{2m} B_z = m_j g_L \mu_B B_z \end{aligned} \quad (*)$$

حيث:

$$\begin{aligned} \mu_B &: \text{مغنون بور ويساوي إلى } \frac{e\hbar}{2m} \\ g_L &: \text{معامل لاندي ويساوي إلى } 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \end{aligned}$$

والعلاقة (\*) هي طاقة التفاعل في حال المجال المغناطيسي الخارجي ضعيف أمام المجال الداخلي للذرة.

يمكن تبسيط عبارة معامل لاندي  $g_L$  وذلك بأخذ قيم  $j$ :

$$j = l + s = l + \frac{1}{2}$$

$$\begin{cases} j = l + \frac{1}{2} \rightarrow g_L = \frac{2l + 2}{2l + 1} \\ j = l - \frac{1}{2} \rightarrow g_L = \frac{2l}{2l + 1} \end{cases}$$

وعليه تصبح علاقة طاقة التفاعل الكلية بالشكل:

$$\Delta E = f(R) \frac{\hbar^2}{2} [j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)] + m_j g_L \mu_B B_z$$

$$E_n = E'_n + \mu_B g_L m_j B \quad (20)$$

$E'_n$  : طاقة المستوى عند عدم وجود الحقل الخارجي.

العلاقة (20) تعطي طاقة التفاعل الكلية حيث طاقة تفاعل سبين-مدار تنشط كل مستوي طاقي فيه العدد الكمي المداري لا يساوي الصفر إلى مستويين و بعد ذلك كل مستوي من المستويين في المجال المغناطيسي الخارجي الضعيف تنشط إلى عدد من المستويات يتوافق مع العدد الكمي المغناطيسي الكلي  $m_j = -j, \dots, +j$

**مثال:**

أوجد عدد مستويات الطاقة للإلكترون ذرة و هو في الحالة  $2p$  في حال كون الذرة في مجال مغناطيسي ضعيف.

1- قبل تطبيق المجال المغناطيسي تنشط الحالة  $2p(l=1)$  إلى حالتين وفقا للتفاعل سبين-

مدار إحداها تتوافق مع  $j=+1/2=3/2$  و الثانية تتوافق مع  $j=-1/2=1/2$ .

2- بعد تطبيق المجال لدينا حالتين:

عندما  $j=3/2$  نجد:

$$j = l + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$g_L = \frac{2l+2}{2l+1} = \frac{4}{3}$$

$$m_j = -j, \dots, j = -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$$

$$\Delta E = g_L \mu_B B_z m_j = \frac{4}{3} \mu_B B_z \begin{pmatrix} \frac{3}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} \\ -\frac{3}{2} \end{pmatrix}$$

ينتج لدينا أربع سويات طاقة في هذه الحالة. المسافة بين كل مستويين متعاقبين تساوي إلى:

$$\Delta E' = g_L \mu_B B_z; (\Delta m_j = 1)$$

$$\Delta E' = \frac{4}{3} \mu_B B_z$$

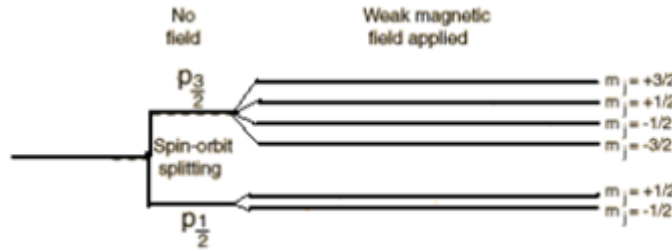
عندما  $j=1/2$  نجد:

$$j = l - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$g_L = \frac{2l}{2l+1} = \frac{2}{3}$$

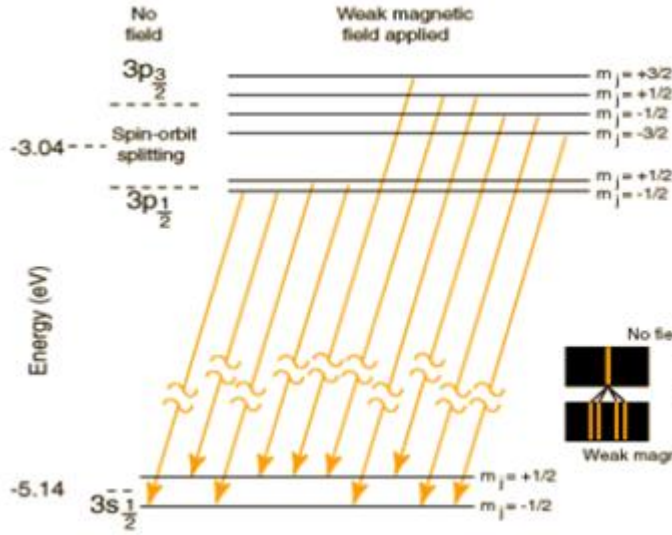
$$m_j = g_L \mu_B B_z m_j = \frac{2}{3} \mu_B B_z \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

ينتج لدينا سويتان طاقيتان المسافة بينهما  $\frac{2}{3} \mu_B B_z$  أي نصف المسافة بالنسبة للحالة السابقة و يكون مجموع الحالات الكلية الناتجة عن انشطار الحالة  $2p$  يساوي إلى ست حالات طاقة منشطرة انظر الشكل (7-5).



الشكل (7-5): شكل تخطيطي لانشطار السوية الأساسية إلى عدة سويات بوجود مجال مغناطيسي خارجي ضعيف

و الشكل (8-5) يبين أثر زيمان الشاذ على ذرة الصوديوم و الطيف الناجم عن تلك التجربة.



الشكل (5-8): طيف ذرة الصوديوم في حال وجودها في مجال مغناطيسي ضعيف

### 5- أثر باشن باك (effet Paschen-Back):

عند إهمالنا سابقا للحد السبيني المداري الذي يكون في حقل شديد ويكون أقل بكثير من الحد المغناطيسي, وجدنا أن هذا الحد يدخل تصحيح آخر ويسمى هذا الفعل بفعل باشن-باك. أو التحول المغناطيسي الضوئي. ويعطى هاملتوني الجملة في حال وجود فعل باشن-باك بالشكل:

$$H = H_0 + \mu_B(L_z + 2S_z)B \quad (21)$$

حيث:

بإجراء نفس التحليل السابق نجد :

$$E_{pB} = E^{(0)}_{pB} + E^{(1)}_{ps}$$

$$E_{pB} = E_n + \mu_B(m_l + 2m_s)B$$

قواعد الانتقاء تصبح بالشكل:  $\Delta m_s = 0$  ;  $\Delta m_l = 0, \pm 1$  ;  $\Delta l = \pm 1$

حيث:  $E_n$ : هي الطاقة في غياب المجال المغناطيسي  $B$ .

الموسم الجامعي 2020/2021

كلية العلوم الدقيقة

السنة الثالثة -فيزياء ذرية و جزيئية

قسم الفيزياء

السلسلة -5-

التمرين الأول:

ليكن إلكترون يدور حول نواة. المستوى الذي يشمل مسار الإلكترون يميل بزاوية غير معينة عن المحور Z.

نطبق حقل مغناطيسي  $\vec{B}$  منطبق على Z .

• مفعول زمان العادي لا يأخذ بعين الاعتبار سبين الإلكترون، أكتب عبارة طاقة تفاعل الإلكترون مع الحقل المغناطيسي الخارجي.

1. أعطي العبارة العامة لـ  $\Delta E_I$  بدلالة  $m_I$

. نضع:  $\mu_B = \frac{eh}{2m}$  : magnéton de Bohr

2. أحسب التصحيحات الطاقوية من أجل الحالات التالية:

. المستوى الأول لذرة الهيدروجين.

. المستوى الثاني لذرة الهيدروجين.

. أعطي تمثيل بياني لمستويات الطاقة في وجود أو عدم وجود الحقل  $\vec{B}$ . أعطي بدقة إنحلالية كل مستوى.

التمرين الثاني:

ليكن إلكترون يدور حول النواة. المستوي الذي يشمل مسار الإلكترون يميل بزاوية غير معينة عن المحور Z . نطبق حقل مغناطيسي  $\vec{B}$  منطبق على z.

3- مفعول باشن باك يأخذ بعين الاعتبار سبين إلكترون، أكتب طاقة تفاعل الإلكترون مع

الحقل الخارجي  $\vec{B}$ .

• عبر عن النتيجة بدلالة  $\vec{S}$  .  $\vec{L}$  .  $\vec{B}$ .

4- نفترض أن تأثير الحقل الخارجي قوي مما يجعل تواتر لارمور كبير أمام التواتر الداخلي. في هذه الحالة نستبدل العزوم الزاوية  $\vec{L}$  و  $\vec{S}$  بمساقطها على  $\vec{B}$  عند حساب

$$\Delta E_I$$

• استنتج العبارة الجديدة  $H_I$  بدلالة  $L_z$  و  $S_z$ . نأخذ  $g_s=2$

3- أعطي العبارة العامة  $\Delta E_I$  بدلالة  $m_l$  و  $m_s$ . نضع:  $\hat{I}_a = \frac{e\hbar}{2m}$  : مغنطون بور

4- أحسب التصحيحات الطاقوية في الحالات التالية :

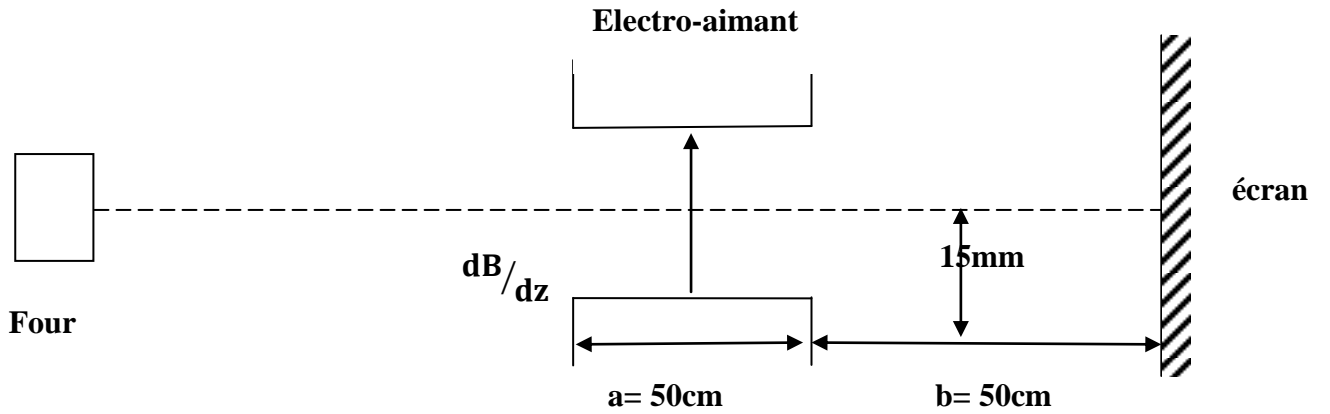
\* - المستوى الأول لذرة الهيدروجين .

\* - المستوى الثاني لذرة الهيدروجين .

\* - أعطي تمثيل بياني لمستويات الطاقة في وجود أو عدم وجود الحقل  $\vec{B}$ . أعطي بدقة إنحلالية كل مستوى.

### التمرين الثالث

الشكل المبين أدناه يمثل جهاز يستعمل في تجارب شبيهة بتلك المجراة من قبل شترين وجيرلاخ.



نقوم بالتجربة التالية :

نعتبر ذرات السليوم التي تحمل التشكيل الإلكتروني  $3P^2$  (...)

1. ماهي القيم الممكنة للأعداد الكمية  $s$  و  $l$  ؟

. بتطبيق مبدأ باولي لتشكيل يحوي إلكترونين متكافئين (أين المجموع  $l + s$  يجب أن يكون

زوجي). ماهي المستويات الناتجة عن التشكيل الأساسي؟.

. ما هو المستوى الأساسي من بين هذه المستويات؟.



2 . بالأخذ بعين الاعتبار تفاعل سبين - مدار للمستوى الأساسي. ماهي مستويات الطاقة الناتجة عن التفاعل؟.

. مع العلم أن الفارق الطاقوي بين المستويات الحديدية السابقة (مستويات البنية الدقيقة للمستوى الأساسي) تساوي إلى  $225 \text{ cm}^{-1}$ . أحسب ثابت البنية الدقيقة A.

3- ذرات السليسيوم الناتجة من الفرن لديها سرعة متوسطة  $v = 1200 \text{ m/s}$ . ما هو عدد البقع المشاهدة على الشاشة ؟ حدد الأعداد الكمية  $j, m_j$  لكل بقعة. أحسب المسافة الفاصلة بين البقع الحديدية.

4 . نضاعف قيمة تدرج الحقل المغناطيسي  $\frac{dB}{dz}$ . ما هو عدد البقع المشاهدة على الشاشة. حدد الأعداد الكمية  $j, m_j$  لكل بقعة. أحسب المسافة الفاصلة بين البقع الحديدية.

## الفصل السادس: فعل الحقل الكهربائي على الذرة

محتويات الفصل:

- 1- فعل ستارك
- 2- فعل ستارك على ذرة الهيدروجين
- 3- مغناطيسية المواد

## 1-1 فعل ستارك (effet Stark):

### 1-1 مقدمة:

تأثير ستارك هو فعل انشطار خطوط الطيف للعناصر تحت تأثير مجال كهربائي خارجي. هذا التأثير مشابه لتأثير زيمان الذي يتعامل مع انشطار خطوط الطيف للعناصر تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي . وأول من اكتشف تأثير المجال الكهربائي على الطيف هو العالم الألماني يوهانس ستارك وكان ذلك في عام 1913 . ويُعتبر هذا التأثير من الظواهر المتعلقة بتركيب الذرة ، وهو أحد الظواهر التي ساعدت على فهمنا لتركيب الذرة . يتعلق فعل ستارك بالتغيرات الناتجة على مستويات الطاقة بفعل وضع الذرة داخل حقل كهربائي خارجي **E** ثابت.

فشل المجرىون السابقون في الحفاظ على مجال كهربائي قوي في مصادر الضوء الطيفية التقليدية بسبب الموصلية الكهربائية العالية للغازات أو الأبخرة المضيئة. لاحظ "ستارك" أنّ طيف الهيدروجين المنبعث خلف الكاثود المثقوب في أنبوب الأشعة الموجبة مع قطب كهربائي مشحون ثاني موازٍ وقريب من هذا الكاثود، تمكن من إنتاج مجال كهربائي قوي في مساحة بضع مليمترات. عند شدة المجال الكهربائي التي تبلغ ( $10^4$ ) فولت لكل سنتيمتر، لاحظ "ستارك" باستخدام مطياف أنّ الخطوط الطيفية المميزة و المسماة خطوط بالمير (**Balmer lines**) للهيدروجين تم تقسيمها إلى عدد من المكونات المتباعدة بشكل متماثل، بعضها مستقطب خطياً "يهتز في مستوى واحد" مع المتجه الكهربائي الموازي لخطوط القوة، والباقي مستقطب بشكل عمودي على اتجاه المجال إلا عند النظر إليه على طول المجال. يشبه تأثير "ستارك" العرضي هذا في بعض النواحي تأثير زيمان العرضي، ولكن نظراً لتعقيده، فإنّ تأثير "ستارك" له قيمة أقل نسبياً في تحليل الأطياف المعقدة أو التركيب الذري. تاريخياً، كان التفسير لتأثير ستارك (1916م) أحد الانتصارات العظيمة لميكانيكا الكم المبكرة .

### 1-2 تأثيرات زيمان وستارك ( Zeeman and Stark Effects):

عند وجود مجال مغناطيسي خارجي أو مجال كهربائي، تنقسم خطوط الانبعاث من الذرات أو الأيونات إلى عدة مكونات. يعتمد حجم فصل الطول الموجي والشدة النسبية بين مكونات الخط

المنفصل على شدة المجال. تسمى هذه الظواهر الناتجة عن المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي بتأثير زيمان وتأثير ستارك، على التوالي. يُعزى انقسام خطوط الانبعاث إلى دقة المستويات الفرعية المغناطيسية التي تتدهور في غياب مجال خارجي. يتم تفسير تباين الشدة النسبية بين مكونات الخط المنفصل على أنه تغيير في عزم ثنائي القطب الكهربائي بين المستويات الفرعية المغناطيسية للانتقال، يحدث هذا التغيير بسبب اختلاط الدالة الموجية. يتم تقديم المعالجة الكمية لهذه التأثيرات وفقاً لنظرية الاضطراب.

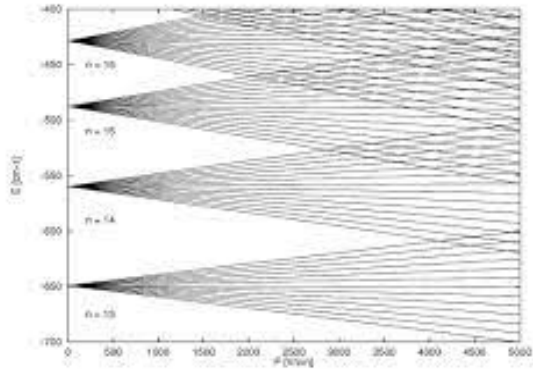
### 1-3- اكتشاف تأثير ستارك وتفسيراته النظرية المبكرة:

بعد أن اكتشف "بيتر زيمان" في عام (1896م) أن مجالاً مغناطيسياً خارجياً يتسبب في انقسام الخطوط الطيفية إلى عدة مكونات، كانت الخطوة المنطقية التالية هي التحقق مما إذا كان المجال الكهربائي سيكون له أيضاً تأثير على شكل أو تكرار الخطوط الطيفية. أول من نشر نتائج التحقيق النظري المنهجي للتأثير المحتمل للمجالات الكهربائية كان عالم فيزياء "غوتنغن فولدمار فويغت" (Voigt). استخدم "فويغت" نسخة معدلة من النموذج الكلاسيكي البحت لشرح الخطوط الطيفية التي تم استخدامها لوصف المغناطيس والتأثيرات البصرية. في النموذج، الذي ابتكره هندريك لورنتز، تحتوي الذرات على إلكترونات مرتبطة بالمركز بقوة توافقية. في نسخة فويغت (Voigt)، لم تعد هذه القوى متناسقة تماماً، ولكنها تحتوي أيضاً على جزء غير متناسق. كانت هناك حاجة إلى هذا المكون غير المتناسق لأن المجال الكهربائي ليس له أي تأثير على تواتر جسيم مشحون يهتز بشكل متناغم، كما يمكن رؤيته بسهولة من معادلة الحركة. بناءً على نمودجه وتقديراته "استناداً إلى النتائج التجريبية للانكسار الكهربائي المزدوج" لقيمة ثابت القوة غير التوافقية للمواد المختلفة، توصل فويغت إلى استنتاج مفاده أن تأثير المجال الكهربائي سيكون صغيراً جداً بحيث لا يمكن ملاحظته .

### 1-4 اكتشافات العالم يوهانس ستارك:

على الرغم من النتيجة النظرية السلبية لـ فويغت (Voigt) ، قرر عالم الفيزياء يوهانس ستارك في عام (1906م) أنه سيكون من المجدي دراسة الأمر تجريبياً. خصوصاً بعد أن أظهر

“قويغت” إعداداً تجريبياً فشل في اكتشاف نظير كهربائي لتأثير زيمان في طيف الصوديوم، أصبح ستارك مقتنعاً، أنه يجب على المرء أن ينظر إلى ذرات الضوء مثل الهيدروجين والهيليوم في مجالات كهربائية قوية جداً وستوفر أشعة القناة هذه الظروف التجريبية المناسبة. في ذلك الوقت، أصبح “ستارك” معروفاً من خلال تجاربه على تأثير “دوبلر” في الخطوط الطيفية المنبعثة من أشعة القناة. حاول “ستارك” أيضاً الربط بين نتائج التجريبية وفرضية “ماكس بلانك” الكمومية التي لا تزال مثيرة للجدل. بدأ “ستارك” في إعداد تجربة لمراقبة تأثير المجال الكهربائي على الخطوط الطيفية. واصل العمل عليها في السنوات اللاحقة، ولكن فقط في عام (1913م)، كان ناجحاً باستخدام أنبوب تفريغ معدل حيث تتحرك أشعة القناة عبر مجال كهربائي قوي، وجد أنّ جرة خطوط الهيدروجين، تم تقسيمها إلى خمسة مكونات عند ملاحظتها في الاتجاه العمودي على المجال، وفي ثلاثة مكونات في الاتجاه الموازي. كما سجل انقساماً أقل وضوحاً في خطوط الهيليوم الأقوى. كان اختيار “ستارك” للهيدروجين والهيليوم محظوظاً، لأنّ التأثير هو الأبرز للعناصر الخفيفة.

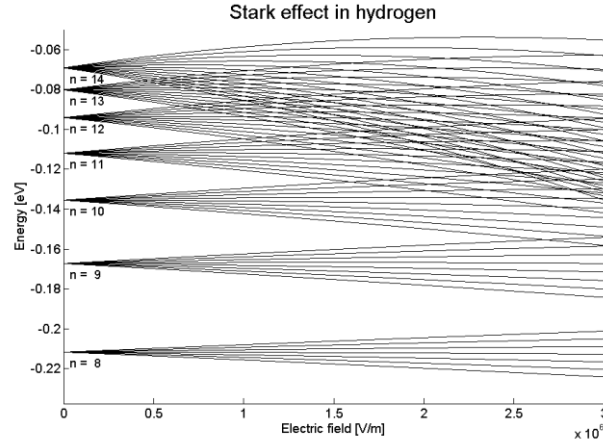


## 2- فعل ستارك على ذرة الهيدروجين :

بالنسبة لذرة الهيدروجين، يعطى تفاعل الذرة مع الحقل المغناطيسي الموافق للحقل الكهربائي E بالشكل:

$$V = -\vec{E} \cdot \vec{D} = e \cdot E_z \quad (1)$$

حيث: ( $\vec{D} = -e\vec{r}$ ) ويمثل تفاعل ثنائي القطب الكهربائي مع الحقل الكهربائي  $\vec{E}$



الشكل (6-1): فعل ستارك لذرة الهيدروجين.

بالنسبة لحقل شدته مقاربة لـ  $10^8 \text{v/m}$  فإن رتبة الانفصالات الناتجة تكون مقاربة لـ  $0.016 \text{ev}$  والبنية الدقيقة تكون درجة الانفصالات  $10^8 \text{ev}$ .

نسمي  $\Delta E$  تصحيح في الطاقة ونأخذ التصحيح الخطي الناتج عن فعل ستارك الخطي - بالنسبة للأيونات الشبيهة بالهيدروجين - بالشكل:

$$\Delta E = \frac{3n}{2z} (n_1 - n_2) e E a_0 \quad (2)$$

حيث:  $n = n_1 - n_2 + |m| + 1$

$n_1, n_2$ : أعداد صحيحة موجبة

$n$ : العدد الكمي الرئيسي.  $m$ : العدد الكمي المداري

$a_0$ : ثابت معين

مثال: بالنسبة للمستويين  $2s$  و  $2p_0$  لدينا:

$$n_1 = 0; n_2 = 1; n_1 - n_2 = -1$$

$$\Delta E = -\frac{3}{z} e E a_0$$

$$n = 2; |m| = 0; n_1 + n_2 = 1$$

وعليه هناك احتمالين:

$$n_1 = 0; n_2 = 0; n_1 - n_2 = 1; \Delta E = \frac{3}{z} e E a_0$$

### 3- مغناطيسية المواد (Magnétisme de la matière):

تمتلك جميع أنواع المواد نوعاً من الخواص المغناطيسية، بمعنى أن جميع المواد تظهر نوعاً من السلوك المغناطيسي. تتكون هذه المواد من جسيمات مشحونة : إلكترونات وبروتونات ، و هي الطريقة التي ترتب بها السحب الإلكترونية نفسها في الذرات وتصبح الذرة (أو مجموعة الذرات) في الواقع قطباً مغناطيسياً، أو مغناطيساً صغيراً يمكنه المحاذاة وفقاً للمجال المغناطيسي المطبق، ويحدد التأثير الصافي لكل ثنائي القطب هذه الخواص المغناطيسية، للمواد المغناطيسية.

#### 3-1 أنواع المواد المغناطيسية

لدراسة الخواص المغناطيسية للمواد المغناطيسية ، توضع المادة عادة في مجال مغناطيسي موحد ، ثم يتنوع المجال المغناطيسي ، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من السلوك المغناطيسي.

#### 3-1-1 مواد مغناطيسية

تكون هذه المواد ممغنطة بالكاد عند وضعها في مجال مغناطيسي، ففي الواقع ، تميل ثنائيات القطب المغناطيسية في هذه المواد إلى المحاذاة في عكس المجال المطبق ، وينتجون مجالاً مغناطيسياً داخلياً ، يعارض المجال المطبق ، وتميل المادة إلى صد المجال الخارجي حوله ، ويختفي هذا الحقل المتعارض بمجرد إزالة الحقل الخارجي.

و هي أيضاً المواد التي يتم صدها بمغناطيس مثل الزنك ، حيث يُعرف الزئبق ، والرصاص ، والكبريت ، والنحاس ، والفضة ، واليزموت، والخشب وما إلى ذلك بالمواد المغناطيسية ، وتكون نفاذية هذه المواد أقل قليلاً من واحد ، وعلى سبيل المثال ، النفاذية النسبية لليزموت هي 0.00083 ، والنحاس 0.000005، والخشب 0.999995، وهي ممغنطة قليلاً عند وضعها في مجال مغناطيسي شديد، وتعمل في الاتجاه المعاكس لاتجاه المجال المغناطيسي المطبق.

وكما ذكرنا سابقاً أن في المواد المغناطيسية، يكون المجالان المغناطيسيان ضعيفا نسبياً بسبب الحركة المدارية، والدوران المحوري للإلكترونات حول النواة في اتجاهين متعاكسين حيث يلغيان بعضهما البعض، وثنائيات القطب المغناطيسية الدائمة غير موجودة فيها.

### 3-1-2- المواد البارامغناطيسية

تعرف المواد التي لا تتجذب بقوة إلى المغناطيس بالمواد البارامغناطيسية ، على سبيل المثال: الألمنيوم والقصدير والمغنيسيوم وما إلى ذلك ، ونفاذيتها النسبية صغيرة ولكنها إيجابية ، على سبيل المثال: نفاذية الألومنيوم: 1.00000065. يتم مغنطة هذه المواد فقط عندما توضع في مجال مغناطيسي قوي للغاية ، وتعمل في اتجاه المجال المغناطيسي. والمواد البارامغناطيسية لها ثنائيات ذرية فردية ، موجهة بطريقة عشوائية ، وبالتالي تكون القوة المغناطيسية الناتجة صفر.

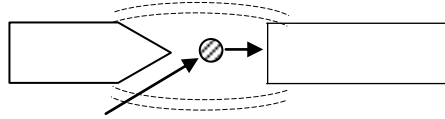
وعندما يتم تطبيق مجال مغناطيسي خارجي قوي ، فإن الأقطاب المغناطيسية الدائمة ، توجههم بموازاة المجال المغناطيسي المطبق ، وتؤدي إلى مغنطة إيجابية ، ونظرًا لأن اتجاه الأقطاب الموازية للمجال المغناطيسي المطبق غير كامل ، فإن المغنطة صغيرة جدًا.

• لاحظ فرادي في سنة 1846 أن بعض الأجسام الموضوعة في حقل مغناطيسي غير متجانس تكتسب خصائص ناتجة من تفاعلها مع هذا الحقل. فقد لاحظ بالخصوص أن المواد المدروسة يمكن تقسيمها على مجموعتين اعتبارًا من نفورها أو انجذابها نحو المناطق أين يكون الحقل شديدًا جدًا.

1- فالمواد التي تبعد بواسطة المناطق أين يكون الحقل شديد تسمى **بالديامغناطيسية**

مثال:

النحاس (cuivre)، الزيتيق (mercure)، الماء (eau)، الذهب (or)، الغازات النادرة (gaz rare)، الرصاص (Plomb)، الهيدروجين (hydrogène)

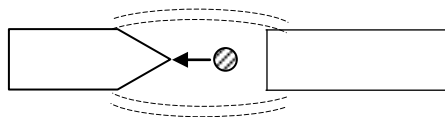


كرية من الذهب

2- الأجسام التي تجذب بواسطة المناطق أين يكون الحقل شديد جدا تسمى **البارامغناطيسية**

مثال:

الألمنيوم - الفضة - الليثيوم - البلاتين - الصوديوم.





ان الخصائص المغناطيسية للمادة تنتج ابتداء من تفاعل الحقل المغناطيسي الخارجي مع العزم المغناطيسي للذرات والجزيئات (مكون من العزوم المدارية والسبينية).  
ان ذرات العينات الديامغناطيسية لا تملك عزما مغناطيسيا دائما ولكن عندما تكون هذه الذرات داخل حقل مغناطيسي خارجي  $\vec{H}$  فإن هذا الأخير يغير من حركة الالكترونات ومنه تنتج عزما مغناطيسيا محرضا.

من جهة أخرى فإن ذرات العينات البرامغناطيسية تملك عزما مغناطيسيا دائما وعزمها الزاوي الكلي غير معدوم (الذرات التي لها عدد فردي من الإلكترونات *terres rares*)  
ففي الفراغ: يرتبط التحريض المغناطيسي  $\vec{B}$  بالحقل المغناطيسي  $\vec{H}$  بواسطة العلاقة:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (3)$$

$\mu_0$ : نفاذية الفراغ

أما في الوسط المادي: تصبح العلاقة بالشكل

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M} \quad (4)$$

حيث  $\vec{M}$  يمثل تمغنت (*magnetisation*) المادة (عزم مغناطيسي على وحدة الحجم)

$$\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}}{dv}$$

بالتعريف نكتب:

$$\vec{M} = \Psi \mu_0 \vec{H} \quad (5)$$

أين:  $\Psi$ : *susceptibilité magnétique*

$\Psi$  يمكن أن تأخذ قيم سالبة أو موجبة حسب كون  $\vec{M}$  موازية أو غير موازية لـ  $\vec{H}$ .

بالنسبة للعينات الديامغناطيسية فإن:  $\Psi < 0$

بالنسبة للعينات البرامغناطيسية فإن:  $\Psi > 0$

ونكتب العلاقة (4) بالشكل:

$$\vec{B} = (\Psi + 1) \mu_0 \vec{H}$$

وعليه تصبح  $\Psi$  بالشكل:  $\Psi = \frac{B}{\mu_0 H} - 1$  و قيمها دائما ضعيفة

عينات عن الديامغناطيسية

$$\Psi_{Bi} = -1.5.10^{-4}$$

$$\Psi_{eau} = -9.10^{-6}$$

عينات عن البرامغناطيسية:

$$\Psi_0 = 2.10^{-5} \text{ (الاكسجين).}$$

**3-1-3 المواد المغناطيسية الحديدية**

نحن أكثر دراية بهذه المواد لأنها تظهر أقوى سلوك مغناطيسي. يتم ترتيب ثنائيات القطب المغناطيسية في هذه المواد في مجالات حيث تكون ترتيبات ثنائيات القطب المغناطيسية الفردية مثالية بشكل أساسي ، والتي يمكن أن تنتج مجالات مغناطيسية قوية ، وعادة يتم ترتيب هذه المجالات بشكل عشوائي ، وبالتالي يتم إلغاء المجال المغناطيسي لكل مجال من قبل آخر ، ولا تظهر المادة بأكملها أي سلوك مغناطيسي.

ومع ذلك، عند تطبيق حقل خارجي، تعيد المجالات توجيه نفسها لتعزيز المجال الخارجي، وإنتاج مجال مغناطيسي داخلي قوي على طول المجال الخارجي. وعند إزالة المجال الخارجي ، تظل معظم المجالات ثابتة ، ولا تزال محاذاة في اتجاه المجال المغناطيسي (السابق) وبالتالي ، يستمر المجال المغناطيسي للمواد المغناطيسية حتى عندما يختفي المجال الخارجي ، ويتم استخدام هذه الخاصية لإنتاج مغناطيس دائم نستخدمه كل يوم ، وعادة ما يكون الحديد ، والكوبالت ، والنيكل ، والنيوديميوم ، وسبائكها مغناطيسية عالية للغاية ، وتستخدم لصنع مغناطيس دائم.

**• المواد المغناطيسية الحديدية الناعمة**

لدى هذه المواد نفاذية عالية نسبياً ممغنطة بسهولة ولها تباطؤ صغير للغاية ، والمواد المغناطيسية الحديدية الناعمة هي الحديد ، وهي عبارة عن سبائك متنوعة مع مواد مثل النيكل والكوبالت والتنجستن والألمنيوم ، وسهولة المغنطة وإزالة المغنطة تجعلها مناسبة للغاية للتطبيقات التي تتطلب على تغيير التدفق المغناطيسي ، كما هو الحال في المغناطيسيات الكهربائية ، والمحركات الكهربائية ، والمولدات ، والمحولات ، والمستحاثات وأجهزة الاستقبال الهاتفية وما إلى ذلك.

كما أنها مفيدة في الفحص المغناطيسي، كما يمكن تحسين خصائصها بشكل كبير من خلال التصنيع الدقيق والتدفئة، والتلين البطيء وذلك لتحقيق درجة عالية من النقاء البلوري. إن العزم المغناطيسي الكبير في الغرفة المعتدلة يجعل المواد المغناطيسية الحديدية الناعمة مفيدة للغاية للدوائر المغناطيسية، ولكن تعتبر المغناطيسية الحديدية موصلات جيدة جدًا لذلك فهي تعاني من فقدان الطاقة من التيار الدائم الناتج داخلها. وهناك فقدان إضافي للطاقة، بسبب حقيقة أن المغنطة لا تسير بسلاسة، ولكن في قفزات دقيقة، وتسمى هذه الخسارة بالفقدان المغناطيسي، وتعتمد فقط على تواتر كثافة التدفق المتغير وليس على حجمها.

#### • المواد المغناطيسية الحديدية الصلبة

لدى هذه المواد نفاذية منخفضة نسبيًا كما تشتمل المواد المغناطيسية الصلبة النموذجية على فولاذ الكوبالت ، وسبائك مغناطيسية حديدية مختلفة من الكوبالت ، والألمنيوم والنيكل ، ويحتفظون بنسبة عالية من مغنطتهم وفقدان التباطؤ العالي نسبيًا ، كما إنها مناسبة للغاية للاستخدام كمغناطيس دائم ، وكمكبرات صوت وأدوات قياس وما إلى ذلك.

### 4-1-3 الفريت

الفريتات هي مجموعة خاصة من المواد المغناطيسية التي تحتل موقعًا وسيطًا بين المواد المغناطيسية وغير المغناطيسية. وهي تتكون من جزيئات دقيقة للغاية من مادة مغناطيسية حديدية ذات نفاذية عالية ، ويتم تثبيتها مع راتينج ملزم. إن المغنطة التي يتم إنتاجها في الفريت كبيرة بما يكفي لتكون ذات قيمة تجارية ولكن تشبعها المغناطيسي ليس مرتفعًا مثل مغنطيسيات المواد المغناطيسية. كما هو الحال بالنسبة للمغناطيسيات الحديدية ، قد يكون الفريت من الفريت الناعم أو الصلب.

#### • الفريت لينة

تصنع مغناطيسيات السيراميك التي تسمى أيضًا بالسيراميك المغناطيسي من أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$  ، مع واحد أو أكثر من أكسيد ثنائي التكافؤ مثل  $NiO$  ، أو  $MnO$  ، أو  $ZnO$  ، وتحتوي هذه المغناطيسيات على حلقة خلفية مربعة ، ويتم تقييم المقاومة العالية وإزالة المغنطة للمغناطيس لآلات الحوسبة ، حيث تكون المقاومة العالية مطلوبة.

والميزة الكبرى للفريت هي مقاومتها العالية ، وتتمتع المغناطيسات التجارية بمقاومة عالية تصل إلى 109A.cm ، لذلك يتم تقليل التيارات الدائمة الناتجة عن الحقول المتناوبة إلى الحد الأدنى ، ويتم توسيع نطاق تطبيق هذه المواد المغناطيسية إلى ترددات عالية ، حتى إلى الموجات الدقيقة. ويتم تصنيع الفريت بعناية من خلال مزج أكاسيد البودرة ، والضغط ، والتلبيد عند درجة حرارة عالية ، وغالبًا ما تُصنع محولات الترددات العالية في أجهزة التلفاز ، وأجهزة الاستقبال المعدلة بالتردد مع نوى من الفريت.

#### • الفريت الصلب

هي مواد مغناطيسية دائمة من السيراميك. تحتوي أهم عائلة من الفريت الصلب على التركيب الأساسي لـ  $MO \cdot Fe_2O_3$  حيث  $M$  هو أيون الباريوم (Ba) ، أو أيون السترونشيوم (Sr) ، وهذه المواد لها هيكل سداسي ومنخفضة التكلفة والكثافة.

ويتم استخدام الفريت الصلب في المولدات والمحركات ، وتشمل التطبيقات الإلكترونية مغناطيسات لمكبرات الصوت ، ورنات الهاتف وأجهزة الاستقبال ، كما أنها تستخدم في تثبيت الأجهزة من أجل إغلاق الأبواب ، والأختام ، والمزالج ، وفي العديد من تصميمات الألعاب.

معطيات و قيم بعض الثوابت الفيزيائية

$C = 3.10^8 \text{ m/s}$	سرعة الضوء
$G = 6.67.10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$	ثابت الجاذبية
$N = 6.022.10^{23} \text{ mole}^{-1}$	ثابت أفوقادرو
$e = 1.602.10^{-19} \text{ c}$	شحنة الإلكترون
$m_0 = 9.109510^{-31} \text{ Kg}$	كتلة السكون للإلكترون
$m_p = 1.67.10^{-27} \text{ Kg}$	كتلة السكون للبروتون
$m_n = 1.67495.10^{-27} \text{ Kg}$	كتلة السكون للنوترون
$h = 6.6262.10^{-34} \text{ j. s}$	ثابت بلانك
$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 0.659.10^{-15} \text{ eV. s}$	
$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054.10^{-27} \text{ args}$	
$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054.10^{-34} \text{ j. s}$	
$k = 1.38066. \text{ j. k}^{-1} 10^{-23}$	ثابت بولتزمان
$R_H = 1.1.10^7 \text{ m}^{-1}$	ثابت ريدبارغ للهيدروجين
$\hat{a}_0 = 8.85413.10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$	سماحية الفراغ
$\frac{e^2}{4\pi\hat{a}_0} = 2.3072.10^{-28} \text{ j. m}$	
$4\pi\hat{a}_0 = 1.11264.10^{-10} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$	
$\frac{1}{4\pi\hat{a}_0} = 9.10^9$	
$\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ N. A}^{-2}$	نفاذية الفراغ
$\hat{a} = \frac{e^2}{hc} \approx \frac{1}{137}$	ثابت التركيب الدقيق
$m_0 c^2 = 0.511 \text{ MeV}$	طاقة السكون للإلكترون
$m_p c^2 = 940 \text{ MeV}$	طاقة السكون للبروتون
$m_p/m_e \approx 1836$	نسبة كتلة البروتون إلى كتلة الإلكترون
$hc = 12.4.10^3 \text{ eV. A}^0$	
$E_{in} = 13.6 \text{ eV}$	طاقة التأين للهيدروجين
$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_0 e^2} = 0.53 \text{ A}^0$	نصف قطر بور للهيدروجين
$\ddot{e}_c = \frac{h}{m_0 c} = 2.426309.10^{-12} \text{ m} = 2.426309.10^{-2} \text{ A}^0$	طول موجة كمبتون للإلكترون
$\dot{\lambda}_B = \frac{eh}{2m_e} = 9.27408.10^{-24} \text{ j/T}$	مغنون بور
$\frac{e}{m_e} = 1.76.10^{11} \text{ C/Kg}$	الكتلة الذاتية للإلكترون
$\frac{e}{m_p} = 0.959.10^8 \text{ C/Kg}$	الكتلة الذاتية للبروتون
$\acute{o} = 5.67.10^{-8} \text{ w}/(\text{m}^2. \text{ k}^4)$	ثابت ستيفان بولتزمان

$$b = 0.29 \text{cm. K}^0$$

ثابت الإزاحة لفيان

جدول معاملات تحويل الطاقة:

	Erg	Joule	Calorie	eV	MeV
Erg	1	$10^{-7}$	$2.39 \cdot 10^{-8}$	$6.25 \cdot 10^{11}$	$6.25 \cdot 10^5$
Joule	$10^7$	1	0.239	$6.25 \cdot 10^{18}$	$6.25 \cdot 10^{12}$
Calorie	$4.12 \cdot 10^7$	4.18	1	$2.62 \cdot 10^{19}$	$2.62 \cdot 10^{13}$
eV	////	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$3.82 \cdot 10^{-20}$	1	$10^{-6}$
MeV	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-13}$	$3.82 \cdot 10^{-14}$	$10^6$	1

معاملات تحويل الضغط

$$1 \text{atm} = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{atm} = 1.01325 \text{ bars}$$

$$1 \text{atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{mmHg} = 1 \text{torr}$$

$$1 \text{ dyn/cm}^2 = 0.10 \text{ N/m}^2$$

معاملات تحويل الكهرباء

$$1 \text{Tesla} = 10^4 \text{Gauss}$$

$$1 \text{Faraday} = 96.485 \text{C}$$

$$1 \text{e}^- \leftarrow 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

## المراجع

- 1- The theory of atomic structure and spectra, par Robert D.Cowan , University of California press, Berkeley- Los Angeles. London.
- 2- Physique atomique par Bernard Held, Masson Paris, 199
- 3- Exercices corrigés de physique atomique, par Bernard Held, Masson Paris, 1992
- 4- H.R. Griem, Principle of Plasma Spectroscopy, Cambridge University Press, 1997, New York.
- 5- W.Demtröder, Atoms, Molecules and Photons, Springer-Verlag, 2006, Berlin Heidelberg
- 6- I.I.Sobelman, Atomic Spetra and radiative transitions, Springer-Verlag, 1979, Berlin Heidelberg.
- 7- C.C.Tannoudji, B.Diu, F. Laloe, Mécanique quantique 2, 2<sup>eme</sup> edition, 1973, Paris
- 8- R.M.Eisberg, Fundamentals of modern physics, 1967, USA