

علي بلفتاح
استاذ مكلف بالدروس
جامعة منتوري. قسنطينة

أحمد بن عامر
استاذ مكلف بالدروس
جامعة منتوري. قسنطينة

تمت الترجمة تحت إشراف و بمساعدة
الأستاذ صالح غواطي
جامعة منتوري. قسنطينة

كيمياء عامة

الجزء الأول : بنية المادة

دروس مع تمارين محلولة و مفصلة و مسائل مقترحة

الطور الأول الجامعي

مطبوعات جامعة منتوري. قسنطينة. سبتمبر 2001

توطئة

كم كانت غبطتي و ابتهاجي عظيمين لم عرضت عاي فكرة ترجمة هذا الكتاب إلى اللغة العربية، و خاصة أنه يتناول موضوعا، طالما اشتكى طلبة السنوات الأولى من التعليم العالي من نقص كبير في المطبوعات الجامعية المنشورة باللغة العربية في هذا المجال. بودي أن أحبي هذه المبادرة، التي تضيف لبنة جديدة للمكتبة الجزائرية بل للمكتبة العربية في بنية المادة، لا شك أنها تشكل ثمرة مجهودات كبيرة، سلك فيها المؤلف منهجية متدرجة في التسلسل التاريخي لعلم الكيمياء و تطوره عبر عصر النهضة و الاكتشافات العلمية الحديثة .

يعتبر هذا العمل سندا علميا دقيقا، مبني على خبرات بيداغوجية واسعة في معالجة النظريات و تطبيقاتها مما يسهل على القاري استيعاب العلاقات الرياضية التي عاجلها المؤلف و إعطائها المعاني الفيزيائية بأسلوب سهل و مبسط، دون الإخلال بالدقة العلمية لهذه المفاهيم.

استعمال وسائل الإيضاح في تفسير الروابط الكيميائية و مستويات الطاقة و تمحين الخطات الذرية و الجزيئية أضفى عاملا مهما في شرح اتحاد الذرات لتكوين الجزيئات.

أملني أن يتلو هذا العمل أعمال أخرى لإثراء المكتبة العربية، كما أتمنى أن يكون هذا الكتاب مفيدا للطلبة.

صالح غواطي

أستاذ في التعليم العالي

جامعة منتوري. قسنطينة.

تمهيد للكتاب

المهدف من هذا الكتاب هو مساعدة الطلبة لإستعاب المفاهيم المرتبطة بالنظرية الذرية و كذا تمكينهم من بناء الروابط الكيميائية.

سلطنا منهاجا بسيطا و موجزا أحيانا لتسهيل الفهم السريع للأفكار المطروحة. كان التدرج في معالجة محتويات الفصول متسلسلا بغية تحسيس القارئ بتطور النظريات (محتواها و محدودية تطبيقاتها) إلى أن وصلت إلى المفهوم الحديث للذرة.

تبقى حسب تصورنا ، دراسة بعض التجارب التي أدت إلى تعيين مكونات المادة الطريقة الملائمة لإدخال مفاهيم جديدة و استعابها.

نتعرض في كل فصل إلى إعطاء تعاريف أساسية مدعمة بأمثلة مختارة متبوعة بتمارين جديدة أو أخرى قد أعيد النظر في محتواها في بعض الحالات تسمح للطلاب بتطبيق المفاهيم المتناولة و كذا لتدريبه على التفكير في حل الإشكاليات العلمية و ترسيخ روح النقد البناء.

و يبقى حسب رأينا تقديم الأعداد الكمية بواسطة نظرية بومر- سومرفلد من أفضل مناهج التدريس لإستعاب نظرية الكم و تكون معادلة شرودنغر مطروحة فقط و تبيان أهم نتائجها و هذا تطبيقا للبرامج الرسمية.

آمالنا أن هذا الكتاب الموجه لطلبة السنة الأولى من السلك الجامعي الأول يكون أداة و عاملا فعالا الذي يسمح لهم باستعاب سريع و صحيح للمفاهيم المطروحة.

المؤلفون

الفهرس

18	د- الكاشف.....	i	توطئة.....
19	IV. المظهر الفراغي للمادة.....	ii	تمهيد للكتاب.....
19	1- نموذج طومسون Thomson.....	1	مقدمة.....
19	2- نموذج روثرفورد Rutherford.....		السياق الأول : المظهر الماكروسكوبي و عدم
21	V. النقص في الكتلة-طاقة التماسك.....		الاستمرارية الميكروسكوبية للمادة
	الباب الثالث : النشاط الإشعاعي		
	و التفاعلات النووية		
26	I. النشاط الإشعاعي (الإشعاعية).....	2	I. المادة.....
26	1- الإشعاعية الطبيعي.....	2	1- تعريف.....
26	2- الأنواع المختلفة للإشعاعات.....	2	2- الخليط المتجانس-الخليط غير المتجانس...
26	أ- الإشعاع α		أ- الخليط المتجانس
27	ب- الإشعاع β	2	ب- الخليط غير المتجانس
27	ج- الإشعاع γ	2	3- الأجسام النقية.....
28	3- قانون الأنبيات (الإصدار).....	2	4- مفهوم الجزيء و الذرة.....
28	أ- الدور الإشعاعي.....	3	أ- تعريف الجزيء.....
29	ب- النشاط الإشعاعي.....	3	ب- تعريف الذرة.....
30	II. الإشعاعية الاصطناعية و التفاعلات	3	II. حالات المادة.....
30	النووية.....		1- عدد أفوغادرو. المفهوم المولي.....
30	1- الإشعاعية الاصطناعية.....	4	2- الكتلة المولية و الكتلة الجزيئية.....
31	2- التفاعلات النووية.....	5	III. القوانين الأساسية في الكيمياء.....
31	أ- التفاعلات مع الهليونات.....	6	- قانون انحفاظ الكتلة (لافوازي).....
31	ب- التفاعلات مع البروتونات.....	6	- قانون انحفاظ العناصر (لافوازي).....
32	ج- التفاعلات مع الدوتونات.....	6	- قانون النسب المعينة (بروس).....
32	د- التفاعلات مع النيوترونات.....	7	- قانون النسب المضعفة (دالتون).....
33	III. حوصلة التفاعلات النووية.....	7	- قانون الاتحادات الغازية (غي لوساك).....
33	IV. العائلات المشعة.....		الباب الثاني : مكونات المادة
34	V. تطبيقات الإشعاعية.....	9	I. عموميات.....
35	1- التطبيقات الطاقوية.....	9	II. الإلكترون.....
35	أ- الانشطار النووي.....	9	1- الطبيعة الكهربائية للمادة.....
	• الانشطار المتفجر	10	2- إثبات وجود الإلكترون.....
	• الانشطار المراقب	11	أ- تعيين النسبة e/m
36	ب- الالتحام النووي.....	12	ب- حساب m و e
37	2- التطبيقات غير الطاقوية.....	13	III. النواة الذرية.....
37	أ- التأريخ بواسطة C^{14}	13	1- إثبات وجود النواة.....
38	ب- تطبيقات أخرى.....	14	2- مكونات النواة.....
39	VI. مخاطر الإشعاعية.....	14	أ- البروتون.....
	الباب الرابع : البنية الإلكترونية للذرة	14	ب- النيوترون.....
42	I. النموذج الذري لروثرفورد.....	15	3- مصطلحات.....
42	1- الإشعاع الكهرومغناطيسي.....	16	4- النظائر.....
44	2- الفعل الكهروضوئي.....	16	5- مطياف الكتلة لبانبريدج Bainbridge....
		17	أ- غرفة التأين.....
		17	ب- مرشح السرعات.....
		18	ج- المحلل.....

92	 II. الرابطة الأيونية	45	 II. النموذج الذري لبوهر
95	 III. الروابط ما بين الجزيئات	46	1- تعيين نصف قطر المدارات المستقرة
95	1- قوى فان دار فالس	47	2- تعيين السرعة
95	أ- قوى كيسوم	47	3- تعيين الطاقة الكلية
95	ب- قوى ذى باي	48	4- أطياف الامتصاص. أطياف الانتشار
95	ج- قوى لنزن	51	 III. نموذج سومرفلد
96	2- الرابطة الهيدروجينية		الباب الخامس : مدخل إلى الميكانيك الموجي
	• الرابطة الهيدروجينية داخل الجزيء	58	I. الطبيعة الموجية للمادة
97	3- الرابطة المعدنية	58	II. الأزدواجية موجة-جسيم
	IV. الرابطة التساهمية : نظرية المحطات	59	III. مبدأ الشك لهيزنباغ Heisenberg
97	الجزيئية. O.M	60	IV. المعادلة العامة للميكانيك الموجي
	1- الرابطة σ		• تمثيل السحب الإلكترونية المرافقة
101	2- الرابطة π		للحالات ns و np
102	3- المخطط الطاقوي للجزيء		الباب السادس : الذرات المتعددة الإلكترونات
103	الباب التاسع : تهجين المحطات و هندسة الجزيئات		I. تعريف
	I. مقدمة	67	II. مبدأ الاستبعاد لبولي Pauli
107	1- التهجين الرباعي sp^3	68	III. قوانين ملا المحطات
107	• جزيء النشادر NH_3		1- قاعدة كلاشكوسكي Klechkowski
	• جزيء الإيثان C_2H_6	70	2- مبدأ الثبات
111	2- التهجين sp^2	71	3- قاعدة هوند Hund
	• جزيء BF_3		الباب السابع : التصنيف الدوري للعناصر
	• جزيء C_2H_4	74	I. مقدمة
113	3- التهجين sp	74	II. دراسة الدورات
	• جزيء BeF_2	78	III. دراسة الأعمدة
	• جزيء C_2H_2	78	IV. الخواص الدورية للعناصر
116	II. نظرية جيلسبي Gillespie	78	1- النصف القطر الذري
	III. دراسة بعض معقدات المعادن الانتقالية	79	2- النصف القطر الأيوني
119	• التهجين d^2sp^3 و sp^3d^2	79	3- طاقة التآين
	• التهجين dsp^2	80	4- الألفة الإلكترونية
	• المعقدات المختلطة	81	5- الكهروسلبية
125	حلل التمارين	81	6- القابلية للإستقطاب و قدرة الإستقطاب
139	مسائل للمراجعة		الباب الثامن : الرابطة الكيميائية
143	بعض الثوابت الأساسية		I. الرابطة المشتركة (التساهمية). نظرية لويس Lewis
	تحويل بعض الوحدات و المقاطع البدائية	86	1- الرابطة المشتركة أو التساهمية
	ترتيب أبجدي لعناصر الجدول الدوري	87	أ- الرابطة البسيطة
145	الجدول الدوري للعناصر	87	ب- الرابطة المتعددة
146	ترتيب أبجدي للأسماء المشهورة	87	ج- الرابطة التساندية
147	المراجع	88	2- مخطط لويس Lewis
148		88	3- الرابطة المشتركة الخالصة و الرابطة المشتركة المستقطبة
		90	4- طول الرابطة
		92	

مقدمة

أصبحت الكيمياء بعد اكتشافات لافوازي *Lavoisier* علما من العلوم الفيزيائية وتطورت خلال القرن التاسع عشر ، ثم اكتسبت أهمية معتبرة منذ بداية القرن العشرين بظهور إمكانيات جديدة في الاصطناع ، و توسيعه إلى ميادين صناعية (الصناعات الكيميائية ، الصيدلانية و الصناعات الغذائية) .

إن هدف الكيمياء هو دراسة كل المواد الطبيعية و البحث عن مكوناتها واصطناعها مع تعيين القوانين التي تحكم منتجاتها .

يصاحب التفاعل الكيميائي تشكيل أجسام أخرى مختلفة عن تلك التي انطلق منها التفاعل و يمكن أن يرافق التفاعل الكيميائي تحول عميق و جذري للمادة مع تكوين مواد جديدة مختلفة في الخواص الفيزيائية و الكيميائية .

لا تعتنى الكيمياء بالمركبات المشكلة فقط بل تهتم بظواهر التفاعل ، و تأثير العوامل المختلفة مثل : درجة الحرارة ، الضغط ... على التفاعل . كما يمكن قياس سرعة التفاعل و التغيرات الحرارية الناتجة عن التفاعل .

لا يمكن للفيزيائي الاستغناء عن الكيمياء لأنها تكون الدعم الرئيسي لابتكار قوانين جديدة توضح الخواص الفيزيائية للمادة و تبقى مرتبطة ارتباطا وثيقا بالعلوم الأخرى مثل:

* علم الفلك (تركيب الكواكب و النجوم)

* علم الأرض (تركيب الصخور)

* العلوم الفلاحية (دراسة و تعيين نوعية التربة)

* علوم الطبيعة و الحياة أين تشكل الكيمياء أساسا للظواهر الحية المرتبطة بالتفاعلات

الكيميائية . (ألم يقارن لافوازي *Lavoisier* الحياة بتفاعلات الاحتراق ؟) .

تشكل الكيمياء عالما واسعا للاكتشافات العلمية و تعطي ميادين عديدة و لا متناهية في البحث العلمي .

لقد حسنت الكيمياء نوعية الحياة البشرية بإدخال وسائل جديدة و متنوعة لرفاهية الإنسان الذي كان لا يمكن تخيله لعقود سابقة و يتجلى ذلك في استعمالنا اليومي للمواد الكيميائية في الغسيل ، الألبسة ، النقل ، المأكولات ، العلاج وتبقى وستظل القائمة مفتوحة .

الباب الأول : المفهوم الماكروسكوبي و عدم الاستمرارية الميكروسكوبية للمادة

I. المادة :

(1) تعريف :

" المادة هي كل شيء في الكون كتلته غير معدومة و هو في حالة السكون "
و يعبر عن الكتلة بوحدات هي : الكيلو غرام kg ، الغرام g في نظام : C.G.S ، M.K.S.A

(2) الخليط المتجانس - الخليط غير المتجانس:

خلق الله الأشياء الخليطة على نوعين :

(أ) الخليط المتجانس :

لا يمكن تمييز أي استمرارية في شكل هذا الخليط الذي يتكون من طور واحد و لا نستطيع فصل مكوناته بالطرق الميكانيكية البسيطة مثلا: محلول الملح في الماء، الهواء ..

(ب) الخليط غير المتجانس :

يمكن التمييز بين مكوناته بالعين المجردة أو بالمجهر ، و هذا ما يوضح عدم الاستمرارية ، و هو مكون من طورين على الأقل مثل : الغرانيت (كوارتز ، ميكا و فيلسبات) ، البوكسيت (ألومنيوم و حديد) ، الدم (الهيم و البلازما) ،

(3) الأجسام النقية :

إن الخاصية الأساسية التي تميز الأجسام النقية عن الخلائط هي عدم تغير خصائصها الفيزيائية و الكيميائية مهما كانت طرق الحصول عليها و هي كيانات لا تحتوي إلا على جزيئات متماثلة متطابقة و يمكن أن تكون أجساما بسيطة أو مركبة مثل : مياه البحر هي أجسام خليطة لها كثافات و درجات حرارة غليانها مختلفة حسب مناطقها الجغرافية . أما بعد تقطيرها (تنقيتها) فإننا نحصل على الماء النقي الذي له كثافة ثابتة d و درجة غليان ثابتة أيضا T_{eb} و هذا تحت ضغط جوي $(P = 1 \text{ atm})$ و بصرف النظر عن مصدره .

(4) الأجسام البسيطة - الأجسام المركبة :

يمكن تفكك بعض الأجسام النقية إلى أجسام نقية أخرى بطرق معينة مثلا :



و بهذا يبدو أن الماء عبارة عن جسم مركب ، أما الهيدروجين و الأوكسجين فإنهما يقاومان أي تفكك كيميائي وعليه فهما عبارة عن أجسام بسيطة أو عناصر (إذن الماء جسم مركب مكون من أجسام بسيطة هي الهيدروجين و الأوكسجين).

(5) مفهوم الجزيء و الذرة :

على مستوى هذا المقرر فإن المادة تبدو للكيان غير متقطعة و لكن أثبتت عدة تجارب عكس ذلك أي أن المادة لها مفهوم دقائق عنصرية صغيرة (القوانين الوزنية). إذن الأجسام النقية تتكون من دقائق عنصرية صغيرة تسمى الجزيئات .

(أ) تعريف الجزيء:

" هو أصغر كتلة جسم نقي له خصائص مميزة "

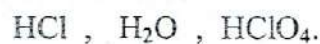
$$\text{H}_2\text{O} \quad m = 30.10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{O}_2 \quad m = 53.10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{H}_2 \quad m = 3.34.10^{-27} \text{ kg}$$

إن الجزيئات نفسها تتكون من دقائق عنصرية صغيرة تسمى بالذرات .

- و هي مميزة للأجسام البسيطة
- يتكون جزيء الأجسام البسيطة من مجموعة ذرات متطابقة .
- يتكون جزيء الأجسام المركبة من مجموعة ذرات مختلفة .



أجسام بسيطة

أجسام مركبة

ملاحظة : O_2 (أوكسجين) ، O_3 (أوزون) جسمان من نفس النوع لكن مختلفان في الخواص.

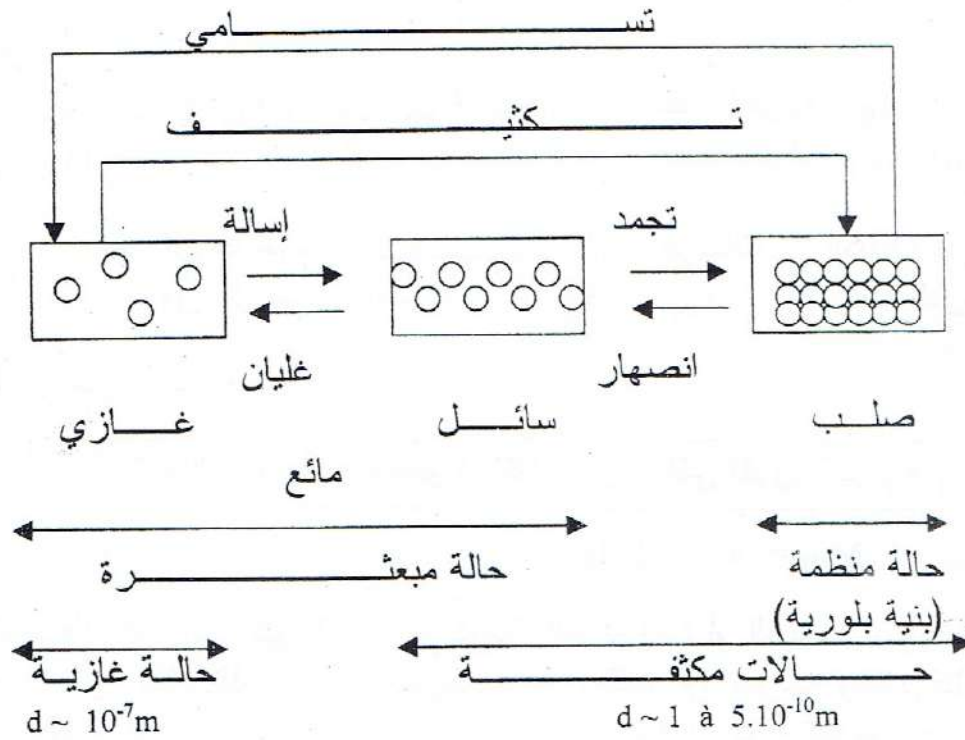
(ب) تعريف الذرة :

" هي أصغر جزء من جسم بسيط (العنصر) يمكنها أن تدخل في التفاعل مع جسم بسيط آخر لتعطي جسما أو أجساما مركبة "



II. حالات المادة :

توجد المادة في ثلاثة حالات : صلبة ، سائلة أو غازية (الضغط و درجة الحرارة عاملان أساسيان لتغيير حالة المادة).



توضعات نسبية للجزيئات في الحالات المختلفة للمادة

توجد حالة رابعة و هي : البلازما ($T > 1 \text{ million } ^\circ\text{C}$)

1) عدد أفوغادرو Avogadro. المفهوم المولي

تحتوي أحجام متساوية من غازات مختلفة في ظروف واحدة من الضغط و درجة الحرارة على نفس العدد من الجزيئات (غازات مماثلة للغازات الكاملة).

تعريف 1 : يدعى الرقم N بعدد أفوغادرو . و هو عدد الجزيئات الموجودة في غاز كامل حجمه 22.4 لتر في شروط نظامية من الضغط و درجة الحرارة ($T = 0^\circ\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$)
لقد أدت معظم القياسات الفيزيائية لتعيين $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ (لتعيين N انظر الإشعاعية).

تعريف 2 : نقول عن مول من جسم نقي هو كتلة نظام يحتوي على N جزيئا من هذا الجسم.

مثال :	1 - مول من جزيئات	←	N جزيئات
	1 - مول من الذرات	←	N ذرات
	1 - مول من جسيمات	←	N جسيمات

2) الكتلة الذرية و الكتلة الجزيئية :

إن المول هو وحدة الكميات

كتلة مول من الذرات	←	الكتلة الذرية
كتلة مول من الجزيئات	←	الكتلة الجزيئية (المولية)

مثال :

$$M_{H_2O} = 30 \cdot 10^{-27} \text{ kg} ; \text{ الكتلة المولية} = 30 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times N \quad \# 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 18 \text{ g}$$

$$M_{O_2} = 52 \cdot 10^{-27} \text{ kg} ; \text{ الكتلة المولية} = 52 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times N \quad \# 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 16 \text{ g}$$

$$1 \text{ مول من جزيئات} \quad \leftarrow N \quad \text{جزيئات} = \text{الكتلة الجزيئية (المولية)}$$

$$1 \text{ مول من الذرات} \quad \leftarrow N \quad \text{ذرات} = \text{الكتلة الذرية}$$

يتكون الجزيء من اتحاد ذرات

الكتلة المولية = مجموع الكتل الذرية التي تكون الجزيء

$$M_{(H_2O)} = M_{(O)} + 2 \cdot M_{(H)} = 16 \text{ g} + 2 \cdot 1 \text{ g} = 18 \text{ g}$$

نلاحظ أنه يكون من غير الأنسب استعمال الغرام (g) أو الكيلوغرام (kg) كوحدة كتل في التعبير عن كتل الذرات أو الجزيئات. و يمكننا أن نعرف وحدة كتل جديدة : هي وحدة الكتل الذرية حسب ما يلي : $1/12 = 1 \text{ uma}$ كتلة الكربون - 12

$$12 \text{ g C-12} = 12 \text{ uma} \times N$$

$$1 \text{ u.m.a.} = 1/12 \times 12 \text{ g} / N = 1 \text{ g} / N = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

ملاحظة :

كتلة جزيء المعطاة بوحدة الكتل الذرية (u.m.a) تساوي عدديا كتلة امول معطاة بالغرام
مثال : الكربون - 12 (C-12)
الكتلة الذرية : 12 u.m.a
الكتلة المولية : 12g

III. القوانين الأساسية في الكيمياء :

ندرس قوانين اتحاد الأجسام التي تمكننا من تحديد بنية المادة (فالماء ينتج عن اتحاد الهيدروجين والأكسجين بنسب محددة).



بتحليل الكثير من المنتجات الأخرى يمكن أن نلاحظ اتحاد مواد مماثلة للمعادلة السابقة . من مثل هذه التحاليل نستطيع إيجاد قانون النسب الثابتة و قوانين أخرى عرفت في أواخر القرن XVII و في بداية القرن XIX و هذا عمل على ترقية علم الكيمياء إلى مستوى علم الفيزياء بقيت هذه القوانين كأساس للكيمياء الكلاسيكية و لكن التطور بين أن هذا يبقى صحيحا فقط في بعض الحالات.

القانون الأول : قانون انحفاظ الكتلة (لا فوازري Lavoisier. 1771)
 " تبقى كتلة نظام معزول ثابتة مهما كانت التحولات الكيميائية التي تطرأ عليه ".
 و بمعنى آخر : " المادة لا تفنى و لا تخلق من عدم و لكنها تتحول "
 مثال :



حدود التطبيق :

هذا القانون يمكن أن يكون غير دقيق ، في الكيمياء النووية و عليه فإن الطاقات الناتجة عن تغيرات الكتلة لا يمكن إهمالها.

القانون الثاني : قانون انحفاظ العناصر (لا فوازري Lavoisier. 1771)
 " إن طبيعة و كتلة العناصر المختلفة الممكن استخلاصها من نظام تكون ثابتة مهما كانت التحولات الكيميائية و الفيزيائية التي تطرأ عليها "
 مثال :



انطلاقاً من الهيدروجين و الأوكسجين يتكون جزيء من الماء.
 H_2O يتكون من عنصرين هيدروجين و أوكسجين .

حدود التطبيق :

إن اكتشاف بيكريل Becquerel سنة 1896 م لظاهرة الإشعاعية متنوعة بأعمال بيير و ماري - كوري Pierre et Marie Curie في الإشعاعية الاصطناعية ، أظهرت أن التحولات الإشعاعية لا يمكن أن تبرهن على شكل هذا القانون (و هي أن عنصراً ما يمكن أن يتحول إلى عنصر آخر) Ra (مشع) ← ← ← (مستقر) Pb (انظر فصل الإشعاعية) و كذلك أعمال رذرفورد Rutherford التي تؤكد حدود هذا القانون



القانون الثالث : قانون النسب المعينة (بروس Proust. 1801)
 " النسب الوزنية للعناصر المتحدة تكون ثابتة لكيان كيميائي محدد "



$$H_2 = 2 / 18 = 11,12 \%$$

$$O_2 = 16 / 18 = 88,88 \%$$

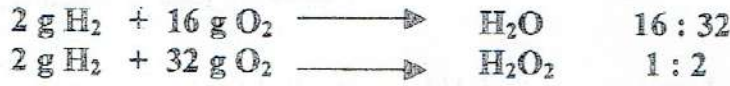


حدود التطبيق :

تتجلى محدودية هذا القانون بتواجد النظائر مثل : النسبة المئوية الأوكسجين تلك التي نجدها في الماء المتجمد (الصادر عن مياه القطب الشمالي أو الجنوبي) تختلف مما

نتوقعه $O_2 \neq 88.88\%$: (O-18 ، O-17 ، O-16) أو نظائر الرصاص التي يمكن الحصول عليها من المعدن الخام

القانون الرابع : قانون النسب المضاعفة (دالتون . Dalton 1803)
 " عند اتحاد عنصرين ليشكلا عدة مركبات ، فإن الكتل المختلفة لأحد العنصرين الذي يتحد مع نفس الكتلة للعنصر الآخر ، إن هذه الكتل تكون متناسبة تناسبا بسيطا فيما بينها ."
 مثال :



حدود التطبيق : الفحوم الهيدروجينية C_9H_{20} $C_{27}H_{56}$ $C_{35}H_{72}$
 مثال : كتل الهيدروجين التي تتحد مع نفس الكتلة من الكربون لا تشكل نسباً بسيطة

$$\begin{array}{l} 20/9 \neq 56/27 (\neq 20 \times 3 / 9 \times 3) \neq 35/72 \\ 56/27 (= 7 \times 8 / 9 \times 3) \neq 35/72 (= 7 \times 5 / 9 \times 8) \end{array}$$

القانون الخامس : قانون الاتحادات الغازية (غاي لوساك . Gay Lussac 1809)
 " عند اتحاد غازين معا ، فإن نسب أحجامها تكون بسيطة "
 مثال :



ملاحظة : عندما تكون المركبات غازية في تفاعل كيميائي يكون من السهل استعمال الأحجام دون الكتل لأن الكتل لا تكون دائما نسباً بسيطة .

تمارين

التمرين 1.1 :

ميز مما يلي الخليط من الجسم النقي و من بينها الجسم البسيط من الجسم المركب :
 الهواء ، الماء المعدني ، البنزين ، H_2O ، الخل ، الألماس ، الحليب ، N_2 ، حمض الخل
 (CH_3COOH) ، الدم ، الصلب .

التمرين 2.I :

(أ) أعط بالغرام (g) كتلة :

- $3,62 \cdot 10^{24}$ ذرة من الزنك (Zn (65,37)

- $6,02 \cdot 10^{21}$ جزيء من الماء H_2O

(ب) في 0,6 مول من ثنائي أكسيد الكربون CO_2 كم نجد من :

- غرام من ثنائي أكسيد الكربون CO_2

- ذرة من الكربون C و من الأوكسجين O

- جزيء من ثنائي أكسيد الكربون CO_2

التمرين 3.I :

كم مولا من الغليكوز Glucose توجد في 21,6 g من $C_6H_{12}O_6$ و كم من غرام من اليوريا $CO(NH_2)_2$ urée توجد في 0,2 مول.

التمرين 4.I :

(أ) أوجد كتلة واحد مول من الهيم *Hémoglobine* علما أنها تحتوي على كتلة من

الحديد تقارب 0,3 % و ذرة واحدة من الحديد في الجزيء الواحد.

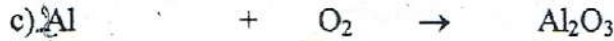
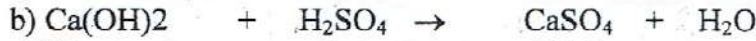
(ب) أعط حوصلة تفاعل واحد مول من الهيدروجين مع مول واحد من الأوكسجين

(نفرض أن التفاعل تام)

المعطيات : $M(Fe) = 55,8$

التمرين 5.I :

وازن التفاعلات التالية



التمرين 6.I :

يحترق غرام واحد 1 g من القصدير (Sn) بفعل الأوكسجين لتشكل 1,27 g من ثنائي

أكسيد القصدير. ما هي الصيغة المجملة الممكنة ؟

المعطيات : $Sn = 118,5$ $O = 16$

التمرين 7.I :

تساوي كتلة ذرة الكربون-12 : $m_{C-12} = 1,99 \cdot 10^{-23} g$ ، استنتج كتلته بوحدة الكتل

الذرية u.m.a و عدد أفوغادرو.

مكونات المادة

الباب الثاني :

I. عموميات :

إذا كان الجزيء هو أصغر جزء من الأجسام النقية الذي تتشكل منه المادة فإن الذرة هي الخلية أو الكيان الأساسي الذي يدخل في تركيب المادة. تتميز الذرة بكتلتها m (برتبة 10^{-23}) و نصف قطرها r و هذا يفرض أن الذرة كروية (برتبة الأنغستروم $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

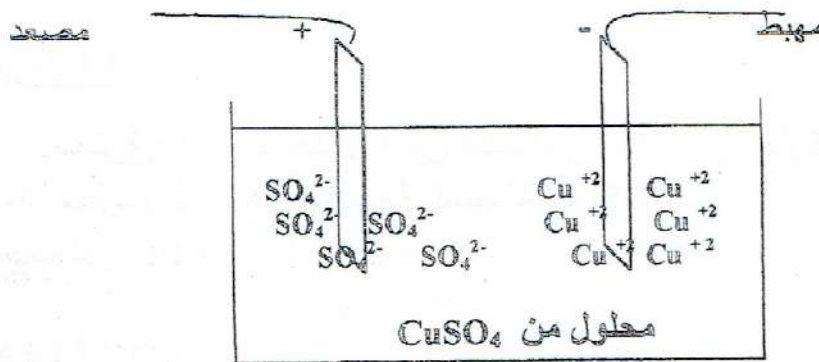
تتميز بنية النظرية الذرية بثلاث مراحل أساسية :

- * اكتشاف الكهرباء و الطبيعة الكهربائية للمادة : فاراداي Faraday (1900).
- * اكتشاف أن الذرة تتكون من نواة موجبة تدور حولها إلكترونات سالبة حيث تكون الجملة نواة / إلكترون متعادلة كهربائياً [1911-1932] و منها نشير إلى بحوث كل من : كروكس Crookes (الإلكترون) ، طومسون J.J.Thomson (حساب النسبة e/m) ، ميليكان Millikan (حساب e و m) ، غولشطاين Goldstein (النواة) ، رونر فوردر Rutherford (البروتون) ، شادويك Chadwick (النيوترون)
 * اكتشاف القوانين الميكانيكية التي تتحكم في سلوك الإلكترون داخل الذرة ~ 1925....
 (بوهر Bohr ، سومرفيلد Sommerfeld ، بلانك Planck ، شرودينغر Schrödinger ، دوبري De Broglie ، هيزنبارغ Heisenberg)

II. الإلكترون :

1) الطبيعة الكهربائية للمادة :

أظهرت أهم الدلائل في اكتشاف طبيعة الكهرباء و العلاقة بين المادة و الكهرباء بعض نتائج البحوث التجريبية التي قام بها فاراداي Faraday عام 1833 في ميدان التحليل الكهربائي.



و يمكن تلخيص نتائج تجاربه فيما يلي :

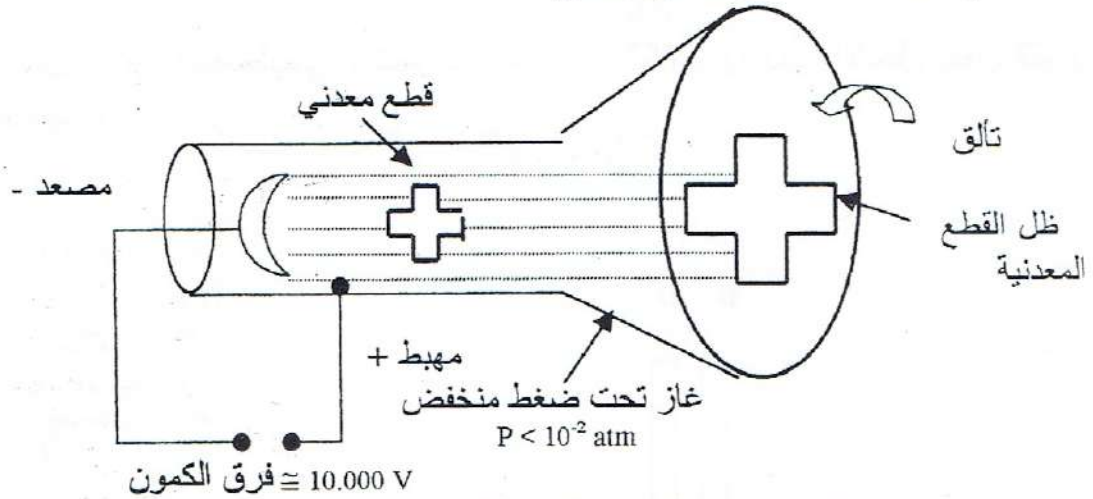
- * يكون وزن المادة المترسبة على أحد المسريين ثابتاً بفعل كمية معينة من الكهرباء .

- تتناسب الأوزان المكافئة للمواد المختلفة المترسبة أو المنطلقة أو المنحلة على أحد المسريين بفعل كمية ثابتة من الكهرباء.
- إن ظهور أعداد صحيحة دليل على أن الكهرباء مكونة من دقائق عنصرية دقيقة و أن الذرات تحوي مثل هذه الدقائق .

(2) إثبات وجود الإلكترون :

إن البرهان التجريبي القاطع على وجود الإلكترون و تعيين خواصه أصبح جليا من خلال البحوث التي قام بها كروكس Crookes سنة 1879 عن قابلية النقل الكهربائي للغازات تحت ضغط منخفض .

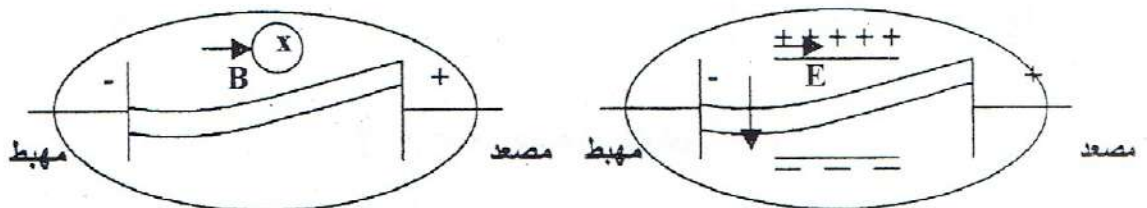
تعتبر الغازات عادة ، مواد عازلة للكهرباء لكن عند خضوعها لتوترات عالية (50.000 V) و تحت ضغط قيمته أقل من 0,01 atm تنهار مقاومتها فتسمح بمرور التيار الكهربائي الذي يعتبر مصدرا للضوء . تستمر قابلية النقل الكهربائي عند انخفاض الضغط إلى حوالي 10^{-4} atm ، ثم يتناقص اللمعان وإذا كان فرق الكمون عاليا (من 5.000 V إلى 10.000 V) فإن الأنبوب الزجاجي يصبح متألقا .



تمثيل خطي لأنبوب التفريغ لـ كروكس . Crookes

يبين ظل الصليب أن الأشعة تنتشر في خط مستقيم و أن مصدرها هو المهبط ولهذا تدعى بالأشعة المهبطية .

- يمكن انحراف هذا الأشعة بأية مادة معدنية مهما كان نوعها و هي تنتشر في خطوط مستقيمة محملة بدقائق طاوية .



تمثيل خطي لجهاز دراسة الانحراف

- أدت دراسة انحراف الأشعة تحت تأثير الحقل المغناطيسي أو الكهربائي إلى استنتاج ما يلي : الأشعة المهبطية عبارة عن دقائق لها وزن (توقف من طرف المادة) مشحونة سلبا و تحمل طاقة (ظاهرة اللمعان) .
- توجد مثل هذه الدقائق في جميع الأجسام مهما كان نوع الغاز المستعمل في أنبوب التفريغ و هي من مكونات المادة التي دعاها استوني Stoney سنة 1891 بالإلكترونات .

(أ) تعيين النسبة e/m : (تجربة ج.ج. طومسون J.J.Thomson)

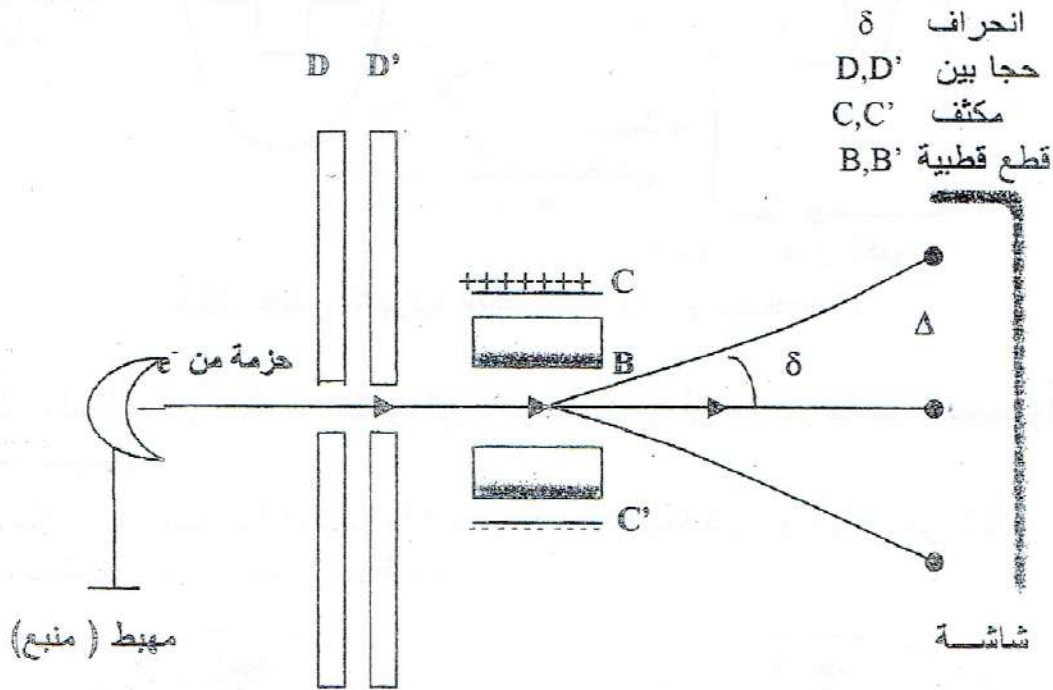
تخضع حزمة من الأشعة المهبطية محددة باللوحين D و D' و تحت ضغط مفرغ إلى فعل مترامن لحقل مغناطيسي وحقل كهربائي. إن فعل أحد هذين الحقلين سوف يحرف الأشعة عن مسارها الابتدائي (الانحراف المسبب بواسطة $\vec{B}$ يكون باتجاه عكس ذلك الذي نتج عن الحقل الكهربائي $\vec{E}$.

- فعل الحقل الكهربائي : تنحرف الحزمة الإلكترونية نحو الأعلى بفعل القوى الكهربائية :

$$\vec{f}_e = e \cdot \vec{E}$$

- فعل الحقل المغناطيسي : تنحرف الحزمة الإلكترونية نحو الأسفل بفعل القوى المغناطيسية :

$$\vec{f}_m = q \cdot \vec{B} \wedge \vec{v}$$



جهاز ج.ج. طومسون لقياس e/m

تثبت شدة الحقل الكهربائي $\vec{E}$ و تضبط شدة الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ بحيث تأخذ حزمة الأشعة مسارها الأفقي (الابتدائي) و في هذه الشروط يكون :

$$\| \vec{f}_m \| = \| \vec{f}_e \| \Rightarrow Bev = Ee \Rightarrow \boxed{v = E / B}$$

و في المرحلة الثانية يحذف الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ ثم نقيس الانحراف الناتج بواسطة $\vec{E}$.
وقت مرور الحزمة بين لبوسي المكثف هو $t = 1/v$ ، $\delta = 1/2 \gamma t^2$ ، و يمكن قياس الانحراف δ بمعرفة Δ . العلاقة بين الانحراف δ و γ و الزمن t تكون كما يلي :

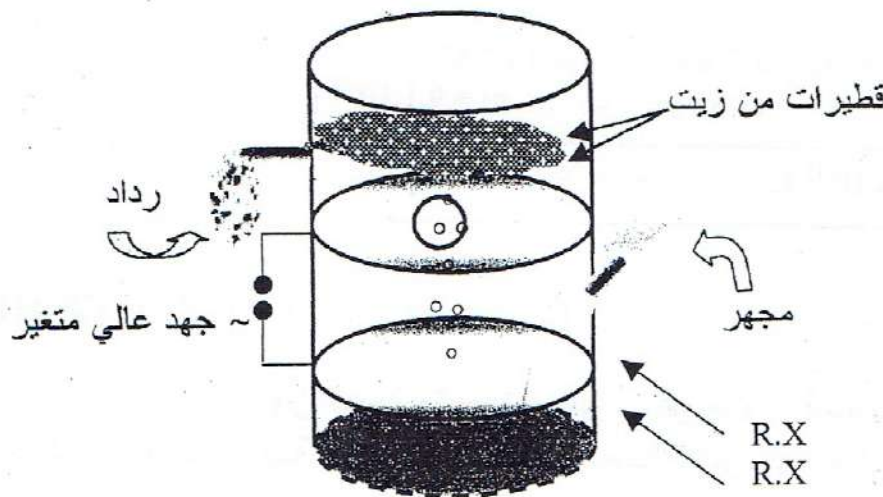
$$\begin{aligned} \| \vec{f}_e \| &= e.E & \vec{f} &= m.\vec{\gamma} \Rightarrow \gamma = e.E / m \\ t &= L / v \quad (v = E / B) & \delta &= 1/2 \gamma t^2 = 1/2 (e.E/m).(L^2 B^2 / E^2) \Rightarrow \boxed{e / m = 2. \delta E / L^2 B^2} \end{aligned}$$

تؤدي مختلف القياسات إلى قيمة دونية للنسبة q/m (مع $q = e$) و هي:

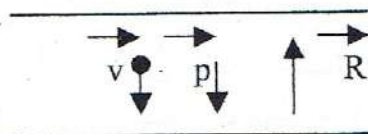
$$\boxed{e / m = 1,76.10^{11} \text{ C/kg} = 5,57.10^{17} \text{ u.e.s/g}}$$

(ب) حساب e و m : (تجربة ميليكان . Millikan)

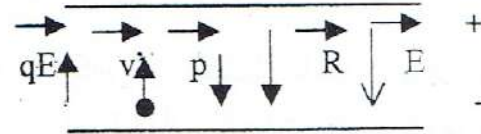
ندخل بواسطة بخاخة رذاذ قطيرات من سائل غير طيار (زيت ، زئبق ..) في غرفة الملاحظة و التي تشحن كهربائيا بالتصادم مع أيونات غازية الناتجة عن تهافت الراديوم Ra أو بفعل الأشعة السينية RX على الهواء ثم تخضع لفعل حقل كهربائي متغير الذي يعاكس اتجاهه بصورة متزامنة (يتابع سلوك القطيرة بواسطة المجهر) . تسمح هذه العملية بقياس سرعة سقوط أو صعود القطيرة.



جهاز ميليكان لقياس e و m



الرسم رقم 1



الرسم رقم 2

* عند انعدام الحقل الكهربائي E (الرسم رقم 1) تسقط القطيرة بفعل قوة الجاذبية وحركتها غير المنتظمة (بسبب مقاومة الهواء) تتلاشى و تصبح سرعتها ثابتة و حدية (بتطبيق قانون استوكس Stokes). يمكن حساب m و r انطلاقا من ρ و v .

عند الحد $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} ; \vec{R} = 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot \vec{v} ; \rho = m / V (V = 4/3 \pi \cdot r^3) \Rightarrow v = m \cdot g / 6 \pi \cdot \eta \cdot r$$

m : كتلة القطيرة
r : نصف قطر القطيرة
 η : لزوجة الهواء
g : الجاذبية

* نطبق حقل كهربائي بحيث يكون معاكس لسقوط القطيرة (الرسم رقم 2). تبدو القطيرة ساكنة عند اللحظة t

عند الحد $\vec{P} + \vec{R} + \vec{f}_e = \vec{0} \Rightarrow m \cdot g + 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v' = q \cdot E$

$$6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v' = q \cdot E - m \cdot g \Rightarrow v' = (q \cdot E - m \cdot g) / 6 \pi \cdot \eta \cdot r$$

نستطيع حساب q حيث m, g, η و r ثوابت معروفة، E و v' مقاسة .

بينت مختلف القياسات أن q يكون دوما مضاعفا طبعيا ل $4,8 \cdot 10^{-10}$ u.e.s (وحدة إلكتروناتية) وبهذا يمكن القول أن الكهرباء مكونة من دقائق مشحونة و وحدتها العنصرية تساوي $4,8 \cdot 10^{-10}$ u.e.s .

$$e^- = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ u.e.s} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$e/m = 5,27 \cdot 10^{17} \text{ u.e.s / g} \Rightarrow m = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$$

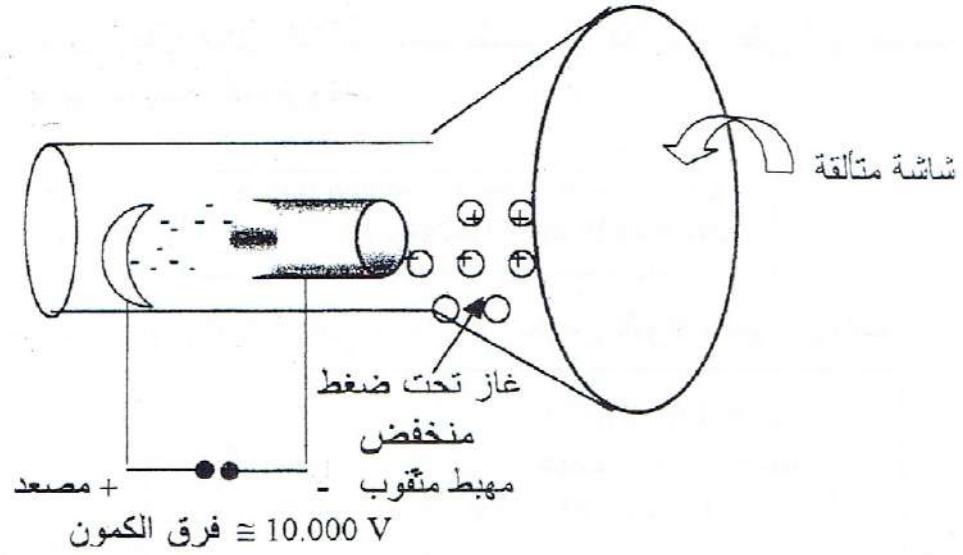
$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
------------------------------------	---------------------------------------

III. النواة الذرية :

يعتبر الإلكترون دقيقة مشحونة سلبا و هو مكون أساسي للمادة، الأمر الذي يستلزم وجود جسيمات موجبة حيث تكون المادة معتدلة كهربائيا. مثل هذه الجسيمات موجودة في النواة.

(1) إثبات وجود النواة : (تجربة غولشطاين Goldstein. 1886)

لهذا الغرض أخذ غولشطاين بتجربة كروكس و استبدل المهبط بأخر مثقوبا نلاحظ بجانب إصدار الأشعة المهبطية (الإلكترونات)، انتشار إشعاع خلف المهبط (في اتجاه معاكس لمسار الإلكترونات) و الذي يبدو من خلال لمعان في نهاية الأنبوب و هي أشعة مكونة من دقائق شحنتها موجبة تسمى بالأشعة القنوية .



تمثيل خطي لتجربة غولشطاين. Goldstein.

- تتحرف الأشعة القنوية بفعل الحقل الكهربائي أو الحقل المغناطيسي في اتجاه عكس الأشعة المهبطية.
- انحراف الأشعة القنوية أقل أهمية من أشعة المهبط (دقائق أكثر ثقلاً) وهذا الانحراف يعتمد على طبيعة الغاز المستعمل في أنبوب التفريغ وكذلك جسيماته المشحونة إيجاباً و التي لها كتلة أكبر من كتلة الإلكترون و لكنها تساوي تقريباً كتلة الغاز المستعمل.

(2) مكونات النواة :

(أ) البروتون (رونر فور د. Rutherford)

من المعروف أن الدقائق α يمكن إيقافها بـ 7 cm من النيتروجين N_2 . نلاحظ خلف هذا السمك إصدار إشعاع يتأثر بفعل الحقل الكهربائي أو المغناطيسي $\Rightarrow$ هي دقائق شحنتها موجبة و عند تعادلها، تصبح ذرات الهيدروجين.



يعتبر هذا التفاعل أول تفاعل نووي اصطناعي.

البروتون p = نواة الهيدروجين

$$p : \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad m_p = 1,00727 \text{ u.m.a} \\ m_p = 1837 m_e = 1,6721 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

(ب) النيوترون (شادويك. Chadwick)

عند قذف معادن خفيفة مثل الباريوم (Be) Beryllium ، الليثيوم (Li) Lithium أو البور (B) Bore بواسطة جسيمات α يصدر عنها إشعاعات جديدة تخترق بسهولة المعادن

ولا تتأثر بفعل الحقل الكهربائي أو المغناطيسي و هذا يدل على أنها جسيمات متعادلة كهربيا سميت بالنيوترونات.

$$n : \quad q = 0 , \quad m_N = 1,00866 \text{ u.m.a} \\ m_N = 1839 m_e = 1,6744 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

تسمى النيوترونات و البروتونات التي تدخل في تكوين النواة بالنيوكليونات

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $m_p = 1,0077 \text{ u.m.a}$ $= 1,6721 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	} البروتون	}	النواة	} الذرة
$q = 0$ $m_N = 1,00866 \text{ u.m.a}$ $= 1,6744 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$				
$q = 0$ $m_e = 0,000548 \text{ u.m.a}$ $= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	} الإلكترون			
$1 \text{ u.m.a} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$				

خواص الذرة

8616

(3) مصطلحات :

لنعتبر ذرة عددها الذري Z و التي هي معتدلة كهربائيا فنرمز لها بـ:

$$A = Z + N \quad \begin{matrix} A \\ X \\ Z \end{matrix}$$

Z هو عدد البروتونات ، العدد الذري

N هو عدد النيوترونات

A هو عدد النيوكليونات أو عدد الشحن (عدد كامل يقارب كتلة الذرة) أو عدد الكتلة .

مثال : الأوكسجين

$$\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} \text{O} \quad A = 16 \quad Z = 8 \Rightarrow N = A - Z = 8$$

حتى عنصر الكالسيوم $^{20}_{20}\text{Ca}$ (Calcium) عدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات (N/Z = 1)

انطلاقا من هذا العنصر ترتفع النسبة N/Z من 1 إلى 1,6 .

$$\begin{matrix} 209 \\ 83 \end{matrix} \text{Bi} : Z = 83 \quad A = 209 \quad N = 126 \quad N/Z = 1,51$$

$$\begin{matrix} 238 \\ 92 \end{matrix} \text{U} : Z = 92 \quad A = 238 \quad N = 146 \quad N/Z = 1,58$$

وعندما تفوق النسبة N/Z 1,51 تصبح النوى غير مستقرة .

تحتوي الذرة على عدد من البروتونات Z ذات الشحنة الموجبة و الذي يسمى بالعدد الذري و لكي تكون الذرة متعادلة يجب أن تحتوي على نفس العدد من الإلكترونات ويمكن للذرة أن تحتوي على عدد من النيوترونات مساو لعدد البروتونات أو أكثر. إن مثل هذه العناصر التي تختلف عن بعضها بعدد النيوترونات فقط تتمتع بخواص كيميائية مماثلة و خواص فيزيائية متقاربة تدعى بالنظائر.

(4) النظائر :

- انطلاقاً من الأعداد A ، Z و N نستطيع تعريف بعض المصطلحات الآتية :
- الإيزوتونات وهي تملك نفس عدد النيوترونات (N) .
 - الإيزوبارات وهي تملك نفس عدد النيوكليونات (A) و تختلف عن بعضها بعدد البروتونات و النيوترونات و لها كتل متقاربة.
 - الإيزوإلكترونية و هي تملك نفس عدد الإلكترونات.
 - النظائر تختلف مكونات النواة فيها بعدد النيوترونات و لكن لها نفس عدد البروتونات (نظائر لنفس العنصر).
- مثال :

$$\left. \begin{array}{l} {}^1_1\text{H} : A=1, Z=1 \text{ et } N=0 \\ {}^2_1\text{H (D)} : A=2, Z=1 \text{ et } N=1 \\ {}^3_1\text{H (T)} : A=3, Z=1 \text{ et } N=2 \end{array} \right\} \text{نظائر الهيدروجين}$$

ملاحظة :

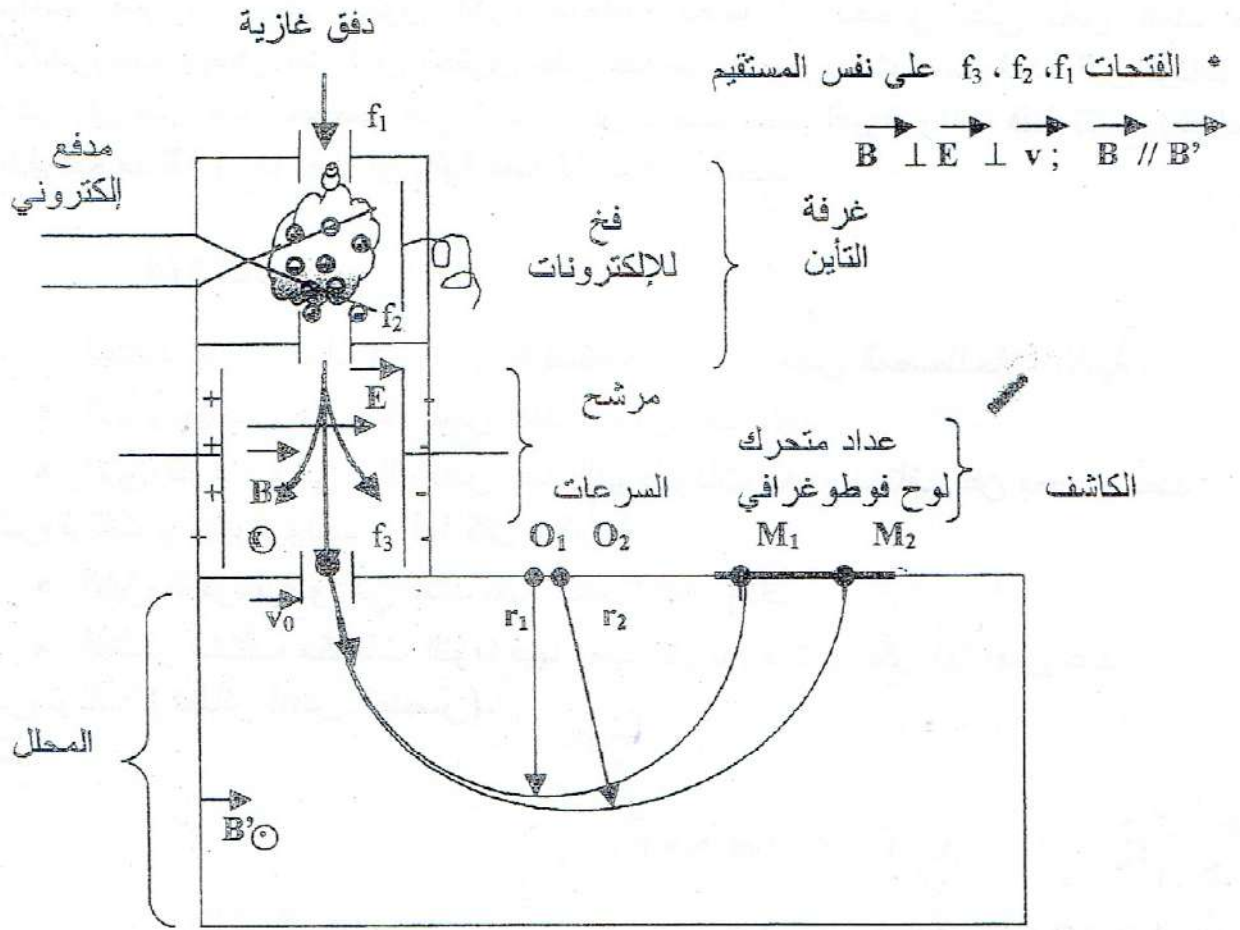
العدد الذري Z هو عدد البروتونات المكونة لنواة أي عنصر كيميائي. من أجل تعيين هذه النظائر وقياس كتلتها تستعمل أجهزة مطيافية الكتلة التي تسمح بفصل الأيونات أو الشوارد ذات النسب q/m المختلفة. يوجد نوعان من مطيافية الكتلة:

- * النوع الذي يستعمل أيونات مختلفة السرعة (طومسون. Thomson ، آستون. Aston)
- * النوع الذي يستعمل أيونات متساوية السرعة (دنبستير. Dempster ، بانبريدج. Bainbridge).

(5) مطياف الكتلة لبانبريدج Bainbridge

يتكون الجهاز من أربعة أجزاء :

- غرفة التأين
- مرشح السرعات
- المحلل
- الكاشف



التمثيل الخطي لمطياف باتيريدج Bainbridge

أ) غرفة التأين:

عند إدخال الجزيئات أو الذرات المراد تحليلها من الفتحة f_1 تتأين بقذفها بواسطة المدفع الإلكتروني فتشكل حزمة من الأيونات الموجبة مختلفة السرعة وكذلك تتكون دقائق سالبة يتم حجزها في الفخ. إذن تتشكل حزمة من الأيونات الموجبة ذات حركية غير متجانسة (أيونات موجبة لها سرعات مختلفة).

ب) مرشح السرعات:

تتمتع الأيونات المتسربة من الفتحة f_2 بسرعات مختلفة فتخضع حينئذ للفعل المتزامن لحقلين E و B المتعامدان فيما بينهما وعلى مماس مسار الحزمة الموجبة. علماً أن الفتحات الثلاثة f_1, f_2, f_3 توجد في نفس الخط لا تمر من الفتحة f_3 إلى المحلل إلا الأيونات التي انحرفت بفعل الحقل الكهربائي الذي أصبح معدوماً بفعل الحقل المغناطيسي

$$\vec{B} \perp \vec{E} \quad \vec{f}_e = -\vec{f}_m \quad |\vec{f}_e| = |\vec{f}_m|$$

$$\begin{aligned} \vec{f}_e &= q \cdot \vec{E} & |\vec{f}_e| &= q \cdot E \\ \vec{f}_m &= q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} & |\vec{f}_m| &= q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B}) = q \cdot v \cdot B \quad ; \quad (\vec{v} \perp \vec{B}) \end{aligned}$$

$$q.E = q.v.B \Rightarrow$$

$$v = E / B = \text{ثابت}$$

تتمتع الأيونات التي تعبر الفتحة f_3 بنفس السرعة (حزمة متجانسة السرعة)
(ج) المحلل :

تخضع الحزمة المتجانسة السرعة إلى فعل حقل مغناطيسي B' ($B // B'$) الذي ينتج قوة مغناطيسية f'_m ثابتة وعمودية على مماس المسار فتأخذ الحزمة مساراً دائرياً منتظماً تسارعه ثابتاً مساوياً v^2/r

$$\vec{f} = m \cdot \vec{\gamma} \quad \gamma_N = v^2 / r \quad |\vec{f}'| = m \cdot v^2 / r$$

$$\vec{f}'_m = q.v \wedge \vec{B}' \quad |\vec{f}'_m| = q.v.B' \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B}') = q.v.B' ; \quad (\vec{v} \perp \vec{B}')$$

$$|\vec{f}| = |\vec{f}'_m| \quad (\text{توازن ديناميكي}) \quad v = E / B$$

$$m/q = r \cdot B.B' / E \quad \text{أو} \quad m/q = K \cdot r \quad \text{أو} \quad m/q = K' \cdot D$$

$$K = \text{ثابت} = B.B' / E \quad K' = B.B' / 2.E$$

(د) الكاشف :

اللوحة الفوتوغرافية يظهر نقاط الاصطدام (نقيس $D \leftarrow m$) كما يمكن استعمال أبسط الكواشف: العداد المتحرك (Geiger-Müller) الذي يعطي عدد الأيونات الملتقطة في نقطة الاصطدام في ظرف زمني معين (min. , sec.) والذي يبقى ضرورياً لتعيين التركيب النظيري لعنصر ما (النسبة المئوية لكل نظير).
المثال الأول : اللوحة الفوتوغرافية

• نقيس المسافة D بين نقطة الاصطدام و الفتحة f_3 ، بمعرفة q نحسب m

$$m/q = D \cdot B.B' / 2E \Rightarrow m = D \cdot K'' \quad K'' = q.B.B' / 2.E$$

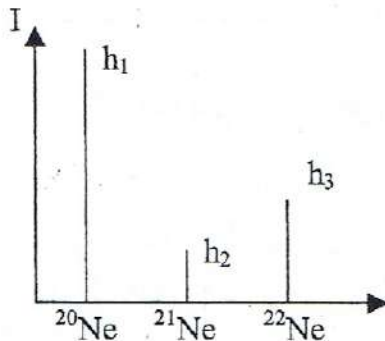
• من أجل نقطتي اصطدام ، نقيس المسافة التي تفصلهما $d = D_2 - D_1$

$$m_1/q = D_1 \cdot B.B' / 2.E \quad \text{et} \quad m_2/q = D_2 \cdot B.B' / 2.E \Rightarrow$$

$$m_2 - m_1 = (D_2 - D_1) q.B.B' / 2.E = d \cdot K''$$

(حساب الكتلة المتوسطة $\bar{M}$) المثال الثاني : العداد المتحرك

• نلاحظ ثلاث نقاط اصطدام من أجل الخليط النظيري الطبيعي لعنصر النيون Néon
Ne الموافقة للنظائر الثلاثة Ne-20 ، Ne-21 ، و Ne-22 والتي أعطت المقاييس التالية :



$$h_1 = 1500 \text{ (Ne-20)}$$

$$h_2 = 10 \text{ (Ne-21)}$$

$$h_3 = 150 \text{ (Ne-22)}$$

$$^{20}\text{Ne} = 1500 / 1660 = 90,4 \%$$

$$^{21}\text{Ne} = 10 / 1660 = 0,6 \%$$

$$^{22}\text{Ne} = 150 / 1660 \sim 9 \%$$

$$\bar{M}_{\text{Ne}} = (\% ^{20}\text{Ne} + \% ^{21}\text{Ne} + \% ^{22}\text{Ne}) / 100$$

$$= (20 \times 90,4 + 21 \times 0,6 + 22 \times 9) / 100 = 20,186$$

• من أجل الأوكسجين الطبيعي لدينا ثلاثة نظائر

$$\begin{aligned} \text{O}-16 &= 99,759 \% \Rightarrow m = 15,99491 \text{ u.m.a} \\ \text{O}-17 &= 0,037 \% \Rightarrow m = 16,99941 \text{ u.m.a} \\ \text{O}-18 &= 0,204 \% \Rightarrow m = 17,99916 \text{ u.m.a} \\ \bar{M}(\text{O}) &= 15,9994 \text{ u.m.a} \end{aligned}$$

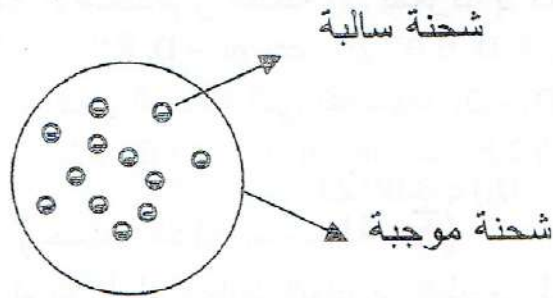
• يتكون الهيدروجين الطبيعي من الهيدروجين ^1H Hydrogène و ^2H (D) و التريسيوم ^3H (T) Tritium حسب النسب الآتية: $^1\text{H} = 99,98 \%$ ، $^2\text{H} \sim 0,02 \%$ ، و $^3\text{H} < 10^{-9}$

• يوجد نظيرين لعنصر البروم Br-79 و Br-81 ، و لنيتروجين N-14 و N-15 أما الكالسيوم Calcium فله ستة نظائر Ca-40 ، Ca-42 ، Ca-43 ، Ca-44 ، Ca-46 ، و Ca-48 يعرف لحد الآن أكثر من 1200 نظيرا (راديونوكليد Radionucléide).

IV. المظهر الفراغي للمادة :

1) نموذج طومسون Thomson

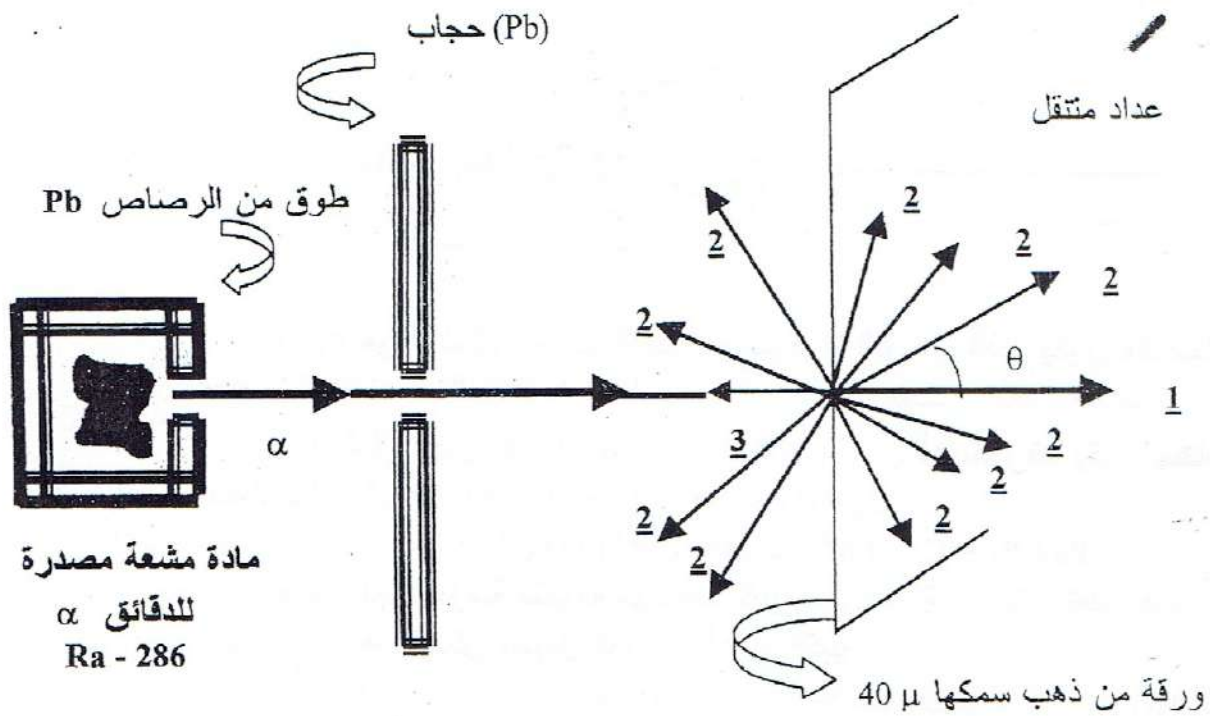
" إن الذرة عبارة عن كرة ($r \sim 10^{-8} \text{ cm}$) متجانسة من الكهرباء الموجبة و إلكترونات (سالبة) مثبتة في هذه الكرة بحيث تشكل التوزيع الكهروستاتي الأكثر استقرارا "



لقد تخلي الدارسون عن هذا النموذج بعد أن نشر روزارفورد Rutherford ملاحظاته حول دراسة حيود جسيمات α عند اعتراضها بورقة معدنية.

2) نموذج روزارفورد Rutherford (1911)

الجسيمات α عبارة عن نوى الهليوم Hélium ، كتلة الوحدة منها 4 uma و شحنتها $+2e$ و هي تتبع تلقائيا من بعض العناصر المشعة. نضع في اتجاه معين حاجزا معدنيا مثقوبا لتدقيق الحزمة. بعد الاصطدام بورقة من ذهب نقيس بواسطة عداد منتقل عدد الدقائق α الملتقطة خلال وحدة زمنية.



التمثيل الخطي للجهاز التجريبي لروذرفورد Rutherford المستعمل في دراسة انحراف دقائق α

دراسة حيود دقائق α بواسطة رقائيق معدنية تسمح بإبراز الملاحظات الآتية :
 لنعتبر N_0 عدد دقائق α الواردة أو الساقطة
 1- أغلب دقائق α الساقطة تعبر ورقة الذهب دون انحراف ($\theta = 0^\circ$) الحزمة 1 :
 $N_1 \neq N_0$

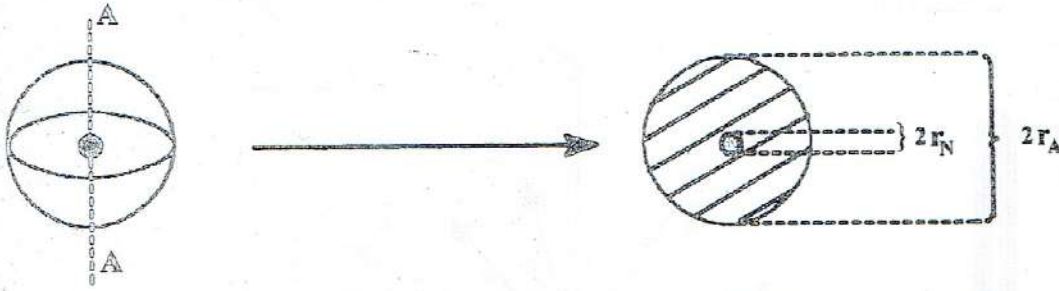
2- تنحرف دقيقة واحدة من 100 دقيقة بزاوية $0^\circ < \theta < 45^\circ$
 و واحدة من 10^4 بزاوية $45^\circ < \theta < 150^\circ$ فهي تمثل الحزمة 2 : N_2
 3- دقيقة واحدة من 10^8 تعود أدراجها في الاتجاه المعاكس للحزمة الواردة

($\theta = 180^\circ$) الحزمة 3 : N_3

ملحوظة : اصطدام دقائق α بالإلكترونات لا يؤثر عمليا على مسار الحزمة الساقطة
 ($m_\alpha = 8.000 m_e$)

تبين نتائج هذه الملاحظات أن الكتلة الذرية تتمركز تقريبا كلية في مراكز موجبة (النوى) وحولها تدور الإلكترونات.

سمحت أيضا هذه الدراسة مع اللجوء إلى قوانين الاحتمالات و الإحصائيات بتعيين النسبة
 r_N / r_A



• P_N هو احتمال تصادم الدفينة α مع نواة الذرة و الذي يكون متناسبا متناسبا طردا مع مساحة سطح النواة : $P_N = C \cdot 4\pi \cdot r_N^2$ حيث ثابت التناسب $C =$

• احتمال عبور الدفينة α لذرة من الذهب دون أن تنحرف يكون متناسبا طردا مع مساحتها : $P_A = C (4\pi \cdot r_A^2 - 4\pi \cdot r_N^2) \approx C' \cdot 4\pi \cdot r_A^2$

$$P_N / P_A = C \cdot 4\pi \cdot r_N^2 / C' \cdot 4\pi \cdot r_A^2 = (r_N / r_A)^2$$

• من أجل حزمة متكونة من عدد كبير من الدقائق و التي تعبر عددا كبيرا من صفائح الذهب يمكن تطبيق قانون الأعداد الكبيرة.

$$P_N / P_A = N_3 / N_1 \quad (\text{قانون الأعداد الكبيرة}) \quad N_1 \neq N_0$$

$$N_3 / N_1 = (r_N / r_A)^2 = 1 / 10^8$$

$$r_N / r_A = 10^{-4}$$

• إذا اعتبرنا r_A برتبة الأنغستروم $\text{\AA}$ ($1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$) يكون r_N برتبة الفيرمي ($1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$)

• من أجل نواة شكلها المحتمل كروي تكون لدينا العلاقة :

$$r_N = 1,41 \cdot 10^{-15} A^{1/3} \text{ (m)} \quad A = Z + N = \text{عدد النيكليونات}$$

الخلاصة : " تكون المادة متكونة في معظمها من فراغ "

V. النقص في الكتلة - طاقة التماسك

نلاحظ أن الكتلة المتوسطة M_{moy} لنواة ما تكون قيمتها دوما أقل من مجموع كتل مكوناتها.

$$Z m_p + N m_N > M_{\text{moy}}$$

Z هو عدد البروتونات و m_p هي كتلة البروتون

N هو عدد النيوترونات و m_N هي كتلة النيوترون

$$\Delta m = [Z m_p + N m_N] - M_{\text{moy}} > 0 \quad \text{نضع :}$$

Δm هو النقص في الكتلة

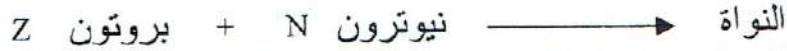
($Z m_p + N m_N$) هي الكتلة النظرية للنواة (المحسوبة)

M_{moy} هي الكتلة التجريبية للنواة

إذا أخذنا العلاقة التكافئية التي تربط الكتلة بالطاقة (علاقة انشطاين) نصل إلى :

$$E = \Delta m \times c^2 \quad (c = 3.10^8 \text{ m/s} \text{ سرعة الضوء في الخلاء})$$

E هي الطاقة المنتشرة خلال التفاعل



E تمثل الطاقة اللزام بذلها لتفكيك النواة إلى نيوكليوناتها و هي أيضا طاقة ربط النيوكليونات داخل النواة أو طاقة تماسك النواة.

مثال : لنحسب الطاقة الموافقة للتغيير في الكتلة مساويا لـ 1 u.m.a من المعطيات التالية :

$$1 \text{ u.m.a} = 1,66.10^{-27} \text{ kg} \quad 1 \text{ eV} = 1,602.10^{-19} \text{ J}$$

$$\begin{aligned} E &= \Delta m \times c^2 = 1,66.10^{-27} \text{ kg} \times (3.10^8)^2 = 1,494.10^{-10} \text{ J} \\ 1 \text{ eV} &\longrightarrow 1,602.10^{-19} \text{ J} \\ E &\longrightarrow 1,494.10^{-10} \text{ J} \\ E &= 1,494.10^{-10} \text{ J} \cdot \text{eV} / 1,602.10^{-19} \text{ J} \approx 931.10^6 \text{ eV} = 931 \text{ MeV} \end{aligned}$$

931 MeV هي الطاقة الموافقة لكتلة مساوية لـ 1 u.m.a و هو المكافئ الطاقي للـ u.m.a

$$E(\text{MeV}) = \Delta m (\text{u.m.a}) \times 931 \text{ MeV} / \text{u.m.a}$$

من أجل نواة واحدة :

$$\begin{aligned} E(\text{J}) &= \Delta m (\text{kg}) \times c^2 (\text{m/s}) \\ E(\text{MeV}) &= \Delta m (\text{u.m.a}) \times 931 (\text{MeV} / \text{u.m.a}) \end{aligned}$$

من أجل مول من النوى:

$$\begin{aligned} E(\text{J}) &= E_{\text{noyau}}(\text{J}) \times N \\ E(\text{J}) &= \Delta m (\text{g}) \cdot 10^{-3} \times c^2 (\text{m/s}) \\ E(\text{MeV}) &= E_{\text{Noyau}}(\text{MeV}) \times N \end{aligned}$$

وحدات الطاقة المستعملة هي : الميغا إلكترون- فولط أو (Megaélectron-volt (MeV) ، الجول (J) ، الحرارة (calorie (cal) أو الإرج (erg)

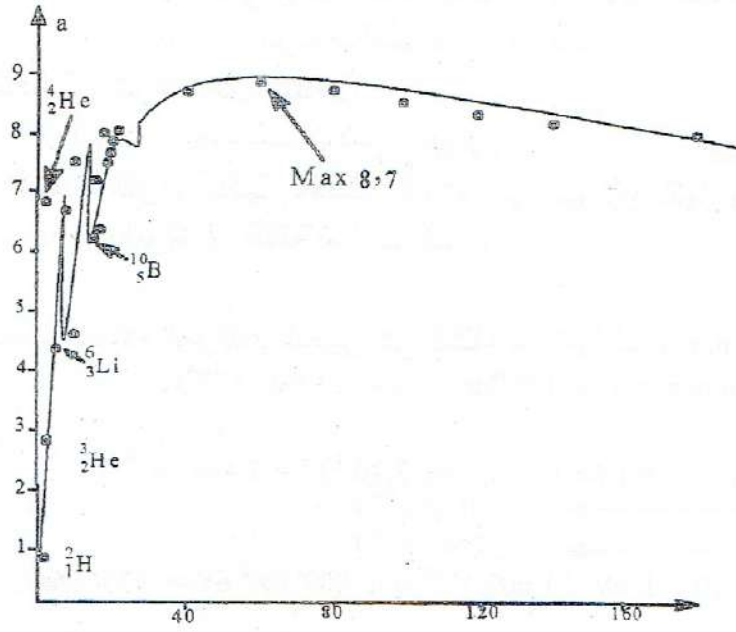
$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} \quad 1 \text{ MeV} = 1,6.10^{-19} \text{ J} \quad 1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg.}$$

a يعرف أيضا طاقة التماسك في النيوكليون الواحد

$$a (\text{MeV} / \text{nucleon}) = E (\text{MeV}) / A$$

A : عدد النيوكليونات

التمثيل البياني لـ a بدلالة الكتلة الذرية (منحني آستون Aston).



تغيير a بدلالة الكتلة الذرية

يمر منحنى أستون *Aston* بقيمة قصوى عند 8,7 MeV من أجل عناصر كتلتها تقارب 60 سمحت هذه الملاحظة بتفسير ظاهرة الانشطار النووي. يتزايد استقرار النواة مع a فيعتبر هذا الأخير كمقياس للاستقرار.

ملاحظة : القوى النووية

هي القوى التي تضمن تماسك النيوكليونات داخل النواة وهي قوى جاذبة (حتى بين البروتونات) وفعالة على مسافات قصيرة (المسافة بين النيوكليونات : $d \sim 1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$)

التمارين

التمرين 1.II:

- 1- يعطى نصف قطر نواة كروية الشكل عددها الكتلي A بالعلاقة : $R = R_0 \cdot A^{1/3}$ مع $R_0 = 1,3 \text{ fermi}$ ($1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$) أوجد من أجل نواة من الألومنيوم $\text{Al}(27,13)$
 - (أ) كتلتها بالكيلو غرام kg و الطن T
 - (ب) حجمها بالمتر المكعب m^3
 - (ج) كتلتها الحجمية بالكيلو غرام في المتر المكعب kg / m^3 وبالطن في السنتيمتر المكعب T / cm^3
- 2- ما هو الحجم المشغول بالنوى الموجودة في 1 cm^3 من الألومنيوم المعدني علما أن كتلته الحجمية تساوي $2,7 \text{ g} / \text{cm}^3$.

التمرين 2.II:

1- ما هو عدد البروتونات ، النيوترونات و الإلكترونات الموجودة في ذرة عددها الذري Z .

2- أوجد عدد البروتونات و الإلكترونات الموجودة في $F (Z=9)$ ، Al^{3+} ، $Al (Z=13)$ و F^- .

التمرين 3.II:

أحسب عدد الإلكترونات التي تدخل في تركيب ذرة X عددها الكتلي $A=10$ علما أن الكتلة $[10, Z] X$ تساوي $10,020166 \text{ u.m.a}$ وطاقة الربط للنوكليون الواحد تساوي $8,88693 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

$$m_p = 1,00727 \text{ u.m.a}$$

$$1 \text{ u.m.a} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_N = 1,00866 \text{ u.m.a}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

المعطيات:

التمرين 4.II:

نستعمل جهاز ميليكان *Millikan* لمتابعة سقوط قطيرة من الزيت في الهواء. سرعتها تساوي $0,32 \text{ m/s}$.

1- عند إهمال دافعة أرخميدس ، أحسب نصف قطر وكتلة القطيرة .
2- عندما يساوي الحقل الكهربائي $E = 3,25 \cdot 10^5 \text{ V/m}$ ، القطيرة تبدو ساكنة بين لبوسي المكثفة. أحسب الشحنة التي تحملها القطيرة واستخلص عدد الشحنات العنصرية.
المعطيات:

$$\rho_{\text{زيت}} = 1,26 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 ; g = 9,81 \text{ m/s}^2 ; \eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ MKSA.} ; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

التمرين 5.II:

نحن في غرفة التأين في مطياف بن بريدج *BainBridge* نفترض أن الأيونات المتكونة من النوع N^+ .

1- عندما تخرج الأيونات من مرشح السرعات تكون سرعتها $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ و قيمة الحقل المغناطيسي المطبق في المحلل هي $0,2 \text{ Tesla}$ ، نلاحظ على اللوح الفوتوغرافي نقطتي تماس A و A' الموافقة للنظيرين 14 و 15 للنيتروجين أحادي الذرية . حدد المسافة بين نقطتي التماس؟

2- يتكون في الواقع الأيونات N^+ ، N^{++} و N_2^+ في غرفة التأين بعد الكشف عن اللوح الفوتوغرافي نلاحظ نقاط التماس المتتالية التالية :



عين وضعية كل نوع بدون حساب و علل إجابتك ؟

التمرين 6.II:

من بين الأنوية الآتية ، استخرج:
(1) النظائر (2) الأيزوبارات (3) الأزوتونات.

^{15}O , ^{14}N , ^{13}C , ^{12}B , ^{17}O , ^{15}N , ^{16}O , ^{18}F , ^{17}F

التمرين 7.II:

- 1- أحسب الكتلة الذرية للكلور الطبيعي ، علما أنه متكون من 75,4 % للنظير 35 و 24,6 % للكلور 37 مع $M_{\text{Cl-35}} = 34,96742 \text{ g}$ و $M_{\text{Cl-37}} = 36,96561 \text{ g}$
2- يتكون الكربون الطبيعي ($C = 12,011$) من نظيرين ^{12}C و ^{13}C ، علما أن نسبة ^{12}C هي 98,89 % احسب الكتلة الذرية للنظير ^{13}C .

التمرين 8.II:

- 1- أحسب الطاقة المحررة عند تكوين 1مول من الهليوم (He) علما أن الكتلة التجريبية تساوي 4,001503 u.m.a .
2- ما هي كمية الكربون (C-12) اللازم حرقها للحصول على نفس الطاقة علما أن حرق 1 مول من الكربون يحرر 94,1 kcal .

$m_p = 1,007278 \text{ u.m.a}$
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$m_N = 1,008665 \text{ u.m.a}$
 $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

المعطيات:

الباب الثالث : النشاط الإشعاعي و التفاعلات النووية

I. النشاط الإشعاعي (الإشعاعية)

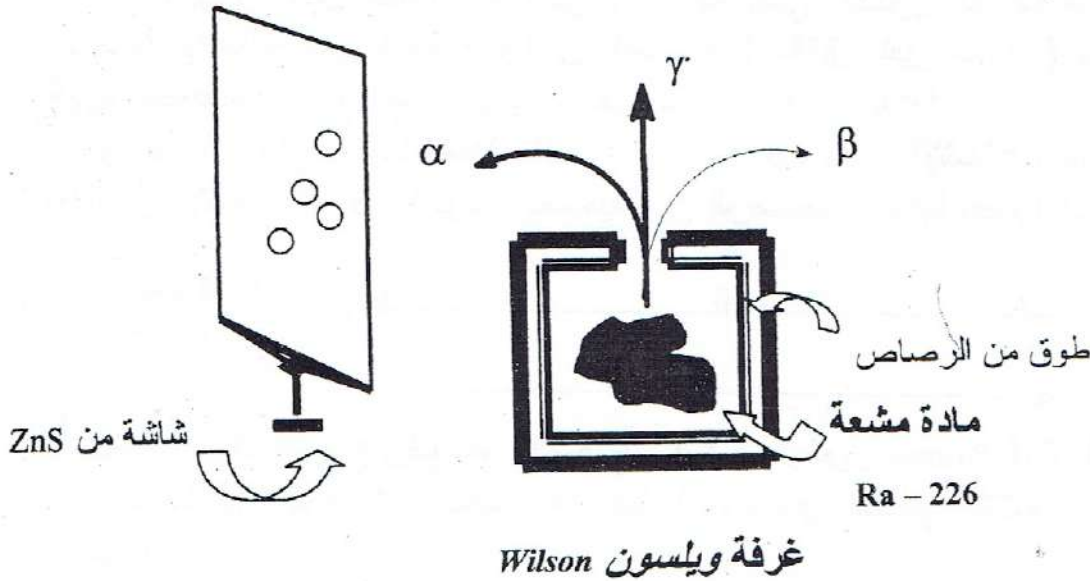
(1) الإشعاعية الطبيعية :

اكتشف هنري باكرال *Henry Becquerel* عفويا سنة 1896 أن أملاح الأورانيوم *Uranium* تؤثر على اللوح الفوتوغرافي و برهن أن هذه الظاهرة هي خاصية ذرية لعنصر الأورانيوم ويحافظ على هذه الخاصية مهما كانت الأملاح التي يدخل هذا العنصر في تركيبها. لا تتأثر هذه الظاهرة بأي عامل من العوامل الفيزيائية المعروفة (الضغط ، درجة الحرارة..). إذن فهي ميزة ذرية .

تتمثل الإشعاعية الطبيعية في انحلال تلقائي لبعض العناصر ($N/Z > 1,5$) المسماة بالعناصر المشعة و التي تبدو غير مستقرة و تؤدي إلى استحلالات حقيقية (صحيحة) تدعى تهافتا (أو تفكك) والذي يكون متبوعا دوما بإصدار إشعاع .

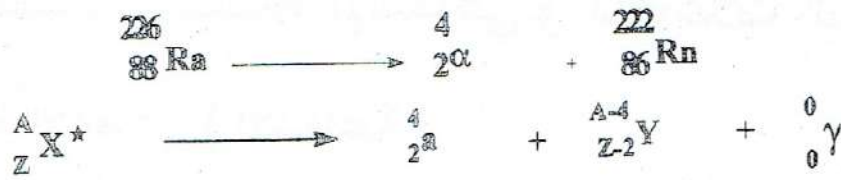
(2) الأنواع المختلفة للإشعاعات المشعة :

تم تعيين مختلف الإشعاعات المشعة بواسطة جهاز ويلسون *Wilson* يكون لدينا ثلاثة أنواع من الإشعاعات :



(أ) الإشعاع α :

ينحرف جزء من الحزمة المنبعثة تحت تأثير حقل مغناطيسي نحو اليسار ، و هي الجسيمات المشحونة إيجابا و نلاحظ عند استبدال الشاشة بجهاز قياس المقادير الكهربائية (عدد الشحن) أن شحنة الجسيم تساوي ضعف الشحنة العنصرية $+2e$ و عند رجوعها إلى الحالة المتعادلة فإن هذه الجسيمات ما هي إلا ذرات من الهليوم *Hélium* . تدعى هذه الدقائق المشحونة He^{+2} بالدقائق α .



يكون الشعاع α شديد التأين و قليل النفاذ (الاختراق) (توقف هذه الدقائق بواسطة ورقة)

(ب) الإشعاع β - (النيفاتونات. Négatons)

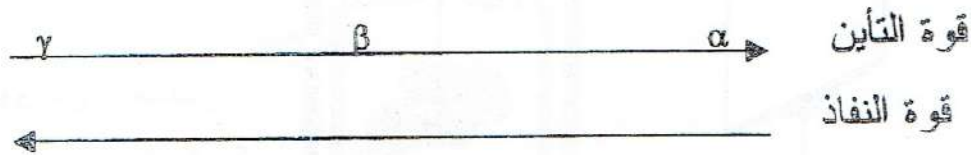
ينحرف هذا الجزء من الحزمة نحو اليمين فهو متكون من دقائق مشحونة سلبا و له نفس خصائص الأشعة المهبطية (الإلكترونات) إلا أن سرعتها تفوق سرعة الإلكترونات (الطاقة الحركية $E_c \sim [0.01 - 2 \text{ MeV}]$).



الإشعاع β - أقل تأينا وأكثر نفاذا من الإشعاع α (توقف بصحيفة من الرصاص سمكها $(0, 4\text{mm})$).

(ج) الإشعاع γ :

لا يتأثر بفعل الحقل الكهربائي أو المغناطيسي فتتكون الحزمة من جسيمات غير مشحونة ومماثلة من ناحية الخواص الضوئية (دقائق غير مادية) يعني من طبيعة كهرومغناطيسية وذات طول موجة صغير جدا $10^{-2} \text{ \AA} < \lambda < 10^{-4}$.
يرافق هذا الإشعاع عموما إصدار إشعاع α أو β . يكون الإشعاع γ أقل تأينا و أكثر نفاذا من الإشعاع β - (يوقف بصحيفة من الرصاص سمكها 10 cm).



ملاحظة : هناك إشعاع رابع هو الإشعاع β^+ (البوزيتون. Positon) إلا أن هذا الإشعاع يكون ناتجا عن تفاعلات اصطناعية فقط (الإصدار التلقائي للأشعة β^+ غير ممكن طبيعيا).



يشاهد ثلاثة أنواع من التحولات التلقائية :

- التحول الإيزوباري : نفس عدد النيكليونات $A \Rightarrow$ إصدار إشعاع β^- أو β^+ .
- التحول بالتجزئة : A متغير $\Rightarrow$ إصدار إشعاع α أو الانشطار النووي.
- التحول الإيزوميري : إصدار إشعاع γ (فوتونات).

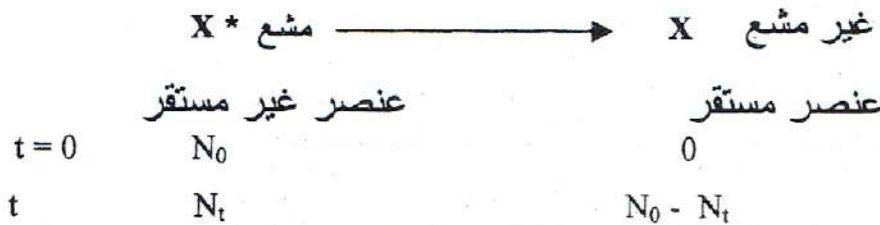
ذرة في حالة الإثارة (غير مستقرة) ← حالة أساسية (مستقرة) + إصدار فوتونات $h\nu$.



تكون سرعة التفاعلات النووية مستقلة عن الشروط و العوامل الخارجية (درجة الحرارة..).
لكنها مميزة لكل واحدة ، يعني حسب قانون حركية معين.

(3) قانون الانبعاث (الإصدار)

يتبع تفاعل التهاافت التلقائي لنوى مشعة حركية من الدرجة الأولى حيث يكون عدد النوى المتهافتة في ظرف زمني معين متناسبا طردا مع النوى الباقية. سنحدد دراستنا حالة بسيطة أين :



يكون لدينا عند اللحظة t ، N_t نوى غير مستقرة باقية و قد شكلنا $N_0 - N_t$ نوى مستقرة.
عند اللحظة $t + dt$ ، يتناقص N_t بكمية dN وهو عدد النوى غير المستقرة التي تهاافتت (أو عدد النوى المستقرة التي تشكلت) خلال اللحظة dt .
نعطى سرعة التهاافت بالعلاقة : $-dN / dt = \lambda N$ (تدل الإشارة - على النقص).
 λ : ثابت الإشعاعية

$$-dN / dt = \lambda N \Rightarrow \int dN / N = \int -\lambda dt \Rightarrow \ln N_t = -\lambda t + \text{ثابت}$$

$$t=0 \quad N_t = N_0 \Rightarrow \text{ثابت} = \ln N_0$$

$$\ln N_t = -\lambda t + \ln N_0 \Rightarrow \boxed{\ln N_t / N_0 = -\lambda t \quad \text{أو} \quad \ln N_0 / N_t = \lambda t}$$

$$\boxed{N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{أو} \quad N_0 = N_t e^{+\lambda t}} \quad \text{صيغة أخرى}$$

من الأسهل استعمال الدور الإشعاعي T عوض عن ثابت الإشعاعية للتعبير عن سرعة التهاافت.

(أ) الدور الإشعاعي :

" هو الزمن الذي تقتضيه نصف العينة (نوى غير مستقرة) لتتهاافت "

$$t=T=t_{1/2} \quad N_t = N_0 / 2 \quad (N_0 / 2 \text{ نوى تهاافتت و } N_0 / 2 \text{ مستقرة تشكلت})$$

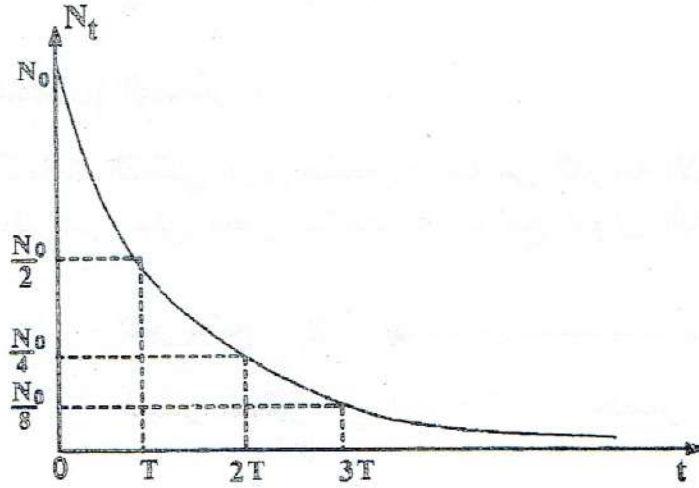
$$\ln N_0 / N_t = +\lambda t \quad t=T=t_{1/2}, \quad N_T = N_0 / 2 \Rightarrow \ln N_0 / N_0 / 2 = \lambda T$$

$$\ln 2 = \lambda T \Rightarrow \boxed{T = \ln 2 / \lambda \quad \text{أو} \quad \lambda = \ln 2 / T}$$

يتغير الدور [T] من بعض الثواني مثال : البولونيوم - 214 (Po-214) دوره $T = 1,5 \cdot 10^{-4}$ sec. إلى ملايين السنين الثوريوم - 232 (Th-232) $T = 1,39 \cdot 10^{10}$ ans
(sec.⁻¹, mn⁻¹, h⁻¹, an⁻¹, ..., t⁻¹) [λ]

$$\ln N_0 / N_t = t \cdot \ln 2 / T$$

العلاقة العامة



هيئة N_t بدلالة الزمن t

(ب) النشاطية الإشعاعية :

"هي عدد النوى المشعة (غير المستقرة) التي تهافتت في وحدة الزمن"
وهي أيضا السرعة اللحظية لاختفاء النوى غير المستقرة (متناسبة طردا مع عدد النوى غير المستقرة الباقية).

$$A = -dN / dt = \lambda N \quad (\text{تدل الإشارة - على النقص})$$

$$t=0 \quad N_t = N_0 \quad \text{et} \quad A_0 = \lambda N_0 \quad \text{النشاطية الابتدائية : } A_0$$

$$t \quad -dN / N = \lambda dt \longrightarrow A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

[A] يعطى بـ: التهافت في وحدة زمنية

dps التهافت في الثانية

dpmn التهافت في الدقيقة

dpan التهافت في السنة

يمكن إعطاء النشاطية بوحدة الكوري Curie (Ci) الذي يعرف بالنشاطية الموافقة 1g من Ra الراديوم . Radium خلال ثانية. يرفق تفاعل التهافت إصدار دقائق α و إشعاع β^- حسب:



مثال : احسب النشاطية الموافقة لـ 1 كوري Curie (Ci) علما أن ثابت الإشعاعية لعنصر الراديوم . Ra-226 Radium يساوي 1580 ans.

$$T = 1580 \text{ ans} = 1580 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec}$$

$$\lambda = \ln 2 / T = 1,385 \cdot 10^{-11} \text{ sec}^{-1}$$

$$N = \mathcal{N} / 226 = 2,665 \cdot 10^{21} \text{ نوى} : \text{ نشاطية 1g من Ra}$$

$$A = \lambda N = 1,385 \cdot 10^{-11} \times 2,665 \cdot 10^{21} = 3,69 \cdot 10^{10} \text{ dps}$$

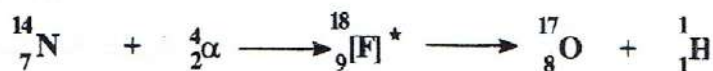
$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ dps}$$

II. الإشعاعية التحريضية و التفاعلات النووية

(1) الإشعاعية لاصطناعية :

إلى جانب التحولات التلقائية التي تميز العناصر ذات العدد الذري $Z > 83$ ، أعد كل من إيران و فريديريك جوليو-كوري Irène et Frédéric Joliot-Curie تحولات اصطناعية حيث بينا أنه من الممكن تحويل عنصر غير مشع إلى عنصر مشع (اصطناع عناصر غير مستقرة لا توجد طبيعيا أو قد وجدت ثم تحولت ، مثل عائلة البلوتونيوم . Plutonium. نحصل على هذه العناصر غير المستقرة المصطنعة بقذف نواة و التي تسمى بالنواة الهدف بقذائف و هي نوى خفيفة : ^{13}C ، ^2H ، n ، p ، α ذات طاقة حركية عالية. الاصطدام بين النواة الهدف و النوى الخفيفة ينتج عنه :

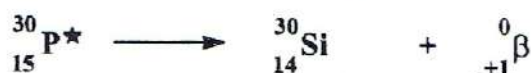
(أ) إما اصطدام بسيط مرن (انظر إلى تجربة روزارفورد).
(ب) أو تحولات بينية.



قام كوري Curie باصطناع أول عنصر مشع



ينتج النظير المشع P^*-30 الإشعاع β^+ حسب التفاعل:



تتطلب التفاعلات النووية الاصطناعية طاقة معتبرة والتي تزود بها في شكل طاقة حركية يمكن استعمال حقل كهربائي E شديد لتسرع القذائف المشحونة . ($E_c : 6 \text{ MeV} - 90 \text{ BeV}$).

(2) التفاعلات النووية : (صودي - فارجانس . Farjans-Soddy)

اصطلاح كتابي : نرمز إلى التفاعلات المختلفة بكتابة مكثفة مبينا الدقيقة المنبعثة

مثال :



يمكن للقذائف أن تكون : دقائق α ، بروتونات p ، دوتونات d أو نيترونات n

(أ) التفاعلات مع الهليونات (α)

• التفاعلات (α, p)



• التفاعلات (α, n)



• التفاعلات بدون أسر (تستعمل الدقائق α كناقلات للطاقة وهي تضايق إصدار البروتونات دون أن الانضمام للنواة.



(ب) التفاعلات مع البروتونات (p)

• التفاعلات (p, α)

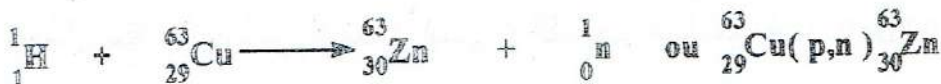
بروتونات ذات سرعة عالية



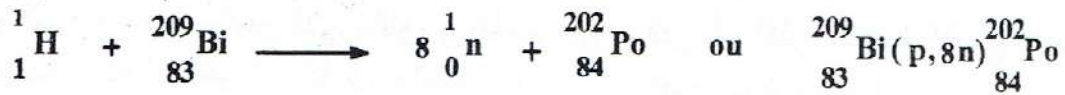
هذا التفاعل ناشر لطاقة $E \sim 17.10^6 \text{ MeV}$

• التفاعلات (p, n)

بروتونات ذات سرعة عالية جدا ($E_c \sim 200 \text{ à } 10^3 \text{ MeV}$)



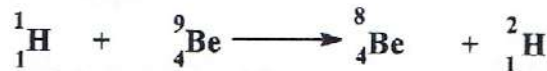
يمكن إصدار عدة نيوترونات حسب نوع الهدف و سرعة القذيفة.



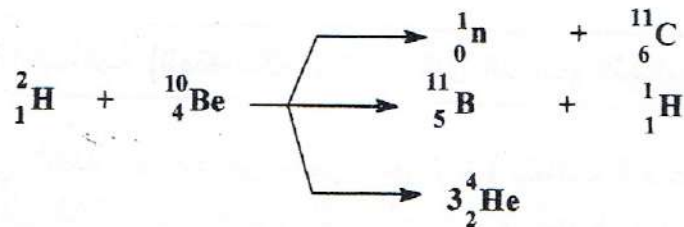
بروتونات ذات سرعة منخفضة : تفاعل أسر



• التفاعلات (p, d) : نادرة



(ج) التفاعلات مع الدوتونات (d)

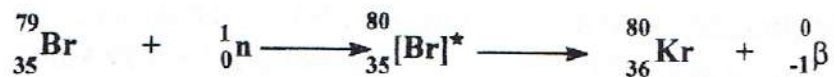


تكون تفاعلات الالتحام ممكنة (يلزمها درجة حرارة عالية بمقدار 10^6 °C)

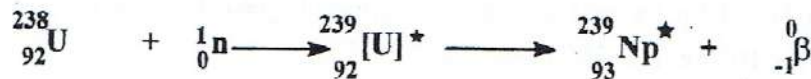


(د) التفاعلات مع النيوترونات (n)

• تفاعلات الأسر



يكون تفاعل أسر الجسيمات أسهل عندما يكون النيوترون بطيئا ($E_c \sim 2-3 \cdot 10^2$ eV) ويمكن تضليل سرعة النيوترون بمرورها المتداول على سمك من عدة سنتيمترات cm من البارافين أو على عدة طبقات المائية.



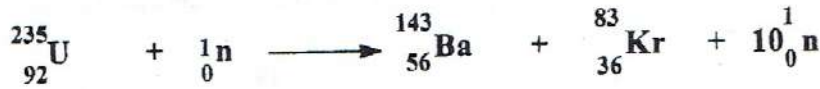
سمح تفاعل الأسر باصطناع فوج من عناصر ذات العدد الذري $Z > 92$

• التفاعلات (n, p)



• التفاعلات (n, kn)

يتمثل في قذف نوى ثقيلة التي تنفلق و تنقسم إلى نواتين أو أكثر عددها الذري Z متوسط مع إصدار طاقة معتبرة (تفاعل انشطار نووي مع إنتاج نيوترونات).

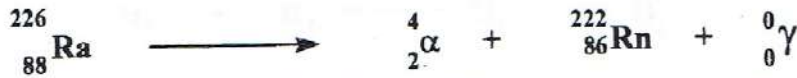


III. حوصلة التفاعلات النووية

تتطلب التفاعلات النووية طاقات معتبرة و يخضع التبادل الطاقوي لعلاقة انشطاين $E = \Delta M \cdot c^2$ Einstein و بتعيين إذن ΔM يمكن حساب الطاقة المستعملة.

$$\Delta M = \Sigma \text{ كتل النواتج النهائية} - \Sigma \text{ (المتفاعلات) كتل النواتج الابتدائية}$$

$\Delta M > 0 \Leftrightarrow$ تزايد في الكتلة $\Leftarrow$ التفاعل ماص للحرارة (يتطلب التفاعل طاقة)
 $\Delta M < 0 \Leftrightarrow$ تناقص في الكتلة $\Leftarrow$ التفاعل ناشر للحرارة (التفاعل يحرر طاقة)
 لنحسب الطاقة المنتشرة (المحررة) عند تهافت 1 مول (1 mole) من Ra-226 حسب التفاعل:



مع : $M(\text{Ra-226}) = 226,0254 \text{ u.m.a}$; $M(\text{Rn-222}) = 222,0175 \text{ u.m.a}$; $M\alpha = 4,00388 \text{ u.m.a}$

$$\Delta M = \Sigma \text{ كتل المواد الناتجة} - \Sigma \text{ (المواد البدائية)}$$

$$\Delta M = [M(\text{Rn-222}) + M\alpha] - [M(\text{Ra-226})] = 0,0041 \text{ u.m.a}$$

$$E(\text{Mev}) = \Delta M (\text{u.m.a}) \cdot 931 \text{ Mev} / \text{u.m.a} = 0,0041 \times 931 = 3,82 \text{ Mev} \quad \text{من أجل نواة}$$

$$E'(\text{Mev}) = E \times N = 23,007 \cdot 10^{23} \text{ Mev} \quad \text{من أجل 1 مول من النوى}$$

يمكننا الوصول إلى نفس النتيجة باستعمال الجول (J) والتطبيق المباشر لعلاقة انشطاين Einstein.

$$E'(\text{J}) = \Delta M \times 10^{-3} (\text{kg}) \times c^2 (\text{m}^2 / \text{s}^2) \quad (\text{أنظر الباب I.})$$

$$= 0,0041 \times 10^{-3} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 3,69 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

IV. العائلات المشعة :

يتهاافت عنصر مشع حسب المخطط العام التالي :



يشكل مجموع النوى المشعة $[X^*, X_n, X_n]$ ، نواة مستقرة مكونة ، عائلة مشعة و يميزها العنصر الأثقل المولد (الابتدائي) .

تعرف أربعة عائلات مشعة : ثلاثة منها طبيعية و الرابعة اصطناعية.

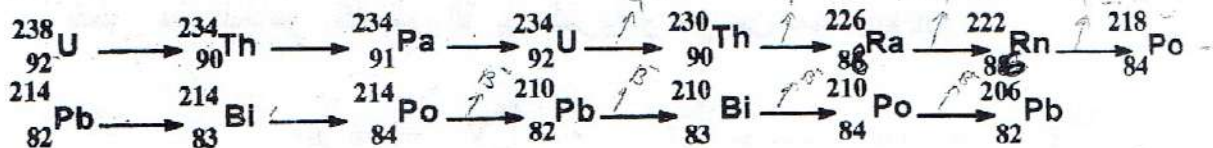
* عائلة الأورانيوم Uranium (U-238) أو الأورانيوم الخصب (98,28 % من الأورانيوم الطبيعي) .

* عائلة الأكتينيوم - أورانيوم Actino-Uranium (AcU-235) أو الأورانيوم المنشطر (0,71% من الأورانيوم الطبيعي) .

* عائلة الثوريوم Thorium (Th-232) .

* عائلة البلوتونيوم Plutonium و التي هي اصطناعية و تأخذ اسم العنصر الذي يتمتع بأكبر نور إشعاعي غير العنصر المولد (البداية): النبتونيوم Neptunium.

مثال : عائلة الأورانيوم Uranium الخصب U-238 :



ينتج الأورانيوم Uranium الخصب بدور $T = 4,5 \cdot 10^9$ ans مع انبعاث دقيقة α ويتهاافت الثوريوم ليتحول إلى بروأكتينيوم Proactinium بعد إصدار β^- و هذا الأخير يتهاافت مع انبعاث β^- ليتحول إلى الأورانيوم U-234 و يتبع هذا إصدار دقائق α خمس مرات ليؤدي إلى الرصاص Pb-214 و هو بدوره ينبعث منه دقيقتان α مع انبعاث β^- أربعة مرات ليعطي الرصاص Pb-206 مستقر غير مشع .
يمكن تعيين A و Z للعنصر النهائي (عنصر مستقر) بتطبيق القوانين المذكورة سابقا .

$$\begin{aligned}
 A &= 238 - (4 \times 8) = 206 \\
 Z &= 92 - (2 \times 8) + 6 = 82
 \end{aligned}$$

الإشعاع المنبعث	العنصر النهائي	A	العائلة
$6\alpha + 4\beta^-$	Pb (208 , 82)	$4n ; n = 58 \rightarrow 52$	الثوريوم Th-232
$8\alpha + 5\beta^-$	Bi (209 , 83)	$4n + 1 ; n = 59 \rightarrow 52$	النابتونيوم Np-241
$8\alpha + 6\beta^-$	Pb (206 , 82)	$4n + 2 ; n = 59 \rightarrow 51$	الأورانيوم U-238
$7\alpha + 6\beta^-$	Pb (207 , 82)	$4n + 3 ; n = 58 \rightarrow 51$	الأكتينيوم - أورانيوم U-235

V. تطبيقات الإشعاعية :

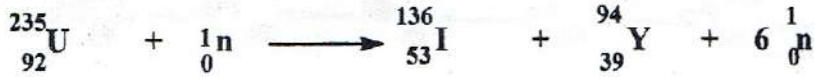
تطبيقات الإشعاعية عديدة ومتنوعة ونذكر منها خاصة إلى تلك التي تتناول طاقات معتبرة (تفاعل الانشطار و الالتحام النووي) و التي تستعمل النظائر المشعة كدليل أو علامة .

(1) التطبيقات الطاقوية :

(أ) الانشطار النووي :

• الانشطار المتفجر

ينتج عن قذف نواة الأورانيوم U-235 بواسطة النيوترونات تشكيل عدة عناصر مثل : اللانثان (La) Lanthane ، الباريوم (Ba) Baryum ، السيريوم (Ce) Cérium ، الكريبتون (Kr) Krypton ، الموليبدان (Mo) Molybdène و عناصر أخرى مع إنتاج نيوترونات. يشكل النظير U-235 0,71% فقط من الأورانيوم الطبيعي (غني بـ U-238 أو U الخصب). تتفلق تلقائيا نواة U-235 بفعل نيوترونات متحركة بسرعة مقبولة إلى نوى مختلفة مع تحرير طاقة معتبرة (1g يحرر طاقة قدرها $20 \cdot 10^6$ kcal والتي هي مكافئة لاحتراق 2,5 طن من الفحم !!!). تعتبر هذه الظاهرة كأساس القنابل الذرية و هي من نمط (n, kn)



تنقسم نواة U-235 إلى عنصرين أعدادها الذرية قريبة من 50 و أعدادها الكتلية أصغر من 150 ($A < 150$) مع إنتاج نيوترونات (بمعدل 2,5) و التي بدورها تتصادم مع نوى أخرى من U-235 فينتشر التفاعل (تفاعل سلسلي) و يصبح انفجاري. تتشكل عدة أزواج أخرى من العناصر كلها مشعة على العموم و التي لا ينتج عنها عناصر مستقرة إلا بعد سلسلة من التهاجمات غالبا ما يكون متبوعا بإشعاعات مشعة. إذا أردنا إيجاد حوصلة للتفاعل المذكور أعلاه و بمعرفة كتل مختلف العناصر بتقريب إلى 10^{-6} نحصل على ضياع في الكتلة بالنسبة لـ U-235 أقل من 10^{-6} و هذا ما يجسده ما يلي:

$$\Delta M = \Sigma (\text{المواد الابتدائية}) - \Sigma (\text{كتل المواد الناتجة})$$

$$\Delta M = (6 \cdot 1,008968 + 135,956920 + 93,941600) - (235,117496 + 1,008968) = - 0,174136 \text{ uma}$$

يعني 0,17 g من 235g من الأكتينو- أورانيوم (0,17 g /mole) و التي تمثل تناقص في الكتلة مساو لـ $0,000723 = 17 / 235$ و علما بأن 1g من U-235 يحرر طاقة مكافئة لاحتراق 2,5 طن من الفحم ...

• الانشطار المراقب (البطاريات الذرية)

يعتمد هذا التفاعل على انشطار عنصر U-235 لكن تكون النيوترونات مهملة بواسطة مواد مهدئة مثل الماء الثقيل (D_2O) ، الغرافيت (Graphite) أو الباريليوم (Béryllium) والتي تمتص أيضا جزء من النيوترونات المنتجة و بهذا نستطيع التحكم في التفاعل.

تبقى هذه الطريقة منبعاً ثميناً لتوليد الطاقة (الإنتاج المتوسط يقارب $5.10^9 \text{ kcal/ mole}$ أي طاقة مكافئة للاحتراق 6250 طن من الفحم !!!).

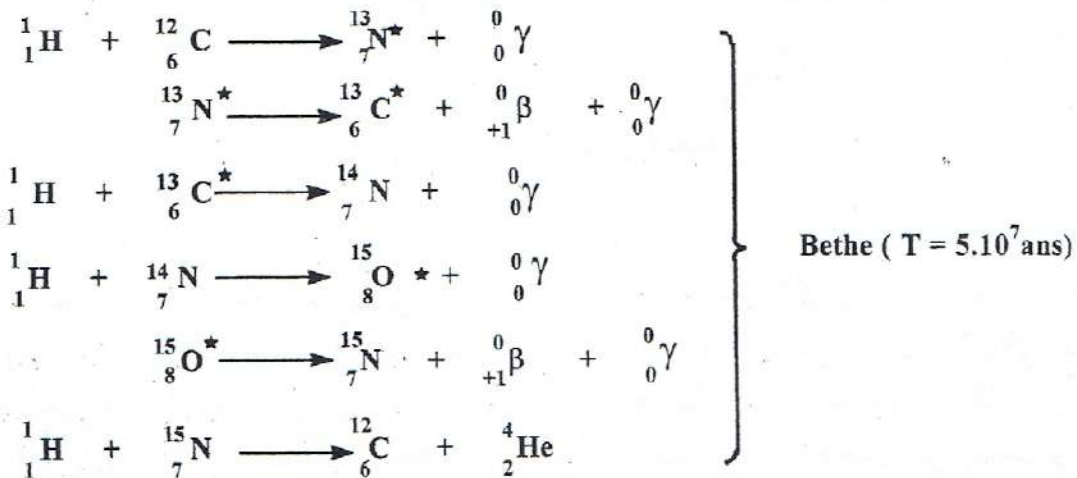
(ب) الالتحام النووي :

لا يتحكم حلياً الإنسان في هذه الظاهرة في أغراض سلمية (تفاعل لا نستطيع مراقبته حتى الآن) و يكون متبوعاً بتحرير طاقات عظيمة . يتمثل التفاعل في التهام نوى خفيفة ولإنجاز هذا التفاعل يجب التغلب على التنافر الكهروستاتي بين النوى ويمكن تحقيق ذلك بإعطاء طاقة حركية كافية لإحدى النوى. لهذا الغرض يلجأ إلى تقنية الاضطراب الجزيئي و تظهر الحسابات بأنه يستلزم درجة حرارة عالية برتبة $10^8 \text{ }^\circ\text{K}$. تستلزم قنبلة الهيدروجين ، و التي تعتبر تطبيقاً لتفاعل الالتحام النووي، التذخير بواسطة تفاعل انشطاري الذي يسمح بالوصول إلى درجة الحرارة المرغوبة، مثلاً :



سمح تفاعل الالتحام النووي بتقييم الطاقة المنبعثة من الشمس و التي تبلغ $4.10^{23} \text{ kilowatt}$ يحدث تغير طفيف في شدة الإشعاعات المنبعثة من الشمس منذ مئات أو ملايين إلى ملايين من السنين. تمثل الطاقة الشمسية المنبعثة تناقص في الكتلة مكافئ إلى 4.10^6 T/sec (طن في الثانية) و يمكن استمرار هذا الانبعاث للطاقة قبل الفناء حوالي 100 ملايين سنين.

تكون هذه الاستحالات الكونية حسب باث *Bethe* نتيجة التفاعلات المتتالية التالية:

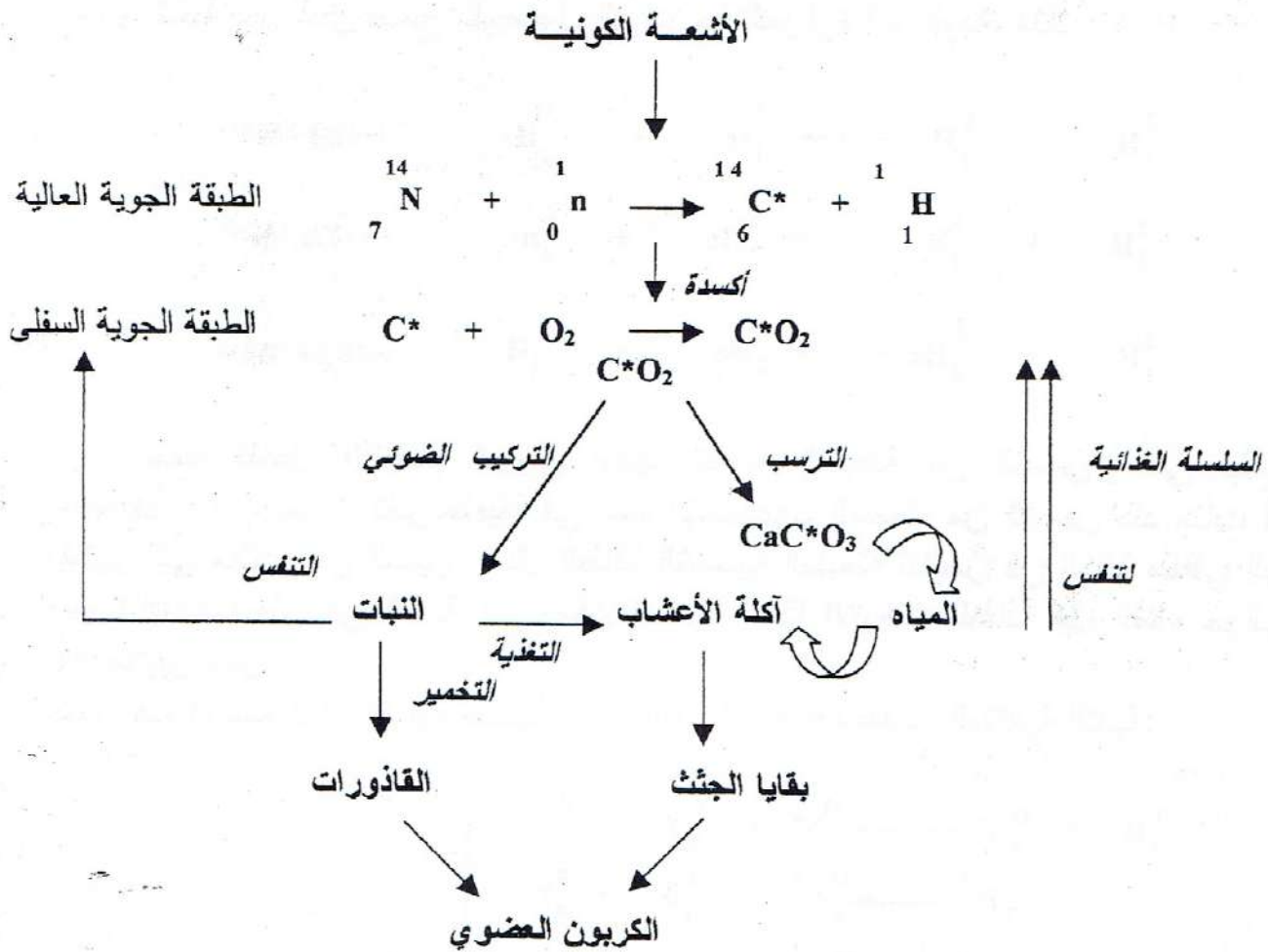


تبلغ الطاقة المحررة من مثل هذه التفاعلات $3.10^7 \text{ Watt / cm}^3$ أي 1,7 Kwh في الكيلو غرام الواحد من الهيدروجين ($1,7 \text{ Kwh/kg H}_2$) و الذي يؤدي إلى تقييم درجة الحرارة الداخلية لكوكب الشمس و التي يمكن تقديرها بـ $2.10^7 \text{ }^\circ\text{K}$!!

(2) التطبيقات غير الطاقوية :

(أ) التأريخ بواسطة نظير الكربون-14 (C-14)

يتشكل نظير الكربون-14 (C-14) بفعل النيوترونات المحررة بتأثير الأشعة الكونية على النيتروجين في الطبقة الجوية العالية و يتم ذلك حسب الدورة الآتية :



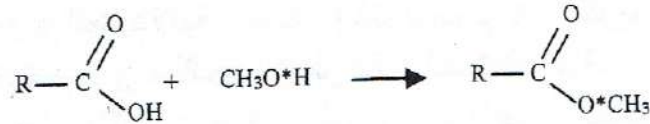
يحتوي كل مركب كربوني على كمية ضئيلة من الكربون المشع C^*14 (ذرة واحدة من C^*14 من أجل 10^4 ذرة من C^*12 و C^*13) في تبادل لانهائي مع الطبقة الجوية. تبقى هذه الكمية من الكربون - 14 ثابتة طالما التبادل مستمر و التوازن الطبيعي الذي يتحقق بين الاستهلاك و التهاافت عند الكائنات الحية ليصل إلى مستوى مستقرا مقدرا في الدقيقة الواحدة بحوالي $15,3 \pm 0,1 \text{ dpmn/g C}^*14$ في الغرام الواحد من الكربون (من أجل إنسان وزنه 70 kg، تتهاافت 2000 ذرة من C^*14 في الثانية والتي تعوض فورا)

و عندما يتوقف التبادل (الوفاة البيولوجية) تتناقص كمية C^{14} حسب دور رتبته 5700 ans تقريبا. من أجل تأريخ مادة كربونية نكتفي بقياس N_t و مقارنته بـ N_0 لعينة لها نفس الكتلة فيكون لدينا : $t = (T / 0,693) \cdot \ln (N_0 / N_t)$
ملحوظة : يكون الكربون الموجود في البترول أو الفحم غير فعال بسبب عمره مقارنة بدوره.

(ج) تطبيقات أخرى :

سنطرق من بين التطبيقات العديدة و المختلفة للمواد المشعة لما يلي، و القائمة مفتوحة :
الميدان الصناعي و البحث العلمي :

* دراسة و تعيين آلية التفاعلات (مثال : تفاعل الأسترة ؛ هل الأوكسجين يأتي من الكحول أو من الحمض الكربوكسيلي ؟)



* دراسة الحوافز و كيفية فعاليتها
 * دراسة التآكل و خمول المعادن و السبائك
 * التحليل الكيميائي الكمي و الكيفي
 * الكشف و القياس (المتفجرات : الكاليفورنيوم $Californium-232$ و النيكال $Nickel-63$ ؛
 قياس نسبة وجود الرصاص $Plomb$ في مواد الطلاء : الأمريكانيوم $Americium-241$ ؛
 قياس و مراقبة تدفق السوائل في أنابيب نقل البترول و الغاز السيزيوم $Cesium-137$ )

الميدان الطبي (الطب النووي و البحث) :

تستعمل النظائر المشعة على نطاق واسع (دليل أو معلم للإشعاع ، استعمال جزيئات مؤشرة) في دراسة الأيض الثانوي، في ميدان البحث في الطب النووي و ميدان التصوير الطبي....
 مثال :

* الكربون المشع $C-14$: دراسة الأيض (دور الكربون في التركيب الضوئي و التركيب الحيوي للهيم).

* السترونشيوم $Sr-85$: الأيض و دراسة تشكيل و تكون العظام.

* الكروم $Cr-51$: دراسة الخلايا الحية في الدم.

* تحقيق التشخيص بواسطة النظائر. $I-123$ له استعمال واسع في اضطرابات الغدة الدرقية و تشخيص فقر الدم (الأنيميا الخبيثة).

* التاكناتيوم $Tc-99m$: له استعمال واسع في التشخيص.

- * الفوسفور P-32 : مستعمل في بيولوجيا الجزيئات و في البحث في الوراثة.
- * الكالسيوم Ca-47 : وسيلة هامة في البحث الطبي الحيوي في دراسة تسيير الخلايا و تشكيل العظام عند الثدييات.
- * السلينيوم Se-75 : دراسة البروتينات (الهولينات).
- * الكزنيون Xe-133 : دراسة التهوية الرئوية و التدفق الدموي.
- * الكوبالت Co-57 : تحليل الصور الطبية لأعضاء الجسم و في تشخيص فقر الدم (الأنيميا الخبيثة).
- * تستعمل الأشكال المختلفة لـ /التاكناتيوم Tc-99m في التصوير الطبي فيما يخص المخ ، العظام ، الكبد ، الكلى
- * الكوبالت Co-60 : تعقيم آلات الجراحة.

الميدان العلاجي :

- * دراسة أيض المواد الصيدلانية الجديدة (التريسيوم T ، الكربون C-14).
- * الإيود I-131 : تشخيص و معالجة اضطرابات الغدة الدرقية.
- * تطبيقات بيولوجيا للإشعاع γ في الميدان العلاجي : معالجة فعالة لبعض الأشكال السرطانية.
- * النحاس Cu-67 : يحقن مع مضادات حيوية فيساعد في تثبيتها على الورم لتنشيطه.
- * الكوبالت Co-60 و الفوسفور P-32 : أعطت نتائج ملحوظة ضد مرض فاسكينز Vasquez و ضد مرض سرطان الدم.
- * السيزيوم Cs-137 : معالجة بعض أنواع السرطان و قياس مضبوط لمعايرة الأدوية المشعة.

VI. مخاطر الإشعاعية :

يؤدي تعرض الأنسجة الحية عند تواجدها بجوار جسم مشع إلى ابداءات أو أضرار خطيرة. ضرر الإشعاع يكون بالغا إذا كان الإشعاع يفوق قيمة معينة لكن التعرض عدة مرات لجرعات ضعيفة يكون مضر أيضا (نفس ضرر إشعاع واحد أكبر شدة).

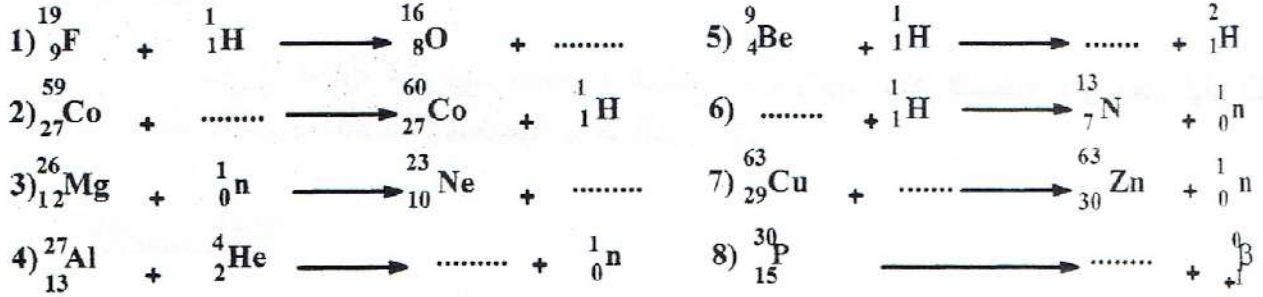
من بين الأضرار نشير إلى سرطان الجلد و الجهاز الهضمي و.... العمى، سرطان الدم.. يمكن لجسم مشع أن يكون له تأثير على مورثة خلايا النسل وتكون عواقبه وخيمة على الأجيال المقبلة (تحويلات لا عكسية أو/و استثنائية) أفعال القنابل الذرية الملقاة على هيروشيما Hiroshima و ناغاساكي Nagasaki خلال الحرب العالمية الثانية ، كارثة تشيرنوبيل Tchernobyl) و على المحيط (تلوث المياه و الأراضي ..).

و نشير أخيرا أن جسم الإنسان يتلقى يوميا جرعة من الإشعاعية الطبيعية تقدر بـ $0.5 \cdot 10^{-3}$ Rem و أن أقصى جرعة مقبولة غير المضرة تساوي حوالي 0,1 Rem في 40 ساعة من العمل ($1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ J / kg} = 10^{-2} \text{ Sivert (Sv)}$).

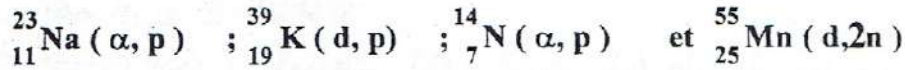
التمارين

التمرين 1.III.

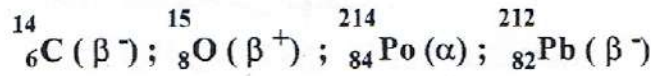
1- أكمل معادلات التفاعلات النووية الآتية :



2- أعط معادلات التفاعلات النووية الآتية مع تعريف العنصر المتشكل :



3- تتهاافت العناصر التالية مع انبعاث دقائق. أعط معادلات التفاعلات النووية مع تعريف العنصر المتشكل :



التمرين 2.III.

تساوي النشاطية الابتدائية لغرام واحد من الأورانيوم *Uranium* الخصب U-238 $3,88 \cdot 10^{11}$ dpan (تتفاوت في السنة) و الذي له دور يقدر بـ $4,52 \cdot 10^9$ ans ، أحسب ثابت أفوغادرو *Avogadro* .

التمرين 3.III.

يساوي ثابت الإشعاعية للعنصر المشع ${}^{24}\text{Na}$ $0,046 \text{ h}^{-1}$ علما بأن هذا الأخير يتبع حركية من الدرجة الأولى.

1- عين العبارة N_t (عدد النوى غير المستقرة الموجودة عند اللحظة t) بدلالة N_0

λ و t

2- أحسب الدور T بالساعات (h)

3- أحسب الزمن عند :

- تهافت 1% من الصوديوم ${}^{24}\text{Na}^*$

- تهافت 99 % من الصوديوم ${}^{24}\text{Na}^*$

4- نحقن في دم شخص 10 ml من محلول يحتوي ابتدائيا على 10^{-3} mole/l من الصوديوم المشع Na^* و نعتبر أن توزيع الجرعة المحقونة في دم الشخص يكون منتظم بعد 5 ساعات، أحسب الحجم الدموي.

التمرين 4.III:

تساوي فعالية السيريوم *Cerium* المشع Ce^* $3\mu\text{Ci}$ عند اللحظة t و بعد أيام تتناقص بـ $1\mu\text{Ci}$. أحسب ثابت الإشعاعية λ ثم الدور T .

التمرين 5.III:

المنغانيز *Manganèse* Mn-56 هو عنصر مشع ناشر للدقائق - β حسب المعادلة :



1- أعط A و Z للنواة X

2- أحسب الدور T بالساعات (h) و الثواني (s) علما بأن بعد 7,5 ساعات 1 مول

من Mn-56 ينتج 49,5 g (غرام) من العنصر X .

3- أحسب بـ mg كتلة عينة من Mn-56 موافقة لفعالية تساوي $2 \cdot 10^6 \text{ Ci}$

4- أحسب الطاقة الناتجة عن تهافت :

- نواة واحدة من Mn-56 بـ MeV

- مول واحد من النوى Mn-56 بـ J

المعطيات :

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ d.p.s} \quad 1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

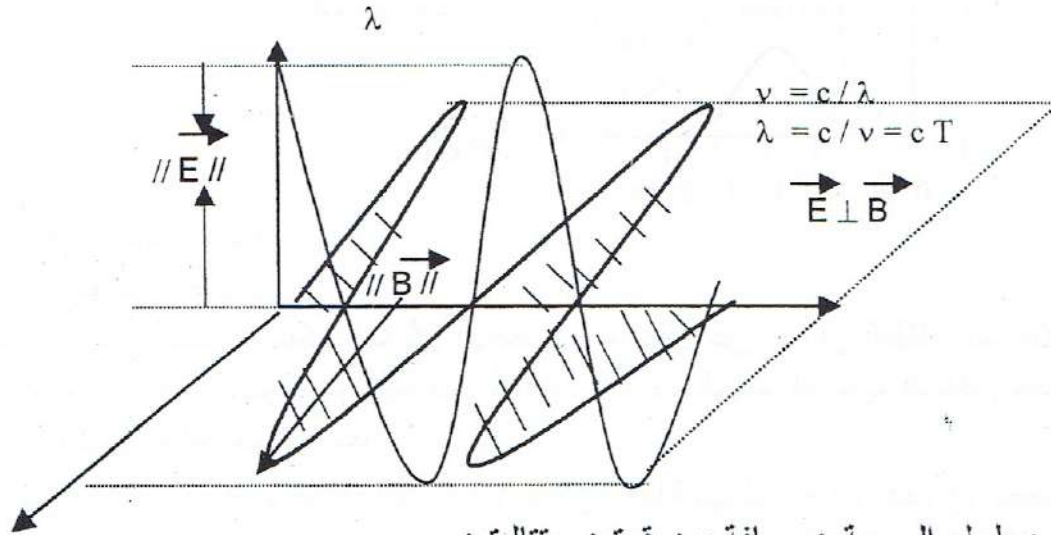
$$M(56,25) = 55,93948 \text{ u.m.a} ; m_e = 0,00055 \text{ u.m.a} ; M(A,Z) = 55,93493 \text{ u.m.a}$$

I. النموذج الذري لرونر فوردر. Rutherford (1911)

- من خلال تجربة رونر فوردر Rutherford (قذف ورقة ذهب بدقائق α) اقترح هذا الأخير نموذجا كوكبيا للذرة : نواة موجة تدور حولها إلكترونات سالبة بحيث تكون الجملة متعادلة . لم يجب هذا النموذج على الأسئلة الآتية :
- عند انتقال الإلكترون حول النواة يولد موجة كهرومغناطيسية (انتقال شحنة كهربائية في الفضاء) حيث يشيع طاقة فن توقع طيف مستمر (بين بالمر (Balmer) تجريبيا سنة 1885 أن طيف ذرة الهيدروجين غير مستمر).
 - يترتب عن هذا الإشعاع تناقص في الطاقة حيث يصبح مسار الإلكترون حلزوني ويسقط على النواة (نموذج غير مستقر). يستنتج من هذا أن النموذج غير كامل و على عكس ذلك اتضح أن $r_N = 10^{-4} r_A$ (رونر فوردر Rutherford).

(1) الإشعاع الكهرومغناطيسي

- الضوء عبارة عن حقل كهربائي $\vec{E}$ مصاحبا لحقل مغناطيسي اهتزازي $\vec{B}$ ينتشر في الفضاء بحركة موجية (انتقال شحنة كهربائية ينتج موجة كهرومغناطيسية).



λ (m) : طول الموجة : مسافة بين قمتين متتاليتين

c (m/s) : سرعة الضوء

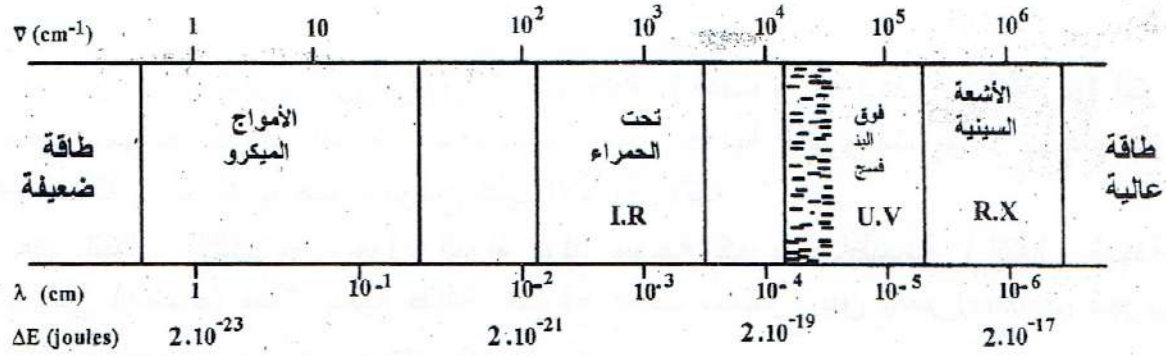
T (s⁻¹) : الدور

ν (hertz أو cycles/s) : التواتر

$\vec{E}$: سعة الحقل الكهربائي

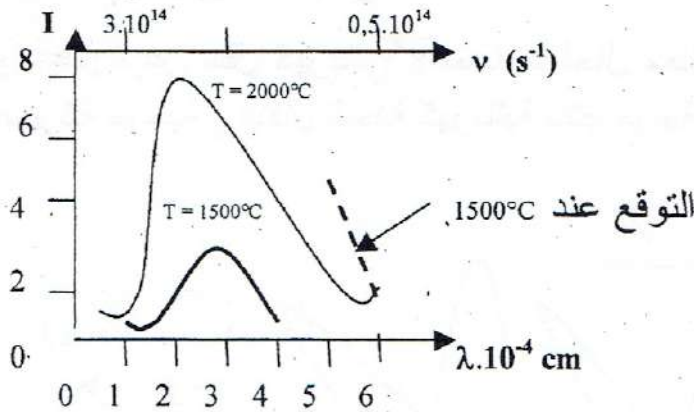
$\vec{B}$: سعة الحقل المغناطيسي

يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من جميع الأمواج الضوئية و هي مجموعة أين يأخذ التواتر فيها كل القيم بصفة مستمرة . تتناسب الطاقة طرد يا مع شدة الضوء يعني تتناسب مع مجموع $E^2_{\text{max}} + B^2_{\text{max}}$ و باعتبار آخر لا تعتمد الطاقة على التواتر ν .



الطيف الكهرومغناطيسي

لم تفسر النظرية الكلاسيكية للأمواج الكهرومغناطيسية $E \sim I$ (I هي شدة الضوء) طبيعة الإشعاع المنبعث من طرف مادة صلبة ساخنة.



$$E = f(\nu)$$

$E \sim I$: الشدة النسبية

ν : تواتر الضوء

لقد تم البرهان بالتجربة عكس ما كان يعتقد (λ مستقل عن E) أن الطاقة المنبعثة من مادة صلبة ساخنة تتعلق بالتواتر وعليه فإن كل لون يأخذه الجسم الصلب الساخن حسب درجة الحرارة يكون موافقا لتواتر معين.

• بين ماكس بلانك *Max Planck* أنه لا يمكن لجملة ميكانيكية أن تأخذ إلا بعض القيم المعينة للطاقة و هذا ما يفسر عدم استمرارية الإشعاع. هناك تكميم للطاقة (فرضية الكوانتا) ينتشر الضوء حسب أحزمة من الأمواج (موجة تواترها ν).

$$E = n \cdot h\nu$$

n : عدد كامل ، عدد كمي (كواتي)

h : ثابت بلانك *Planck*

تكون طاقة الإشعاع المنبعث من طرف مادة صلبة مسخنة غير مستمرة بل متفرقة حسب كميات موافقة لعناصر من الطاقة معينة حيث $E = n.h\nu$

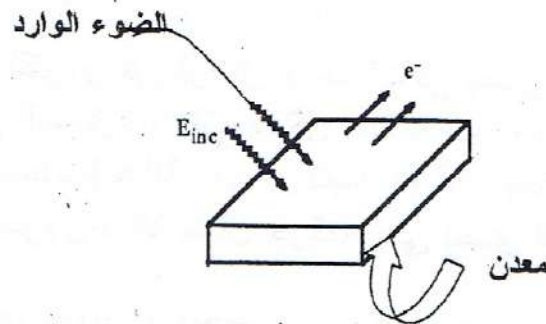
• $h\nu$ هي أصغر كمية من الطاقة التي يمكن أن تظهر في شكل إشعاع تواتره ν . هو دقائق عنصرية من الطاقة تدعى بالكنتموم.

• أكد انشطاين *Einstein* نظرية نيوتون *Newton* التي تنص أن الضوء هو عبارة عن جسيمات كما أكده بلانك *Planck* بتعريفه للضوء: " الضوء هو عبارة عن حبيبات من الطاقة تنتقل بسرعة الضوء ($c = 3.10^8 \text{ m/s}$) و تسمى بالفوتونات".

• تختلف الإشعاعات بعضها عن بعض بطاقة فوتوناتها (إشعاع تواتره ν يحمل طاقة $E = h\nu$) و الذي يفسر بالفعل الكهروضوئي.

(2) الفعل الكهروضوئي

ظاهرة لم تفسر بواسطة النظرية الكهرومغناطيسية. يصاحب تأثير الضوء على سطح معدني انبعاث فوتونات.



لا تنفرط الإلكترونات من سطح المعدن إلا إذا أعطي قيمة معينة E_{mini} من الطاقة الساقطة E_{inc}

$$E_{inc} \geq E_{mini}$$

تتعلق سرعة الإلكترونات المنفرطة بالطاقة الواردة و تتزايد معها.

• أخذ انشطاين *Einstein* بنظرية بلانك *Planck* بنصه: " لا تنبعث الإلكترونات من

سطح معدني إلا إذا كانت الطاقة الساقطة أكبر من طاقة صغرى تسمى بطاقة العتبة (E_0) "

$$E_{inc} > E_{mini}$$

$$E_{mini} = E_{seuil} = E_0$$

$$E_{ph} > E_0$$

$$E = h\nu, \nu = E/h \Rightarrow$$

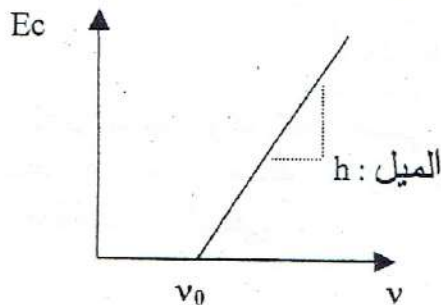
$$\nu_{inc} > \nu_0$$

ν_0 هو تواتر العتبة وهو مميز للمعدن (العتبة الكهروضوئية)

تتزايد سرعة الإلكترونات الملفوظة مع قيمة التواتر الوارد

ν هو تواتر الضوء الممتص

E_c هي الطاقة الحركية للإلكترونات الملفوظة



$$\begin{aligned} E_{inc} &= E_0 + E_c \\ h\nu &= h\nu_0 + \frac{1}{2} m_e v^2 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m_e v^2 = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0)$$

II. النموذج الذري لبوهر . Bohr (1913)

لإبعاد تناقضات نموذج رونر فوردر Rutherford (نظام غير مستقر) و لتفسير عدم استمرارية طيف ذرة الهيدروجين المقام من طرف بالمر Balmer والذي يخضع إلى القانون التجريبي :

$$\nu = 3,29.10^{15} (1/4 - 1/n^2) \text{ cycles/s (Hz)} \quad n \geq 3$$

اقترح بوهر Bohr ، معتمدا على نظرية الكم لماكس بلانك Max Planck ، نموذجا للذرة من خلال المسلمات التالية :

1- لا يمكن للإلكترون في ذرة أن يوجد إلا في بعض المدارات المفضلة (حالات معينة) تدعى بالمدارات المستقرة و التي تشكل متتالية غير مستمرة. يوافق كل منها بالنسبة للذرة مستوى طاقي محدد (طاقة معينة و ثابتة) والذي يمكن حسابه بنظرية الكم (الكوانتا).
2- لا يشع الإلكترون طاقة خلال حركته على إحدى المدارات و لا تتغير طاقته وحركته لا تتلاشى.

يمكن تغيير الحالة الطاقوية للإلكترون بفعل عامل خارجي (امتصاص طاقة ناتجة عن تصادمه مع ذرة أخرى) فيصبح مثارا و ينتقل إلى مدارات خارجية ذات مستويات طاقيّة أكبر (حالات غير مستقرة) و عندما يسقط من جديد على مدار أقرب فإنه يشيع طاقة. تتم هذه الانتقالات من مدار إلى مدار آخر بالقفز المفاجئ للطاقة:

$$\Delta E = E_f - E_i = h\nu.$$

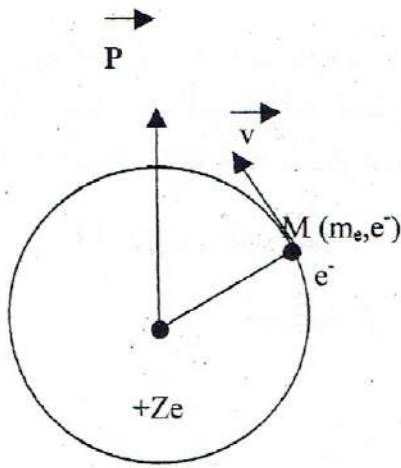
3- عندما يوجد الإلكترون في مدار مستقر، يكون مساره دائريا.

4- الحالات المستقرة المسموحة للإلكترون هي تلك التي يكون فيها عزمه الزاوي P ، و هو الشعاع العمودي على مستوي المدار والمار بمركزه و المساوي لجداء كمية الحركة p في نصف القطر r ، مساو لمضاعف $h/2\pi$.

$$P = m.v.r = n. h / 2\pi$$

n : عدد كامل موجب وهو العدد الكمي الرئيسي

يكون لدينا على مدار مستقر توازن ديناميكي (استقرار ميكانيكي للمدار) والذي يخضع إلى قوانين الميكانيك الكلاسيكي.



$$\vec{P} = \vec{OM} \wedge \vec{p} = \vec{OM} \wedge m_e \cdot \vec{v}$$

$\vec{P}$: العزم الحركي الزاوي
 $\vec{p}$: كمية الحركة
 m_e : كتلة الإلكترون
 v : سرعة الإلكترون
 r : نصف قطر المدار
 $q' = +Ze$: شحنة النواة

$|\vec{P}| = |\vec{OM}| \wedge |\vec{p}| = |\vec{OM}| \cdot m_e |\vec{v}| \sin(\vec{OM}, \vec{v}) = m_e v r$ $\vec{OM} \perp \vec{v}$
 يخضع الإلكترون إلى قوة التجاذب الكهروستاتيكية (نواة موجبة و إلكترونات سالبة) وإلى قوة الطرد المركزي (انتقال الإلكترون حول النواة بسرعة ثابتة $\vec{v}$) يصف حركة دائرية منتظمة تسارعها ثابت و مساوي لـ v^2/r

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad \vec{F}_{cb} + \vec{F}_c = 0 \quad |\vec{F}_{cb}| = |\vec{F}_c|$$

$$F_{cb} = K q q' / r^2 \quad \text{Coulomb : قوة كولون}$$

$$F_c = m \gamma = m_e v^2 / r \quad \text{القوى الطاردة (النبذ)}$$

$$K Z e^2 / r^2 = m_e v^2 / r \Rightarrow K Z e^2 / r = m_e v^2 \quad \dots\dots\dots [1]$$

$$K = 1 / 4 \pi \epsilon_0 = 9.10^9 \text{ (MKSA)} ; K = 1 \text{ (CGS)}$$

$$\epsilon_0 = \text{سماحية الهواء} = 1.10^{-9} / 36 \pi = 8,85.10^{-12} \text{ (MKSA)}$$

(1) تعيين نصف القطر المدارات المستقرة :

$$P = m_e v r = n h / 2 \pi \text{ (المسلمة الرابعة لبوهر Bohr)} \Rightarrow m^2 \cdot v^2 \cdot r^2 = n^2 \cdot h^2 / 4 \pi^2 \dots [2]$$

$$[1] \cdot (m \cdot r^2) \Rightarrow m^2 \cdot v^2 \cdot r^2 = m \cdot r \cdot K \cdot Z \cdot e^2 \dots\dots\dots [3]$$

$$[2] = [3] \Rightarrow r = n^2 \cdot h^2 / 4 \pi^2 m \cdot e^2 \cdot Z \cdot K \Rightarrow r = n^2 / Z \times h^2 / 4 \pi^2 m \cdot e^2 \cdot K$$

$$\text{en C.G.S} \quad K = 1 \Rightarrow r = n^2 / Z \times h^2 / 4 \pi^2 m \cdot e^2$$

$$\text{en MKSA} \quad K = 1 / 4 \pi \epsilon_0 \Rightarrow r = n^2 / Z \times h^2 \cdot \epsilon_0 / \pi \cdot m \cdot e^2$$

$$\boxed{r_n = n^2 \cdot a_0 / Z \quad a_0 = h^2 \epsilon_0 / \pi \cdot m \cdot e^2}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} ; \epsilon_0 = 1.10^{-9} / 36 \pi ; m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg} ; e = 1,6.10^{-19} \text{ C} \Rightarrow$$

$$a_0 = 0,529.10^{-10} \text{ m} = 0,529 \text{ \AA}$$

a_0 : نصف قطر المدار الأول لبوهر بالنسبة لذرة الهيدروجين

$$\begin{aligned}
 Z = 1, n = 1, r_1 &= a_0 \\
 n = 2, r_2 &= 4 a_0 \\
 n = 3, r_3 &= 9 a_0 \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

$n=1$ يوافق الحالة الأساسية و هو المستوي الطاقوي الأساسي
 $n=2,3,4,5...$ هم المستويات المثارة
 الحالات المثارة الموافقة للمدارات ذات النصف قطر $4a_0, 9a_0, ...$

(2) تعيين السرعة :

$$m_e \cdot v \cdot r = n \cdot h / 2\pi \Rightarrow v = n \cdot h / 2\pi \cdot m_e \cdot r \quad (\text{المسلمة الرابعة لبوهر Bohr})$$

$$r = n^2 / Z \times h^2 \epsilon_0 / \pi \cdot m_e \cdot e^2 \Rightarrow v_n = Z / n \times e^2 / 2h \cdot \epsilon_0$$

$$v_n = Z \cdot v_1 / n \quad v_1 = e^2 / 2h \cdot \epsilon_0$$

$$v_1 = e^2 / 2h \cdot \epsilon_0 = 2,189 \cdot 10^6 \text{ m/s.}$$

تكون سرعة الإلكترون على مدارات بوهر Bohr بالنسبة لذرة الهيدروجين

$$\begin{aligned} Z=1, n=1, v_1 &= v_1 / 1 = 2,18 \cdot 10^6 \text{ m/s} \\ n=2, v_2 &= v_1 / 2 = 1,09 \cdot 10^6 \text{ m/s} \\ n=3, v_3 &= v_1 / 3 = 0,72 \cdot 10^6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(3) تعيين الطاقة الكلية :

يمكن حساب الطاقة الموافقة لمدار معين بتعيين r_n . عند انتقاله على مدار برتبة n تساوي طاقته الإلكترون مجموع الطاقة الكامنة والحركية
حساب الطاقة الحركية

$$E_C = m \cdot v^2 / 2 \text{ or } K \cdot Z \cdot e^2 / r^2 = m \cdot v^2 / r \Rightarrow mv^2 / 2 = K \cdot Z \cdot e^2 / 2r$$

$$E_C = mv^2 / 2 = K \cdot Z \cdot e^2 / 2r = Z \cdot e^2 / 8\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r$$

حساب الطاقة الكامنة

تساوي الطاقة الكامنة العمل اللازم بذله لنقل إلكتروننا ذو شحنة سالبة من اللانهاية حتى مسافة قدرها r من النواة مع احتمال أن الإلكترون يوجد في اللانهاية و يقترب من النواة.

$$dw = f \cdot dr \Rightarrow w = \int_{\infty}^r f \cdot dr \text{ or } f = -K \cdot Z \cdot e^2 / r^2 \Rightarrow w = \int_{\infty}^r -K \cdot Z \cdot e^2 / r^2 \cdot dr$$

$$w = [K \cdot Z \cdot e^2 / r]_{\infty}^r \quad w = E_P(\infty) - E_P(r) = K \cdot Z \cdot e^2 / r$$

$$E_P(r) = -K \cdot Z \cdot e^2 / r \quad \text{و} \quad E_P(r) < 0 \Leftarrow E_P(\infty) = 0 \quad \text{بالاصطلاح نضع}$$

$$E_T = E_C + E_P = K \cdot Z \cdot e^2 / 2r - K \cdot Z \cdot e^2 / r = -K \cdot Z \cdot e^2 / 2r = E_T$$

$$K = 1 / 4\pi \cdot \epsilon_0 \quad \text{و} \quad r = n^2 / Z \times h^2 \cdot \epsilon_0 / \pi \cdot m_e \cdot e^2 \Rightarrow$$

$$E_T = -1 / 4\pi \cdot \epsilon_0 \times Z \cdot e^2 / 2 \times 1 / n^2 / Z \times h^2 \cdot \epsilon_0 / \pi \cdot m_e \cdot e^2 = -Z^2 / n^2 \times m_e \cdot e^4 / 8 \epsilon_0^2 h^2 = E_n$$

$$E_n = -A \cdot Z^2 / n^2 \quad A = m_e \cdot e^4 / 8 \epsilon_0^2 h^2$$

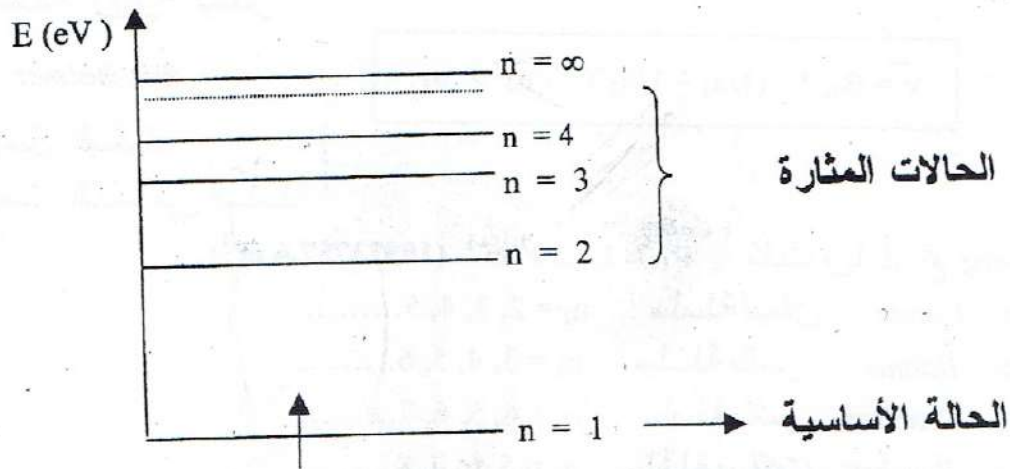
$$A = m_e \cdot e^4 / 8 \epsilon_0^2 h^2 = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13,54 \text{ eV.}$$

$E = -A$: هي الطاقة الموافقة للمستوي الأساسي بالنسبة لذرة الهيدروجين

$Z = 1$	$n = 1$	$E_1 = -A.Z^2 / n^2 = -A = -13,54 \text{ Ev.}$	 الحالة الأساسية
	$n = 2$	$E_2 = E_1 / 4 = -3,4 \text{ eV}$	} الحالات المثارة
	$n = 3$	$E_3 = E_1 / 9 = -1,51 \text{ eV}$	
	$n = 4$	$E_4 = E_1 / 16 = -0,85 \text{ eV}$	
	$n = 5$	$E_5 = E_1 / 25 = -0,54 \text{ eV}$	
	$n = 6, 7, \dots$	$E_6, E_7, \dots \dots \dots E_{\infty}$	

(4) أطيف الامتصاص - أطيف الانبعاث

تبين انه لا يسمح للإلكترون أن يشغل إلا بعض مستويات الطاقة (الموافقة للحالات المستقرة) والتي طاقتها تحقق العلاقة التالية : $E_n = -A.Z^2 / n^2$



المخطط الطاقي لذرة الهيدروجين

• الحالة الأساسية ($n=1$) هي الحالة الموافقة لأدنى طاقة و هي أقل طاقة من الحالات المثارة.

• لنزع الإلكترون من قوة جذب النواة يلزم تمونه بالطاقة الأدنى التي تنقله من المستوي الأساسي $n=1$ حتى المستوي $n \rightarrow \infty$ و تسمى بطاقة التأين E_i

$$E_i = E(\infty) - E_1 = 0 - (-13,6 \text{ eV}) = 13,6 \text{ eV}$$

• تتغير الحالة الطاقوية للإلكترون بامتصاصه للطاقة فيصبح في حالة مثارة وينتقل إلى مدارات خارجية أكبر طاقة و يتم ذلك بالقفز المفاجئ للطاقة (المسلمة الثانية/بوهر):

$$\Delta E = | E_f - E_i | = h\nu \quad \text{طاقة الفوتون : } \Delta E$$

عندما يسقط إلكترون على مدار مستقر أقرب فيبعث طاقة (يتم الانبعاث الطاقي عند انتقال الإلكترون من مستوي مثار إلى مستوي أقل إثارة).

$$h\nu = |E_f - E_i| = |E_2 - E_1| = |-AZ^2 (1/n_2 - 1/n_1)| = AZ^2 |(1/n_1 - 1/n_2)|$$

$$\Rightarrow \nu = AZ^2 / h \times (1/n_1 - 1/n_2)$$

ونعود مرة أخرى لعلاقة بالمر *Balmer* التجريبية (1885):

$$\nu = 2,18.10^{-18} / 6,62.10^{-34} |(1/n_1 - 1/n_2)| = |(1/n_1 - 1/n_2)| \times 3,29.10^{15} \text{ cycles / sec}$$

وبتعبير آخر فإن تعبير بوهر متطابقة لطيف ذرة الهيدروجين المعروف كما نلاحظ أنه عند وضع $n_1 = 1$ يمكن أن نتوقع سلسلة طيفية ، نفس الشيء عندما نضع $n_1 = 2$.. إذن يمكننا أن نتوقع عدة سلاسل من الخطوط الطيفية حسب الطاقة المنبعثة من الإلكترون و بدلا من استعمال تواتر الإشعاع الممتص أو المنبعث نستعمل العدد الموجي $\bar{\nu}$

$$\nu = c / \lambda = c \bar{\nu} \Rightarrow \bar{\nu} = 1 / \lambda$$

$$h\nu = h.c / \lambda = h.c.\bar{\nu} = AZ^2 (1/n_1 - 1/n_2) \Rightarrow \bar{\nu} = 1/\lambda = AZ^2 / h.c \times (1/n_1 - 1/n_2)$$

علاقة ريتز- بالمر

$$\bar{\nu} = R_H Z^2 (1/n_1 - 1/n_2) \quad n_2 > n_1$$

Ritz-Balmer.

n_1 : يمثل السلسلة

n_2 : يمثل الخط في السلسلة

R_H : Rydberg ثابت رينبارغ $R_H \approx 1,1.10^7 \text{ m}^{-1} (10973757,6 \text{ m}^{-1})$

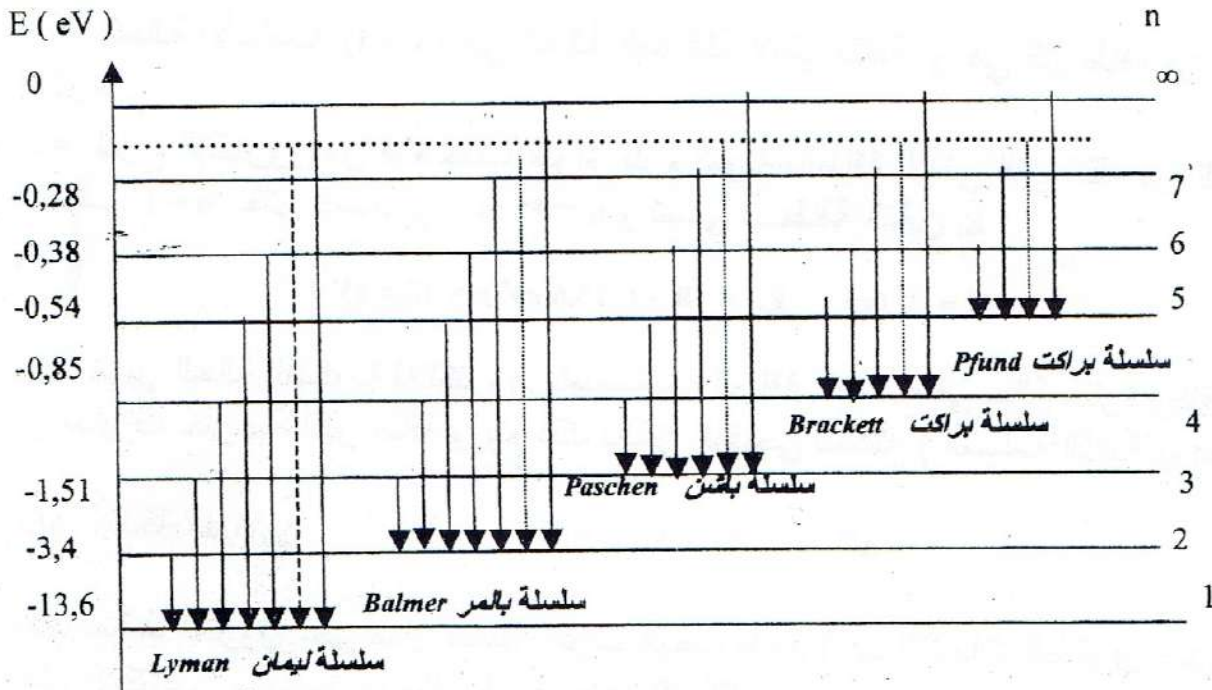
$n_1 = 1 \Rightarrow$ Lyman سلسلة ليمان $n_2 = 2, 3, 4, 5, \dots$

$n_1 = 2 \Rightarrow$ Balmer سلسلة بالمر $n_2 = 3, 4, 5, 6, \dots$

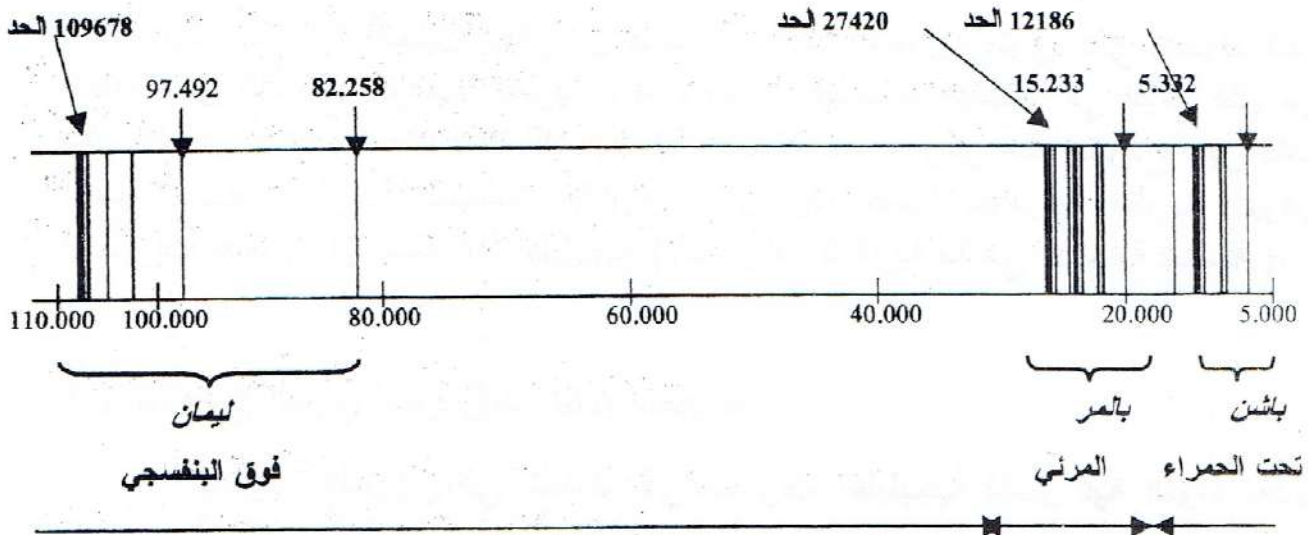
$n_1 = 3 \Rightarrow$ Paschen سلسلة باشن $n_2 = 4, 5, 6, 7, \dots$

$n_1 = 4 \Rightarrow$ Brackett سلسلة براكيت $n_2 = 5, 6, 7, 8, \dots$

$n_1 = 5 \Rightarrow$ Pfund سلسلة بفوند $n_2 = 6, 7, 8, 9, \dots$



طيف الامتصاص لذرة الهيدروجين



جزء من طيف الامتصاص لذرة الهيدروجين

ملاحظات :

- 1- يطلق على ما يسمى بالانتقال الإلكتروني المرور من مستوى طاقي إلى آخر.
- 2- عند انتقال الإلكترون من مستوي مستقر إلى مستوي أقل استقرارا ($\Delta E = h\nu$) نقول أن هناك امتصاص للطاقة.
- 3- عند انتقاله من مستوي أقل استقرار (مثارة) إلى مستوي أكثر استقرار (أقل إثارة) نقول أن هناك انبعاث للطاقة و يشع الإلكترون طاقة ($\Delta E = h\nu$)
- 4- لنزع إلكترون من مداره يجب إعطائه طاقة تنقله من مداره إلى اللانهاية و تكون الطاقة المعطاة موجبة (امتصاص) و هي ما تسمى بطاقة التأيين

$$E_i = E(\infty) - E_n = - E_n$$

من أجل ذرة الهيدروجين : $E_i = 0 - (-13,6) = +13,6 \text{ eV}$

- 5- لتحديد المجال $\Delta \lambda = [\lambda_1 - \lambda_2]$ لكل سلسلة طيفية ينبغي تعيين الخطوط الحدية لكل منها (الخط الأول والخط الحدي).

شكل تفسير طيف ذرة الهيدروجين نجاحا معتبرا لنموذج بوهر Bohr الذي يعتمد على عامل واحد فقط وهو العدد الكمي n الرئيسي وبهذا يكون هذا النموذج كافيا أيضا لتفسير طيف Be^{3+} , He^+ , Li^{2+} هذه العناصر ما هي إلا عناصر تملك إلكترون واحد و تسمى بأشباه الهيدروجين أو الهيدروجينيات.
 مثال : He^+

$$\text{He}^+ (Z=2) \quad n_1 = 3$$

$$1/\lambda = 4R_H (1/3^2 - 1/n^2) \quad \text{سلسلة فلاوار. Flower}$$

$$\text{He}^+ (Z=2) \quad n_1 = 4$$

$$1/\lambda = 4R_H (1/4^2 - 1/n^2) \quad \text{سلسلة بيكيرينغ. Pickering}$$

بينت مطيافية التحليل العالي أن طيف ذرة الهيدروجين يحتوي على خطوط أكثر خطوط من تلك التي توقعها نظرية بوهر. تتكون الخطوط البسيطة في الواقع لكل من سلسلة ليمان ، بالمر... من خطوط مضاعفة ملتصقة جدا و يبقى هذا النموذج غير كاف لتفسير أطيف الذرات المتعددة الإلكترونات و لهذا عمم سومرفلد نظرية بوهر للمسارات الدائرية إلى مسارات أهليلجية (المسارات الدائرية ما هي إلا حالة خاصة).

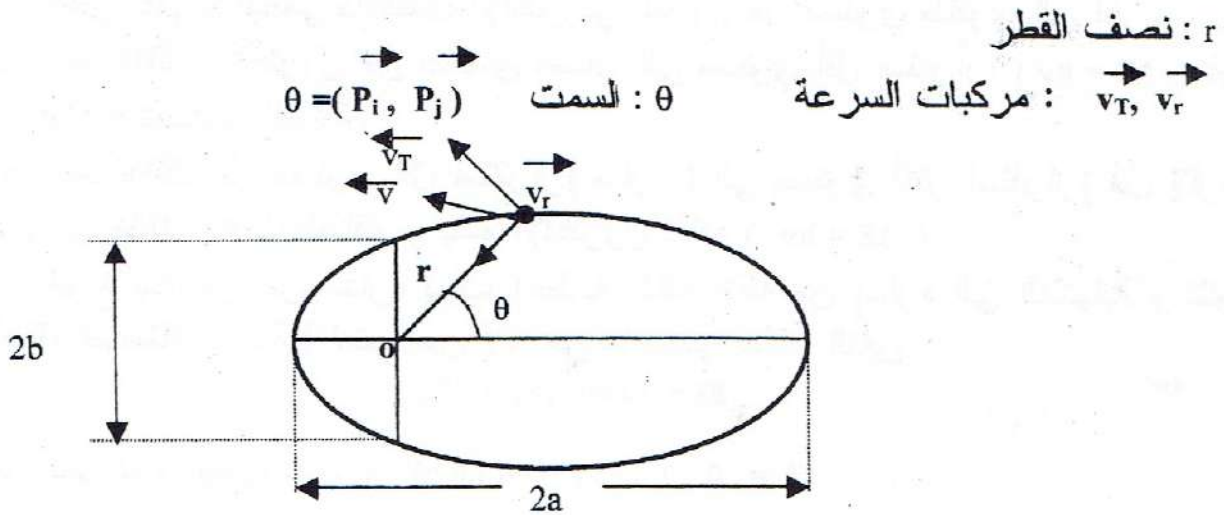
III. النموذج الذري لسومرفلد. Sommerfeld.

" يتحرك الإلكترون في الحقيقة في مسارات أهليلجية تشغل فيه النواة إحدى البؤرتين أما المسار الدائري فهو حالة خاصة "

يعرف القطع الناقص بمتغيرين (a, b) أو (r, θ)

a, b : نصف طول المحور الصغير و الكبير

v : سرعة الإلكترون



يميز القطع الناقص بتباعده $e \leq 1$ مع $e = b/a$

يكون مسار الإلكترون دائريا (بوهر) عندما $b/a = 1$

تمثل طاقة الذرة طاقة الإلكترون (نفترض أن النواة ثابتة - ساكنة - بالنسبة للإلكترونات)

$$E_T = E_C + E_P = -AZ^2 / n^2 = C^{te}.$$

النتائج :

- مسار أهليلجي (قطع ناقص) مميز بالأبعاد $e = b/a$

- الطاقة الكلية ثابتة $E_T = -AZ^2 / n^2$

- الأعداد الكمية

• العدد الكمي الرئيسي " n "

n يميز طبقة إلكترونية (نفس نتيجة بوهر)

$$2a = 2r_n \quad (r_n = n^2 a_0 / Z) \quad n \in \mathbb{N}^*$$

الطبقة K ، n=1 ، الطبقة L ، n=2 ، الطبقة M ، n=3 ، M

• العدد الكمي الثانوي " l "

$$e = b/a = k/n \quad k \in \mathbb{N}^* \quad \text{et} \quad k \leq n \rightarrow l = k-1$$

$$e = b/a = l+1/n \quad l \neq -1$$

من أجل n معطاة يكون لدينا n قيم ل k يعني n قيم ل " l "
 n معطاة $k = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ و $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$
 في طبقة إلكترونية برتبها n تكون لها نفس المسارات و نفس المحور الكبير و تختلف
 في رتبة المحور الصغير.

مثال : الطبقة M (n=3)

$$n=3: \quad l=0, l=1, l=2$$

$$l=0 \quad e = b/a = l+1/n = 1/3 \quad (\text{القطع الناقص الأكثر تسطح})$$

$$l=1 \quad e = b/a = l+1/n = 2/3 \quad (\text{القطع الناقص الأقل تسطح})$$

$$l=2 \quad e = b/a = l+1/n = 3/3 \quad (\text{دائرة نصف قطرها } r=a)$$

شرط تكميم السرعة/بوهر $\vec{v} = \vec{c} \alpha$ يشترط على مركباتها $\vec{v}_r$ و $\vec{v}_T$

$l=0 \rightarrow$ مدار s (ضيق sharp)

$l=1 \rightarrow$ مدار p (رئيسي principal)

$l=2 \rightarrow$ مدار d (منتشر diffuse)

$l=3 \rightarrow$ مدار f (أساسي fundamental)

K الطبقة	n = 1	l = 0	1s
L الطبقة	n = 2	l = 0 ; l = 1	2s 2p
M الطبقة	n = 3	l = 0 ; l = 1 ; l = 2	3s 3p 3d
N الطبقة	n = 4	l = 0 ; l = 1 ; l = 2 ; l = 3	4s 4p 4d 4f
		(ns) (np) (nd) (nf)	

بينت مختلف الحسابات أن عدد المسارات هو (2l+1) مسارا. تعرف بمجموع (2l+1) مسارات طبقة إلكترونية تحتية كما أن الزوج (n, l) يعرف طبقة إلكترونية تحتية.

مثال : الطبقة N (n=4)

$$n=4, l=0 \longrightarrow s/c \ 4s \longrightarrow (2l+1=1 \text{ مسار واحد})$$

$$n=4, l=1 \longrightarrow s/c \ 4p \longrightarrow (2l+1=3 \text{ مسارات})$$

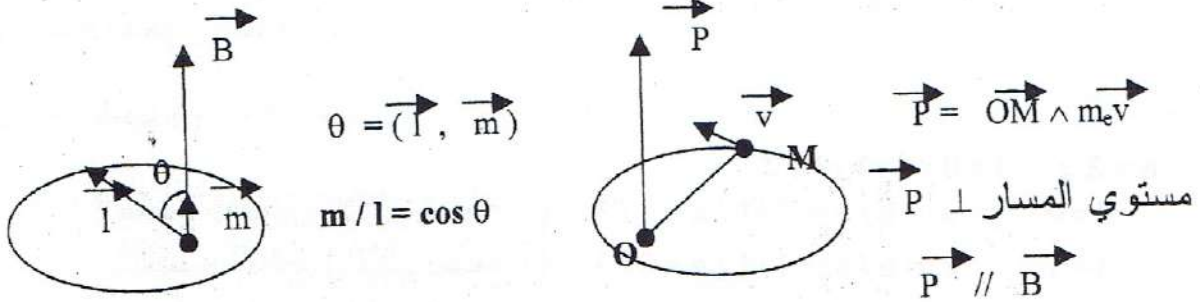
$$n=4, l=2 \longrightarrow s/c \ 4d \longrightarrow (2l+1=5 \text{ مسارات})$$

$$n=4, l=3 \longrightarrow s/c \ 4f \longrightarrow (2l+1=7 \text{ مسارات})$$

في المجموع 4 طبقات إلكترونية تحتية و 16 مسارات ممكنة (n² مسارا).

• العدد الكمي المغناطيسي " m "

لاحظ زيمان Zeeman سنة 1896 انفلاق الخطوط البسيطة لطيف ذرة الهيدروجين تحت تأثير حقل مغناطيسي شديد. تكون حركة الإلكترون على مسار ما (انتقال شحنة كهربائية) مماثلة لتيار كهربائي عابرا سلك لولبي ينشأ عن ذلك حقل مغناطيسي B عمودي على مستوي المسار فلا بد الأخذ بعين الاعتبار الاتجاهات المختلفة الممكنة لمستوي المسار بالنسبة لـ $\vec{B}$

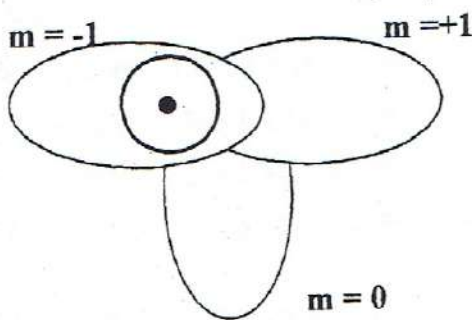


من أجل " l " معطاة $(2l+1) \Leftarrow$ مسارا $(2l+1) \Leftarrow$ قيمة ل m
 m : هو العدد الكمي المغناطيسي : $m = l \cdot \cos \theta$ مع $-1 \leq m \leq +1$
 بالاصطلاح $l=0 \Leftarrow m=0$
 $l=1 \Leftarrow m = -1, 0, 1$

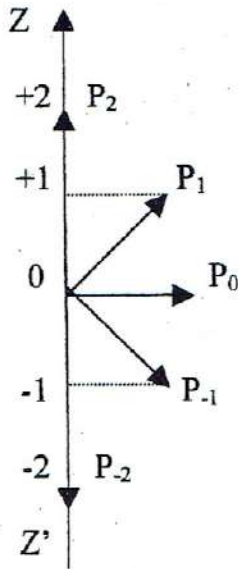
m يمثل الاتجاه النسبية لمستويات المسارات في الفضاء (اتجاهات شعاع العزم الحركي P)
 $\theta = (\vec{P}_i, \vec{P}_j)$

و يكون $\vec{P}$ عمودي لمستوي المسار $m=0 \Leftarrow l=0$
 $+1 \leq \cos \theta \leq -1$ و $+1 \leq m \leq -1 \Leftarrow l=1$

$m = +1 \Rightarrow +1 = \cos \theta \Rightarrow \theta = 0$
 $m = 0 \Rightarrow 0 = \cos \theta \Rightarrow \theta = \pi/2$
 $m = -1 \Rightarrow -1 = \cos \theta \Rightarrow \theta = \pi$



$$+2 \leq m \leq -2 \Leftrightarrow m \text{ قيم } (2l+1=4+1=5) \Leftrightarrow \text{مسار } (2l+1) \Leftrightarrow l=2$$



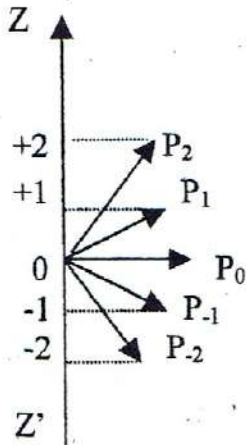
ليست الاتجاهات المختلفة الممكنة لمستوي مسار ما عفوية بل هي جد محددة و بعدد $(2l+1)$ وهذا هو التكميم الفضائي

يميز الثلاثي (n, l, m) خانة (حجيرة) إلكترونية

ملاحظة :

تقودنا ميكانيك الموجي إلى نتيجة مختلفة

$$m = \sqrt{l(l+1)} \cos \theta \Leftrightarrow \text{الشعاعين } \vec{P}_2 \text{ و } \vec{P}_{-2} \text{ غير متعاكسان طرد يا}$$

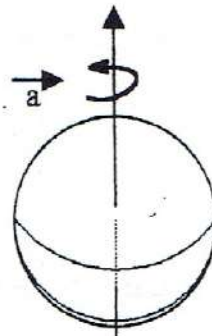


$$|\vec{P}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar / 2\pi \quad \text{إسقاط} \quad P_{ZZ'} = m \cdot \hbar / 2\pi$$

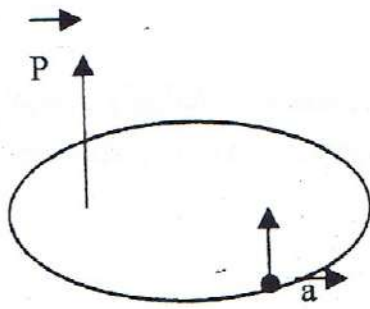
• العدد الكمي لللف الذاتي "s"

قادت عدة وقائع تجريبية إلى منح للإلكترون عزم حركي ذاتي لللف $\vec{a}$ يسمى العزم الحركي الذاتي (يدور الإلكترون حول محوره الذاتي مثل الكرة الأرضية حول المحور شمال / جنوب).

$$|\vec{a}| = \sqrt{3/2} \times \hbar / 2\pi$$

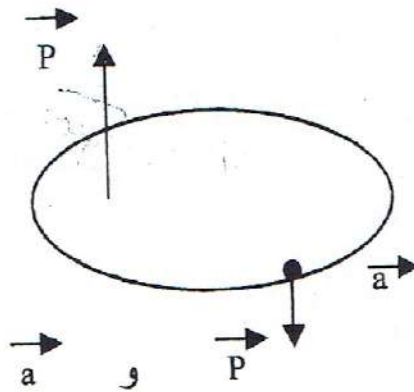


$\vec{a}$ مستقل عن حركة الإلكترون حول النواة و هو مقدار مميز للإلكترون يجب توضيح اتجاه $\vec{a}$ بالنسبة لـ $\vec{P}$



في نفس اتجاه $s = +1/2$

في اتجاه معاكس $s = -1/2$



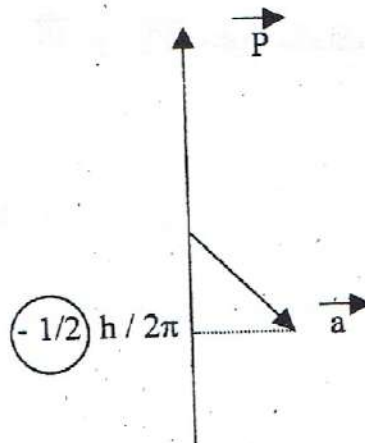
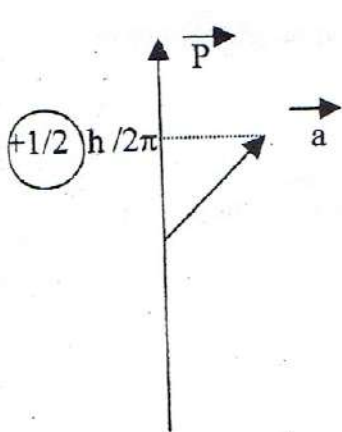
و $\vec{P}$ و $\vec{a}$

يميز الرباعي (n, l, m, s) الإلكترون

ملاحظة :

منبع القيم : $+1/2$ و $-1/2$

تضبط الميكانيك الموجي اتجاه $\vec{a}$ بالنسبة لـ $\vec{P}$



ملخص :

n - يميز طبقة إلكترونية $n \in \mathbb{N}^*$

من أجل n معطاة يكون لدينا n قيمة لـ " l "

n ثابت $0 \leq l \leq n-1 \Leftrightarrow l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$

- يميز الزوج (n, l) طبقة إلكترونية تحتية.

" l " ثابت $(2l+1)$ مسارا $(2l+1) \Leftrightarrow$ قيمة لـ m

$-l \leq m \leq +l$

- يميز الثلاثي (n, l, m) خانة (حجيرة) إلكترونية

- يميز الرباعي (n, l, m, s) الإلكترون

من أجل طبقة إلكترونية برتبة n يكون لدينا : مسارا $\sum_{l=0}^{l=n-1} (2l+1) = n^2$

الخلاصة :

كانت فرضية الإلكترون الذي يدور حول النواة على مسار معين (مثل القمر حول الأرض) سهلة الاستيعاب. فسرت هذه النظرية بعض الوقائع التجريبية (تضاعف الخطوط الطيفية، مفعول زيمان Zeeman....) لكنها لا تعطي أي تفسير دقيق بالنسبة لأطياف الذرات المتعددة الإلكترونات أو بالنسبة للرابطة الكيميائية ، إنن فهي غير كاملة حيث تركت مكانها (1920) لنظرية جديدة مرتكزة على مفاهيم جديدة. تعتمد النظرية الحديثة على أفكار جديدة حول الخواص الموجية للمادة إلا أن تبقى نظرية بوهر - سومرفلد مطبقة فقط على ذرة الهيدروجين وأشباهه: الهيدروجينيات (أيونات تملك إلكترون واحد و ذات العدد الذري $Z \geq 2$).

تمارين

التمرين 1.IV :

يتميز الليثيوم *Lithium* بتواتر العتبة يقدر بـ $5,76 \cdot 10^{14}$ cycles/s. أحسب سرعة الإلكترونات الملفوطة من سطح قطعة معدنية الواقع تحت الفراغ والموضح بواسطة إشعاع أحادي التواتر طول موجته $\lambda = 3600 \text{ \AA}$.

التمرين 2.IV :

- مستعينا بفرضية بوهر *Bohr* للأنظمة ذات الإلكترون الواحد .
- 1- أعط عبارات نصف القطر ، السرعة و طاقة الإلكترون في مدار رتبته n .
 - 2- أحسب r_n ، v_n و E_n للمدار الأول لبوهر *Bohr* ثم للحالات المثارة الموافقة لـ $n = 2, 3, 4$ و $n = \infty$ بدلالة r_1 ، v_1 و E_1 .
 - 3- مثل مجموعة قيم المستويات الطاقوية على نفس المخطط.
 - 4- مثل على نفس المخطط الطاقوي : الخطين الأوليين للامتصاص لسلسلة ليمان *Lyman* و الخطين الأوليين لانبعاث لسلسلة بالمر *Balmer* .

التمرين 3.IV :

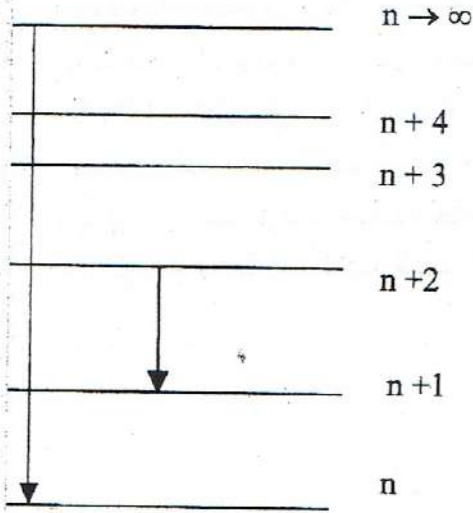
باستعمال عبارات نصف القطر و الطاقة لبوهر *Bohr* ، أوجد العلاقة $\sqrt{v} = a.Z$ حيث v هو التواتر و Z العدد الذري.

التمرين 4.IV :

أعط عبارة ثابت ريدبارغ *Rydberg* R_H لذرة الهيدروجين مستعينا بنظرية بوهر *Bohr* . ما هي وحدة (بعد) R_H .

التمرين 5. IV :

I- لنعتبر ، في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين ، الانتقاليين الممثلين على المخطط التالي :
يساوي طول الموجة λ_1 للخط الحدي 820,8 nm .



1- حدد قيم n

2- أحسب λ_2

II- ليعتبر عنصر البور (Bore $Z = 5$) ، أكتب المعادلات

$n + 4$

$n + 3$

$n + 2$

$n + 1$

n

التي تؤدي إلى الهيدروجينويد الموافق .

تعطى للأيون في حالته الأساسية طاقة تساوي 302,24 eV و

نفرض أن الإلكترون يمتص كل الطاقة ، أي مستوى

طاقوي سوف يشغله الإلكترون ؟

ما هي الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون من جاذبية النواة ؟

المعطيات : $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ، $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

التمرين 6. IV :

يعطى امتداد سلسلة طيفية بالعلاقة التالية : $\Delta\lambda = [\lambda_1 - \lambda_2]$

λ_1 و λ_2 هما على التوالي طول الموجة الخط الأول والخط النهائي للسلسلة .

1- أعط امتداد الخطوط السلاسل الثلاثة الأولى لهيدروجينويد الليثيوم Lithium

($Z = 3$) ثم قارنها مع سلاسل ذرة الهيدروجين . إلى أي مجال من الطيف

الكهرومغناطيسي تنتمي كل سلسلة ؟

2- إلى أي سلسلة تنتمي الخطوط التالية : $\lambda_A = 114 \text{ Å}$ ، $\lambda_B = 1420 \text{ Å}$ ، $\lambda_C = 2080 \text{ Å}$

عرف الانتقال الموافق لكل خط من هذه الخطوط .

التمرين 7. IV :

لنعتبر الطبقة الإلكترونية $N (n = 4)$.

1- أحسب أنصاف أطوال المحاور الكبيرة والصغيرة للمدارات الإلكترونية الممكنة .

2- عرف الطبقات التحتية الموافقة .

3- مثل التوجهات الممكنة لـ P عندما $l = 1$ و عندما $l = 2$.

4- ما هي الطاقة الكلية للإلكترون عندما يتواجد على إحدى مدارات الطبقة N .

5- ما هو القطع الناقص الأكثر تسطحاً . أذكر الأعداد الكمية المميزة للإلكترون

الذي يشغل هذا المدار .

الباب الخامس : مدخل إلى الميكانيك الموجي

قدمت نظرية بوهر- سومرفلد Bohr-Sommerfeld النموذج الأول الذي سمح بالوصول إلى نتائج كمية مرضية و تفسير بعض النتائج التجريبية (طيف ذرة الهيدروجين ، مفعول زييمان Zeeman...) إلا أن هذه النتائج محدودة .
و نتيجة قصور هذه النظرية، فتركت مكانها لنظرية جديدة التي تعتمد على مفاهيم جديدة للخواص الموجية للمادة .
أن حركة الإلكترونات لا يمكن تحديدها بمدارات معينة و لكنها حركات معقدة يمكن توضيحها بالجمع بين الخواص الموجية للإلكترون و حساب احتمالات تواجده في هذه المدارات.

I. الطبيعة الموجية للمادة

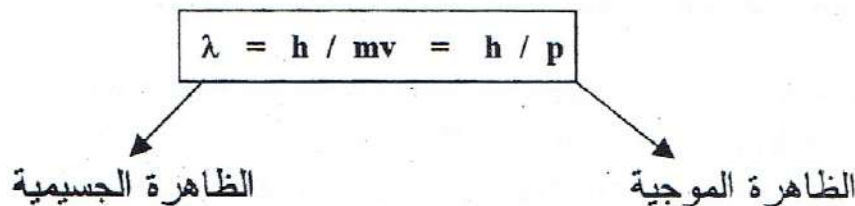
تنقسم الظواهر الفيزيائية إلى قسمين متميزان .
القسم الأول و الذي يشمل جميع الأحداث التي تخضع لقوانين الميكانيك النيوتوني (الكلاسيكي) الذي يصف حركة الدقائق المادية .
القسم الثاني يخص جميع الظواهر التي تظهر فيها خواص الأمواج .
يمكن اعتبار الضوء ك :

- انتقال موجة كهرومغناطيسية في الفضاء بسرعة ثابتة c وتواترها ν حيث $\nu = c / \lambda$
- أو انتقال فوتونات (حزمة من الأمواج) طاقتها: $E = \mu \cdot c^2$ (انشطارين . Einstein)
 $E = h \cdot \nu$ (بلانك . Planck)
أين μ هي كتلة الفوتون ، h ثابت بلانك و c : سرعة الضوء

II. الازدواجية موجة - جسيم

استنتج لويس نوبري Louis De Broglie في عام 1924 فرضية مفادها الجمع بين المفهومين (الموجي و الجسيمي للمادة) كما يلي : " يحمل خواص الموجة كل دقيقة مادية عنصرية و كل جسيم مادي " والتي أدت إلى نشوء الميكانيك الموجي :
$$E = \mu c^2 = h\nu = hc / \lambda \Rightarrow \lambda = h / \mu c$$

عممت هذه الفرضية إلى كل دقيقة متحركة " يصاحب كل دقيقة كتلتها m و متحركة بسرعة ν يقال لها الموجة المصاحبة (المرافقة) للحركة " أو موجة نوبري



λ : الموجة المرافقة لدقيقة متحركة أو موجة نوبيري

p : كمية الحركة ، تقيس القصور الذاتي لدقيقة متحركة أي ميلها للبقاء في حالة حركة.

تسمح هذه الفرضية بإثبات شرط تكميم مسلمة بوهر $Bohr$ و لكي لا تتلاشى الموجة المرافقة بواسطة التداخل، يجب أن يكون هذا المسار (الدائري) مضاعفا من مضاعفات λ

$$m.v.r = n.h / 2\pi \quad \text{و} \quad 2\pi.r = n.\lambda \Rightarrow \lambda = h / m.v$$

عند الحالة الأساسية تكون سرعة الإلكترون لدى ذرة الهيدروجين :

$$v = 2,18 \cdot 10^6 \text{ m/s} , \quad \lambda = h / m.v = 3,3 \text{ \AA}$$

الجسيمات والأمواج ليست ظواهر متناقضة بل متكاملة، كل واحدة منهما تركز على الخاصية المميزة لكل ظاهرة فيزيائية.

• يسود المظهر الجسيمي عندما يتعلق الأمر بوصف الأشياء الكبيرة نسبيا (السلم المرئي - الماكروسكوبي).

مثال : طول الموجة المرافقة لصاروخ كتلته 4000 kg و سرعته $v = 100 \text{ km/h}$
 $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-42} \text{ m}$ (λ مهملة بالنسبة للأبعاد المستعملة)

• المظهر الموجي يكون سائدا عندما يتعلق الأمر بوصف الأشياء الصغيرة جدا التي تغلت من مجال أدركنا المباشر.

مثال : طول الموجة المرافقة للإلكترون كتلته $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ و سرعته $v = 5,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
 $\lambda = 1,233 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ (في سلم الذرة)

يشكل النموذجين الموجي و الجسيمي للإلكترون فرضيتين متكاملتين لكنها غير منسجمة.

III. مبدأ الشك لهيزنبرغ : Heisenberg

إذا استعملنا في نفس الوقت النموذجين لوصف حركة الإلكترون، ينتج عن عدم تحديد الذي يجد تعبيره في مبدأ الشك لهيزنبرغ " لا يمكن تعيين وضع الإلكترون و كمية حركته و التي هي ضرورية لمعرفة مسار الإلكترون وهذا في نفس الوقت بأكثر دقة، كما هو معطى بالعلاقة :

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq h$$

Δx : الارتياح على الوضع حسب المحور x

Δp_x : الارتياح على كمية الحركة حسب المحور x

• دقيقة متقلبة في الفضاء (حسب Ox, Oy, Oz)

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq h \quad \Delta p_y \cdot \Delta y \geq h \quad \Delta p_z \cdot \Delta z \geq h.$$

حسب المحور Ox

$$\Delta p_x \cdot \Delta x = h , \quad \Delta p = \Delta(mv) = m\Delta v + v\Delta m = m\Delta v \quad (\Delta m = 0)$$

$$\Delta v \cdot \Delta x = h / m \Rightarrow \Delta v \Delta x \nearrow m \searrow \quad (h = \text{ثابت})$$

يكون الجد أ $\Delta v \cdot \Delta x$ أقصى عند m أدنى يعني $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$$\Delta v \cdot \Delta x = h / m = 6,62 \cdot 10^{-34} / 9,1 \cdot 10^{-31} = 7,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}.$$

مثال: نفرض أنه قد تم تحديد نصف قطر ذرة بوهمر بدقة قدرها 1% ($r = 0,53.10^{-10} \text{ m}$) ونريد حساب الارتياح على سرعة الإلكترون المقدر بـ 10^6 m/s

$$\Delta r / r = 0,01 \Rightarrow \Delta r = 0,01 \times 0,53.10^{-10} = 5,3.10^{-13} \text{ m}.$$

أكبر من سرعة الضوء $\Delta v = (h/m) / \Delta r = 7,28.10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / 5,3.10^{-13} \text{ m} = 1,38.10^9 \text{ m/s} !!!$
 $\Delta v > v$ أكبر من السرعة التي يمكن أن يأخذها الإلكترون يعني غير مؤكدة لكي نستطيع أن نعين مساراً للإلكترون .

تمكن الميكانيك الموجي من تحديد احتمال وجود الإلكترون بين نقطتين A و B من الفضاء لكن لا يبين كيف ينتقل هذا الأخير بين هته النقطتين. لبد أن يترك مفهوم المسار الإلكتروني ويستبدل بمفهوم الحيز من الفضاء حيث يكون وجود الإلكترون أكثر احتمالاً . و نحصل على هذه الصورة انطلاقاً من دالة احتمال - سعة أو دالة الموجة Ψ و التي تسمى أيضاً بـ " المحط الذري أو الأربطال الذري " O.A

IV. المعادلة الأساسية للميكانيك الموجي (معادلة شرودنغر Schrödinger)

عممت النظرية الموجية من طرف شرودنغر Schrödinger مبينا أنها لا تطبق على الدقائق الحرة فحسب بل أيضاً على الدقائق المرتبطة " المقيدة " .
يجب أن تحقق الدالة Ψ المعادلة الأساسية للميكانيك الموجي أو معادلة شرودنغر

$$\Delta \Psi (x,y,z) + (8\pi^2 m / h^2)(E - V) \Psi = 0$$

تلعب هذه المعادلة في الميكانيك الموجي نفس الدور الذي تلعبه المعادلة $F = m\vec{a}$ في الميكانيك الكلاسيكي.

- معادلة مستقلة عن الزمن t
- E : الطاقة الكلية للجملّة نواة-إلكترون
- $V(x,y,z)$: دالة الطاقة الكامنة. تميز كل مسألة في الميكانيك الموجي. مهما كانت الدالة $V(x,y,z)$ فالمعادلة لا تقبل حلاً إلا من أجل القيم للطاقة E حيث $E = -AZ^2 / n^2$ التي تكون حلول للمعادلة.

- قيم E هي القيم الذاتية للطاقة E
- Ψ هي الدالة الذاتية للمعامل (معامل لابلاس Laplace)
- الصيغة الأخرى للمعادلة $\Psi = E. \Psi$ أين $[H]$ هو معامل هاميلتون $Hamilton$
- احتمال وجود الإلكترون في حجم $d\tau$ حول النقطة $M(x,y,z)$

$$dP = |\Psi^2 (x,y,z)| d\tau$$

- Ψ ليس لها أي معنى فيزيائي بل هي دالة قد تكون موجبة، سالبة أو منعدمة لكن $\Psi^2 = \Psi \cdot \Psi^*$ التي قد تكون موجبة أو منعدمة لها معنًى فيزيائياً (Ψ^* الدالة المرافقة لـ Ψ)

• $dP = |\Psi^2(x,y,z)|.dxdydz$ تدل على احتمال وجود الإلكترون، عند اللحظة t ، في الحجم $d\tau$.

• وجود الإلكترون في الفضاء ألا متناهي مؤكدا حيث $\int |\Psi|^2 d\tau = 1$

• $\int dP = P = 1$.

سمحت دراسة ذرة الهيدروجين في الميكانيك الموجي بالوصول إلى النتائج التالية :

- الطاقة الكلية $E_n = -AZ^2/n^2$ مع $A = m_e e^4 / 8\epsilon_0^2 h^2$ ، n هو العدد الكمي الرئيسي
- تتعلق الدالة Ψ بالأعداد الكمية l ، m و s (نظرية بوهر - سومرفلد)
- $\Psi_{n,l,m}(x,y,z) : O.A$ هي الدالة الموجية أو المحط الذري (الأوربital)
- من أجل E_n معطاة يكون لدينا n^2 محطا $(n^2 O.A)$ (الحالة الطاقوية منطبقة n^2 مرة)
- (نظرية بوهر - سومرفلد : من أجل E_n معطاة يكون لدينا $(2l+1)$ مسارًا يعني n^2 مسارًا)

نحصل على نتائج مماثلة لنظرية بوهر - سومرفلد Bohr - Sommerfeld :

(أ) العدد الكمي الرئيسي " n "

- يحدد قيم الطاقة $E_n = -AZ^2/n^2$
- يعين المسافة المتوسطة نواة - إلكترون
- يميز طبقة إلكترونية.

(ب) العدد الكمي الثانوي " l "

- من أجل n معطاة لدينا n قيم لـ l
- $l=0$ لدينا تناظر كروي
- $l=1$ لدينا تناظر محوري
- من أجل l ثابت ، الزوج (n,l) يميز طبقة تحتية

(ج) العدد الكمي المغناطيسي " m "

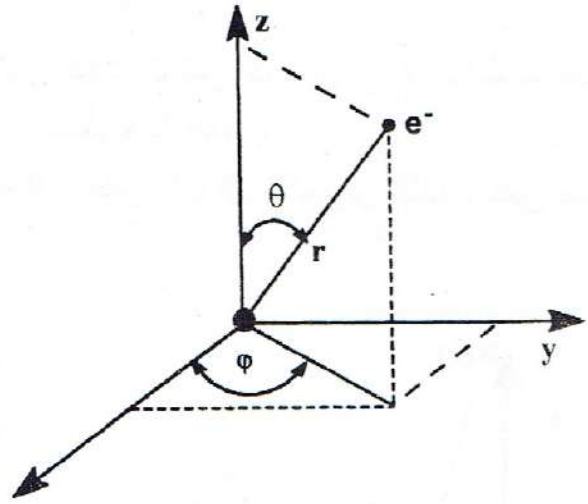
- من أجل l معطاة لدينا $(2l+1)$ قيم لـ m
- m يعين إتجاه محاور التناظر السحب الإلكترونية
- الثلاثي (n,l,m) يميز محط إلكتروني $O.A$

(د) العدد الكمي لللف الذاتي " s "

- يمكنه أن يأخذ قيمتين فقط $s = +1/2$ أو $s = -1/2$
- الرباعي (n,l,m,s) يميز إلكترونًا.

• تمثل الدالة $\Psi_{n,l,m}(x,y,z)$ محط ذري . حل معادلة شرودنغر من أجل حالة طاقوية معينة $(s, p, d, ..)$ تفرض علينا الانتقال من الإحداثيات الديكارتية إلى الإحداثيات الكروية.

$$\begin{aligned}
x &= r \sin \theta \cos \varphi & 0 \leq \theta \leq \pi \\
y &= r \sin \theta \sin \varphi & 0 \leq \varphi \leq 2\pi \\
z &= r \cos \theta & 0 \leq r \leq \infty \\
dV &= r^2 \sin \theta \, dr \, d\theta \, d\varphi
\end{aligned}$$



الإحداثيات الكروية

- في أغلب الأحيان تكون المعادلة لمحط ما (O.A) على الشكل التالي:

$$\Psi_{n,l,m}(r, \theta, \varphi) = R_{n,l}(r) \cdot \theta_{l,m}(\theta) \cdot \Phi_m(\varphi)$$
- تمثل السحابة الإلكترونية بسطوح المعادلة $\Psi_{n,l,m}(x,y,z) = C$ حيث C ثابت اختياري
- من أجل دالة $\Psi_{n,l,m}(r, \theta, \varphi)$ معطاة يكون لدينا عدد الحلول مساو للقيم التي يأخذها الثابت C يعني عددا لا متناهيا.
- سطوح المعادلات $\Psi_{n,l,m}(x,y,z) = C$ هم سطوح مغلقة ذات نفس الكثافة الإلكترونية. تحدد هذه السطوح مجالات من الفضاء تدعى بمجالات وجود الإلكترون (من أجل قيمة واحدة لـ C) ومجموع قيم C المسموحة لـ $\Psi_{n,l,m}^2$ تمثل سحابة إلكترونية.
- عند $C = 0 \Leftrightarrow \Psi_{n,l,m}^2 = 0$ تدعى هذه السطوح بالسطوح العقدية و تمثل مجالات من الفضاء يعدم فيه وجود الإلكترون (P=0).

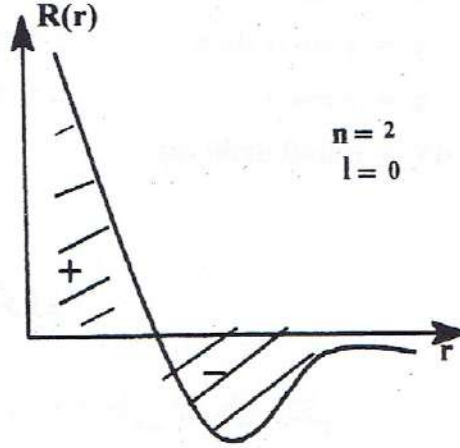
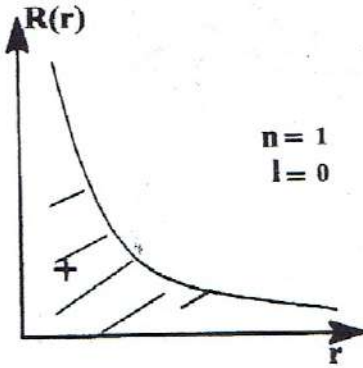
* الدالة الموجية $\Psi_{n,l,m}$ المرافقة للحالة ns (l=0, m=0)

تكون على شكل :

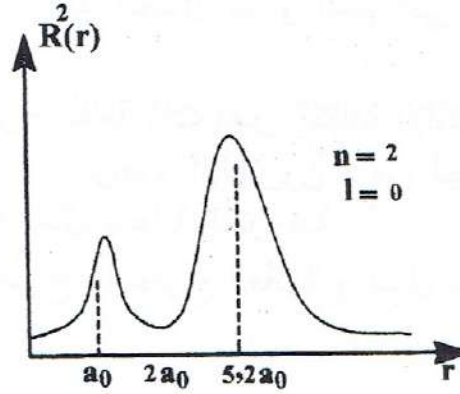
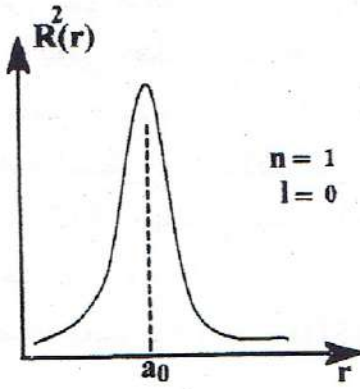
$$\Psi_{n,0,0}(r, \theta, \varphi) = R_{n,0}(r) \cdot \theta_{0,0}(\theta) \cdot \Phi_0(\varphi)$$

- يلاحظ من خلال دراسة الدالة Ψ_{ns} طابعها الاهتزازي مع قيم موجبة، سالبة أو منعدمة.
- تمثل السحابة الإلكترونية المرافقة للحالة ns بالسطوح $\Psi_{ns}^2 = C$. هي سطوح كروية موجبة، سالبة أو منعدمة (هذا الاستقطاب سيلعب دورا هاما في دراسة الرابطة الكيميائية). مجموع القيم المسموحة تمثل كرة متركزة بالنواة.
- عند $\Psi_{ns}^2 = 0$ تدعى بالسطوح أو المناطق العقدية. لنعتبر محط ns يكون لدينا (n-1) عقدة (سطح عقدي).

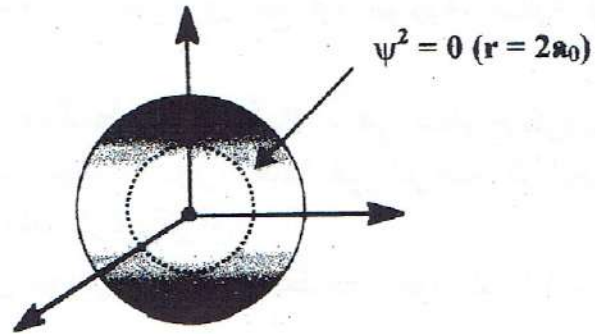
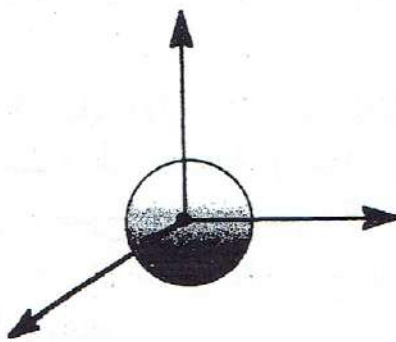
- السحابة الإلكترونية المرافقة للحالة ns تكون ذات تناظر كروي و لا تختلف هذه المحطات عن بعضها إلا بحجمها (r) و عدد سطوحها العقدية.
- دراسة الدالة Ψ ترجع إلى دراسة الدالة $R(r)$. تعتبر الدوال الأخرى كثابت غير منعدم.



هيئة الدالة الموجية الشعاعية $R(r)$



هيئة الكثافة الشعاعية الاحتمالية $R^2(r)$



التمثيل البياني للمحطات ψ_{2s}^2 و ψ_{1s}^2

* الدالة الموجية $\Psi_{n,l,m}$ المرافقة للحالة np ($l=1, m=1, 0, -1$)

تكون على شكل :

$$\Psi_{n,l,m}(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \cdot \theta_{l,m}(\theta) \cdot \Phi_m(\phi)$$

• الدوال $\theta_{l,m}(\theta)$ و $\Phi_m(\phi)$ مستقلة عن المسافة r وتعطي خواص الاتجاه للدالة

Ψ ، تجمع الدالتان في الدالة $S(\theta, \phi)$ تدعى بدالة الزوايا $S_{l,m}(\theta, \phi) = \theta_{l,m}(\theta) \cdot \Phi_m(\phi)$

• تتميز المحطات الذرية عن بعضها بـ l لشكلها و بـ m لاتجاهاتها (O.A p) . لدينا ثلاثة قيم لـ m ($m=1, m=0, m=-1$) تكون إذن الحالة np ممثلة بدالات ثلاثة :

$$\Psi_{n,l,1}(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \cdot S_{l,1}(\theta, \phi)$$

$$\Psi_{n,l,0}(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \cdot S_{l,0}(\theta, \phi)$$

$$\Psi_{n,l,-1}(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \cdot S_{l,-1}(\theta, \phi)$$

الجزء الشعاعي مشترك بين المعادلات الثلاثة ($R_{n,l}(r)$) و سيعتبر كثابت غير منعدم (نفس الاحتمال وجود الإلكترون على نفس المسافة في كل الاتجاهات) .

• تمثل هذه المحطات بنفس الأشكال الهندسية (نفس العدد الذري الثانوي $l=1$) لكن حسب اتجاهات مختلفة .

• يلاحظ نفس الطابع الاهتزازي للمحطات np (تكون Ψ موجبة ، سالبة أو منعدمة) .

• يعطي احتمال وجود الإلكترون في اتجاه θ و ϕ بـ $S^2(\theta, \phi)$ ، خاصية الاتجاه تكون مماثلة لكل قيم التي تأخذها C .

• مجموع السطوح التي تمثل بالمعادلة $\Psi_{n,l,m}^2(r, \theta, \phi) = C$ تشكل كرتان (فلقتان) متماستان عند النقطة O (النواة) و مراكزها متواجدة على محور التناظر .

• تملك المدارات p مستوي عقدي (مستوي أين $P=0$) عمودي لمحور التناظر و المار بالنواة (3 محطات $p \Leftarrow 3$ مستويات عقدية) .

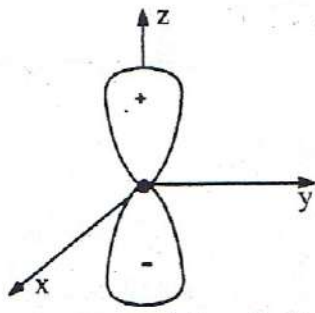
تتكون السحابة الإلكترونية المرافقة للحالة np (O.A p) من فلقتين متماستين للنواة ومركزها متواجدة على محور التناظر . يملك المحط الذري p مستوي عقدي عمودي على محور التناظر و الذي يحوي النواة . محاور التناظر الثلاثة متعامدة متنى متنى .

ملاحظة : الإشارات + و - الممثلة في الرسومات البيانية للسحابة الإلكترونية المرافقة للحالة np تذكر بأن الدالة الموجية Ψ التي تصف هذه الحالة لها طابع اهتزازي .

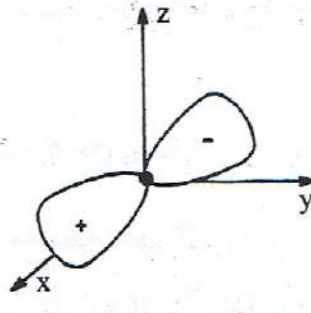
مثال : المحط الذري $2p_z$

تكون الدالة Ψ موجبة من أجل القيم الموجبة لـ z و سالبة من أجل القيم السالبة لـ z يعني موجبة عندما $0 \leq \theta \leq \pi/2$ و سالبة عندما $\pi/2 \leq \theta \leq \pi$ (استبدال الإشارة عند المرور بالنواة) . تدعى هذه الخاصية بالخاصية التناظرية العكسية .

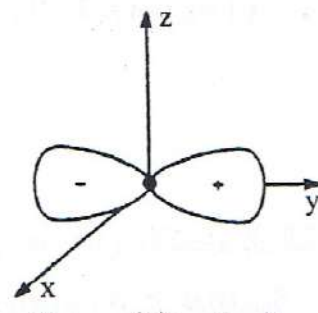
بناءً على هذا التعريف ستمتع المحطات ns بخاصية تناظرية . تلعب الخواص التناظرية للمحطات p دوراً هاماً في طبيعة الروابط بين الذرات .



المستوي العقدي xOz

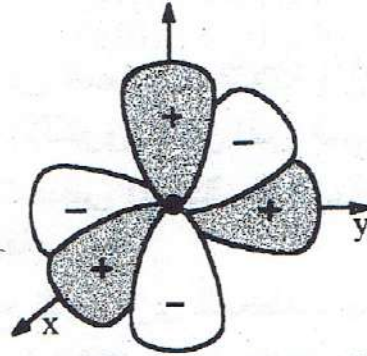


المستوي العقدي yOz



المستوي العقدي xOy

التمثيل البياني للمحطات الذرية np_x , np_y و np_z



التمثيل البياني للمحطات np

جدول المقارنة بين نظرية بوهر-سومرفلد Bohr - Sommerfeld و الميكانيك الموجي

الطبقة	الطبقة التحتية	بوهر-سومرفلد	الميكانيك الموجي	الطاقة (eV)
$n = 1$ K	$n = 1 ; l = 0$ 1s	1 مسار دائري $e = 1$	1 OA Ψ_{1s}	$E_1 = -13.6$
$n = 2$ L	$n = 2 ; l = 0$ 2s	1 قطع ناقص $e = 1/2$	1 OA Ψ_{2s}	$E_2 = -13.6 / 4$ حالة 4 مرات منطبقة
	$n = 2 ; l = 1$ 2p	3 مسارات دائرية $e = 1$	3 OA Ψ_{2p}	
$n = 3$ M	$n = 3 ; l = 0$ 3s	1 قطع ناقص $e = 1/3$	1 OA Ψ_{3s}	$E_3 = -13.6 / 9$ حالة 9 مرات منطبقة
	$n = 3 ; l = 1$ 3p	3 قطع ناقص $e = 2/3$	3 OA Ψ_{3p}	
	$n = 3 ; l = 2$ 3d	5 مسارات دائرية $e = 1$	5 OA Ψ_{3d}	
$n = 4$ N	$n = 4 ; l = 0$ 4s	1 قطع ناقص $e = 2/3$	1 OA Ψ_{4s}	$E_4 = -13.6 / 16$ حالة 16 مرات منطبقة
	$n = 4 ; l = 1$ 4p	3 قطع ناقص $e = 1/2$	3 OA Ψ_{4p}	
	$n = 4 ; l = 2$ 4d	5 قطع ناقص $e = 3/4$	5 OA Ψ_{4d}	
	$n = 4 ; l = 3$ 4f	7 مسارات دائرية $e = 1$	7 OA Ψ_{4f}	

التمارين

التمرين 1.V :

أحسب طول الموجة المرافق لـ:

- (أ) صاروخ كتلته 4 أطنان ويتحرك بسرعة قدرها 100 km/s .
- (ب) رصاصة بندقية كتلتها 2 g و تتحرك بسرعة قدرها 300 m/s .
- (ج) بروتون مسرع بفرق جهد يساوي 150 volts .
- (د) إلكترون مسرع بفرق جهد يساوي 600 volts .

ماذا نستخلص من هذا النتائج ؟

المعطيات : $h = 6,62.10^{-34}$ J.s ; $m_p = 1,67.10^{-27}$ kg ; $m_e = 9,1.10^{-31}$ kg

التمرين 2.V :

حدد الارتياب المطلق والنسبي الدنيا لما يلي:

- سرعة رصاصة كتلتها 10 g وتتحرك بسرعة 1600 m/s إذا عرف موقعها بـ 1 cm بالتقريب.
 - نبض إلكترون مسرع بفرق جهد يساوي 1200 volts إذا كان موقعه محدد بـ 1Å.
- علل النتائج.

التمرين 3.V :

من بين المحطات التالية ، عين الصحيحة منها وعرفها.

$$\psi_{1,0,0} ; \psi_{2,1,0} ; \psi_{1,1,0} ; \psi_{2,2,2} ; \psi_{3,1,2}$$

$$\psi_{4,1,1} ; \psi_{4,3,-2} ; \psi_{2,0,1} ; \psi_{3,1,0} ; \psi_{5,2,0}$$

مثل المحط الذري (O.A) $\psi_{1,0,0}$.

إلى أي طبقة تحتية ينتمي المحط الذري $\psi_{2,1,0}$. ما هي المحطات الأخرى التي تنتمي إلى نفس الطبقة التحتية و مثلها على نفس المخطط.

الباب السادس : الذرات المتعددة الإلكترونات

I. تعريف :

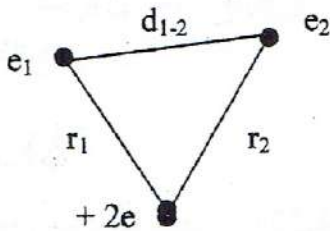
سمحت لنا دراسة ذرة الهيدروجين في الميكانيك الموجي بتعيين وضعية الإلكترون حول النواة و ذلك بتعيين احتمال وجوده في حيز من الفضاء في حالة مكتمة جد مؤكدة. تتميز هذه الوضعية بالأعداد الكمية n ، l و m .

$$OA \Psi(n,l,m) \rightarrow \Psi^2_{n,l,m} = dP / dv$$

في الحالة العامة حيث تتكون الذرة من نواة يدور حولها إلكترونان أو أكثر (ذرات متعددة الإلكترونات) لابد من إدخال بعض المتغيرات .

• زيادة عدد المتغيرات

مثال : ذرة الهليوم *Hélium*



$$V = V_1 + V_2 + V_{1-2}$$

$$V = -2 Ke^2 / r_1 - 2 Ke^2 / r_2 + Ke^2 / d_{1-2}$$

- تتعلق كل دالة Ψ التي هي حل للمعادلة الكمية بعوامل الوضع : في حالة ذرة الهليوم لدينا ستة (6) محولين $(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2)$
- الدالة الموجية المناسبة للإلكترون الواحد لابد أن تأخذ بعين الاعتبار وجود الإلكترونات الأخرى .

$$E_T = E(1) + E(2) \quad e^-(1) \rightarrow \Psi_1 \rightarrow E_1$$

$$\Psi = \Psi_{(1)} \cdot \Psi_{(2)} \quad e^-(2) \rightarrow \Psi_2 \rightarrow E_2$$

- طاقة محط ذري ما لذرة متعددة الإلكترونات تكون دائما أقل (أصغر) من نفس المحط الذري لذرة الهيدروجين مع تناقص حجمه.

$$E_T = -AZ_{eff}^2 / n^2 \quad , \quad Z > 1 \quad , \quad E_T = -AZ^2 / n^2$$

$$Z_{eff} = Z - \sigma \quad \sigma : \text{ثابت الشاشة}$$

عندما Z يكبر تتزايد قوى الجذب و حجم الذرة يتناقص.

- يوظف العدد الكمي " n " لتعيين طاقة المحط الذري في ذرة الهيدروجين و في كل الذرات الأخرى (ذرات متعددة الإلكترونات) فإن العدد الكمي الثانوي " l " يؤثر على طاقة المحط الذري .

- بينما نحتفظ على نتيجة أساسية و مشتركة بين كل الذرات الأخرى و هي:
- انحفاظ التناظر يكون دائما (تناظر كروي للمحطات الذرية s و تناظر محوري للمحطات الذرية p ).
 - خصية الاتجاه للمحطات الذرية " p " تكون محفظة (محاور التناظر متعامدة متنى متنى ، وجود مستويات عقدية).

نحصل على كل العناصر الكيميائية بإضافة الإلكترونات الواحد بعد الآخر في المخطط العام للمحطات الذرية (مع إدخال في آن واحد بروتونات و نيوترونات في النواة) علما بأن ذرات العناصر تكون متعادلة، عند الانتقال من العنصر Z إلى العنصر $Z+1$ يتزايد العدد الكلي للإلكترونات بوحدة (لا نعتني بالنواة).

تتعلق وضعية الإلكترون في محط ما بالأعداد الكمية l, n و s لطاقته و بـ " m " لإتجاهه، الشيء الذي يفرض علينا طرح مسلمة أساسية و هي مبدأ الاستبعاد "باولي".

II. مبدأ الاستبعاد "باولي" :

" لا يمكن لإلكترونين في ذرة أن يكون لها نفس الأعداد الكمية " فإذا كان لهما نفس (n, l و m) فلا بد أن تختلفا في " s ".

الإلكترونات عازبة و إلكترونات زوجية

إن الأعداد الكمية الأربعة n, l, m و s التي تميز الإلكترون في محط ذري ما معرّفا بـ n, l و m و يحدد العدد الأعظم للإلكترونات التي يمكن أن تشغل محط ذري بواسطة القيم التي يمكن لـ " s " أن يأخذها يعني اثنان $s = +1/2$ و $s = -1/2$ إذن " المحط الذري لا يمكن أن يشغله أكثر من إلكترونين ".

الإلكترونات التي لها نفس الأعداد الكمية الثلاثة (n, l و m) تنتمي إلى نفس الحجرة الكمية (المحط أو O.A).



نمثل خانة كمية (حجرة كوانتية) بـ

الإلكترونات أعداد لفهما الذاتية متعاكسة. 

حجرة مملوءة أو مشبعة : إلكترونين

إلكترون واحد : إلكترون عازب أو مفرد 

حجرة غير مشبعة : إلكترون واحد

- يمثل الزوج (n, l) طبقة إلكترونية تحتية. لنعين العدد الأعظم للإلكترونات التي تحتويه هذه الطبقة التحتية.

من أجل "n" ثابت و "l" معطاة يكون لدينا (2l + 1) قيمة لـ "m" الممثلة بـ (2l + 1) حجيـرة كميـة (كوانتية) أو محط ذري "O.A" يعني $e^{-} (2l + 1) 2$.

1 = 0	1 O A s	2(0 + 1) = 2	's' (خانة 1)
1 = 1	3 O A p	2(2 + 1) = 6	'p' (خانات 3)
1 = 2	5 O A d	2(4 + 1) = 10	'd' (خانات 5)
1 = 3	7 O A f	2(6 + 1) = 14	'f' (خانات 7)

• العدد الكمي "n" يكفي لتمثيل طبقة إلكترونية. لنعين العدد الأعظم للإلكترونات التي تحتويه هذه الطبقة.

من أجل "n" معطاة يكون لدينا $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$ يعني "n" قيم للعدد الثانوي "l" من أجل "l" معطاة يكون لدينا (2l + 1) حانة أو حجيـرة كوانتية يعني $e^{-} (2l + 1) 2$.

1 = 0	2(0 + 1) = 2.1	إلكترونات
1 = 1	2(2 + 1) = 2.3	إلكترونات
1 = 2	2(4 + 1) = 2.5	إلكترونات
1 = 3	2(6 + 1) = 2.7	إلكترونات

$$\dots \dots \dots$$

$$l = n+1 \quad 2[2(n-1)+1] = 2(2n-1)$$

(قاعدة /ستونر Stooner) $2n^2 e^{-} = 2 [(1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n-1))] = 2n^2$ المجموع

"طبقة برتبة "n" تحوى بالاقصى " $2n^2$ " إلكترونات " (قاعدة /ستونر Stooner).

تكون العناصر مصنفة حسب تزايد العدد الذري. ننقل من العنصر Z إلى العنصر Z+1 بإضافة إلكترون واحد في محط (مدار) فارغ أو غير مشبع و يتم ذلك حسب قوانين .

III - قوانين ملأ المحطات :

يعتمد ملأ المحطات بالإلكترونات على عدة نتائج تجريبية و خصوصا على :

• دراسة أطيف الامتصاص و الانتشار للذرات.

• تحليل عدم استمرارية هذه الأطيف بواسطة الأشعة السينية (RX).

سمحت هذه النتائج التجريبية وتجارب أخرى بتعيين المستويات الطاقوية للذرات (حساب طاقات التآين ، جهد الإثارة.....) وتم استخلاص ما يلي :

(أ) من أجل نفس الحالة "s" ، "p" ، "d" أو "f" (نفس القيمة لعدد الثانوي "l") تتزايد طاقة الإلكترون مع "n".

$$E_{1s} < E_{2s} < E_{3s} < E_{4s} \dots\dots$$

$$E_{2p} < E_{3p} < E_{4p} < E_{5p} \dots\dots$$

$$E_{3d} < E_{4d} < E_{5d} \dots\dots$$

$$E_{4f} < E_{5f} \dots\dots$$

(ب) تزايد طاقي طفيف ملاحظ مع تزايد "I" (في نفس الطبقة) يتم ذلك حسب الترتيب s ، p ، d و f .

$$E_{2s} < E_{2p}$$

$$E_{3s} < E_{3p} < E_{3d}$$

$$E_{4s} < E_{4p} < E_{4d} < E_{4f}$$

ننتظر إذن الترتيب التالي حسب الطاقة المتزايدة الآتي :

1s-2s-2p-3s-3p-3d-4s-4p-4d-4f-5s-5p-5d-5f-6s....

(حسب "n" المتزايد و من أجل "n" ثابت يكون حسب "l" المتزايد) .

لكن برهنت مختلف التجارب بأن ابتداءً من المستوى 3d تكون بعض التغيرات.

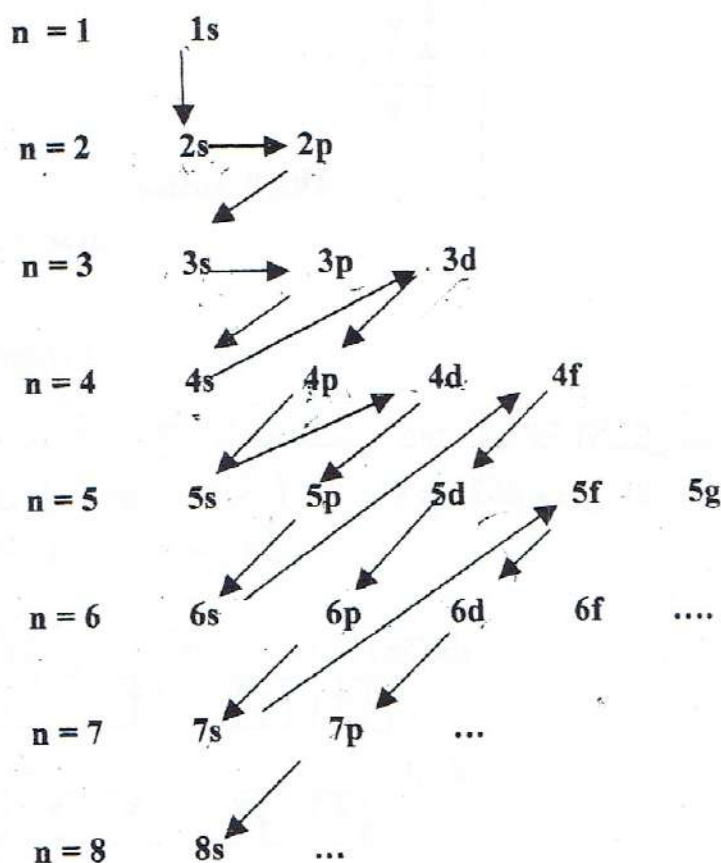
(1) قاعدة "كلاشكوسكى" : (Klechkowski)

يتم ملأ المحطات الذرية حسب ترتيب المجموع $(n + 1)$ المتزايد. عند ما يكون المجموع $(n + 1)$ ثابتا يتم وفقا لـ n المتزايد. تستعمل لهذا الغرض طريقتان :

جدول حسب المجموع $(n+1)$

$n+1$	n	l	الطبقات التحتية
1	1	0	1s
2	2	0	2s
3	2	1	2p
	3	0	3s
4	3	1	3p
	4	0	4s
5	3	2	3d
	4	1	4p
	5	0	5s
6	4	2	4d
	5	1	5p
	6	0	6s
7	4	3	4f
	5	2	5d
	6	1	6p
	7	0	7s
8	5	3	5f
	6	2	6d
	7	1	7p
	8	0	8s

طريقة الخطوط



يكون ترتيب المحطات حسب الطاقة المتزايدة و كالتالى:

$$1s-2s-2p-3s-3p-4s-3d-4p-5s-4d-5p-6s....$$

تبقى هذه القواعد غير كافية لبناء الهياكل الإلكترونية و لهذا يدمج لها مبدأ الثبات.

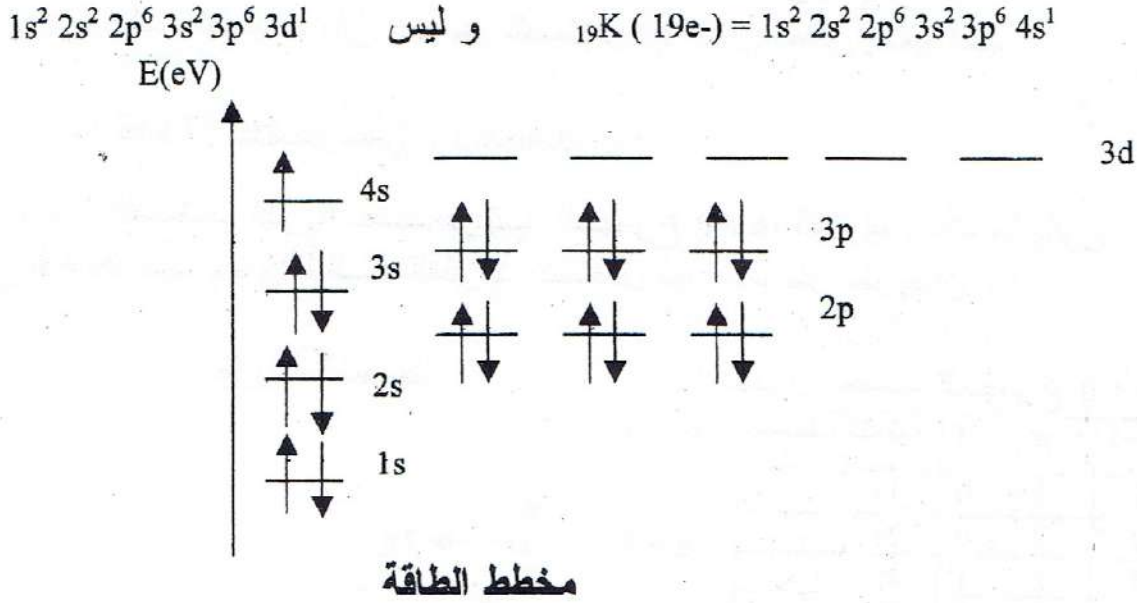
(2) مبدأ الثبات :

" الحالة الأساسية لذرة ما هي الحالة الأكثر استقرارا "

عند انتقال الإلكترون إلى مستويات مثارة يرجع هذا الأخير تلقائيا إلى حالته الأساسية مع إصدار طاقة على شكل فوتونات ($E = h\nu$). تكون الطاقة الكلية للإلكترون، في الحالة الأساسية، منخفضة (أدنى).

" تشغل الإلكترونات المحطات الأكثر انخفاضا طاويا " (المستويات الطاقوية الأدنى).

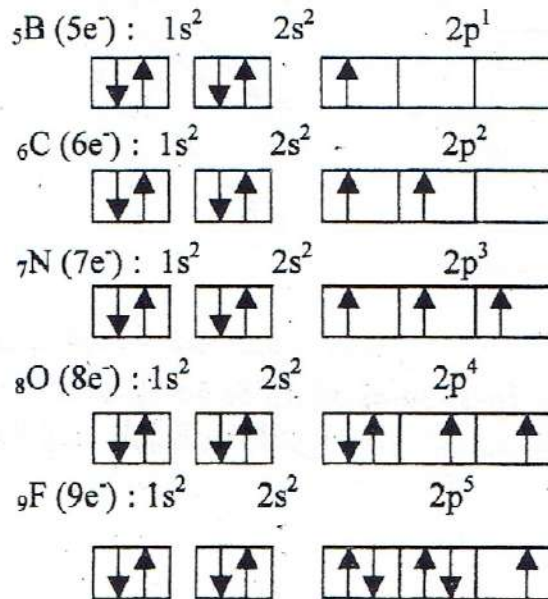
مثال :



نهي تشييد البنية الإلكترونية بقيادة "هوند"

(3) قاعدة "هوند" (Hund)

- (أ) - نبدأ ملأ طبقة تحتية بعد أن تملأ الطبقة التحتية ذات الطاقة الأسفل تماما.
- (ب) - لا يمكن لمحت نري (حجيرة كمية) أن يحوي إلكترونين إلا/ إذا احتوت المحطات التي لها نفس الطاقة إلكترون واحد من قبل.
- مثال :



الخلاصة :

يكون تشييد بنية إلكترونية معتمدا على :

1. مبدأ الإستبعاد لـ "باولي" *Pauli* .

2. مبدأ الثبات

3. قاعدة "كلاشكوسكي" *Klechkowski*

4. قاعدة "هوند" *Hund*

تكون هذه القواعد ضرورية لتعيين البنية الإلكترونية لذرة ما.

ملاحظة : التشكيل (أو الشكل) الإلكتروني

عندما نريد كتابة التشكيل الإلكتروني لعنصر ما لا بد من تعيين أولا التركيب (التوزيع أو

البنية) الإلكتروني ثم إعادة كتابته حسب العدد الكمي "n" المتزايد.

مثال :

التوزيع (التركيب) الإلكتروني	التشكيل الإلكتروني
$_{11}\text{Na} (11e^-) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
$_{17}\text{Cl} (17e^-) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
$_{26}\text{Fe} (26e^-) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
$_{33}\text{As} (33e^-) : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$

حتى العنصر $Z = 20$ ، البنية (التركيب أو التوزيع) الإلكترونية $\equiv$ التشكيل الإلكتروني

التمارين

التمرين 1.VI :

أعط التوزيع ثم التشكيل الإلكتروني للعناصر التالية في الحالة الأساسية :

$\text{Ho} (Z = 67) ; \text{I} (Z = 53) ; \text{Mn} (Z = 25) ; \text{Ca} (Z = 20) ; \text{Al} (Z = 13) ; \text{F} (Z = 9)$

التمرين 2.VI :

لنعبر العنصر $\text{I} (Z = 53)$

1- كم هو عدد الإلكترونات التي تملك الأعداد الكمية الآتية :

$n=3 ; n=5 ; l=0 ; n=4 ; l=1$ و $m=-1$ ؛ $l=2$.

- 2- أوجد طبقات التكافؤ التحتية الداخلية و الخارجية لهذا العنصر ثم أعط الأعداد الكمية التي تعرف طبقات التكافؤ الخارجية.
- 3- يمتلك هذا العنصر إلكترونات عازبا واحد ، أوجد المحط الموافق و أعط الإحداثيات الكمية التي تميز هذا المحط الذري.

التمرين 3.VI :

ليكن العناصر التالية:



- 1- أعط لكل منهم التوزيع الإلكتروني في الحالة الأساسية (يمثل طبقات التكافؤ التحتية بواسطة الحجيرات الكمية).
- 2- لنعتبر العنصر الخيالي $Z = 116$. إلى أي فئة من الجدول الدوري ينتمي هذا الأخير.

I. مقدمة :

لقد كانت محاولات عديدة لجمع العناصر الكيميائية في مجامع حسب خواصها المتشابهة و ابتداء من 1862 برزت هذه المحاولات في جمع العناصر الكيميائية في عائلات متماثلة الخواص (القلويات *Alcalins* ، الهالوجينات *Halogènes* ...) و بعد ذلك قام (دي شامكور توي *De Chamcourtois* و لوثر - ماير *Lothar-Meyer* و نيولاندس *Newlands* ..) بترتيب العناصر حسب كتلتها المولية المتزايدة.

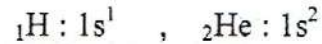
وكرست هذه المحاولات بالترتيب الدوري للعناصر من قبل مندليف *Mendeleev* الذي أثبت وجود علاقة دورية متينة بين خواص العناصر و كتلتها الذرية . على هذا الأساس رتب العناصر المكتشفة آنذاك (63) في أعمدة بحيث يحوي كل عمود العناصر التي لها نفس الخواص أو خواص متقاربة متبئاً / اكتشاف عناصر جديدة أخرى و خواصها مثل الغاليوم *Gallium* أو السترونتيوم *Strontium* و لهذا ترك خانات فارغة في تصنيف لهذين العنصرين اللذان اكتشفا فيما بعد.

بقي هذا التصنيف الدوري ساري المفعول حتى الآن إلا أن دورية العناصر أصبحت مرتبطة ببنييتها الإلكترونية الخارجية (S.E.E).
أما الآن العناصر الكيميائية مرتبة حسب Z المتزايد وفقاً لمبادئ و قواعد الملاءمة .
تجمع العناصر في جدول مكون من سبعة صفوف أو دورات و ثمانية عشر عموداً.

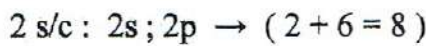
II. دراسة الدورات (السطور ، الصفوف) :

توافق الدورة (السطر) ملاءمة الطبقات التحتية $ns (n-2) f (n-1)d np$

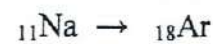
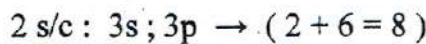
الدورة الأولى : $n = 1$ (عنصران)



الدورة الثانية : $n = 2$ (8 عناصر)



الدورة الثالثة : $n = 3$ (8 عناصر)



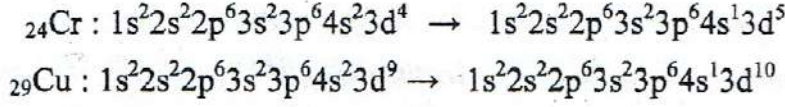
الدورة الرابعة : $n = 4$ (18 عناصر)



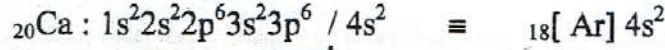
ملاحظة :

- نلاحظ في الطبقة التحتية d عدم الانتظام لبعض العناصر.
- تسمى العناصر الموافقة لملا الطبقة d بالعناصر الانتقالية .
- تكون الطبقة d أكثر استقرارا عندما تكون نصف مملوءة أو مشبعة.

مثال :



ملاحظة عامة : صيغة أخرى للتركيب الإلكتروني

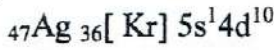


تركيب أو هيكل غاز خامل: الأرجون (Z = 18) Argon Ar

- إن الإلكترونات التي تدخل في بنية أو هيكل الغازات النبيلة تسمى بالإلكترونات القلب وتكون خاملة تجاه التفاعلات الكيميائية (لا تشارك).
- أما الإلكترونات الأخرى وهي إلكترونات التكافؤ، والتي تكون في الطبقات التحتية التكافؤية و تشكل البنية الإلكترونية الخارجية (S.E.E) وهي التي تساهم في تشكيل الروابط الكيميائية.
- الدور الخامس : $n = 5$ (32 عنصرا)



- نفس الملاحظة بالنسبة للطبقة التحتية 4d



و

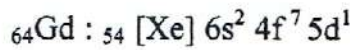
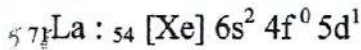


الدور السادس : $n = 6$ (32 عنصرا)

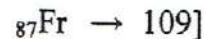


ملاحظة :

- تسمى العناصر التي توافق ملا الطبقة التحتية 4f باللانثانيدات *Lanthanides*.
- نلاحظ في هذه الفئة عدم الانتظام في ملا الطبقة التحتية f من أجل العنصر الاول اللانثان 57-Lanthane والعنصر الثامن الغادولينيوم 64-Gadolinium حيث تحوي الطبقة التحتية 5d إلكترون واحد.

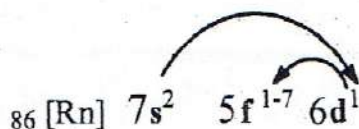


الدور السابع : $n = 7$



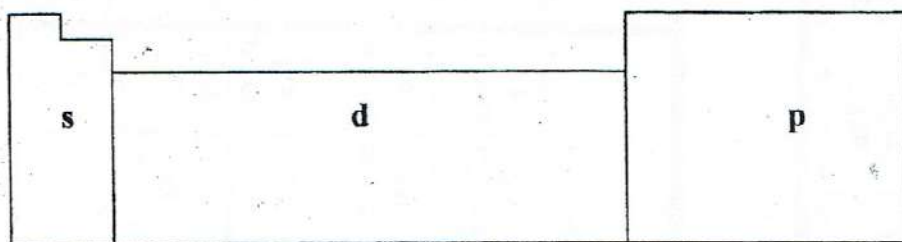
- هذه الدورة غير مكتملة، و حاليا تنتهي عند العنصر 109
- تسمى العناصر التي توافق ملا الطبقة التحتية 5f بالأكتينيدات *Actinides* وهي عموما عناصر مشعة و غير معروفة جيدا.

- نلاحظ أيضا في عناصر هذه الفئة عدم الانتظام في ملأ الطبقة التحتية 5f من أجل العناصر الثمانية الأولى (من الأكتينيوم 89-Actinium إلى الكوريوم 96-Curium). بعد ملأ الطبقة التحتية 7s نضع إلكترون واحد في الطبقة التحتية 6d و نملأ الطبقة التحتية 5f من 1 إلى 7 و يتم ملأ الطبقات التحتية حسب القواعد و القوانين المعمول بها.



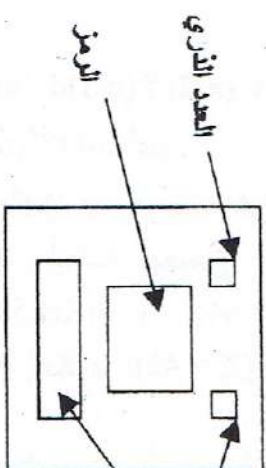
الخلاصة :

- يوافق كل دورة (سطر أو خط) ملأ الطبقات التحتية $ns (n-2)f (n-1)d np$
- يوافق العنصر الأخير لكل طبقة غاز نادر حيث $...ns^2(n-2)f^{14}(n-1)d^{10}np^6$
- تظهر العناصر الانتقالية (d) عدم الانتظام عند d^9 و d^4 عوضا عن $(n-1)d^5ns^1$ عوضا عن $ns^2(n-1)d^4$ و $(n-1)d^4ns^2$ بالنسبة لعناصر مثل $^{36}\text{[Kr]} 5s^1 4d^5$ Nb (Z = 42) بدلا من $^{36}\text{[Kr]} 5s^2 4d^4$ Ru (Z = 44) و $^{36}\text{[Kr]} 5s^1 4d^7$ عوضا عن $^{36}\text{[Kr]} 5s^2 4d^6$ و $^{36}\text{[Kr]} 5s^1 4d^8$ Rh (Z = 45) أو $^{46}\text{[Kr]} 5s^0 4d^{10}$ Pd (Z = 46) و $^{36}\text{[Kr]} 5s^2 4d^8$.
- و يمكن لهذه العناصر، ما عدى الزنك Zinc و السكندنيوم Scandium، أن تعطي عدة أيونات (شوارد) عند تأينها متتالي مثل :
 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}$; $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{+2}, \text{Cr}^{+3}, \text{Cr}^{+6}$; $\text{Mn} \rightarrow \text{Mn}^{+2}, \text{Mn}^{+3}, \text{Mn}^{+4}, \text{Mn}^{+6}, \text{Mn}^{+7}$;...
- تمثل اللانثانيدات Lanthanides و الأكتينيدات Actinides العناصر الموافقة لملأ الطبقات التحتية 4f و 5f على الترتيب و بعض عناصرهما غير منتظمة.
- يمكن تقسيم الجدول الدوري إلى أربعة كتل : s ، p ، d ، f .



4f	f
5f	

الجدول الدوري للعناصر



التشكيل الإلكتروني في الحالة الأساسية

لا معطى

IA		IIA		معادن										لا معادن										III A		IV A		VA		VIA		VIIA		VIII A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	H 1.0 1s ¹	2	He 4.0 1s ²	3	Li 6.9 2s ¹	4	Be 9.0 2s ²	5	B 10.8 2s ² 2p ¹	6	C 12.0 2s ² 2p ²	7	N 14.0 2s ² 2p ³	8	O 16.0 2s ² 2p ⁴	9	F 19.0 2s ² 2p ⁵	10	Ne 20.2 2s ² 2p ⁶	11	Na 23.0 3s ¹	12	Mg 24.3 3s ²	13	Al 27.0 3s ² 3p ¹	14	Si 28.1 3s ² 3p ²	15	P 31.0 3s ² 3p ³	16	S 32.1 3s ² 3p ⁴	17	Cl 35.5 3s ² 3p ⁵	18	Ar 40.0 3s ² 3p ⁶	19	K 39.1 4s ¹	20	Ca 40.1 4s ²	21	Sc 45.0 3d ¹ 4s ²	22	Ti 47.9 3d ² 4s ²	23	V 50.9 3d ³ 4s ²	24	Cr 52.0 3d ⁵ 4s ¹	25	Mn 54.9 3d ⁵ 4s ²	26	Fe 55.8 3d ⁶ 4s ²	27	Co 58.9 3d ⁷ 4s ²	28	Ni 58.7 3d ⁸ 4s ²	29	Cu 63.5 3d ¹⁰ 4s ¹	30	Zn 65.4 3d ¹⁰ 4s ²	31	Ga 69.7 4s ² 4p ¹	32	Ge 72.6 4s ² 4p ²	33	As 74.9 4s ² 4p ³	34	Se 78.9 4s ² 4p ⁴	35	Br 79.9 4s ² 4p ⁵	36	Kr 83.8 4s ² 4p ⁶	37	Rb 85.5 5s ¹	38	Sr 87.6 5s ²	39	Y 88.9 4d ¹ 5s ²	40	Zr 91.2 4d ² 5s ²	41	Nb 92.9 4d ⁴ 5s ¹	42	Mo 95.9 4d ⁵ 5s ¹	43	Tc 98.9 4d ⁵ 5s ²	44	Ru 101.1 4d ⁷ 5s ¹	45	Rh 102.9 4d ⁸ 5s ¹	46	Pd 106.4 4d ¹⁰ 5s ⁰	47	Ag 107.9 4d ¹⁰ 5s ¹	48	Cd 112.4 4d ¹⁰ 5s ²	49	In 114.8 5s ² 5p ¹	50	Sn 118.5 5s ² 5p ²	51	Sb 121.7 5s ² 5p ³	52	Te 127.7 5s ² 5p ⁴	53	I 128.9 5s ² 5p ⁵	54	Xe 131.3 5s ² 5p ⁶	55	Cs 132.9 6s ¹	56	Ba 137.3 6s ²	57	La 138.9 5d ¹ 6s ²	72	Hf 178.5 5d ² 6s ²	73	Ta 180.9 5d ³ 6s ²	74	W 183.8 5d ⁴ 6s ¹	75	Re 186.2 5d ⁵ 6s ²	76	Os 190.2 5d ⁶ 6s ²	77	Ir 192.2 5d ⁷ 6s ²	78	Pt 195.1 5d ⁹ 6s ¹	79	Au 197.0 5d ¹⁰ 6s ¹	80	Hg 200.6 5d ¹⁰ 6s ²	81	Tl 204.4 6s ² 6p ¹	82	Pb 207.2 6s ² 6p ²	83	Bi 209.0 6s ² 6p ³	84	Po (209) 6s ² 6p ⁴	85	At (210) 6s ² 6p ⁵	86	Rn (222) 6s ² 6p ⁶	87	Fr (223) 7s ¹	88	Ra 226.0 7s ²	89	Ac 227.0 6d ¹ 7s ²	104	Unq (261) 5f ⁴ 7s ²	105	Unp (262) 5f ⁴ 7s ²	106	Unh (263) 5f ⁴ 7s ²	107	Uns (262) 5f ⁴ 7s ²	108	Uno 5f ⁴ 7s ²	109	Une 5f ⁴ 7s ²	110	Unn 5f ⁴ 7s ²																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

التقريب

الفترات للفترة

التشكيلات

للجزيئات

58	Ce 140.1 4f ¹ 6s ²	59	Pr 140.9 4f ³ 6s ²	60	Nd 144.2 4f ⁴ 6s ²	61	Pm 144.9 4f ⁵ 6s ²	62	Sm 150.3 4f ⁶ 6s ²	63	Eu 151.9 4f ⁷ 6s ²	64	Gd 157.2 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65	Tb 158.9 4f ⁹ 6s ²	66	Dy 162.5 4f ¹⁰ 6s ²	67	Ho 164.9 4f ¹¹ 6s ²	68	Er 167.2 4f ¹² 6s ²	69	Tm 168.9 4f ¹³ 6s ²	70	Yb 173.0 4f ¹⁴ 6s ²	71	Lu 174.9 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²
90	Th 232.0 6d ² 7s ²	91	Pa 231.0 5f ² 6d ¹ 7s ²	92	U 238.0 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93	Np 237.0 5f ⁴ 7s ²	94	Pu 244.0 5f ⁶ 7s ²	95	Am (243) 5f ⁷ 7s ²	96	Cm (247) 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97	Bk (247) 5f ⁹ 7s ²	98	Cf (251) 5f ¹⁰ 7s ²	99	Es (252) 5f ¹¹ 7s ²	100	Fm (257) 5f ¹² 7s ²	101	Md (258) 5f ¹³ 7s ²	102	No (259) 5f ¹⁴ 7s ²	103	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²

التقريبات

الأكسيدات

III. دراسة الأعمدة :

تتمتع عناصر نفس العمود بنفس البنية الإلكترونية الخارجية (S.E.E) يعني لها نفس عدد إلكترونات التكافؤ .
يكون لدينا تحت مجموعات A و B .
ملاحظة :

- ينتمي إلى تحت المجموعة A كل عنصر يحوي إلكترونات التكافؤ s و p (أو s)
- ينتمي إلى تحت المجموعة B كل عنصر يحوي إلكترونات التكافؤ (n-1)d

A	I _A	: S.E.E	ns ¹	}	s →	المعادن القلوية
	II _A	: S.E.E	ns ²		→	المعادن الترابية
B	III _B	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹	}	d	العناصر الانتقالية
	IV _B	: S.E.E	ns ² (n-1)d ²			
	V _B	: S.E.E	ns ² (n-1)d ³			
	VI _B	: S.E.E	ns ¹ (n-1)d ⁵			
	VII _B	: S.E.E	ns ² (n-1)d ⁵			
		S.E.E	ns ² (n-1)d ⁶			
	VIII _B	S.E.E	ns ² (n-1)d ⁷			
		S.E.E	ns ² (n-1)d ⁸			
	IB	: S.E.E	ns ¹ (n-1)d ¹⁰			
	II _B	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰			
A	III _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ¹	}	p →	الشالكوجينات الهالوجينات الغازات الخاملة
	IV _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ²			
	V _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ³			
	VI _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ⁴			
	VII _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ⁵			
	VIII _A	: S.E.E	ns ² (n-1)d ¹⁰ np ⁶			

IV. الخواص الدورية للعناصر :

1) نصف قطر الذرة :

$$r = C_n / Z_{\text{eff}} \quad \text{بولينغ Pauling}$$

$$Z_{\text{eff}} = Z - \sigma$$

C_n هو ثابت متعلق بـ
Z هو العدد الذري ، عدد الشحنات
σ هو ثابت الشاشة

مفعول الشاشة: هو التنافر بين إلكترونات مختلف الطبقات. و هو يؤثر على قوة التجاذب (إلكترون / نواة).

• عبر الدورة (السطر)

$n = \text{ثابت} \Rightarrow C_n = \text{ثابت} ; Z \nearrow , \sigma \nearrow \Rightarrow Z_{\text{eff}} \nearrow \Rightarrow r \searrow$

Li	Be	B	C	N	O	F
1,55	1,12	0,98	0,91	0,92	0,66	0,64

r لعناصر الدورة الثانية

• عبر العمود

$n \nearrow \Rightarrow C_n \nearrow ; Z \nearrow , \sigma \nearrow \Rightarrow (Z - \sigma) = Z_{\text{eff}} \cong \text{Cte (تغيير طفيف)} \Rightarrow r \nearrow$

Li	Na	K	Rb	Cs
1,55	1,90	2,35	2,48	2,67

r لعناصر العمود I_A

(2) نصف قطر الأيون :

نمطان من الأيونات : كاتيونات و أنيونات

• الأيون الموجب أو الكاتيون A^{n+}



$Z = \text{ثابت} \Rightarrow \text{عدد الإلكترونات} \searrow \Rightarrow \sigma \searrow \Rightarrow (Z - \sigma) \nearrow \Rightarrow r_i \searrow$

مثال : $r_A (Li) = 1,57$ و $r_i (Li^+) = 0,6$

يكون عموما نصف قطر الأيون الموجب (الكاتيون) أصغر من نصف قطر الذرة .

• الأيون السالب أو الأنيون B^{n-}



$Z = \text{ثابت} \Rightarrow \text{عدد الإلكترونات} \nearrow \Rightarrow \sigma \nearrow \Rightarrow (Z - \sigma) \searrow \Rightarrow r_i \nearrow$

مثال : $r_A (O) = 0,74$ و $r_i (O^{2-}) = 1,4$

يكون عموما نصف قطر الأيون السالب (الأنيون) أكبر من نصف قطر الذرة .

(3) طاقة التأين :

"هي طاقة اللازمة لنزع إلكترون من ذرة في الحالة الغازية"



$$E_{i-1} < E_{i-2} < E_{i-3} < E_{i-1} < E_{i-4} \dots\dots\dots$$

مثال :

العناصر	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}
Li : $1s^2/2s^1$	5,37	75,3	121,8
Be : $1s^2/2s^2$	9,50	18,1	155
B : $1s^2/2s^2 2p^1$	8,30	24,2	37,8

ملاحظة : طاقة التأين القصوى هي الطاقة اللازمة لهدم هيكل مستقر (بنية ثابتة) $Li^+(He)$ و $Be^{++}(He)$.

يمكن حساب طاقات التأين لمعظم العناصر.

مثال : طاقة التأين الأولى

Li	Be	B	C	N	O	F
5,4	9,3	8,3	11,3	14,5	13,6	17,4

$E_{i1}(eV)$ لعناصر الدورة الثانية

H	Li	Na	K	Rb	Cs
13,6	5,4	5,1	4,3	4,2	3,9

$E_{i1}(eV)$ لعناصر العمود I_A

- تتزايد طاقة التأين E_i عبر دورة من اليسار إلى اليمين.
- تتزايد طاقة التأين E_i عبر عمود من الأسفل إلى الأعلى.
- تتغير طاقة التأين عموماً في الاتجاه المعاكس لاتجاه نصف القطر الذري .

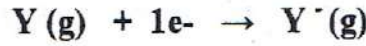
ملاحظة : طاقات تأين الغازات النادرة (النبيلة) تكون أعلى الطاقات على الإطلاق (تدمير هيكل مستقر).

He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
24,6	21,6	15,8	14,0	12,1	10,7

$E_i(eV)$ للغازات النادرة

(4) الألفة الإلكترونية :

هي الطاقة المحررة من ذرة ، في الحالة الغازية، أثناء أسر إلكترونات لتصبح شاردة . تكون الألفة الإلكترونية غير معرفة جيدا و نشير إليها بالحرف A و تعطى بـ : eV / atome أو kcal / mole



ملاحظة :

- تتزايد الألفة مع استقرار الأيون $X^-(g)$
- مثال : تملك الهالوجينات أكبر قيم لـ A (تتشكل الأنيونات الأكثر استقرارا بسبب بنيتها المطابقة مع بنية الغازات الخاملة).

F	Cl	Br	I
3,45	3,61	3,36	3,06

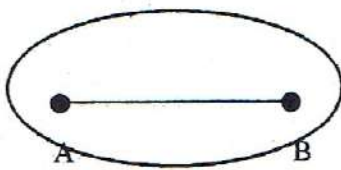
ألفة الهالوجينات A (eV)

- تكون ألفة معظم العناصر غير معرفة (مجهولة) وكلما وجدنا عناصر محتوية على طبقات تحتية مملوءة فإن ألفتها الإلكترونية تؤل إلى الصفر ($A \rightarrow 0$).
 - مثال : العناصر الترابية التي تملك بنية إلكترونية خارجية ns^2 (S.E.E) مثل : $A(\text{Be}) = -0,19$ ، $A(\text{Mg}) = -0,32$ أو $A(\text{He}) = 0,19$
 - تفسر القيمة الضعيفة لألفة ذرة النيتروجين $A(\text{N}) = 0,05$ لكونه يملك طبقة تحتية $2p$ نصف مملوءة و التي توفر له استقرارا ملحوظا ($\text{N} : 1s^2 / 2s^2 2p^3$).
- ملاحظة :

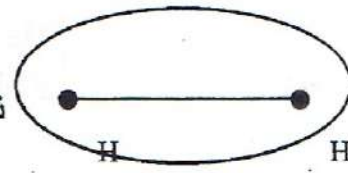
- تتزايد A عموما من اليسار إلى اليمين عبر الدورية.
- تكون A ثابتة عبر العمود.
- تتغير A عكس اتجاه طاقة التأين.
- تبقى A غير معرفة جيدا أو مجهولة.

(5) الكهروسلبية :

"هي ميل ذرة مرتبطة مع ذرة أخرى لجذب نحوها إلكترونات الذرات المرتبطة معها بروابط تساهمية".
كلما كانت كهروسلبية الذرة عالية ، كلما جذبت الإلكترونات نحوها بقوة.
لنعتبر الجزيء A-B

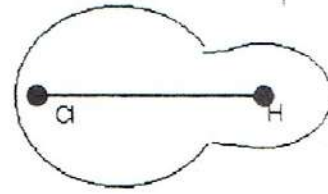
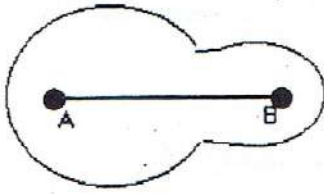


توزيع "متساو" للإلكترونات $A \equiv B$
نفس الكثافة الإلكترونية حول A و B



جزيء H_2

$A \neq B$ و A أكثر كهروسلبية من B



جزيء HCl

الذرة A تجذب نحوها الثنائية الإلكترونية فتزيد الكثافة الإلكترونية حولها و تتناقص حول الذرة B .

يستعمل سلمان لقياس الكهروسلبية (χ أو ξ)

* سلم موليكان Mulliken

$$\chi = (A + E_i) / 2 \quad (A \text{ غير معرفة جيدا})$$

* سلم بولينغ Pauling

$$|\chi_A - \chi_B| = k \sqrt{\Delta H_{A-B} - (\Delta H_{A-A} + \Delta H_{B-B}) / 2}$$

A هو العنصر الأكبر كهروسلبية

ΔH_{A-B} هي طاقة تفكك الجزيء $A-B$ (الأنتالبي)

ΔH_{A-A} هي طاقة تفكك الجزيء $A-A$

ΔH_{B-B} هي طاقة تفكك الجزيء $B-B$

$$\Delta H_{A-B} \neq (\Delta H_{A-A} + \Delta H_{B-B}) / 2$$

k ثابت التحويل $\text{kcal/mole} \rightarrow (\text{eV/atome})^{1/2}$ و $k = 0,208$

H						
2.20						
Li	Be	B	C	N	O	F
0.98	1.57	2.04	2.55	3.04	3.44	3.98
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
0.93	1.31	1.61	1.90	2.19	2.58	3.16
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
0.82	1.10	2.01	2.01	2.18	2.55	2.96
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
0.82	0.95	1.78	1.96	2.05	2.1	2.66
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At
0.7	0.9	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2

الكهروسلبية χ ($\text{eV/atome})^{1/2}$ حسب بولينغ لعناصر تحت المجموعة A

- عبر الدورة يتزايد χ مع العدد الذري Z
- عبر العمود يتناقص χ مع تزايد Z

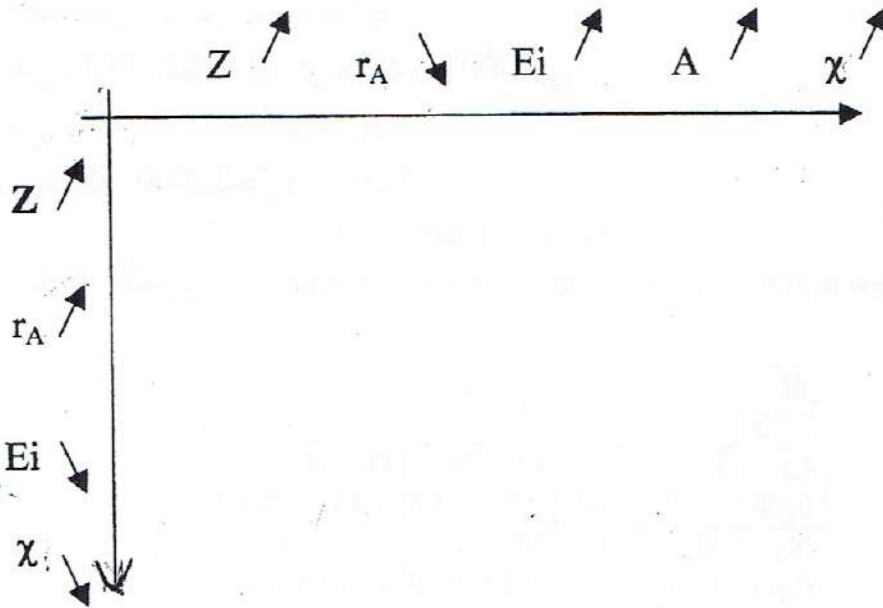
(6) القابلية للاستقطاب و قدرة الاستقطاب

تميز قدرة الاستقطاب قيمة الحقل الكهروستاتي المجاور للأيون و تتزايد مع تناقص نصف القطر الذري.

- تكون قدرة الاستقطاب مساوية لـ Ze/r^2 و أين: Ze هي شحنة الأيون و r هو نصف القطر الذري

- تكون قدرة استقطاب الأنيونات أصغر من الكاتيونات بسبب نصف قطرها الأكبر.
- الاستنتاج المباشر لقدرة استقطاب الكاتيونات يتمثل في عدد جزيئات الماء التي تحيط بالكاتيون عند الانحلال.

ترفق قابلية الاستقطاب خاصة الأنيونات و تترجم عن انحراف السحابات الإلكترونية بفعل حقل كهروستاتي خارجي و تتزايد مع حجم الأيون ($F^- < Cl^- < Br^- < I^-$) (أكبر قابلية الاستقطاب توافق الأنيون I^-).



التمارين

التمرين 1.VII :

- 1- ما هي الحالة الأساسية العناصر التي تملك أقل من 18 إلكترون ولها إلكترونين عازبين.
- 2- ما هو العنصر الذي ينتمي إلى دورة الصوديوم ($_{11}\text{Na}$) و إلى العمود IV_A .
- 3- ما هو العنصر الذي يتميز بنفس الخواص الكيميائية للعنصر السيليسيوم ($_{14}\text{Si}$) و ينتمي إلى الدورة الرابعة.

التمرين 2.VII :

لنعتبر العناصر التالية: $_{47}\text{Ag}$; $_{26}\text{Fe}$; $_{19}\text{K}$; $_{8}\text{O}$

- 1- أكتب التوزيع الإلكتروني لكل عنصر.
- 2- ما هو الأيون الأكثر استقرار.
- 3- قارن نصف قطر كل عنصر مع أيونه الأكثر استقرارا: $_{8}\text{O}$ وأيونه $_{19}\text{K}$ وأيونه.

التمرين 3.VII :

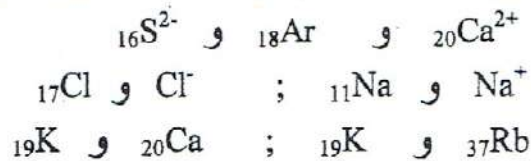
- 1- أعط العدد الذري والتشكيل الإلكتروني للعنصرين الأول والأخير للدورة الرابعة
- 2- ما هو العدد الذري للعنصر الذي يملك أكبر عدد إلكترونات عازبة.

التمرين 4.VII :

- يملك الإيريديوم $\text{Ir}-192$ ثنائيان في المستوى $(5,2) \psi$.
- 1- أعط البنية الإلكترونية لهذا العنصر.
 - 2- ما هو عدده الذري Z ؟ ما هي الفئة التي ينتمي إليها.

التمرين 5.VII :

قارن بين أنصاف الأقطار وطاقة التآين الأولى للعناصر التالية:



التمرين 6.VII :

1- لنعبر العناصر : $_{19}\text{K}$; $_{13}\text{Al}$; $_{9}\text{F}$; $_{8}\text{O}$

رتب هذه العناصر حسب كهروسلبيةها المتناقصة.

2- تسمح الكهروسلبية والتي هي خاصية ذرية، بالتعرف على طابع الروابط في

الجزء . عرف بولينغ *Pauling* سلم نسبي للكهروسلبية أين يمثل الفلور (F) العنصر

الأكبر كهروسلبية $\chi(\text{F}) = 4,0 \text{ eV}^{1/2} / \text{atome}$.

من أجل جزئ من النوع A-B , تعطي الكهروسلبية حسب العلاقة:

$$\chi(\text{A}) - \chi(\text{B}) = k \sqrt{D_{\text{A-B}} - D_{\text{A-A}} + D_{\text{B-B}} / 2}$$

$D_{\text{A-B}}$, $D_{\text{A-A}}$, $D_{\text{B-B}}$ هي طاقات تشكيل [أو تفكك] الجزيئات A_2 , B_2 و AB على التوالي

والمعطاة بـ kcal/mole و أين k هو عامل التحويل kcal/mole $\rightarrow \text{eV}^{1/2} / \text{atome}$.

1- أحسب k

2- حدد كهروسلبية عناصر الهيدروجين (H) و الكلور (Cl) انطلاقاً من المعطيات

$$\chi(\text{F}) = 4,0.$$

الآتية:

$$D_{\text{H-H}} = 104,2 \text{ kcal /mole}$$

$$D_{\text{H-F}} = 134,6 \text{ kcal /mole}$$

$$D_{\text{F-F}} = 36,6 \text{ kcal /mole}$$

$$D_{\text{H-Cl}} = 103,2 \text{ kcal /mole}$$

$$D_{\text{Cl-F}} = 60,6 \text{ kcal /mole}$$

$$D_{\text{Cl-Cl}} = 58,0 \text{ kcal /mole}$$

قارن بين القيم المحصل عليها و تلك التي حسبها بولينغ *Pauling* . علل .

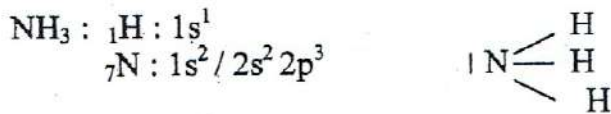
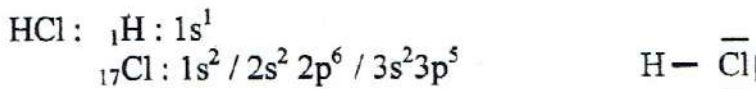
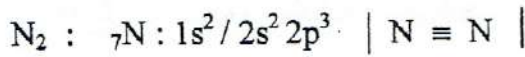
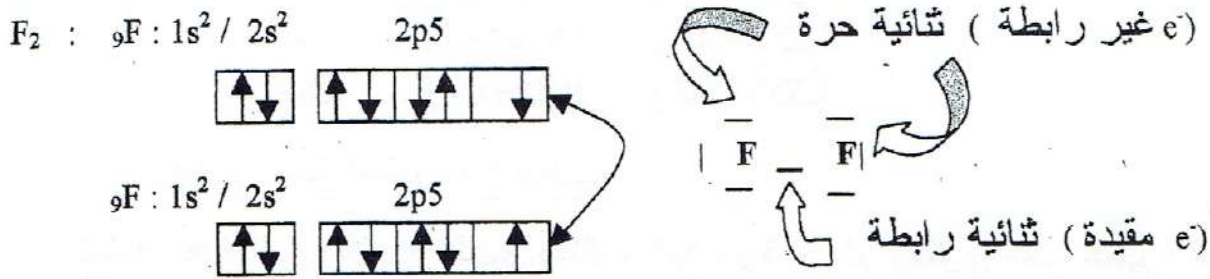
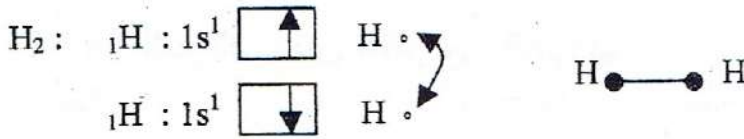
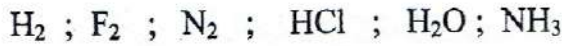
$$\chi(\text{Cl}) = 3,0 \text{ و } \chi(\text{H}) = 2,1$$

تتشكل المادة ، في مختلف حالاتها، عموما من جزيئات و في بعض الحالات من تجمع أيوني . ما عاد عناصر العمود VIII.A التي هي غازات خاملة مستقرة في الحالة العادية ، كل الذرات الأخرى توجد في حالة اتحاد تحت شكل جزيئات بسيطة أو معقدة .
تتشكل هذه الهياكل (الجزيئات) حسب القانون العام للتارموديناميك الذي ينص كما يلي : " يتطور كل نظام تلقائيا نحو الحالة الأكثر استقرارا " . تكون مهمة ، من الجانب البنيوي ، معرفة أسباب استقرار اتحاد الذرات (إلكترونات ونوى) في جزيء أو بلورة أو عدم استقرار هيكل متشكل من ذرات في الحالة الأساسية و معزولة ، و أيضا دراسة (كما كان الحال بالنسبة للذرات) توزيع الإلكترونات في الجزيء و البحث عن أسباب استقرار الهياكل المتشكلة . كل هذا يكون هدفا من أهداف دراسة الروابط الكيميائية .

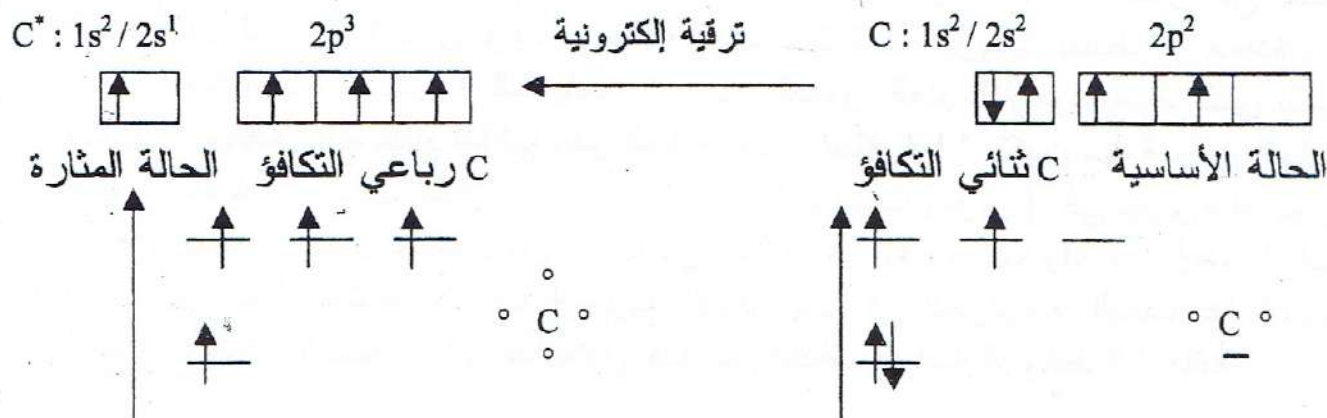
I. الرابطة المشتركة - نظرية لويس Lewis

1) الرابطة المشتركة أو التساهمية :

" تساهم كل ذرة بإلكترون لتشكل رابطة تساهمية "



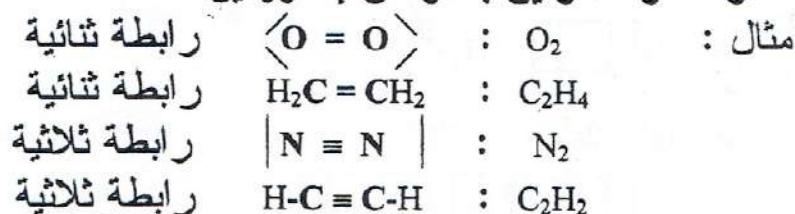
* حالة ذرة الكربون :



" هو اشتراك ذرتين بالكترونين " (H_2 ; F_2 ; HCl ; H_2O ; CH_4)

(ب) الرابطة المشتركة المتعددة :

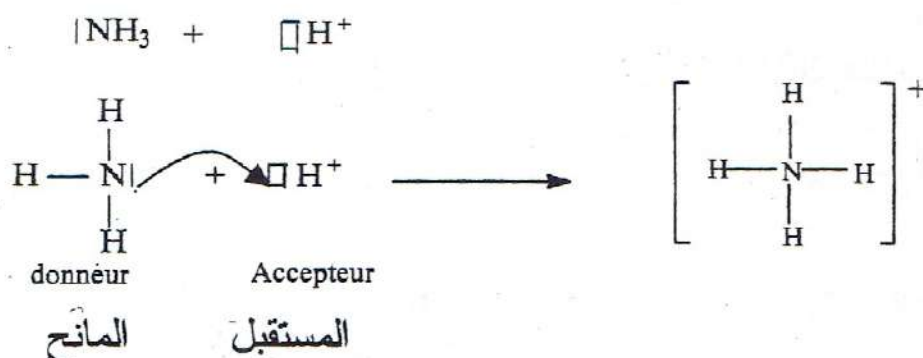
" هو اشتراك ذرتين بأكثر من إلكترونين "



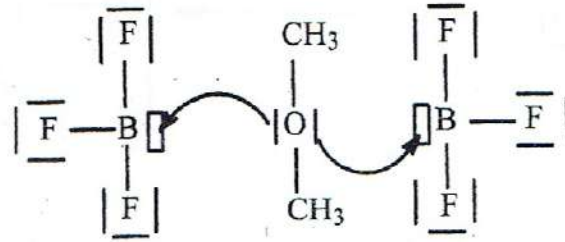
(ج) الرابطه المشتركة التساندية :

" تتشكل هذه الرابطة بين عنصر يملك ثنائية حرة و آخر يحتوي على ججيرة فارغة "

المثال 1 : أيون النشادر NH_4^+



المثال 2 : BF_3 في $\text{CH}_3\text{-}\ddot{\text{O}}\text{-CH}_3$ نظرا لاحتوى الإيثر المثيلي $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ على ثنائيتين حرتين ، فإنه يكون رابطتين تسانديتين مع BF_3 ليصل كلاهما لحالة الاستقرار.



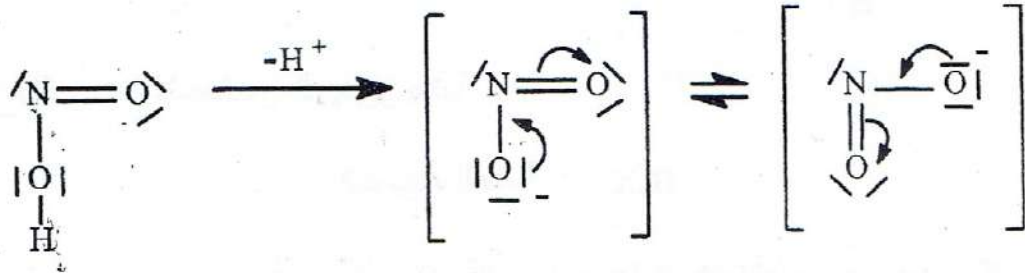
ملاحظة : لا فرق بين الرابطة المشتركة العادية و الرابطة المشتركة التساندية إلا في تشكيلها.

(2) مخطط لويس Lewis

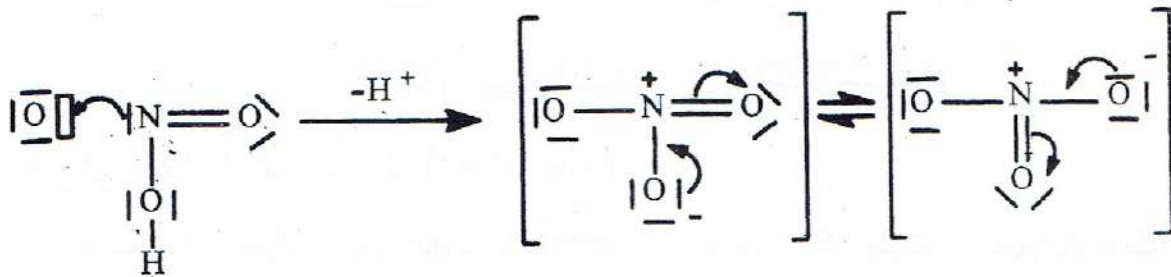
المثال الأول : الأحماض الأوكسجينية

الصيغة العامة : $\text{XO}_m(\text{OH})_n$

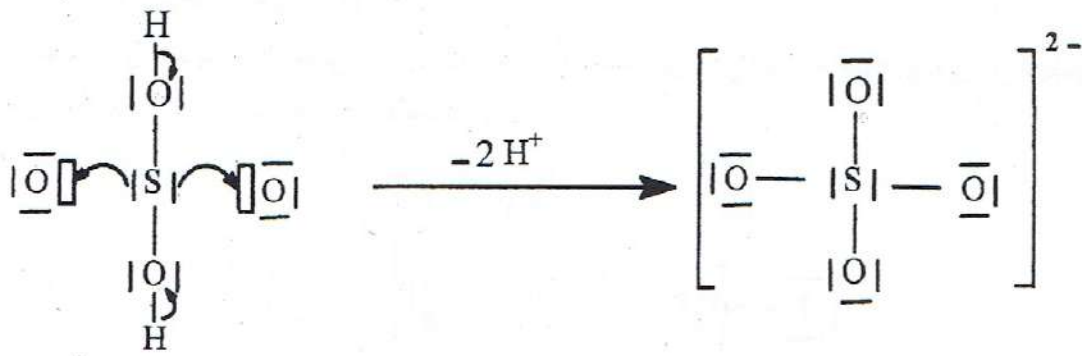
HNO_2	$\text{NO}(\text{OH})$	حمض النيتريت	acide nitreux	NO_2^-	أيون النيتريت	ion nitrite
HNO_3	$\text{NO}_2(\text{OH})$	حمض النيتريك	acide nitrique	NO_3^-	أيون النترات	ion nitrate



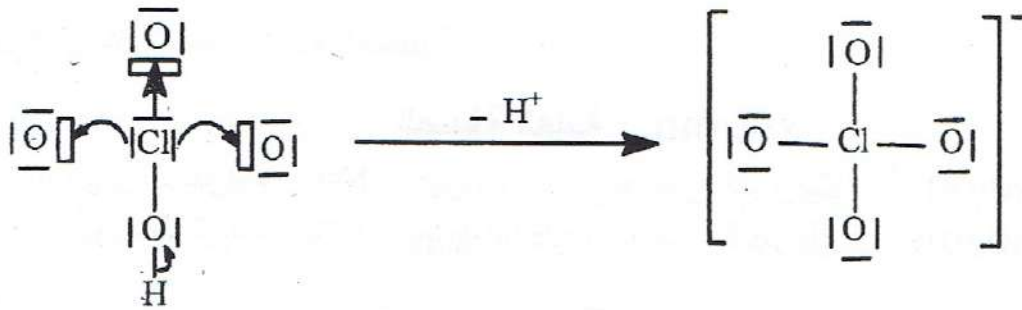
إعادة توزيع الإلكترونات لذرة الأوكسجين $1s^2 2s^2 2p^4$ $\cdot\ddot{\text{O}}\cdot \rightleftharpoons \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}$



H_2SO_3	$\text{SO}(\text{OH})_2$	حمض الكبريتيت	a. sulfureux	SO_3^{2-}	أيون الكبريتيت	ion sulfite
H_2SO_4	$\text{SO}_2(\text{OH})_2$	حمض الكبريتيك	a. sulfurique	SO_4^{2-}	أيون الكبريتات	ion sulfate



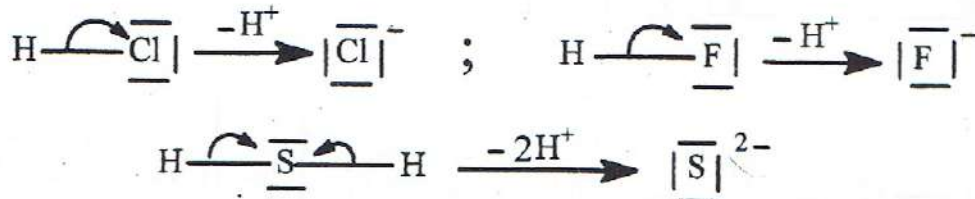
HClO ClOH تحت الكلوريت ح. a. hypochloreux ; ClO⁻ أيون الكلوريت ion hypochlorite
 HClO₂ ClO(OH) الكلوريت ح. a. chloreux ClO₂⁻ أيون الكلوريت ion chlorite.
 HClO₃ ClO₂(OH) الكلوريك ح. a. chlorique ClO₃⁻ أيون الكلوريك ion chlorate.
 HClO₄ ClO₃(OH) فوق الكلوريك ح. a. perchlorique ClO₄⁻ أيون فوق الكلوريك ion perchlorate.



المثال الثاني : الأحماض الهيدروجينية

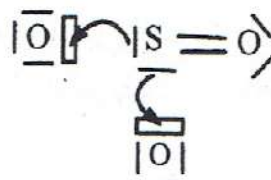
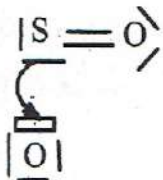
الصيغة العامة : H_nX

HCl أيون كلوريك ion chlorure H — Cl
 HF أيون فلوريد ion fluorure H — F
 H₂S أيون كبريتيد ion sulfure H — S — H



المثال الثالث : البلا ماءات (anhydrides)

anhydride sulfureux بلا ماء الكبريتيت anhydride sulfurique بلا ماء الكبريتيك



الحالات الخاصة :

• جزيء أحادي أكسيد النيتروجين



• جزيء أحادي أكسيد الكربون أين يكون C في الحالة الأساسية $1s^2 / 2s^2 2p^2$



حدود تطبيق نظرية لويس :

- لا تحقق الذرات الآتية قاعدة الثماني الثابت مثل البور Bore في جزيء BF_3 ، الألومنيوم Aluminium في جزيء AlCl_3 أو ذرات أخرى مثل الفوسفور Phosphore (PCl_5) أو الكبريت Soufre (SF_6) ...
- لا تعطي هذه النظرية أي معلومة عن قوة الرابطة (الرابطة الثنائية = رابطتين بسيطتين ؟) أو أدلة عن وجود استقطاب دائم لبعض الجزيئات.
- لا يعطي تمثيل لويس أي معلومة عن هندسة الجزيئات (الزوايا ؟ ...) .
- تبقى هذه النظرية غير كافية لتفسير الرابطة الكيميائية و هندسة الجزيئات.

ملاحظة : أحماض و أسس (قواعد) لويس

- يعرف بحمض لويس كل كيان كيميائي يمتلك فراغ إلكتروني $(\text{H}^+ ; \text{AlCl}_3, \text{BF}_3 \dots)$.
- يعرف بقاعدة لويس كل كيان كيميائي يحتوي على ثنائية إلكترونية حرة أو أكثر $(\dots \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3)$

(3) الرابطة المشتركة الخالصة - الرابطة المشتركة المستقطبة

لنعتبر الجزيء $\text{A} - \text{B}$

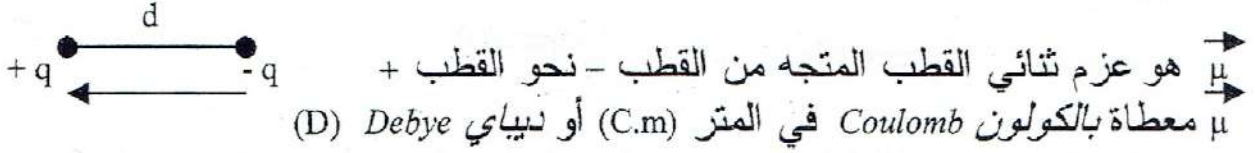
- A متطابق (متماثل) مع B (الجزيء A_2 أو B_2 ، $\chi_{\text{A}} = \chi_{\text{B}}$) $\text{A} \equiv \text{B}$

يقع الثنائي الإلكتروني المكون للرابطة التساهمية في منتصف المسافة بين النواتين المتطابقتين. يكون توزيع الشحنات الكهروستاتيكية متناظر و مركز جاذبية الشحنات الموجبة يتطابق مع مركز جاذبية الشحنات السالبة و بهذا تعرف الرابطة المشتركة (أو التساهمية) الخالصة $(\mu = 0)$.

- A مختلف عن B (الجزيء $\text{A} - \text{B}$ ، $\chi_{\text{A}} \neq \chi_{\text{B}}$) $\text{A} \neq \text{B}$

العنصر الأكثر كهروسلبية يجلب إليه الثنائي الإلكتروني الرابط و بفعل الحقل الكهربائي يتصرف الجزيء كثنائي القطب المتشكل من شحنة موجبة $+q$ و شحنة سالبة $-q$ على مسافة d و ذو عزم ثنائي القطب $(\mu \neq 0)$ و $\mu = q \cdot d$

q هي الشحنة المتبادلة
d هي المسافة بين النوتين



$$1 D = 10^{-29} / 3 \text{ (C.m)}$$

نقول بأن الرابطة المشتركة مستقطبة عندما يكون عزم ثنائي القطب غير معدوم ($\mu \neq 0$)

$$\mu = q \cdot d = \delta e d \quad 0 < \mu < ed \quad \text{و} \quad 0 < \delta < 1$$

" الرابطة المستقطبة هي رابطة موجهة "

نعرف أيضا الطابع الجزئي للأيون (% C.I)

$$\% \text{ C.I} = \mu_{\text{exp}} \times 100 / \mu_{\text{ion.}}$$

$$\mu_{\text{ion.}} (\text{الأيوني}) = e d$$

$$\mu_{\text{reel}} (\text{الحقيقي}) = \mu_{\text{mesuré}} (\text{المقاسة}) = \mu_{\text{exp}} (\text{التجريبي}) = \delta e d$$

$$\% \text{ C.I} = \delta e d \times 100 / ed. = 100 \cdot \delta$$

δe هي الشحنة الجزئية التي تحملها الذرة
مثال : جزيء HF

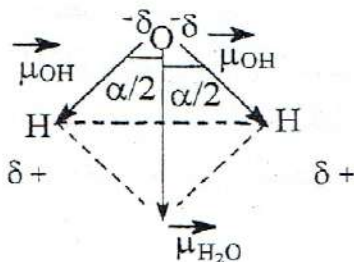
$$d_{\text{H-F}} = 0,92 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad \mu_{\text{reel}} = 1,99 D$$

$$\% \text{ C.I} = \mu_{\text{exp}} \times 100 / \mu_{\text{ion.}} = 1,99 \cdot 10^{-29} \times 100 / 3 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 0,92 \cdot 10^{-10} = 45\%$$

إذن تكون الرابطة بين H و F لها خاصية (طابع) أيونية تقدر بـ 45%. و يكون جزيء HCl له خاصية أيونية مقدارها 17% بينما تكون الرابطة بين H و I في جزيء HI لها خاصية أيونية بمقدار 5%.

ملاحظة :

عزم ثنائي القطب لجزيء متشكل من ذرتين يساوي مجموع عزوم ثنائية قطب مختلف الروابط التي تكون الجزيء.
مثال : $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \Sigma \mu_{\text{OH}} = \mu_{\text{OH}} + \mu_{\text{OH}}$



$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} / 2 = \mu_{\text{OH}} \cos (\alpha / 2),$$

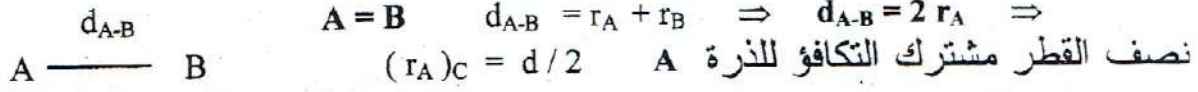
يمكن حساب الزاوية α بمعرفة μ_{HO} و $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$

فنحصل على $\alpha \sim 104^\circ$

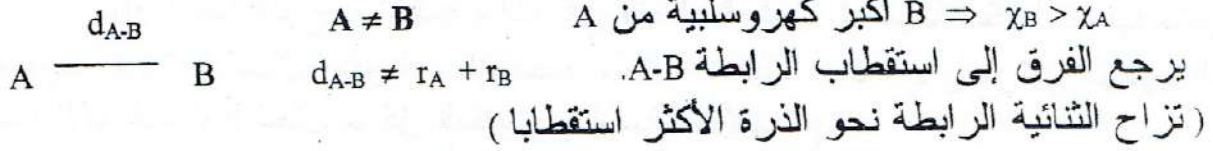
(4) طول الرابطة :

يتعلق طول الرابطة بنوعها (نمطها)

• الرابطة المشتركة الخالصة.



• الرابطة المشتركة المستقطبة.



$$d_{A-B} = f(r_A, r_B, \mu_A, \mu_B)$$

$$d_{A-B} = r_A + r_B + k(\chi_B - \chi_A)$$

k هو ثابت متعلق بنوع الرابطة

رابطة بسيطة $k = 0,09$

رابطة ثنائية $k = 0,06$

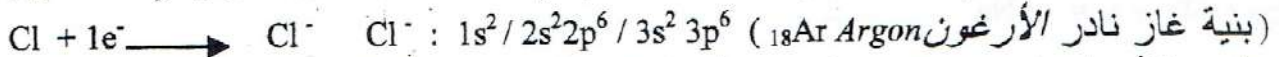
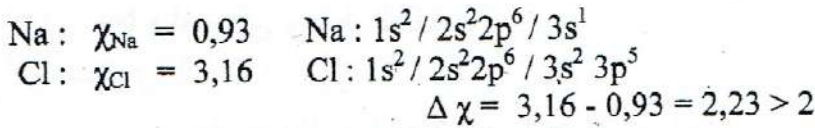
رابطة ثلاثية $k = 0,03$

ملاحظة :

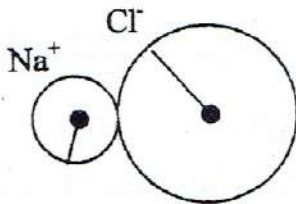
تسمى الجزيئات غير المتناظرة (غير متجانسة النوى) عموما مثل HCl ، H_2O ، NH_3 ، CH_3OH ، CH_3COOH ، بالجزيئات القطبية ($\mu \neq 0$) بينما الجزيئات متجانسة النوى مثل H_2 ، N_2 ، Br_2 أو التي لها بعض التناظر مثل CH_4 ، C_2H_6 تسمى بالجزيئات اللاقطبية.

II. الرابطة الأيونية :

هي عبارة عن تبادل إلكتروني بين الذرات التي تشكل الجزيئات بغاية تكوين أيونات مستقرة (هذا الانتقال الإلكتروني ممكن عندما يكون الفرق في الكهروسلبية بين الذرات كبيرا عموما $\Delta \chi > 2$)
مثال : $NaCl$



تكون الأيونات Na^+ و Cl^- مستقرة و طبيعة الرابطة كهروستاتيكية محضة.



$$d_{NaCl} = r_{Na^+} + r_{Cl^-}$$

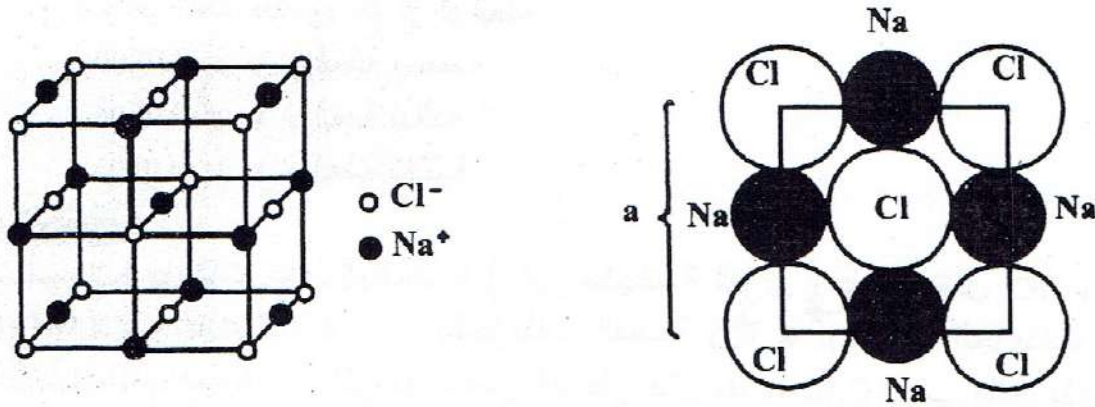
جزيء قطبي $\Rightarrow$ رابطة أيونية $\mu = ed$

" الرابطة الأيونية هي رابطة غير موجهة "

تتشكل مادة صلبة أيونية (و تعتبر البلورة شكلها المثالي) من تكرار دوري في الأبعاد الثلاثة لنفس الصيغة "الخلية" العنصرية المتكونة من أيونات و المسماة بالسرددة (maille) و يكون استقرار هذا الهيكل مضمونا بواسطة روابط كهروستاتيكية.

المثال الأول : بنية من نوع NaCl

يتبلور هذا النوع من الجزيئات في النظام المكعب (شبكة شكلها مكعب متركز الوجوه C.F.C.). تحتل الأيونات Cl^- القمم الثمانية لمكعب ضلعه a و مراكز الوجوه الستة بينما الأيونات Na^+ تحتل مركز المكعب و أوساط الأضلاع.



هيكل من نوع NaCl

منظر لمسقط وجه المكعب

يحيط بكل أيون Na^+ ستة أيونات Cl^- و بكل Cl^- ستة أيونات Na^+ و نستطيع حساب عدد الذرات في السرددة (maille) الواحدة.

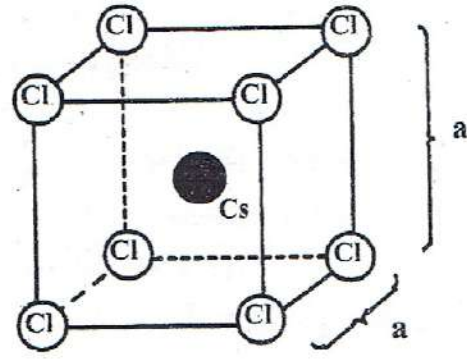
يكون لدينا على قمم المكعب 8 ذرات Cl^- مشتركة مع 8 سرحدات فكل ذرة تشارك بالثلث (1/8) و ستة أخرى على مراكز الوجوه و التي كل منها تشارك بالنصف (1/2) لكونها مشتركة لسرديتين و أيضا $12 Na^+$ في وسط أضلاع المكعب مشتركة مع أربعة سرحدات و أيون Na^+ واحد في وسط المكعب.

إذن تحتوي السرددة على :

$$\left. \begin{array}{l} 8 \times (1/8) + 6 \times (1/2) = 4 Cl^- \\ 12 \times (1/4) + 1 = 4 Na^+ \end{array} \right\} \text{أربعة جزيئات NaCl في السرددة الواحدة}$$

المثال الثاني : بنية من نوع CsCl

يتبلور هذا النوع من الجزيئات في النظام المكعب (شبكة شكلها مكعب ممرکز C. C.). تحتل الأيونات Cl^- القمم الثمانية للمكعب و أيون Cs^+ مركزه .



هيكل من نوع CsCl

يحيط بكل أيون Cs^+ ثمانية أيونات Cl^- وكل Cl^- بثمانية أيونات Cs^+ يكون لدينا على قمم المكعب 8 ذرات Cl^- مشتركة مع 8 سرديات فكل ذرة تشارك بالثمن (1/8) و أيون Cs^+ واحد في وسط المكعب. إذن تحتوي السردة على :

$$\left. \begin{array}{l} 8 \times (1/8) = 1 \text{ Cl} \\ 1 = 1 \text{ Cs}^+ \end{array} \right\} \text{ جزيء واحد من CsCl في السردة الواحدة}$$

لقد قمنا بوصف بنيتان أيونيتان كل منهما تتشكل من ذرتان مختلفتان و لا بد من الإشارة إلى وجود هياكل أخرى (مثل $\text{CaF}_2 \dots$)
ملحوظة :

لا بد أن نعلم فيما يخص المواد الصلبة (البلورة هي جسم صلب مثالي و يوجد بلوريات أيونية ، مشتركة ، جزيئية أو معدنية) أنه يوجد سبعة (7) أنظمة بلورية (شكلها مكعب cubique ، سداسي hexagonal ، مربع quadratique ، ثلاثي rhomboédrique ، معيني مستقيم orthorhombique ، أحادي مائل monoclinique أو ثلاثي مائل triclinique) و أربعة عشر (14) شبكة والتي تدعى بشبكات برافاي Bravais .

تذوب المركبات الأيونية ، على العموم ، في الماء و تكون قليلة (أو معدومة) الذوبان في المذيبات العضوية ، ناقلة للكهرباء في الماء أو في حالة منصهرة و تكون درجة انصهارها مرتفعة بينما تكون المركبات ذات الرابطة المشتركة ، على العموم ، ناقلة سيئة (أو عازلة) للكهرباء و طيارة (درجة انصهارها و غليانها منخفضة) .

" الرابطة الأيونية و الرابطة التساهمية هي روابط تدخل في تشكيل الجزيء "

نلاحظ أيضا أفعال متبادلة بين الجزيئات ضعيفة الطاقة و المتسببة في عدم مثالية سلوك الغازات تحت ضغط عالي و في تشكيل بلوريات بعض الغازات النادرة وكذلك عدة جزيئات أخرى. توجد هذه الأفعال المتبادلة أيضا في جميع المواد الصلبة الجزيئية و تسمى بالروابط ما بين الجزيئات.

III. الروابط ما بين الجزيئات :

تمارس الجزيئات فيما بينها تجاذباً كهروستاتياً الذي يلد روابط بين الجزيئات و تكون الطاقات المنتجة ضعيفة (من 4 إلى 12 kcal / mole) بالنسبة إلى طاقة رابطة تساهمية (>100 kcal /mole).
ترجع هذه الروابط أساساً إلى قوى تدعى بقوى فان دار فالس Van Der Walls و للرابطة الهيدروجينية.

1) قوى فان دار فالس Van Der Walls :

هي محصلة مجموع ثلاث أنواع من القوى : قوى كيسوم Kessom (F_K) و قوى دي باي Debye (F_D) و قوى لندن London (F_L).
(أ) قوى كيسوم Kessom

لا توجد إلا في الجزيئات القطبية ($\mu \neq 0$)
تكون الجزيئات القطبية مستوعبة إلى ثنائيات قطب دائمة التي تمارس فيما بينها أفعال متبادلة كهروستاتيكية (ثنائي قطب دائم - ثنائي قطب دائم) يمكنها أن تكون تجاذبية أو تنافرية يعني مؤثرة على توجيه هذه الجزيئات.
مثال :
 $\delta^+H - Cl \delta^- \cdots \cdots \delta^+H - Cl \delta^- \cdots \cdots \delta^+H - Cl \delta^-$

ب) قوى دي باي Debye

نلاحظ أيضاً قوى جاذبة بين جزيئات قطبية و لا قطبية. يمكن وجود حقل كهربائي الناشئ عن ثنائي قطب دائم (جزيء قطبي) مؤدياً إلى عدم التناظر في توزيع الشحنات بجوار الجزيء لا القطبي (استقطاب جزيء غير قطبي) الذي يمتلك حينئذ عزمًا تحريضياً ثنائي القطب ($\mu_i \neq 0$).
مثال :
 $\delta^+A \delta^- \cdots \cdots \delta^+B \delta^-$

μ_i جزيء غير قطبي μ جزيء قطبي

μ_i هو عزم ثنائي القطب الناتج عن الجزيء B بواسطة الجزيء A
برهنت التجربة أن : $F_K + F_D >$ مجموع القوى بين الجزيئات

ج) قوى لندن London

تعتبر الغازات النادرة جزيئات ليس لها عزم ثنائي القطب الدائم وذات توزيع تناظري للشحنات (تطابق مركز الشحنات الموجبة مع مركز الشحنات السالبة) و هي جزيئات لا قطبية لكن لاحظ لندن London وجود قوى بين الجزيئات و فسره بأن عزم ثنائي القطب ما هو إلا معدل وفي لحظة ما (بسبب الاضطراب الجزيئي) يكون لدينا توزيع غير تناظري يعني عزم ثنائي القطب تلقائي و هي ظاهرة العشوائية للجزيئات .

تعطى في الجدول التالي بعض الأمثلة المتعلقة بتوزيع الطاقات الناتجة عن قوى فان دار فالس Van Der Walls من خلال الروابط ما بين الجزيئات.

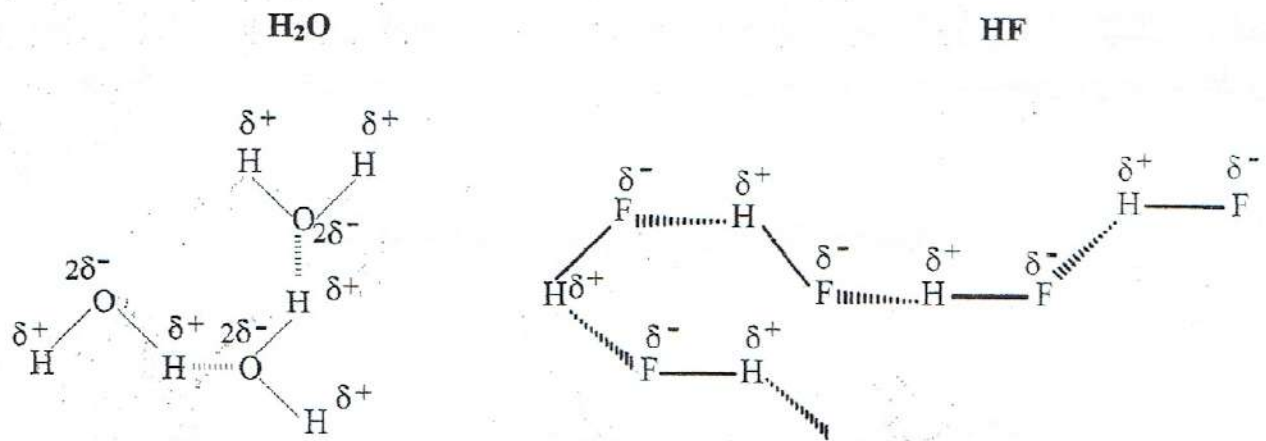
	μ	E_K	E_D	E_L	E_{total}
Argon	0	0	0	2.03	2.03
HCl	1.03	0.79	0.24	4.02	5.05
NH ₃	1.47	3.18	0.37	3.52	7.07

E (kJ/ mole) و μ (D)

(2) الرابط الهيدروجينية (أو الرابطة بواسطة جسر هيدروجيني)

تكون بين ذرة الهيدروجين المرتبطة بذرة شديدة الكهروسلبية و قصيرة القطر (O,N,F,Cl) لجزيء ما و ذرة أخرى كبيرة الكهروسلبية لجزيء آخر.

مثال :



يفسر وجود الروابط الهيدروجينية شذوذ خواص بعض الجزيئات مثل HF ، H₂O أو NH₃ بالمقارنة مع هياكل كيميائية مماثلة.

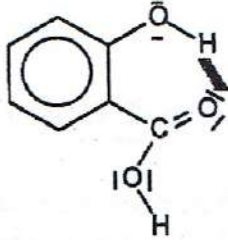
درجات الغليان (T_{eb} °C)

مثال :

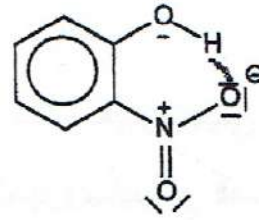
HF	H ₂ O	NH ₃
+ 19	+ 100	- 33
HCl	H ₂ S	PH ₃
- 84	- 61	- 87
HBr	H ₂ Se	AsH ₃
- 67	- 42	- 55
HI	H ₂ Te	SbH ₃
- 35	- 2	- 17

ملاحظة : الرابطة الهيدروجينية الداخلية (في الجزيء).

تقع مثل هذه الرابطة بين ذرة الهيدروجين المرتبطة بذرة شديدة الكهروسلبية و قصيرة القطر (O,N,F,Cl) و ذرة أخرى كبيرة الكهروسلبية داخل الجزيء و التي تبقى مرتبطة باعتبار هندسية. وتكون مفضلة إذا بفرض وجودها تتشكل حلقة خماسية أو سداسية .
مثال :



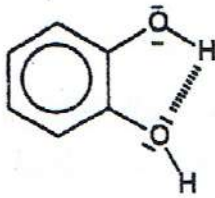
Acide salicylique
حمض الساليسيليك



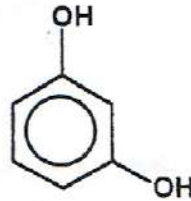
Orthonitrophénol
الأورتونيتروفينول

لا يمكن لذرة الهيدروجين الداخلة في روابط هيدروجينية داخل الجزيء أن تشكل روابط هيدروجينية ما بين الجزيئات فتتأقصر قوى الربط بين الجزيئات و تنخفض درجات غليان هذه المركبات.
مثال :

مشتقات الهيدروكسي فينول *hydroxyphénol*



(1)



(2)



(3)

إذا كان الفرق بين درجات غليان الميتاهيدروكسي فينول *metahydroxyphénol* (2) و الباراهيدروكسي فينول *parahydroxyphénol* (3) يقدر بـ 8°C فقط ، فنلاحظ بالنسبة للمركب الأورتوهيدروكسي فينول *orthohydroxyphénol* (1) فرقا قدره 37°C .

(3) الرابطة المعدنية :

تتمتع المواد المعدنية بالخواص الأساسية الآتية : ناقلة جيدة للكهرباء (مانحة للإلكترونات) و للحرارة ، قابلة للطرق ، قابلة لسحب وغير شفافة.
يكون المعدن ناقلا للكهرباء بفعل الحقل الكهربائي مهما كانت شدته (انتقال إلكترونات).

تبين التجربة أن إلكترونات المعادن ، أو البعض منها ، ضعيفة الارتباط بالنواة و ليست متموضعة في محط بين ذرتين بل هي في محطات غير متموضعة على جميع الشبكة المعدنية.

يمكن اعتبار المعدن شبكة ثلاثية الأبعاد من الأيونات الموجبة تسبح في سحابة من الإلكترونات الحرة أو قليلة الربط.

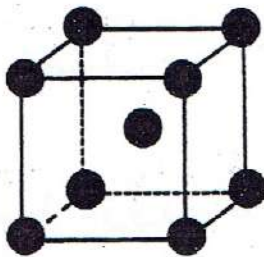
تقع الرابطة المعدنية بين ذرات متطابقة و التي تحتوي على العموم على أقل من 4 إلكترونات عازبة في محطاتها التحتية الخارجية. بالفعل لا يمكن لهاته الذرات أن ترتبط فيما بينها بروابط كلاسيكية (تساهمية أو أيونية).

يمكن تشبيه الذرات المعدنية بكور صلبة التي تتبلور في إحدى الهياكل الثلاثة : سداسي متماسك hexagonal compact ، مكعب متركز الوجوه cubique à faces centrées أو مكعب متركز cubique centré.

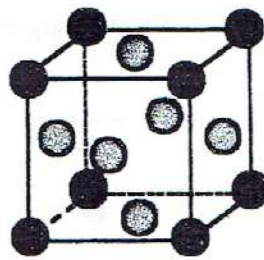
تتغير طاقة الرابطة المعدنية من 25 kcal/mole (المعادن القلوية) إلى 200 kcal/mole بالنسبة للعناصر الانتقالية الأكثر ثقلا (W, Os, Ta) الشيء الذي يفسر درجات غليانها العالية.
مثال :

درجات غليان بعض المعادن $T_{eb} (^{\circ}C)$

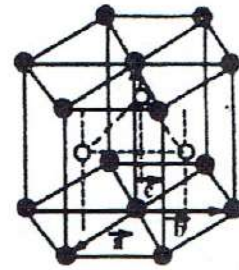
K (760)	Rb (688)	Cs (690)	IA	الفئة
Ca (1440)	Sr (1380)	Ba (1640)	IIA	الفئة
Zn (906)	Cd (765)	Hg (357)	IIB	الفئة
Ta (5425)	W (5930)	Os (5500)	d	الكتلة



سردة عادية: هيكل
مربع متركز
(c.c. : Al, Fe_α, القلويات)



سردة عادية: هيكل
مربع متركز الوجوه
(c.f.c. : Ni, Cu, Ag, Au, Al, Fe_γ)



سردة عادية: هيكل
سداسي متماسك
(h.c. : Be, Mg, Zn, Cd)

تمثيل السردات العادية الموجودة في البلوريات المعدنية

IV. الرابطة التساهمية : نظرية المحطات الجزيئية O.M.

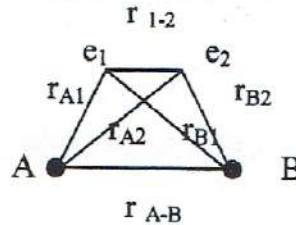
نقائص نظرية لويس حتمت إدخال الميكانيك الموجي.

تصف الدالة الموجية ψ سلوك الإلكترون في الذرة (O.A) كما تترجم الدالة الموجية Φ سلوك الإلكترون في الجزيء (O.M).

تتشكل الرابطة الذرية عندما يتواجد إلكترون غازب في محط ذري الذي يرتبط مع إلكترون غازب في محط ذري آخر لهما نفس الطاقة أو طاقتها متقاربة لكي يتشكل محط جزيئي (O.M) طاقته أقل من طاقة المحط الذري (O.A).
لتكن H_A و H_B ذرتي هيدروجين

$$H_A \longrightarrow \psi_A \text{ (} H_A \text{ isolé)}$$

$$H_B \longrightarrow \psi_B \text{ (} H_B \text{ isolé)}$$



لكي تتشكل رابطة بين H_A و H_B لتكوين جزيء H_2 لا بد أن تقترب الذرتان لمسافة r_{1-2} إحدى طرق الحسابات المعمول بها لحساب طول الرابطة التساهمية هي طريقة "التوافق الخطي للمحطات الذرية" أو L.C.A.O (Linear Combination of Atomic Orbitals).
عند ارتباط ذرتين فيما بينهما يكون توافق خطي للمحطات الذرية ψ_A و ψ_B يعني:

$$\Phi = a\psi_A + b\psi_B$$

أعطت الحسابات :

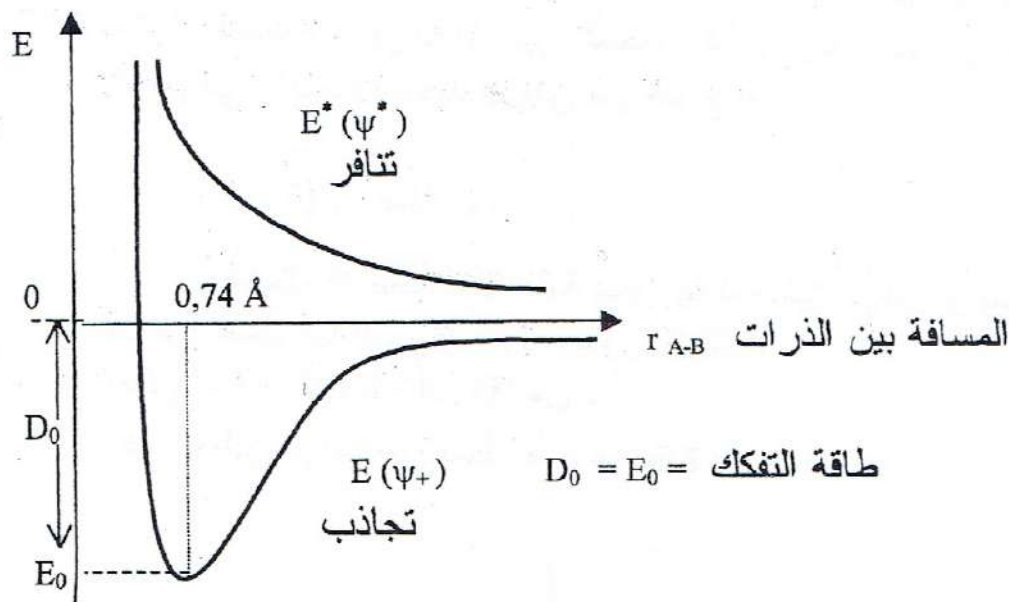
$$a/b = +1 \text{ و } a/b = -1$$

$$\begin{array}{lcl} \Phi \swarrow & \psi_+ = \psi_A + \psi_B & \longrightarrow \text{محط جزيء رابط O.M } \psi_+ \\ \searrow & \psi_- = \psi_A - \psi_B & \longrightarrow \text{محط جزيء ضد الربط O.M* } \psi_- \end{array}$$

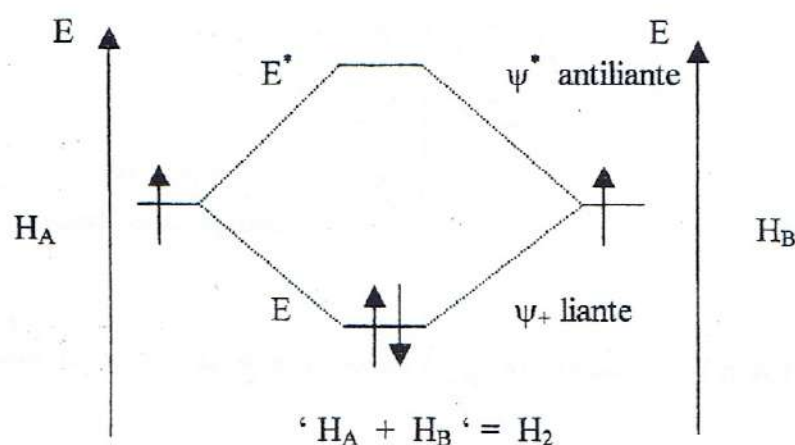
ψ_+ و ψ_- التي هي في الواقع توافق خطي للمحطات الذرية ψ_A و ψ_B ، تسمى بالمحطات الجزيئية أو O.M

ψ_+ توافقه طاقة الربط E_+ (E)

ψ_- توافقه طاقة ضد الربط E_- (E*)

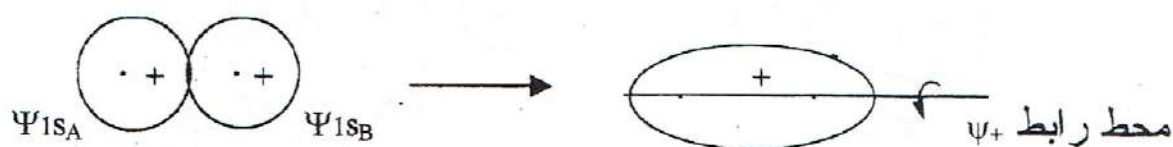


يكون للإلكترونين في جزيء H_2 لفان متعاكسين في الاتجاه و يحتلان المستوي الأقل طاقة (الأكثر استقرارا) يعني المحط الجزيئي الرابط ψ .



" يتشعب المحط الذري أو المحط الجزيئي بالإلكترونين "

ويتحد محطان ذريان $2 O.A$ لتشكيل محطين جزيئيين $2 O.M (\psi \text{ و } \psi^*)$

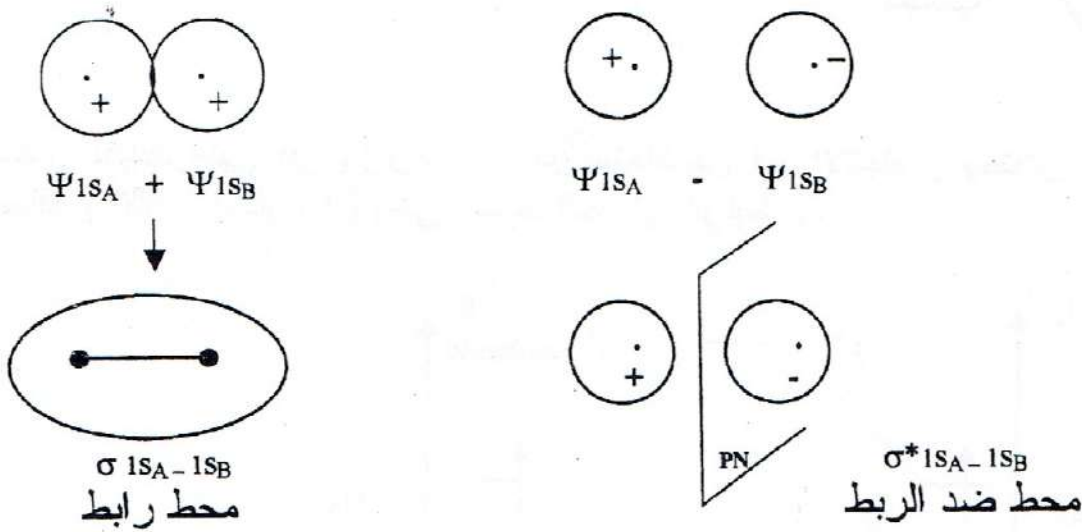


تمثيل خطي للرابطة σ_{1s-1s} في جزيء H_2

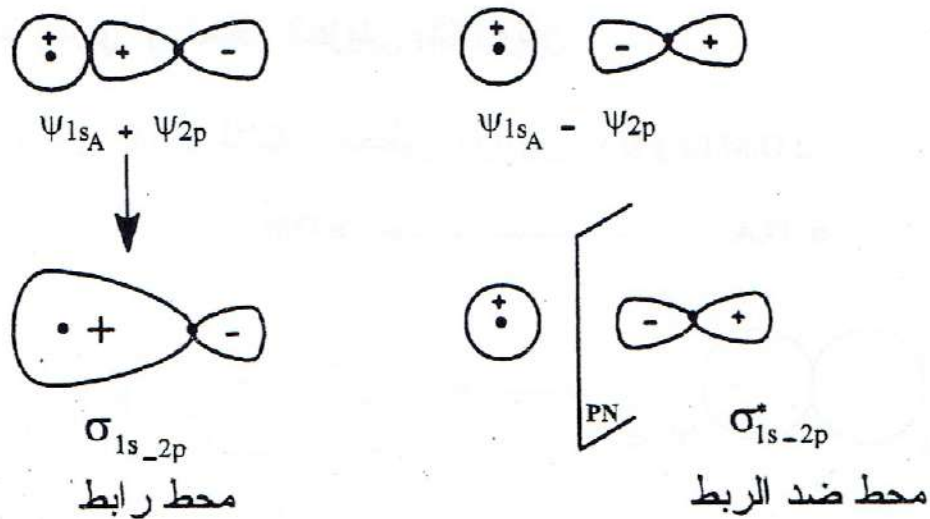
يتم تشكيل الرابطة المشتركة (التساهمية) بتغطية المحطات الذرية من نوع s .
تكون التغطية محورية (عبر المحور الذي يربط النواتين) و توزيع الشحنات تناظره
أسطواناني و يتشكل محط جزيئي من النوع σ .

(1) الرابطة σ :

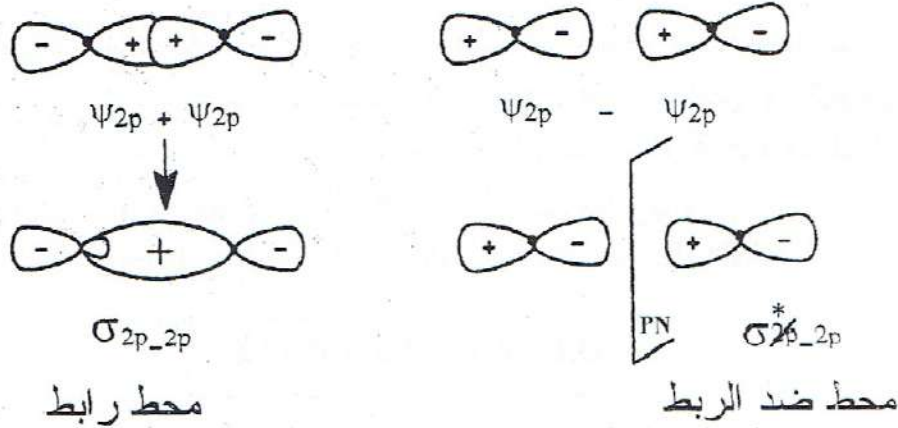
تتشكل الرابطة σ بتغطية محورية لمحطين ذريين و يمثل المحط الجزيئي الرابط
تناظرا أسطوانانيا للدوران حول محور النواتين.
يمكن تشكيل الرابطة انطلاقا من :
• محطين ذريين من نمط s (2 O.A s)



• محط ذري من نوع s و محط ذري من نمط p (1 O.A s + 1 O.A p)



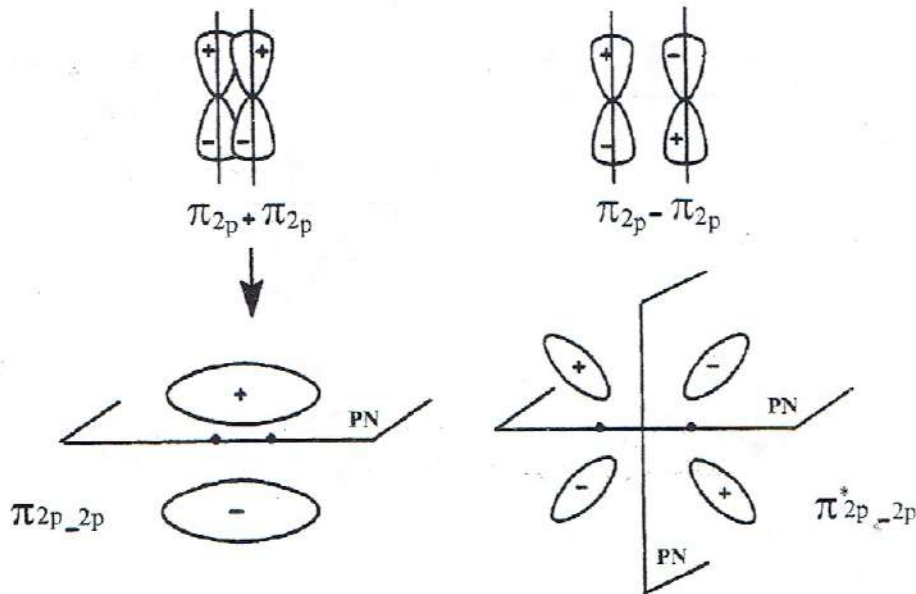
• محطين ذريين من نمط p (1 O.A p + 1 O.A p)



تولد الرابطة σ الدوران الحر حول محور الدوران (محور الجزيء).

(2) الرابطة π :

لا يمكن للرابطة π أن تتشكل إلا انطلاقاً من محطين ذريين من نمط p (2 O.A p) فقط وبعد تشكيل رابطة من نوع σ من قبل. يتم تشكيل المحط الجزيئي π بتغطية جانبية للمحطات الذرية (يزول التناظر الأسطواني للدوران) وهذا يستلزم أن تكون محاور المحطات الذرية متوازية بينما تستلزم الرابطة σ التهام المحاور.



تمثيل التغطية الجانبية للمحطات p

يستلزم التناظر 'الجانبى' وجود مستويين عقديين متعامدان فيما بينهما وعموديان على محور ربط النواتين (نذكر أن المستوي العقدي هو حيز من الفضاء يكون احتمال وجود الإلكترون فيه معدوماً $\Psi^2 = 0$). وجود الرابطة π يوقف الدوران الحر و تكون هندسة الجزيء متصلة.

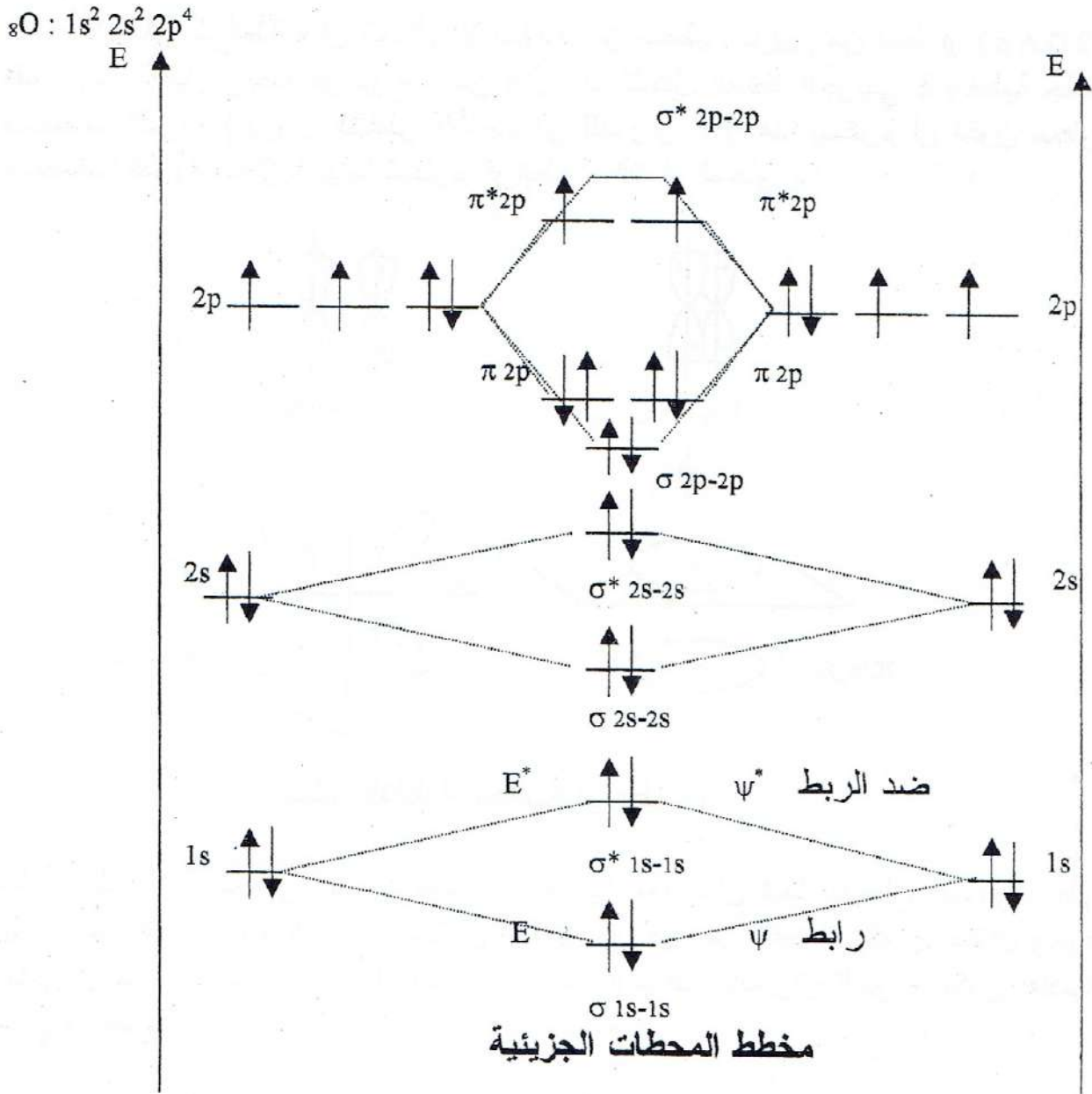
(3) المخطط الطاقوي الجزيئي :

كما أوردنا بالنسبة للذرات نعرف المخطط الطاقوي للجزيئات (تمثيل مستويات الطاقة) كما يلي : يتم ملأ المحطات الجزيئية وفق المبادئ و القوانين المطبقة على الذرات (مبدأ الثبات ، مبدأ بولي ، قاعدة كلاشكوسكي و قاعدة هوند) و تكون التغطية عظمى بين محطات ذرية لها نفس الطاقة أو طاقات متقاربة.
نعرف أيضا رتبة الربط (عدد أو دليل) كما هو موضح بالعلاقة :

$$i = (n - n^*) / 2 \text{ أو } O.L$$

n هو عدد إلكترونات الربط (المتموقعة على محط جزيئي رابط).
 n^* هو عدد إلكترونات ضد الربط (المتموقعة على محط جزيئي ضد الربط).

المثال الأول : الجزيئات المتجانسة النوى (A_2) : جزيء الأوكسجين O_2 مثلا



التوزيع الإلكتروني الجزيئي :

$$(\sigma 1s-1s)^2 (\sigma^* 1s-1s)^2 (\sigma 2s-2s)^2 (\sigma^* 2s-2s)^2 (\sigma 2p-2p)^2 (\pi 2p)^2 (\pi^* 2p)^1 (\pi^* 2p)^1$$

$$O.L(i) = 1/2 (n - n^*) = 1/2 (10 - 6) = 2$$

لدينا رابطة ثنائية بين ذرات الأوكسجين (بتمثيل لويس $O=O$) الشيء الذي لا يعبر بصدق عن الواقع. و بالفعل نلاحظ إلكترونان عازبان يشغلان محطتين ضد الربط (قاعدة هوند) و الذي يخول للجزيء خواص مغناطيسية (واقع تجريبي). تفسير ظاهرة المغنطة هذه أعطى نجاحا معتبرا لنظرية المحطات الجزيئية.

ملاحظة :

• بالنسبة للجزيئات " الخفيفة " (عدد الإلكترونات أقل من 16) مثل N_2 ($14e^-$) يكون لدينا انعكاس المستويات $\pi 2p$ و $\sigma 2p$.

$$N_2 : (\sigma 1s-1s)^2 (\sigma^* 1s-1s)^2 (\sigma 2s-2s)^2 (\sigma^* 2s-2s)^2 (\pi 2p)^2 (\pi 2p)^2 (\sigma 2p-2p)^2$$

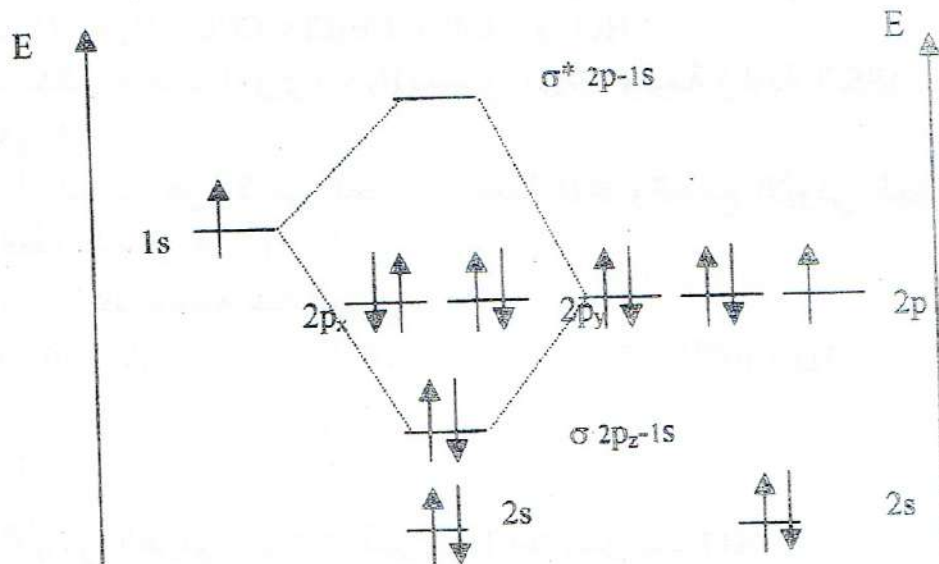
$$O.L = 3 \quad (N \equiv N \text{ ذرات النيتروجين})$$

المثال الثاني : الجزيئات غير متجانسة النوى (AB) : جزيء HF

تكون المحطات الذرية لعنصر الفلور أقل طاقة (أكثر استقرارا) من محطات الهيدروجين لكون الفلور أكبر كهروسلبية من الهيدروجين. المحطات الذرية التي تلتحم معا هي تلك التي تكون طاقاتها أقرب من بعض (المحط الذري $1s$ للهيدروجين و المحط $2p$ لعنصر الفلور).

$${}_1H : 1s^1$$

$${}_9F : 1s^2 / 2s^2 2p^5$$



مخطط المحطات الجزيئية

• التوافق الخطي للمحط الذري 1s للهيدروجين و المحط الذري $2p_z$ للفلور ينشأ عنه محطين جزيئيين: محط رابط σ طاقته أصغر من طاقات المحطين الذريين و محط ضد الربط σ^* طاقته أكبر.

• تعطي المحطات الذرية غير المستعملة 2s ، $2p_x$ و $2p_y$ محطات جزيئية لا رابطة لها نفس الطاقة و تكون متموقعة حول ذرة الفلور.

تتشكل رابطة σ $2p-1s$ بين H و F

$$O.L(i) = 1/2. (2 - 0) = 1$$

التمارين

التمرين 1.VIII :

1- أعط صيغة لويس Lewis للمركبات التالية:

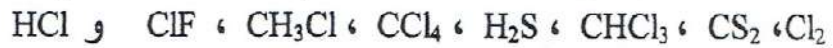


2- BH_3 هو مركب مشترك التكافؤ غير مستقر ، و لاستقراره نضيف له محلول من

$(CH_3)_2S$. أعط صيغة لويس Lewis للمعقد المتشكل.

التمرين 2.VIII :

1- عين من بين الجزيئات الآتية المركبات التي لها عزم ثنائي القطب غير معدوم:



2- عزم ثنائي القطب لجزيء H_2S يساوي 0,95D وقيمة زاوية التكافؤ المتشكلة بين

الروابط S-H هي 95° .

(أ) أحسب عزم ثنائي القطب للرابطة S-H والطابع الأيوني الجزئي علما أن

طول هذه الرابطة يساوي 1,3 Å .

(ب) أعط هندسة هذا الجزيء.

$$1D = 10^{-29}/3 \text{ C.m} \quad e = 1,9 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad 1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} \quad \text{المعطيات:}$$

التمرين 3.VIII :

الطابع الأيوني الجزئي (C.I. %) لجزيء H-Cl يقدر بـ 17% .

1- أحسب قيمة الشحنة الجزيئية المحمولة من H و Cl .

2- أحسب عزم ثنائي القطب لهذا الجزيء علما بأن طول الرابطة يساوي 1,28 Å .

$$1D = 10^{-29}/3 \text{ C.m} \quad e = 1,9 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad 1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} \quad \text{المعطيات:}$$

التمرين 4.VIII :

لاحظ المركبات الهالوجينات التالية:

ClF	ClF ₃	BrF ₅	IF ₇
BrF	BrF ₃	IF ₅	
IF	IF ₃		

- (أ) أعط صيغة لويس Lewis لـ ClF, ClF₃, BrF₅ و IF₇
- (ب) يسمح للإلكترون الانتقالات الإلكترونية التي تخضع للقاعدة $\Delta l = \pm 1$ ($s \leftrightarrow p, p \leftrightarrow d \dots$) واعتمادا أيضا على المعلومات المكتسبة، أشرح ما يلي:
- الفلور F له تكافؤ مشترك covalence يساوي 1.
 - الكلور Cl له تكافؤ مشترك covalence يساوي 1 و 3.
 - البروم Br له تكافؤ مشترك covalence يساوي 1 ، 3 و 5.
 - اليود I له تكافؤ مشترك covalence يساوي 1 ، 3 ، 5 و 7.

التمرين 5.VIII :

- 1- يتبلور المركب الأيوني NaCl في النظام المكعب و له كتلة حجمية مساوية لـ $2,165 \text{ g/cm}^3$. أحسب نصف قطر الأيون Na^+ علما أن نصف قطر Cl^- يساوي $1,8 \text{ \AA}$.
- 2- ينقل NaCl التيار الكهربائي في حالة الذوبان بينما لا ينقل BeCl_2 . لماذا ؟

التمرين 6.VIII :

- 1- أعط لكل جزيء من الجزيئات الآتية المخطط الطاقي و البنية الإلكترونية و رتبة الربط : $\text{He}_2, \text{N}_2, \text{N}_2^+, \text{O}_2, \text{O}_2^+$
- 2- قارن استقرار N_2 و N_2^+ ثم O_2 و O_2^+ . ماذا تستنتج ؟
- (نذكر أن بالنسبة للجزيئات التي تملك عدد الإلكترونات أقل من 16 يكون لدينا انعكاس المستويات $\sigma 2p$ و $\pi 2p$).

تهجين المحطات - هندسة الجزيئات

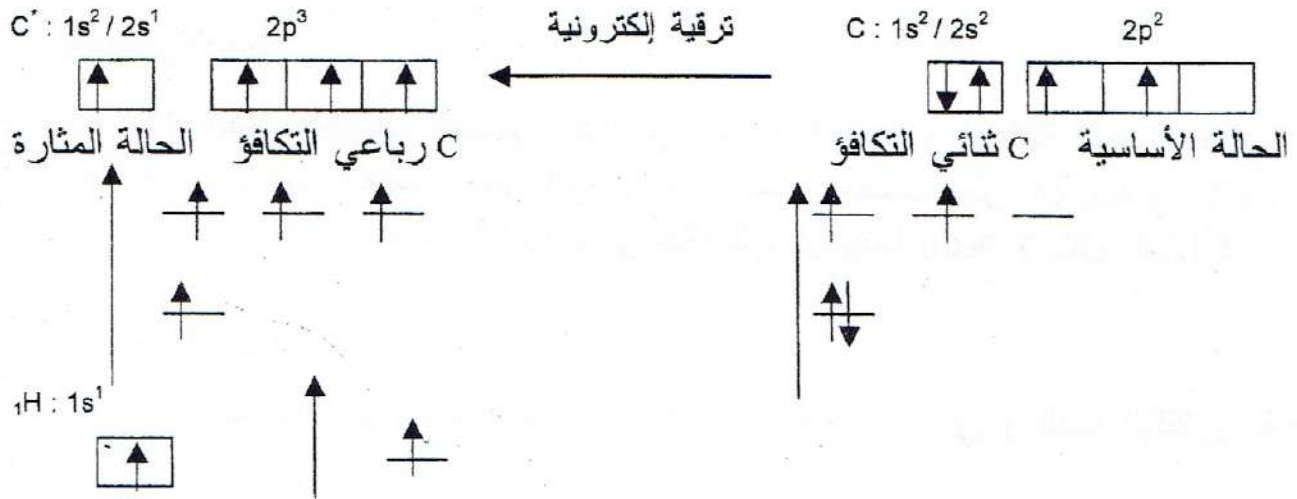
الباب التاسع :

I. مقدمة :

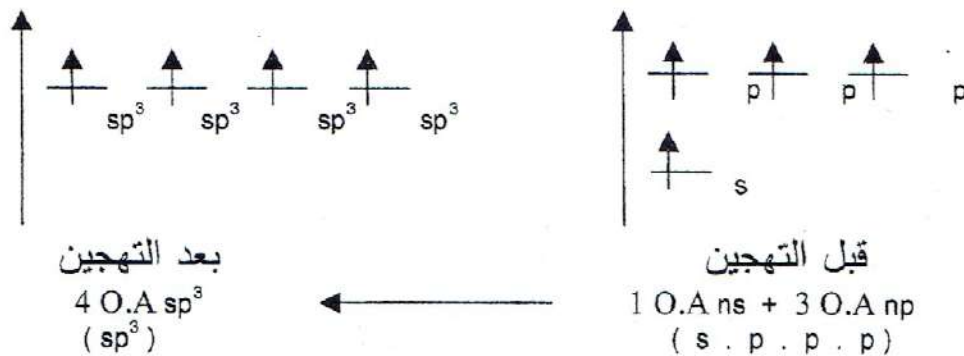
يمثل جزيء متكون من ذرتين أو أكثر هندسة جد معينة، يعنى ان الروابط تشكل فيما بينها زوايا محدودة. يتم هذا حسب قواعد مدروسة ومحقة بواسطة نظرية المحطات الجزيئية التي تبقى غير كاملة بدون اللجوء إلى التهجين.

(1) التهجين الرباعي sp^3 (رباعي الوجه)

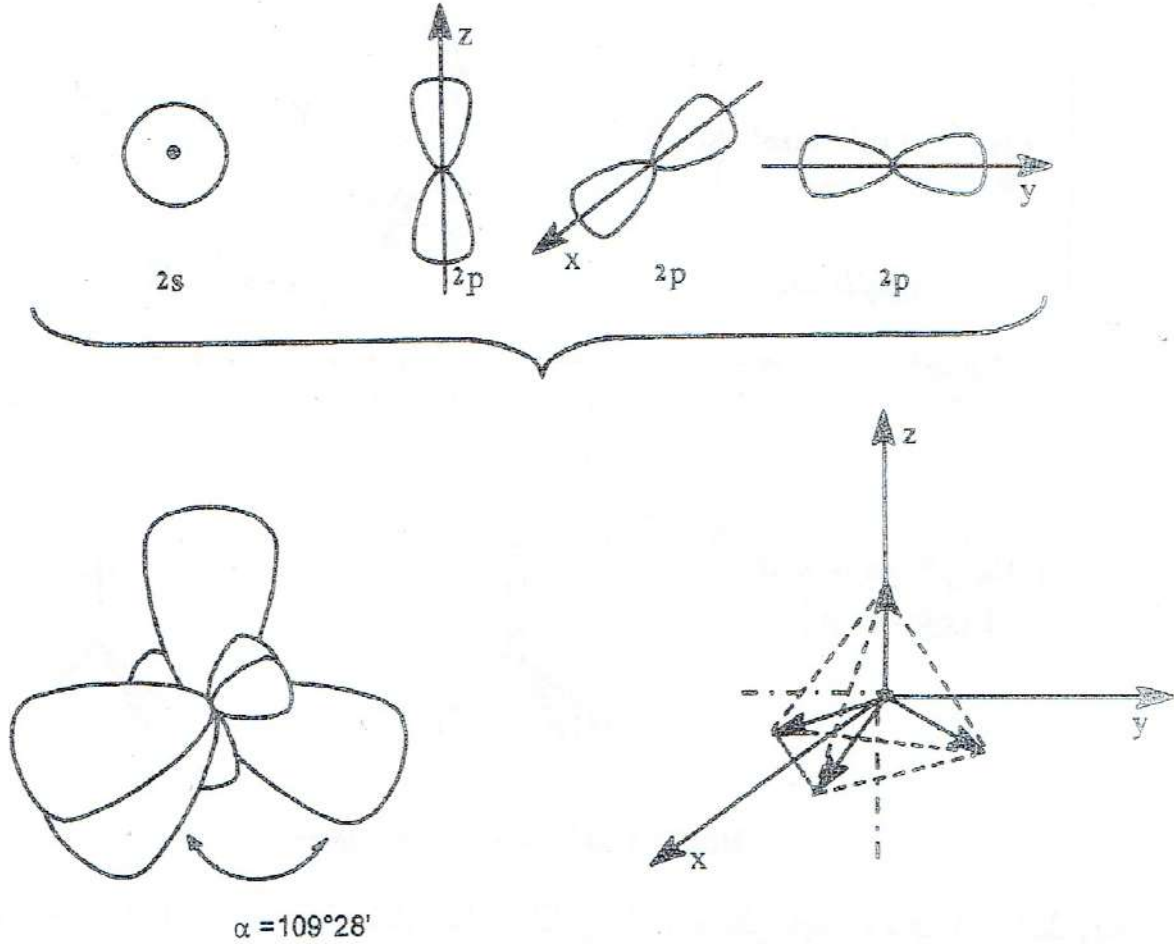
لنعتبر جزيء الميثان CH_4



يتكون جزيء الميثان CH_4 من 4 روابط (H-C) مختلفة (3 روابط σ 1s-2p و رابطة σ 1s-1s). برهنت التجربة بأن الروابط الأربعة H-C مماثلة (متطابقة). ينبغي تفسير ذلك بأنه عندما يساهم الكربون في تكوين جزيء الميثان فإن المحطات الأربعة s, p_x, p_y, p_z تختلط فيما بينها (تخضع إلى التهجين) لتشكيل 4 محطات مهجنة مماثلة.

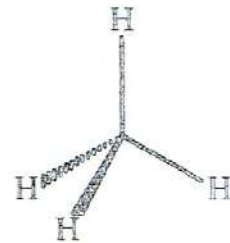


- تكون ذرة الكربون الداخلة في تكوين جزيء الميثان مهجنة sp^3
- تكون محاور المحطات المهجنة الأربعة موجهة نحو قمم رباعي الوجوه المنتظم
- ($\alpha = 109^\circ 28'$). يتشكل الجزيء من أربعة (4) روابط مماثلة σ $1s-sp^3$



تمثيل تغطية المحطات الذرية في جزيء الميثان

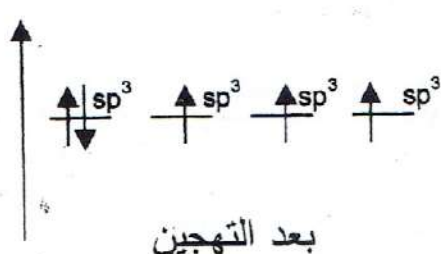
رابطة في المستوي
 رابطة وراء المستوي
 رابطة أمام المستوي



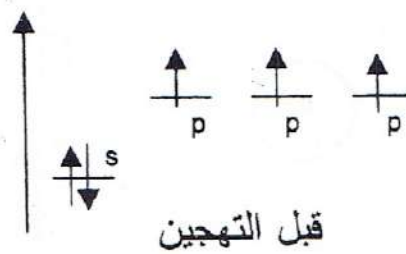
تمثيل خطي لجزيء CH_4 حسب كرام

المثال الأول : جزيء النشادر NH_3

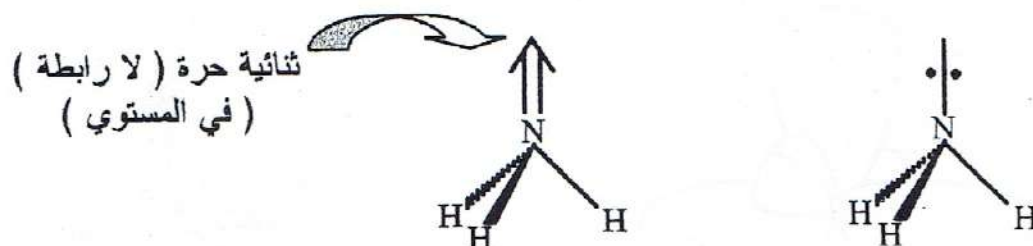
${}^7\text{N} : 1s^2 / 2s^2$



4 O.A sp^3
(sp^3)



1 O.A ns + 3 O.A np
(s . p . p . p)



تمثيل كرام Cram لجزيء NH_3

تبين التجربة أن $\alpha \approx 107^\circ$ و هذا بسبب تأثير الثنائية الحرة على قيمة زوايا الروابط N-H الثلاثة مما يؤدي إلى "غلق" طفيف لهاته الزوايا فيكون التناظر ناقصا.

نفس الملاحظة بالنسبة لـ H_2O $\alpha \approx 104^\circ$ بدلا من $109^\circ 28'$

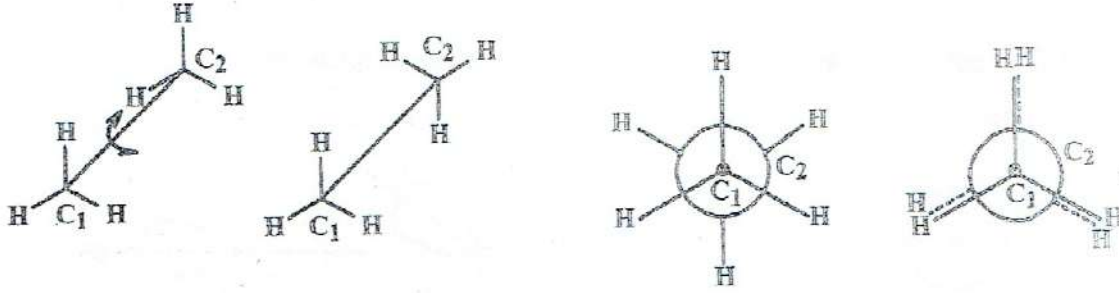


ملاحظة : يؤثر وجود الثنائية الحرة (أو أكثر) على قيمة الزوايا. سنرى بعد ذلك إن وجود ثنائيات حرة، تمهد لتهجين من نمط AX_3E_1 أو AX_2E_2 و أخرى (قواعد جيلسبي - Gillespie).

المثال الثاني : جزيء الايثان C_2H_6 (CH_3-CH_3)



يكون الدوران حرا بين C_1 و C_2 (الرابطة من نمط σ) و طول الرابطة $d_{C_1-C_2} = 1,53 \text{ \AA}$
 توجد امثالات لا نهائية منها اثنتان حديتان :



مكسوف

مائل

تمثيل الحصان (perspective cavalière)

مائل

مكسوف

تمثيل نيومان Newman

• عندما تكون ذرات الهيدروجين متقابلة تخفي إحداها الأخرى يدعى الامتثال بالمكسوف (éclipsee).

• عندما تكون ذرات الهيدروجين إحداها مقابلة للوجه الذي يحتوي على ذرتين يدعى بالامتثال المائل (décalée).

• عند درجة حرارة الغرفة كل الامتثالات ممكنة، لكن إحصائيا التمثيل المائل هو الأكثر استقرارا .
 (الامتثال المائل / الامتثال المكسوف $\Delta E = 2,7 \text{ kcal / mole}$)

ملاحظة :

• الجزيئات غير الحلقية أي السلاسل المفتوحة (الألكانات) ، بسبب الدوران الحر الذي يرافق الرابطة σ ، تظهر في شكل سلسلة مرنة مع $\alpha = 109^\circ 28'$.

• أما بالنسبة للجزيئات الحلقية تكون قيمة زوايا التكافؤ متغيرة .

مثال : البروبان الحلقي

تكون ذرات الكربون الثلاثة مهجنة sp^3 و $\alpha = 60^\circ$ بدلا من $109^\circ 28'$
 و يكون الإجهاد على الحلقة عاليا

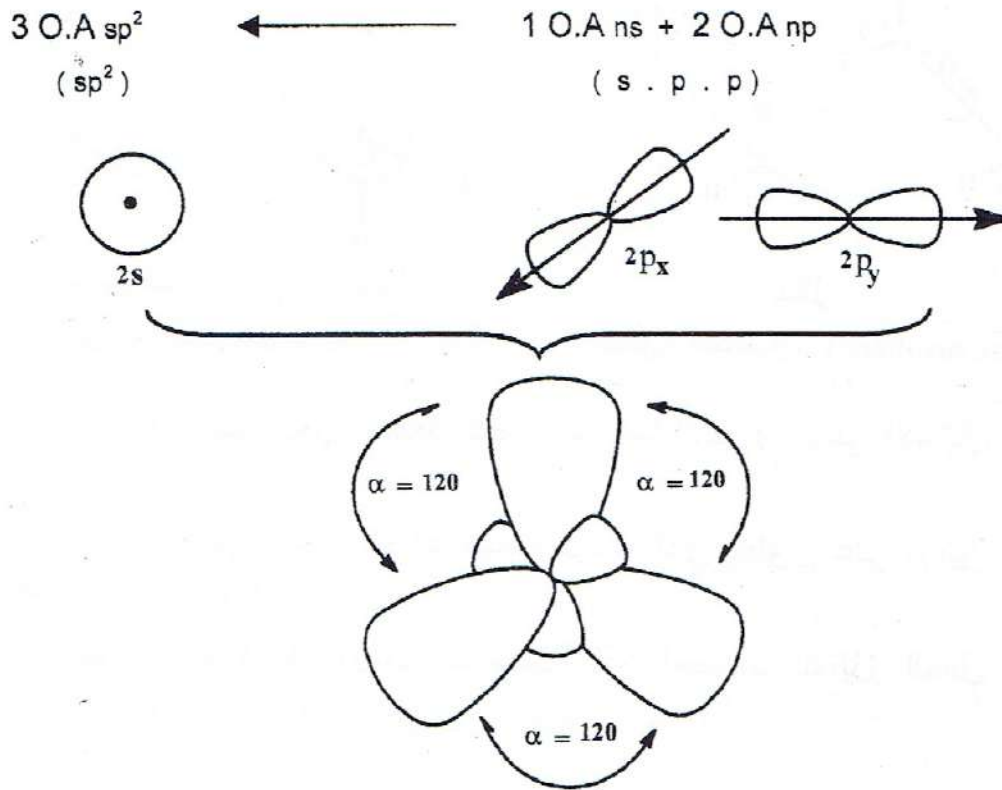


يكون الإجهاد على البيوتان الحلقي ($\alpha = 90^\circ$) أقل مما يكون عليه في البروبان الحلقي و منعما في حلقي الهكسان (حلقة مستقرة $\alpha = 109^\circ 28'$) ، الدوران الحر متواجد لكنه يكون مضايقا بالنسبة لما

بالنسبة لما كان عليه في السلاسل المفتوحة (يكون لدينا عدد غير متناه من الامتثالات حيث تكون اثنتان منها حدية).

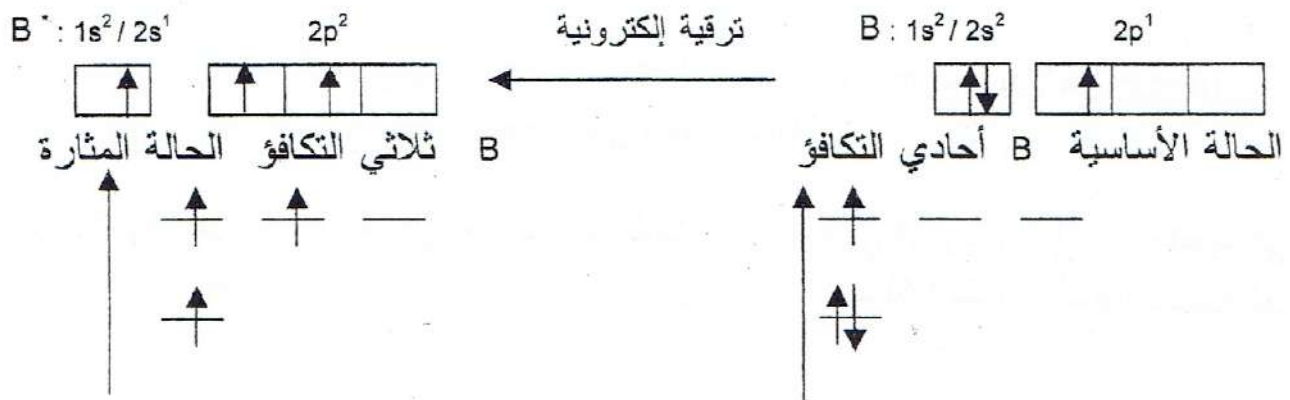


(2) التهجين sp^2

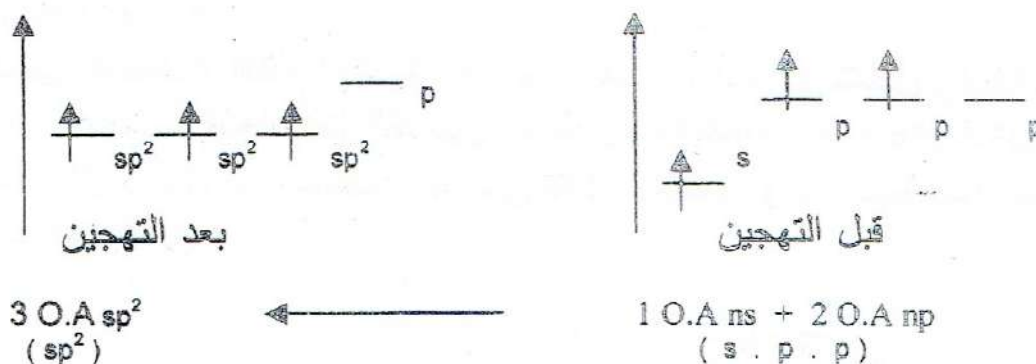


يبقى المحط $2p_z$ على حاله، عمودي على المستوى المتشكل من المحطات المهجنة الثلاثة.

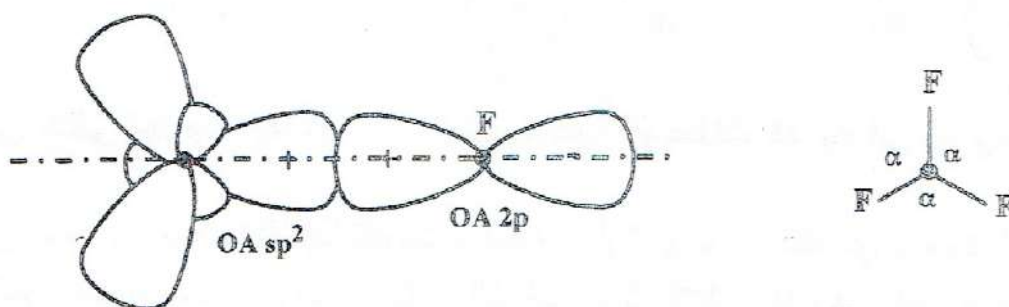
المثال الأول : جزيء BF_3



في جزيء BF_3 لدينا 3 روابط (B-F) مختلفة (2 روابط σ 2p-2p و رابطة σ 1s-2p) .
برهنت التجربة أن الروابط الثلاثة B-F مائلة (متطابقة) إذن المحطات الثلاثة p_x, p_y, s تختلط فيما بينها (تخضع إلى التهجين) لتشكل ثلاثة (3) محطات مهجنة متطابقة (مائلة) .



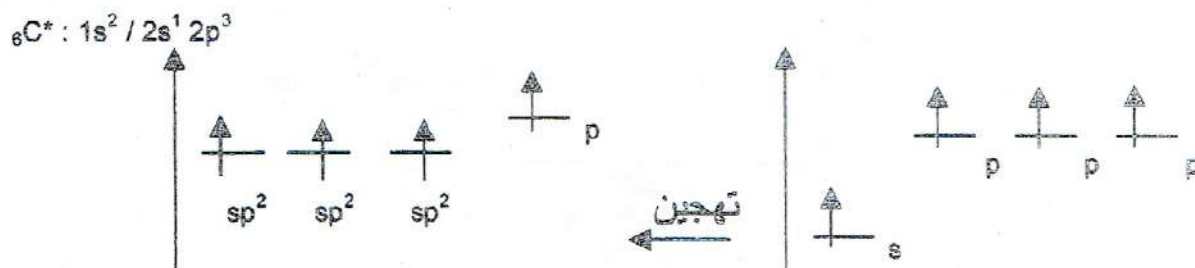
المحطات الثلاثة المهجنة sp^2 متكافئة، $\alpha = 120^\circ$ ، تكون الروابط في نفس المستوى.



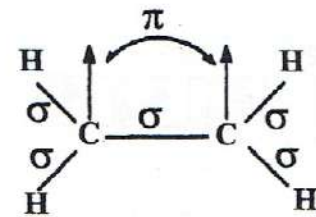
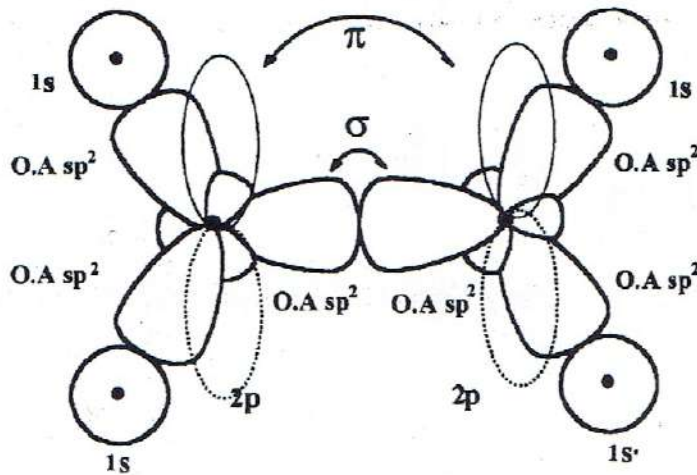
تمثيل خطي لرابطة B-F

جزيء BF_3 حسب كرام Cram

المثال الثاني : $CH_2 = CH_2$



- تنتمي المحطات الثلاثة المهجنة sp^2 إلى نفس المستوي $\alpha = 120^\circ$ ، و يبقى المحط النقي (الخالص) عمودي على مستوي المحطات الثلاثة.
- تكون لدينا تغطية محورية لمحطتين مهجنة sp^2 لذرتي الكربون الأكثر اقترابا من بعض مكونة رابطة σ sp^2-sp^2 .
- تعطي المحطات النقية $2p$ لذرتي الكربون تغطية جانبية مع تشكيل رابطة من نمط π بين ذرات الكربون (يتحد ذرتي الكربون مشكلة رابطة ثنائية : $1\sigma + 1\pi$ و $d_{C-C} = 1,33 \text{ \AA}$).
- تملك كل ذرة كربون محطان sp^2 التي تشكل كلاهما روابط بسيطة من النوع σ sp^2-1 مع ذرات الهيدروجين.



تمثيل تغطية المحطات الذرية في جزيء الإيثان C_2H_4

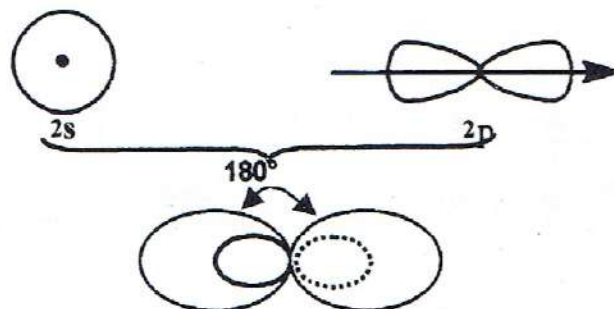
تمثيل خطي لجزيء C_2H_4

ملحوظة :

لا يمكن أن توجد رابطة π إلا إذا تكونت رابطة σ أولا و تبعا لذلك أي بوجود الرابطة π فإن الدوران الحر يصبح مجمدا والذي يثبت الذرات الستة ($2C$ و $4H$) في نفس المستوى.

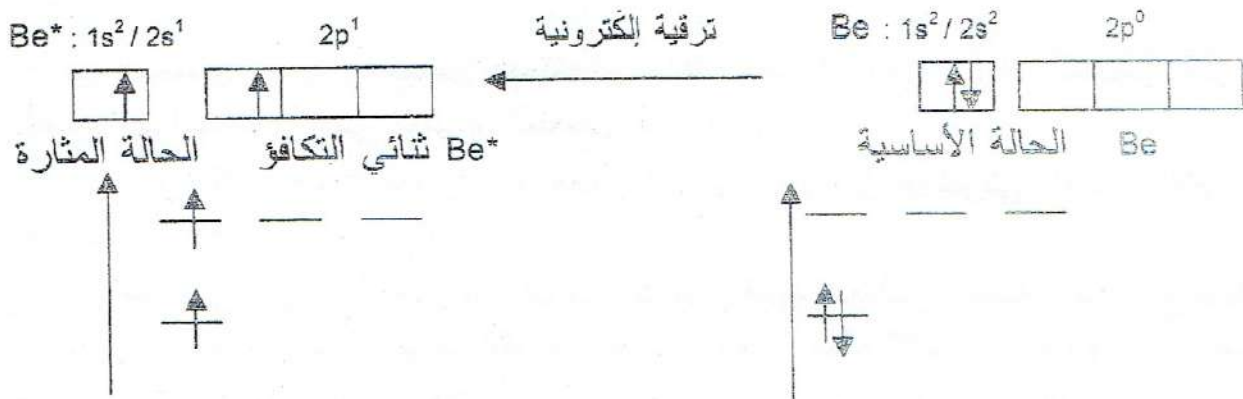
(3) التهجين sp

نتبع نفس المنهجية ، يختلط محط s و محط p لتشكيل محطين مهجنين sp

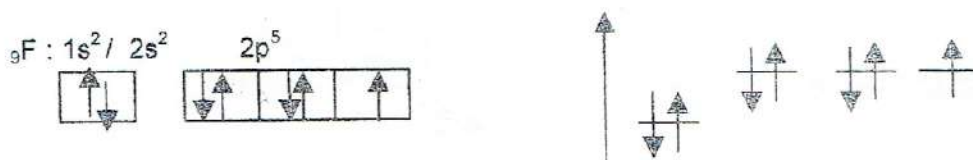
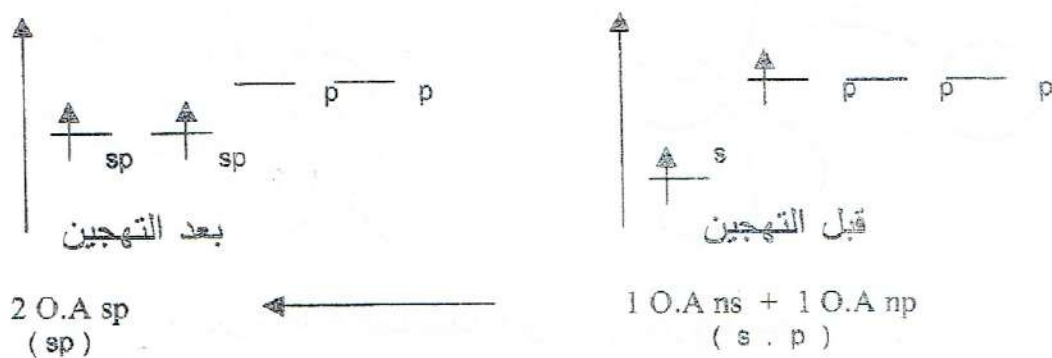


تمثيل تغطية المحطات الذرية المهجنة sp

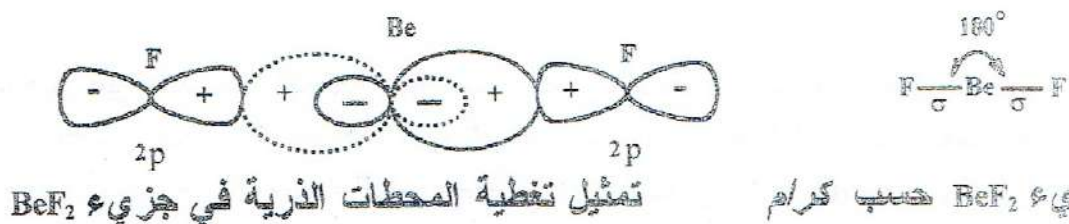
المثال الأول : جزيء BeF_2



في جزيء BeF_2 تكون الرابطتين (Be-F) مختلفتين (رابطة $\sigma 2s - 2p$ و رابطة $\sigma 1s - 2p$) . حيث برهنت التجربة أن الرابطتين Be-F متطابقتين (متماثلتين) لأن المحطات s و p_x تختلط فيما بينها (تخضع إلى التهجين) و تشكل محطين مهجنين متماثلين من نمط sp. و تبقى المحطات النقية (الخالصة) عمودية على محور التناظر و متعامدة فيما بينها.

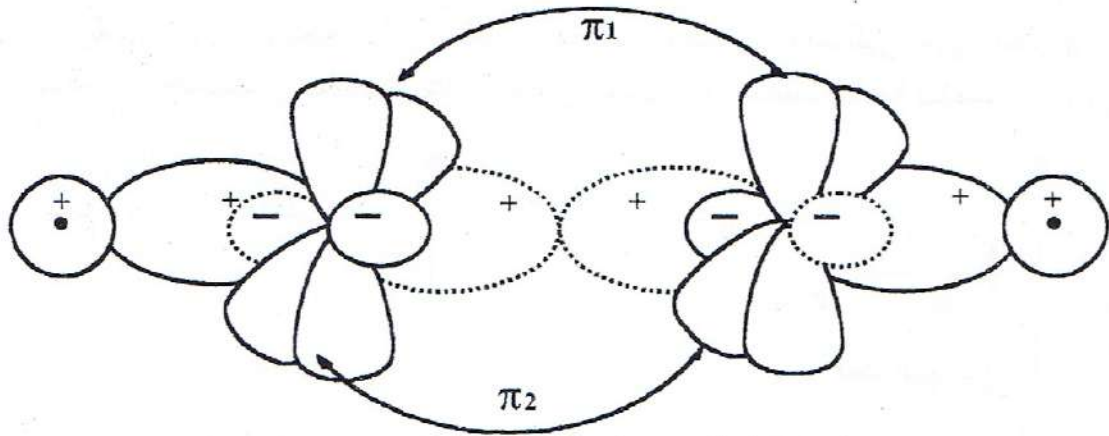


المحطان المهجانان sp لها نفس محور التناظر ($\alpha = 180^\circ$ ، حيث المحورين ملتحمين $\Leftarrow$ الجزيء خطي).

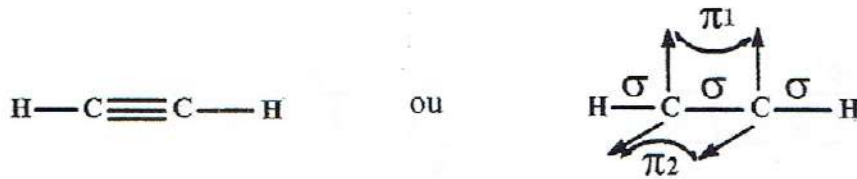


المثال الثاني : جزيء الأسيتيلين C_2H_2

- إن المحطين الذريين المهجنين sp يتخذان شكلا خطيا ($\alpha = 180^\circ$) أما المحطان الذريين النقيين فإنها يتعامدان على مستوى المحطين الذريين sp .
- ينتج عن ذلك تغطية محورية للمحطين الذريين المهجنين sp لذرتي الكربون الأقرب من بعضهما مشكلة رابطة σ_{sp-sp} .
- أما المحطان الذريان النقيان $2p$ لذرتي الكربون فإنهما يعطيان تغطية جانبية مع تشكيل رابطتين من نمط π (أي أن ذرتي الكربون تتحدان معا برابطة ثلاثية: $\sigma + \pi + \pi$ ، $d_{C \equiv C} = 1.2 \text{ \AA}$).
- المحطان الذريان النقيان متعامدان فيما بينهما و على محور المحطين الذريين sp .
- تحتفظ أيضا كل ذرة من ذرتي الكربون محطا ذريا sp الذي سوف يشكل مع ذرة الهيدروجين رابطة من نوع σ_{sp-1s} .



تمثيل تغطية المحطات الذرية في جزيء C_2H_2



تمثيل خطي لجزيء C_2H_2

ملحوظة : يمنع الدوران الحر بسبب وجود الرابطة π ، تفرض الرابطة π الثانية الهندسة الخطية للجزيء (تصطف الذرات الأربعة $2C$ و $2H$ على نفس الخط).

ملاحظة :

- يتم التهجين بين الطبقات التحتية (ns, np) لنفس الطبقة الرئيسية ولنفس الذرة. تنحصر هذه الدراسة فقط على المحطات s و p علما أنه يمكن تعميم هذا النموذج على الرابطة الكيميائية و توسيعه إلى المحطات d (تهجين d^2sp^3, sp^3d^2, sp^3d و dsp^2) الذي سنتطرق له خلال دراسة المركبات المعقدة.

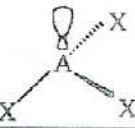
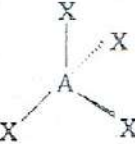
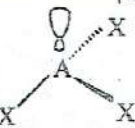
• تسمح نظرية المحطات الجزيئية المكملة بالتهجين بتعيين هندسة الجزيئات.

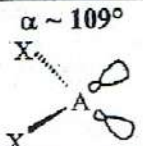
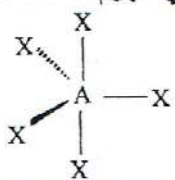
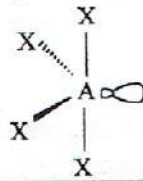
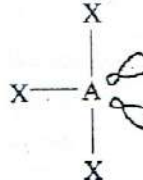
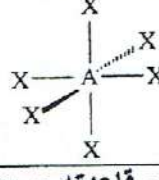
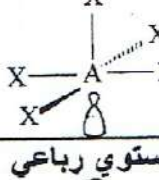
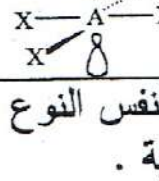
تصبح هذه الطريقة طويلة عندما يتعلق الأمر بجزيئات أكثر تعقيدا (عدة فرضيات لأختيار التهجين وتشييد المحطات الجزيئية)، نظرية جيلسبي Gillespie أو طريقة V.S.E.P.R (Valence Shell Electron Pair Repulsion) يعني التناظر بين الشائيات الإلكترونية التكافؤية التي تسمح بتمثيل هندسة جزيء معقد بسرعة .

II. نظرية جيلسبي Gillespie :

باستعمال قواعد جيلسبي Gillespie نستطيع تعيين هندسة جزيء متشكل من أكثر من ذرتين.

القاعدة : " وضعية الذرات في جزيء من نمط AX_nE_p يحدد بمجموع $\sigma + NL$ (ثنائية لا رابطة (أو حرة) . تكون السحابة الإلكترونية لثنائية لا رابطة دائما ذات تناظر محوري "

بنية الجزيئات و الأيونات حسب الطريقة V.S.E.P.R					
$n+p$	n	p	النمط	التهجين	الأمثلة
2	2	0	AX_2	sp	خطي $\alpha = 180^\circ$ $X-A-X$ CO ₂ ; HCN; HgCl ₂ BeF ₂ ; NO ₂ ⁺ ; Hg(NH ₃) ₂ ⁺
3	3	0	AX_3	sp ²	مثلث $\alpha = 120^\circ$  BCl ₃ ; BF ₃ ; AlCl ₃ NO ₃ ⁻ ; CO ₃ ²⁻ ; SO ₃ COCl ₂
	2	1	AX_2E_1	sp ²	$\alpha \sim 120^\circ$  SO ₂ ; SnCl ₂ ; O ₃ NOCl; NOF NO ₂ ⁻
4	4	0	AX_4	sp ³	رباعي الوجوه $\alpha = 109^\circ 28'$  CH ₄ ; CHCl ₃ ; ClO ₄ ⁻ ; SO ₄ ²⁻ NH ₄ ⁺ ; POCl ₃
	3	1	AX_3E_1	sp ³	هرم قاعدته مثلث  NH ₃ ; PF ₃ ; SOCl ₂ ; NF ₃ SO ₃ ²⁻ ; H ₃ O ⁺ ClO ₃ ⁻

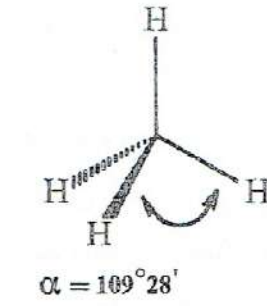
بنية الجزيئات و الأيونات حسب الطريقة V.S.E.P.R (تابع) AX_nE_p						
5	2	2	AX_2E_2	sp^3	$\alpha \sim 109^\circ$ 	H_2O ; $(CH_3)_2O$ NH_2^- ; ClO_2^- ; SCl_2
	5	0	AX_5	sp^3d	ثنائي الهرم قاعدته مثلث 	PF_5 ; PF_3Cl_2 ; SOF_4
	4	1	AX_4E_1		رباعي الوجوه غير منتظم 	SF_4 ; SeF_4 ; $TeCl_4$ $IO_2F_2^-$; IF_4^+
	3	2	AX_3E_2		على شكل T 	BeF_3 ; ClF_3
	2	3	AX_2E_3		خطي 	$BrCl^-$; ICl_2^- ; XeF_2
6	6	0	AX_6	d^2sp^3 أو sp^3d^2	ثماني الوجوه 	SF_6 ; SeF_6 ; PF_6^-
	5	1	AX_5E_1	d^2sp^3 أو sp^3d^2	هرم قاعدته مربع 	BrF_5 ; SbF_5^{2-} ; IF_5 $XeOF_4$
	4	2	AX_4E_2	dsp^2	مستوي رباعي 	ICl_4^- ; XeF_4 ; BrF_4^-

لشرح الاختلافات في قيم الزوايا لنفس النوع من التهجين لا بد من اللجوء إلى قواعد إضافية مرتبطة بظواهر من الدرجة الثانية .

1. التنافر بين ثنائيات لا رابطة (NL) و ثنائيات رابطة (L) تتغير حسب الترتيب التالي:
 $(NL - NL) > (NL - L) > (L - L)$
2. يزايد التنافر بين ثنائيات لا رابطة عند "ازاحتها" نحو الذرة المركزية (الأكثر كهروسلبية)

المثال الأول : تقدم الجزيئات CH_4 ، NH_3 و H_2O تهجين من نمط sp^3 من أجل C ، N ، O

$$(\sigma + NL = 4)$$

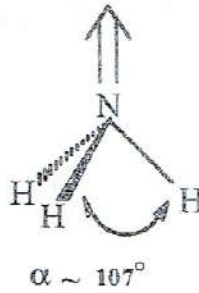


رباعي الوجوه منتظم

$$\sigma + NL = 4 + 0 = 4$$

4 روابط (L-L)

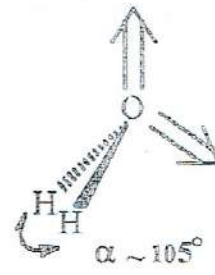
6 تنافر (L-L)



رباعي الوجوه غير منتظم

$$\sigma + NL = 3 + 1 = 4$$

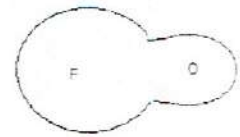
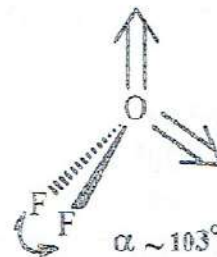
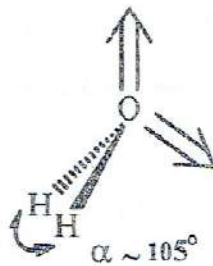
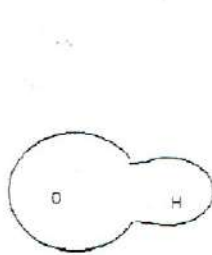
3 روابط (L-L)
 ثناء لا رابطة NL
 3 تنافر (L-L)
 3 تنافر (NL-L)



$$\sigma + NL = 2 + 2 = 4$$

2 روابط (L-L)
 ثنائيين لا رابطة NL
 1 تنافر (NL-NL)
 4 تنافر (NL-L)
 1 تنافر (L-L)

المثال الثاني : الجزيئات F_2O و H_2O



تنزاح السحابة الإلكترونية لثنائية الرابطة نحو ذرة F ($\chi_F > \chi_O$) و نحو O ($\chi_O > \chi_H$) تكون الكثافة الإلكترونية، في جزيء الماء H_2O ، عالية بجوار الذرة المركزية (الأوكسجين)، والتنافر يكون أعظما و الزاوية التكافؤية تصبح كبيرة.

III. دراسة بعض معقدات المعادن الانتقالية

تتشكل المركبات المعقدة بصفة عامة من كاتيون (معدن انتقالي) $Fe^{2+}, Fe^{3+}, Co^{3+}$ ، Ni^{2+}, Zn^{2+} ... و يسمى بالأيون المركزي (أو الذرة المركزية) الذي يتحد بروابط تساندية مع جزيئات أو أيونات أخرى (المتراپطات).
يمكن للمترباط (المتناسق) أن يكون أيونا بسيطا (Cl^{-}, I^{-}, Br^{-}) أو أيونا متركبا (NO_3^{-}, CN^{-} ...).
أوجزيئا متعادلا (H_2O, NH_3, CO, NO_2 ...).
يعرف العدد الإجمالي للمترباطات عدد التكافؤ للمعدن (الأيون المركزي).

الصيغة العامة : $[ML_n]^x$

M : الأيون المركزي (مشحونا إيجابا)

L : المترباط ، المتناسق

n : عدد المترباطات

x هي الشحنة الكلية للمركب المعقد ($x < 0$ أو $x = 0$ أو $x > 0$)

شحنة الأيون المركزي = الشحنة الكلية - مجموع شحنات المرتبطات

المثال 1 : $K_4Fe(CN)_6$ (diamagnétique)



• تعيين شحنة المترباط

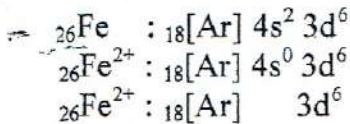


شحنة المترباط = -1

• تعيين شحنة الأيون المركزي :

$$Fe \text{ (شحنة)} = -4 - 6(-1) = -4 + 6 = +2 \Rightarrow Fe^{2+}$$

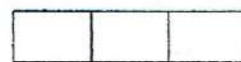
• التركيب و التشكيل الإلكتروني لـ Fe^{2+}



4s⁰



4p⁰

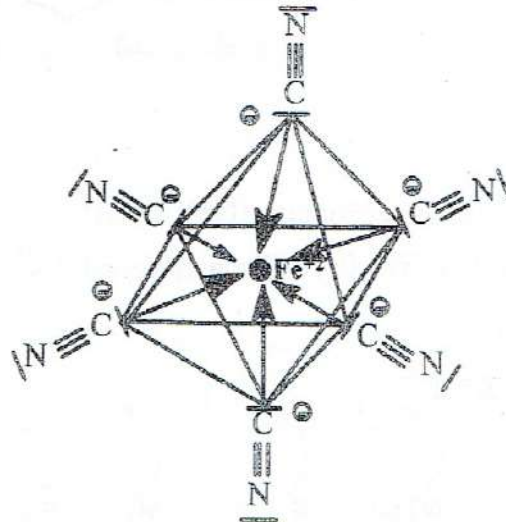
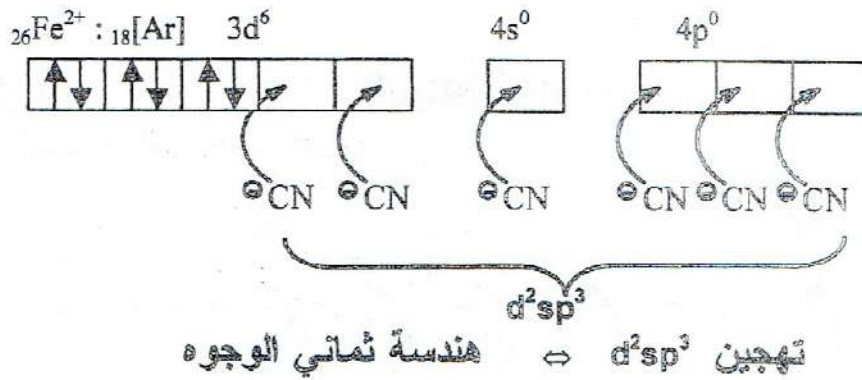


• لا يمتلك المعقد خواص مغناطيسية دائمة (diamagnétique) أي لا يكتسب

إلكترونات عازية ، إذن هناك إعادة توزيع الإلكترونات الموجودة في المحط 3d.

المترباطات الستة CN⁻ (نذكر أن الشحنة السالبة يحملها الكربون) يشغلان محطين 3d ،

محط 4s و الثلاثة محطات 4p حسب المخطط التالي :

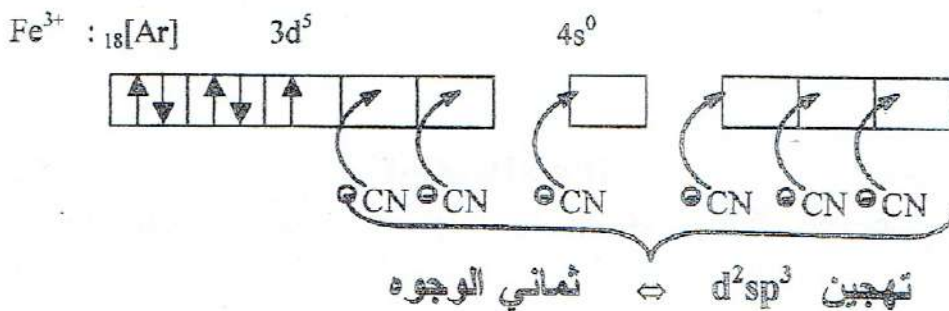


التمثيل الخطي للمركب المعقد $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$

المثال 2: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (paramagnétique) معقد له خواص مغناطيسية دائمة (paramagnétique) و يمتلك إلكترونات عازبا واحدا.



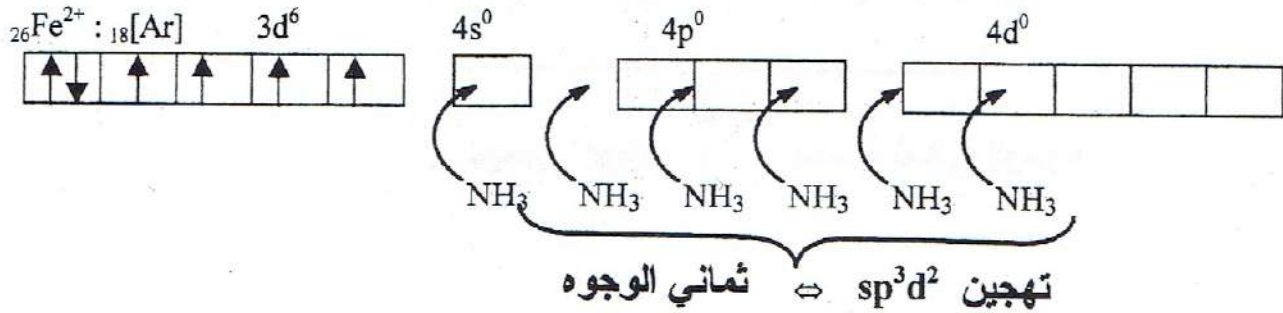
التشكيل الإلكتروني لـ Fe^{3+} الذي يملك خواص مغناطيسية دائمة (إلكترونات عازبا واحدا).



(paramagnétique) $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$

المثال 3 :

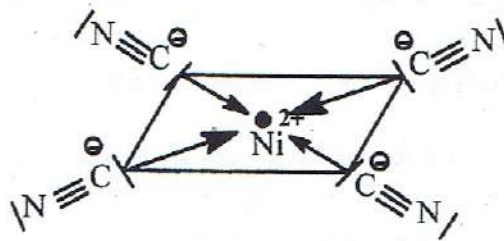
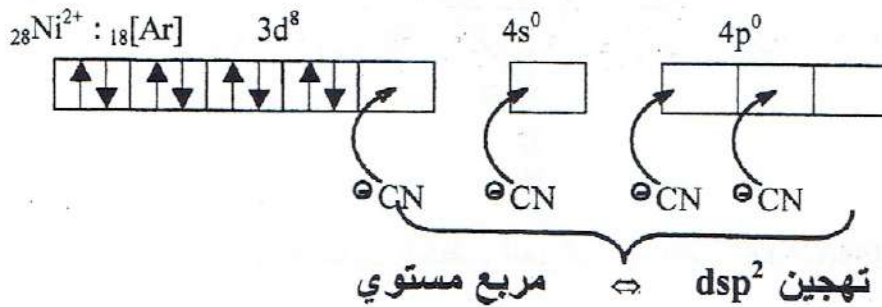
معقد يملك 4 إلكترونات عازبة



(diamagnétique) $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$

المثال 4 :

معقد ليس له خواص مغناطيسية دائمة (diamagnétique) (0 إلكترونات عازبة).

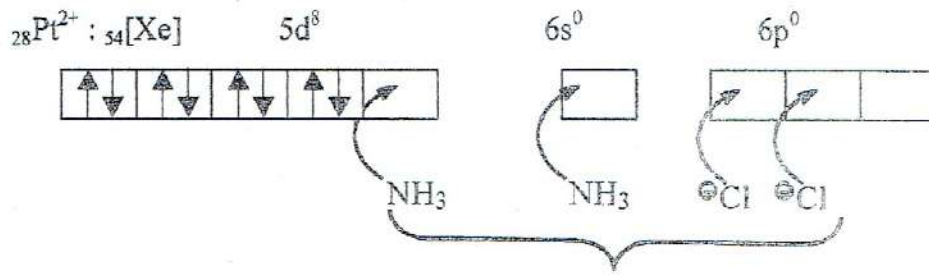


التمثيل الخطي للمعقد $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]^0$

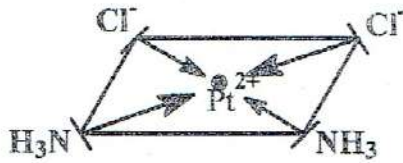
المثال 5 :

معقد مختلط ليس له خواص مغناطيسية دائمة. يتشكل المركب المختلط من مترابطات مختلفة.

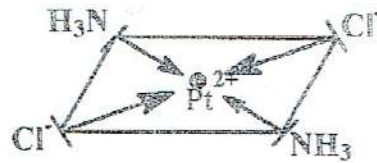


تهجين dsp^2 $\Leftrightarrow$ مربع مستوي

بالنسبة لـ Cl^- سنمثل ثنائية واحدة (الثنائية الرابطة).



مقرون 'cis'



مفروق 'trans'

التمثيل الخطي للمماكبين مفروق و مقرون للمعقد المختلط $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]^0$

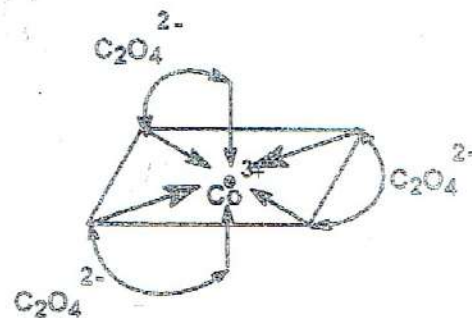
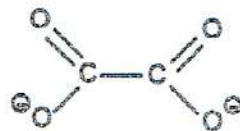
ملحوظة :

تكون في المركب "مقرون" الذرات المتطابقة (ذرتي الكلور أو النشادر) على نفس الجانب عكس المركب "المفروق" أين تكون الذرات المتشابهة في جهتين مختلفتين (إزاء بعضها البعض).

ملاحظة :

يمكن لمترايط أن يشبع أكثر من رابطة تكافؤية.

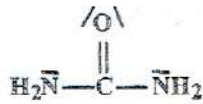
مثال : $[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ أين $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ أيون الأوكزالات oxalate يشبع رابطتان تكافويتان.



التمارين

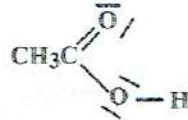
التمرين 1.IX :

أعط نوع تهجين الذرات المختلفة عن الهيدروجين في الجزيئات الآتية ثم هندسة اليوريا urée، الفورمالدهيد formaldéhyde و الكومولان cumullène (مبينا قيم زوايا التكافؤ و الوضعية النسبية لمختلف الذرات).



Urée

اليوريا



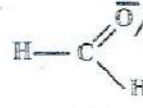
Acide Acétique

حمض الخل



Ethanol

الإيثانول



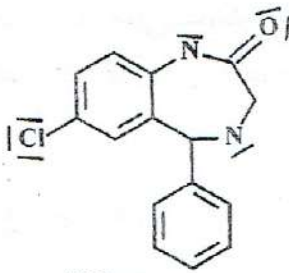
Formaldéhyde

الفورمالدهيد



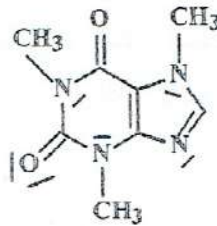
Cumullène

الكومولان



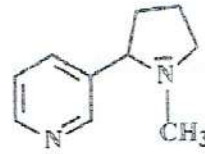
Valium

الفاليوم



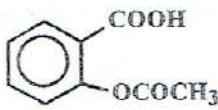
Caféine

الكافيين



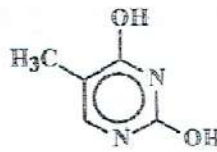
Nicotine

النيكوتين



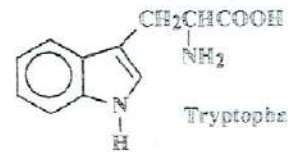
Acide acétylsalicylique
(Aspirine)

حمض الأسيتيل ساليسيليك



Thymine

التيمين



Tryptophane

الترينوفان

التمرين 2.IX :

أعط كل أنواع الرابطة σ الممكنة و أعط مثالا لكل منها.

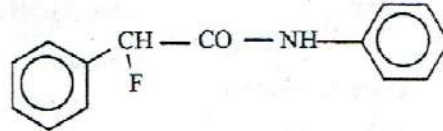
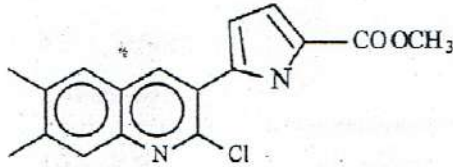
التمرين 3.IX :

أعط حسب قواعد جيليسبي Gillespie نوع التهجين وهندسة الجزيئات الآتية مع احترام قيم زوايا التكافؤ (يكون التمثيل خطي بحيث نرسم إلى : ثنائية لا رابطة (NL) $\uparrow$ ، ثنائية رابطة — (L) و الرابطة π $\uparrow\uparrow$)

(أ) H_2S و $BeCl_2$ ، PCl_3 ، $POCl_3$ ، BCl_3

(ب) CH_3COCH_3 و $CH_2 = C = C = CH_2$ ، NH_2NH_2 ، C_2H_2 ، $CH_2 = CH_2$ ، H_2CO

(ج) C_6H_6



التمرين 4.IX :

ترتبط هندسة الجزيئات بعدد الثنائيات الحرة (لا رابطة) و كهروسلبية مختلف الذرات التي تشكل الجزيء. أعط نوع التهجين ، هندسة و تغيير زوايا التكافؤ حسب α المتزايد لكل من السلسلتين التاليتين و ماذا تستنتج ؟

NH_3 ، PH_3 ، AsH_3 ، SbH_3 و $AsCl_3$ ، $AsBr_3$ ، AsI_3

التمرين 5.IX :

المركب $[Ru(NH_3)_6]^{2+}$ عبارة عن جزيء معقد لا يتمتع بخواص مغناطيسية دائمة (مركب لا مغناطيسي) (diamagnétique).

(أ) أعط التشكيل الإلكتروني لعنصر الروتينيوم Ruthénium الداخل في تشكيل المعقد (ب) يؤدي وجود NH_3 إلى إعادة توزيع إلكترونات تكافؤ الأيون المركزي ، مثله بواسطة الحجيرات الكمية ثم أعط نوع التهجين و هندسة المعقد (التمثيل الخطي).

المعطيات : 1H ، ^{14}N ، ^{44}Ru

التمرين 6.IX :

لنعتبر المركب المعقد لا مغناطيسي المختلط : $[CoBr_2(NH_3)_4]^+$

(أ) أعط شحنة الأيون المركزي

(ب) أعط التشكيل الإلكتروني للأيون المركزي الداخل في تشكيل المعقد مع تمثيل طبقات التكافؤ التحتية بواسطة الحجيرات الكمية.

(ج) أعط نوع التهجين و هندسة المعقد (المماكيات الممكنة).

المعطيات : ^{79}Br ، ^{59}Co ، ^{14}N

حلول التمارين

الباب الأول :

$m(\text{Zn}) = 392,97\text{g}$ $m(\text{H}_2\text{O}) = 0,18\text{g}$ أ. 2. I

$m(\text{CO}_2) = 26,4\text{g}$; $n(\text{C}) = 3,61 \cdot 10^{23}$ ذرة (atomes) ; $n(\text{O}) = 7,22 \cdot 10^{23}$ ذرة ب. 2. I

$n(\text{CO}_2) = 3,61 \cdot 10^{23}$ جزيء (molecules)

$m = 12\text{g}$ من اليوريا ; $n = 0,12\text{ moles}$ من الغليكوز 3. I

$m = 1,86 \cdot 10^4\text{g}$ أ. 4. I

(ملاحظة: إن الكتلة المولية للهيم تساوي حوالي 18 kg . لا تتدهش من أهمية هذه الكتلة لأنه توجد في الكيمياء الحيوية جزيئات كبيرة جدا).

ب. 4. I - الحوصلة النهائية : 1 مول من H_2O و 1/2 مول من O_2 .

SnO_2 6. I

$N = 6,02 \cdot 10^{23}$ 7. I

الباب الثاني :

$m = 27 \times 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ kg} = 4,482 \cdot 10^{-26}\text{ kg} = 44,482 \cdot 10^{-29}\text{ T}$ أ. 1.1. III

$V = 4/3 \cdot \pi R^3 = 4/3 \cdot \pi R_0^3 A = 2,484 \cdot 10^{-43}\text{ m}$ ب. 1.1. III

$\rho = 1,8 \cdot 10^{17}\text{ kg/m}^3 = 1,8 \cdot 10^8\text{ kg/cm}^3$ ج. 1.1. III

$V = 1,5 \cdot 10^{-14}\text{ cm}^3$ (تتكون المادة في معظمها من فراغ) 2.1. III

Z بروتونا و Z إلكترونات و (A-Z) نيوترونات 1. 2. III

Al: 13p, 13 e⁻ ; Al³⁺: 13p, 10 e⁻ 2. 2. III

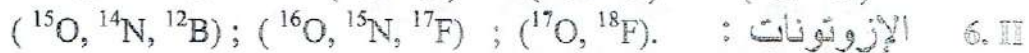
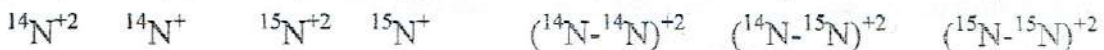
F: 9p, 9 e⁻ ; F⁻: 9p, 10 e⁻.

$a = E/A$ و $E = \Delta m \cdot c^2$ و $\Delta m = [Z \cdot m_p + (A-Z)m_n] - M(A,Z) \Rightarrow Z = 5$ 3. III

$P - 6\pi\eta r v = 0$; ($P = mg$, $m = \rho \cdot V$ et $V = 4/3 \cdot \pi r^3$) $r = 1,45 \cdot 10^{-6}\text{ m}$; $m = 1,6 \cdot 10^{-14}\text{ kg}$ 1.4. III

$P + F_e - 6\pi\eta r v = 0$; $q = 9,722 \cdot 10^{-19}\text{ C}$; $n = q/e = 5$ 2.4. III

$m/q = BD / \gamma v \Rightarrow D_2 - D_1 = d = (m_2 - m_1) \times 2v / qB = 4,13\text{ cm}$ 1. 5. III



$M = m(\text{Cl-35}) \cdot 75,5\% + m(\text{Cl-37}) \cdot 24,6\% = 35,459\text{g}$ 1. 7. III

$\text{C-13} = 1,11\%$; $m(\text{C-13}) = 12,99 \sim 13$ 1. 7. III

$\Delta m = m_{\text{th}} - m_{\text{exp}} = [Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n] - m_{\text{exp}} = 0,03037\text{ uma}$ 1. 8. III

$E = \Delta m (\text{u.m.a}) \times 931\text{MeV/u.m.a} = 28,277\text{ MeV} = 4,524 \cdot 10^{-12}\text{ J}$ ($1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$)

$E = (\Delta m \times 931) \cdot N = 170,227 \cdot 10^{23}\text{ MeV} = 2,72 \cdot 10^{12}\text{ J} = 2,72 \cdot 10^9\text{ kJ}$ من أجل مول واحد

$E = \Delta m \cdot 10^{-3}\text{ kg} \cdot c^2 (\text{m}^2/\text{s}^2) = 0,03037 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2,73 \cdot 10^{12}\text{ J}$ أو



1.8. II

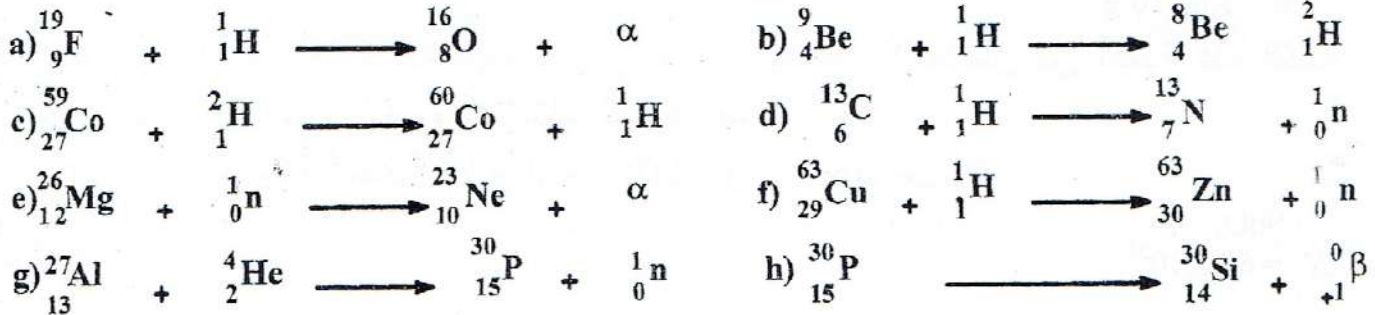
$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} \quad E = 94,1 \cdot 10^3 : 4,18 = 393,34 \text{ kJ.}$$

$$m = 12 \text{ g} \times 2,72 \cdot 10^9 \text{ kJ} / 393,34 \text{ kJ} = 82,98 \cdot 10^6 \text{ g} \approx 83 \text{ T ! (! طنا)}$$

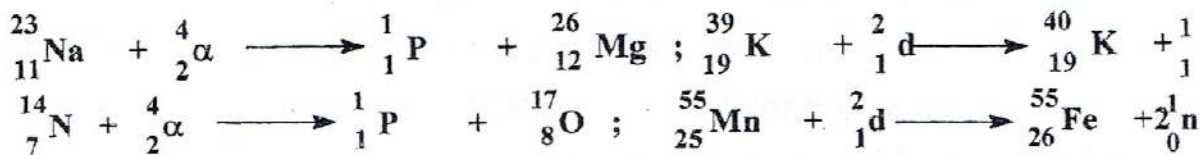
(تساوي الطاقة المحررة من طرف 4g من الهليوم *Hélium* تلك التي تنتشر بحرق 83 طنا من الفحم (طاقة لا تجدد) و هذا يبرهن عن أهمية الإشعاعية و التفاعلات النووية).

الباب الثالث :

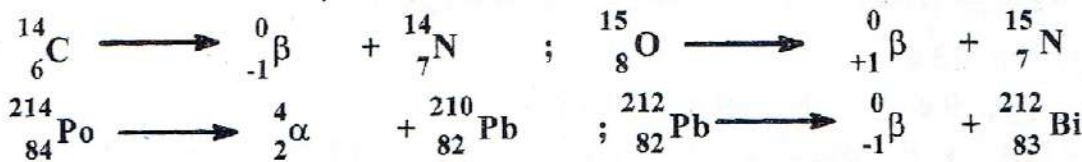
1.1.III



2.1.III



3.1.III



$$N = 2,53 \cdot 10^{21} : \text{U-238} \quad A = \lambda N = \ln 2 \times N / T \quad 2. \text{ III}$$

$$N = 6,021 \cdot 10^{23} \quad \Leftarrow \quad (238\text{g}) \quad \text{من أجل مول واحد}$$

$$dN / dt = -\lambda N \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t} \quad 1.3. \text{ III}$$

$$T = \ln 2 / \lambda = 15 \text{ h.} \quad 2.3. \text{ III}$$

$$t = 13 \text{ min } 6 \text{ s} \quad \Leftarrow \quad \text{من أجل } 1\% \quad \ln N_0 / N_t = t \cdot \ln 2 / T \quad 3.3. \text{ III}$$

$$t = 100 \text{ h.} \quad \Leftarrow \quad \text{من أجل } 99\%$$

$$t = 0 \quad [{}^{24}\text{Na}^*]_0 = n_0 / V = 10^{-5} / V \quad 4. \text{ III}$$

$$t = 5 \text{ h} \quad [{}^{24}\text{Na}^*]_t = n_t / V_t = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ moles / l.}$$

$$C = C_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln C_0 / C = t \cdot \lambda = 0,23 \Rightarrow V = 10^{-5} / (1,6 \cdot 10^{-6} \times e^{0,23}) = 4,965 \text{ L} = 5 \text{ L}$$

$$A = 56 ; Z = 26 \quad 1.5. \text{ III}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln m_0 / m = t \cdot \ln 2 / T \Rightarrow T = 2,5 \text{ h} = 9000 \text{ s.} \quad 2.5. \text{ III}$$

$$A_0 = \lambda \cdot N_0 \quad (N_0 = \mathcal{N} \cdot m / M) \Rightarrow m = A_0 \cdot T \cdot M / \mathcal{N} \ln 2 = 89,3 \text{ mg.} \quad 3.5. \text{ III}$$

$$E = [(M(56,26) - Z \cdot m_e) - M(A, Z)] \times 931 = 3,724 \text{ MeV} \quad 4.5. \text{ III}$$

$$E' = E \cdot \mathcal{N} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 = 3,6 \cdot 10^{11} \text{ J.} \quad 4.5. \text{ III}$$

$$E_c = 1/2 m v^2 = h (v - v_0) \Rightarrow v = 3,75 \cdot 10^5 \text{ m/s.}$$

$$r_n = n^2 \cdot a_0 / Z ; v_n = v_1 Z / n ; E_n = -Z^2 \cdot A / n^2.$$

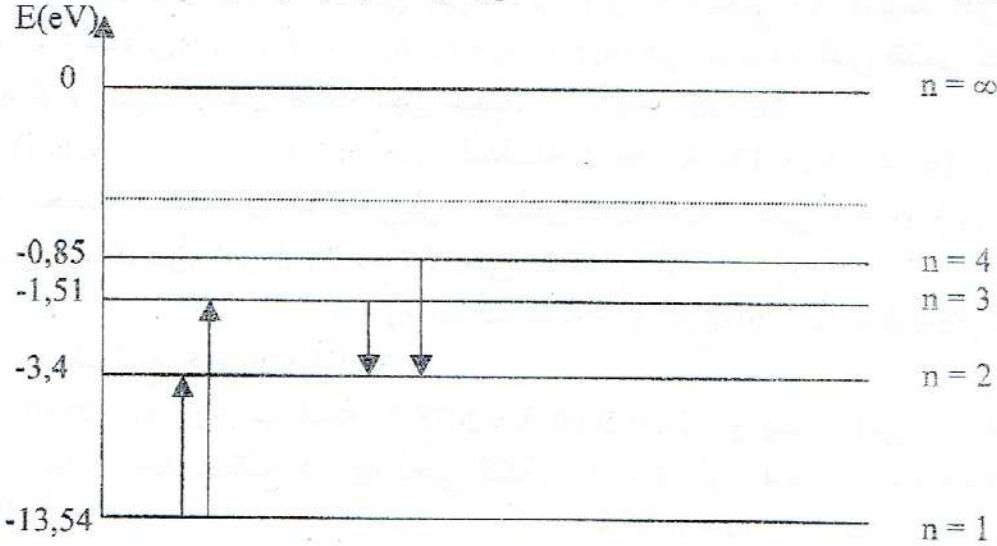
$$r_1 = 0,53 \text{ \AA} ; r_2 = 4 \cdot r_1 ; r_3 = 9 \cdot r_1 ; r_4 = 16 \cdot r_1 ; r_\infty = \infty$$

$$v_1 = 2,18 \cdot 10^6 \text{ m/s} ; v_2 = v_1 / 2 ; v_3 = v_1 / 3 ; v_4 = v_1 / 4 ; v_\infty = 0$$

$$E_1 = -13,54 \text{ eV} ; E_2 = E_1 / 4 ; E_3 = E_1 / 9 ; E_4 = E_1 / 16 ; E_\infty = 0.$$

$$\bar{v} = 1/\lambda = R_H Z^2 [1/(n_1^2) - 1/(n_2^2)]$$

4.2. IV - 3.2. IV



3. IV

$$\Delta E = h \nu = |E_{n_1} - E_{n_2}| \text{ C.G.S : } E_{n_1} = -2\pi^2 m \cdot Z^2 \cdot e^4 / n_1^2 ; E_{n_2} = -2\pi^2 m \cdot Z^2 \cdot e^4 / n_2^2$$

$$\nu = \frac{2\pi^2 m \cdot e^4 \cdot Z^2}{h^3} \left| \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right| \rightarrow \sqrt{\nu} = \frac{\pi \cdot e^2}{h} \sqrt{\frac{2m}{h} \left| \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right|} \cdot Z ; a = \frac{\pi \cdot e^2}{h} \sqrt{\frac{2m}{h} \left| \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right|}$$

$$\Delta E = |E_{n_2} - E_{n_1}| = h\nu = h \cdot c / \lambda \Rightarrow R_H = m_e \cdot e^4 / 8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^3 \cdot c ; R_H \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

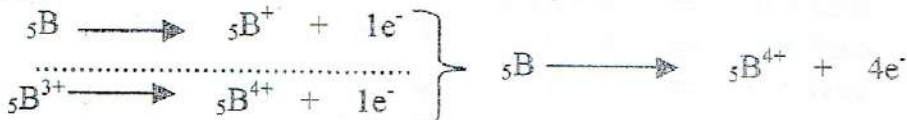
4. IV

1.5. IV

1.5. IV

2.5. IV

$$\lambda_2 = 4040 \text{ \AA}$$



$$\Delta E = E_n - E_1 = 302,24 \text{ eV} , E_n = -AZ^2 / n^2 \Rightarrow n^2 = E_1 / E_n + E_1 \Rightarrow n = 3.$$

$$E_i = E_\infty - E_n = (0) - (-37,78) = 37,78 \text{ eV}$$

$$Z = 3 \quad E_n = Z^2 \cdot (E_1)_H / n^2 \quad (E_1)_H = -13,54 \text{ eV} \quad \nu = 1/\lambda = R_H \cdot Z^2 [1/(n_1^2) - 1/(n_2^2)] \quad 1.6. IV$$

$$n_1 = 1 \quad n_1 = 1 \quad n_2 = 2 \quad \lambda_1 = 134 \text{ \AA}$$

$$n_1 = 1 \quad n_2 = \infty \quad \lambda_L = 101 \text{ \AA} \quad \lambda \in [101-134] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 1}$$

$$n_1 = 2 \quad n_1 = 2 \quad n_2 = 3 \quad \lambda_1 = 727 \text{ \AA}$$

$$n_1 = 2 \quad n_2 = \infty \quad \lambda_L = 404 \text{ \AA} \quad \lambda \in [404-727] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 2}$$

$$n_1 = 3 \quad n_1 = 3 \quad n_2 = 4 \quad \lambda_1 = 909 \text{ \AA}$$

$$n_1 = 3 \quad n_2 = \infty \quad \lambda_L = 2078 \text{ \AA} \quad \lambda \in [909-2078] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 3}$$

$$Z = 1$$

من أجل ذرة الهيدروجين

$$n_1' = 1 \text{ (Lyman)} \quad n_1' = 1 \quad n_2' = 2 \quad \lambda_1 = 1212 \text{ \AA}$$

$$n_1' = 1 \quad n_2' = \infty \quad \lambda_L = 909 \text{ \AA} \quad \lambda \in [909-1212] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 1}$$

$$n_1' = 2 \text{ (Balmer)} \quad n_1' = 2 \quad n_2' = 3 \quad \lambda_1 = 6545 \text{ \AA}$$

$$n_1' = 2 \quad n_2' = \infty \quad \lambda_L = 3636 \text{ \AA} \quad \lambda \in [3636-6545] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 2}$$

$$n_1' = 3 \text{ (Paschen)} \quad n_1' = 3 \quad n_2' = 4 \quad \lambda_1 = 18700 \text{ \AA}$$

$$n_1' = 3 \quad n_2' = \infty \quad \lambda_L = 8181 \text{ \AA} \quad \lambda \in [8181-18700] \text{ \AA} \quad \text{السلسلة 3}$$

نلاحظ أنه يستلزم نفس الانتقال طاقة تكون $\Delta E / \Delta E' = Z^2$

تنتهي السلاسل الثلاثة الأولى إلى مجال فوق البنفسجي (U.V) بينما لذرة الهيدروجين سلسلة ليمان Lyman ($n_1 = 1 ; n_2 = 2, 3, 4, \dots, \infty$) هي الوحيدة التي تنتمي لنفس المجال

يستلزم نفس الانتقال طاقة أكبر حيث: $\Delta E / \Delta E' = Z^2$

$$\lambda_A = 114 \text{ \AA} ; 101 \text{ \AA} < \lambda_A < 134 \text{ \AA} \Rightarrow \text{السلسلة 1} \Rightarrow n_1 = 1 \quad \text{2.6. IV}$$

و نحصل باستعمال علاقة ريتز - بالمر Ritz-Balmer على $n_2 = 3$ إذن يكون الانتقال بين المستويين 1 و 3 ($1 \leftrightarrow 3$) يعني $1 \rightarrow 3$ أو $3 \rightarrow 1$

$$\lambda_B = 1420 \text{ \AA} ; 909 \text{ \AA} < \lambda_B < 2078 \text{ \AA} \Rightarrow \text{السلسلة 3} \Rightarrow n_1 = 3$$

و منه نستنتج $n_2 = 5$ ($3 \leftrightarrow 5$)

$$\lambda_c = 2080 \text{ \AA} \text{ يقارب قيمة } \lambda_B = 2080 \text{ \AA} \approx 2078 \text{ \AA} \text{ و ينتمي إذن } \lambda_c \text{ إلى السلسلة 3}$$

$$n_1 = 3 \text{ و منه نستنتج } n_2 = 4 \text{ يعني انتقال } 3 \rightarrow 4 \text{ أو } 4 \rightarrow 3 : (3 \leftrightarrow 4)$$

$$2a = 2 r_n \quad (n=4) \Rightarrow r_4 = 8,48 \text{ \AA} \quad \text{1.7. IV}$$

$$e = b / a = l+1 / n \Rightarrow b = a \cdot (l+1) / n$$

$$(l=0 \quad b = 2,12 \text{ \AA}) ; (l=1 \quad b = 4,24 \text{ \AA}) ; (l=2 \quad b = 6,36 \text{ \AA}) ; (l=3 \quad b = 8,48 \text{ \AA} = a)$$

$$n=4 ; l=0 \quad 4s \quad \text{الطبقة التحتية} \quad \text{2.7. IV}$$

$$n=4 ; l=1 \quad 4p \quad \text{الطبقة التحتية} \quad \text{2.7. IV}$$

$$n=4 ; l=2 \quad 4d \quad \text{الطبقة التحتية} \quad \text{2.7. IV}$$

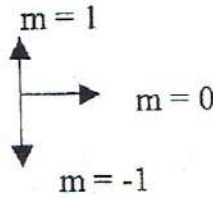
$$n=4 ; l=3 \quad 4f \quad \text{الطبقة التحتية} \quad \text{2.7. IV}$$

$$\text{"p"} \quad l=1 \quad \text{الاتجاهات الموفقة لـ} \quad \text{3.7. IV}$$

$$\cos\theta = m / l \quad -1 \leq m \leq +1$$

$$m=0 \quad \cos\theta = 0 \Rightarrow \theta = \pi / 2$$

$$m=1 \quad \cos\theta = 1 \Rightarrow \theta = 0$$

$$m=-1 \quad \cos\theta = -1 \Rightarrow \theta = \pi$$


$$l=2 \quad \text{"d"} \quad \text{الاتجاهات الموفقة لـ}$$

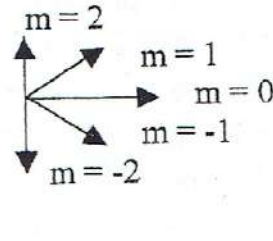
$$\cos\theta = m / l \quad -2 \leq m \leq +2$$

$$m=2 \quad \cos\theta = 1 \Rightarrow \theta = 0$$

$$m=1 \quad \cos\theta = 1/2 \Rightarrow \theta = \pi/3$$

$$m=0 \quad \cos\theta = 0 \Rightarrow \theta = \pi/2$$

$$m=-1 \quad \cos\theta = -1/2 \Rightarrow \theta = 2\pi/3$$

$$m=-2 \quad \cos\theta = -1 \Rightarrow \theta = \pi$$


$$E_4 = -0,85 \text{ eV} \quad \text{4.7. IV}$$

$$(n=4 ; l=0 ; m=0 ; s = +1/2 \text{ أو } -1/2) \quad (e = 1/4) \quad \text{القطع الناقص الأكثر تسطحاً} \quad \text{5.7. IV}$$

الباب الخامس :

1. V

$$\lambda = 1,1 \cdot 10^{-33} \text{ m (ب)}$$

$$\lambda = h / m.v = 1,655 \cdot 10^{-42} \text{ m (أ)}$$

$$\lambda = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m (د)}$$

$$\lambda = (2.e.m.U)^{1/2} = 2,34 \cdot 10^{-12} \text{ m (ج)}$$

عندما يتعلق الأمر بوصف الأشياء الصغيرة جدا (المظهر الموجي) λ التي هي برتبة الأبعاد الذرية لها معنا (الحالة ج و الحالة د) بينما تكون مهملة و ليس لها معنا بالنسبة للأبعاد المستعملة في السلم المرئي (الحالة أ و الحالة ب).

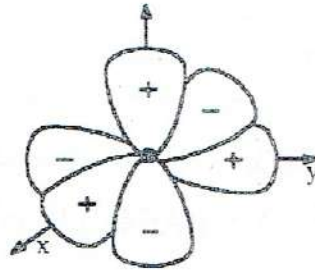
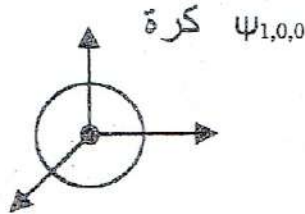
$$\Delta p. \Delta x = h ; p = m.v , \Delta p = \Delta(m.v) = m.\Delta v + v.\Delta m = m.\Delta v \quad (\Delta m = 0) \quad -1.2. V$$

$$\Delta v = 6,62 \cdot 10^{-30} \text{ m/s} \quad \text{et} \quad \Delta v / v = 4,14 \cdot 10^{-33}$$

$$\Delta p = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ kg.m/s} ; p = 18,69 \cdot 10^{-24} \text{ kg.m/s} ; \Delta p / p = 0,35 = 35\% \quad -2. V$$

$$\psi_{1,1,0} ; \psi_{2,2,2} ; \psi_{3,1,2} ; \psi_{2,0,1} \quad \text{الكتابة الخاطئة} \quad 3. V$$

$$\begin{array}{l} \psi_{1,0,0} \longrightarrow \psi_{1s} ; \psi_{2,1,0} \longrightarrow \psi_{2p} ; \psi_{4,1,1} \longrightarrow \psi_{4p} \\ \psi_{4,3,-2} \longrightarrow \psi_{4f} ; \psi_{3,1,0} \longrightarrow \psi_{3p} ; \psi_{5,2,0} \longrightarrow \psi_{5d} \end{array}$$



يصاحب المحط الذري $\psi_{2,1,0}$ المحور $2p_x$ (كما كان ممكنا أن نرفق $\psi_{2,1,0}$ مع المحور $2p_y$ أو مع المحور $2p_z$ علما أن خاصية اتجاه المحطات p هي اختيارية) و المحطان $\psi_{2,1,-1}$ و $\psi_{2,1,+1}$ مع المحورين $2p_y$ و $2p_z$.

الباب السادس :

1. VI

البنية الإلكترونية :

العناصر	التوزيع	التشكيل
${}_9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$	$1s^2 / 2s^2 2p^5$
${}_{13}\text{Al}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$1s^2 / 2s^2 2p^6 / 3s^2 3p^1$
${}_{20}\text{Ca}$	$18[\text{Ar}] 4s^2$	$18[\text{Ar}] 4s^2$
${}_{25}\text{Mn}$	$18[\text{Ar}] 4s^2 3d^5$	$18[\text{Ar}] 3d^5 / 4s^2$
${}_{53}\text{I}$	$36[\text{Kr}] 5s^2 4d^{10} 5p^5$	$36[\text{Kr}] 4d^{10} / 5s^2 5p^5$
${}_{67}\text{Ho}$	$54[\text{Xe}] 6s^2 4f^{10} 5d^1$	$54[\text{Xe}] 4f^{10} / 5d^1 / 6s^2$

$$n=3 \Rightarrow 3s^2 3p^6 3d^{10} \Rightarrow 18 e^- \quad -1.2. VI$$

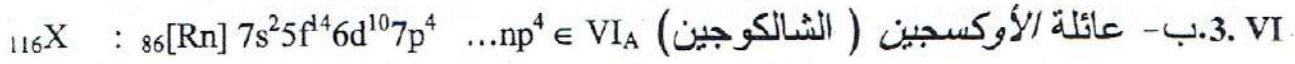
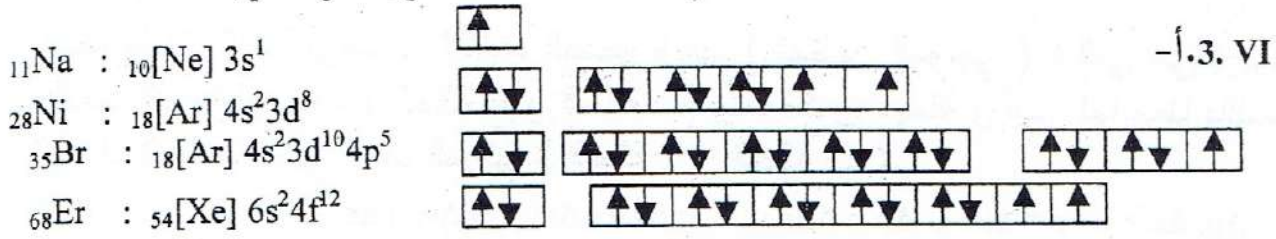
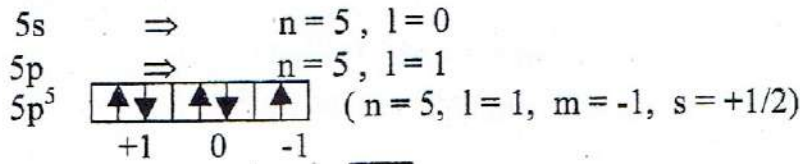
$$n=5 ; l=0 \Rightarrow 5s^2 \Rightarrow 2 e^-$$

$$l=2 \Rightarrow 3d^{10}, 4d^{10} \Rightarrow 20 e^-$$

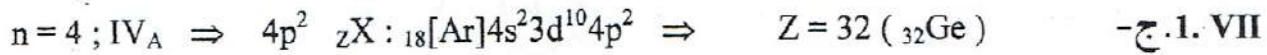
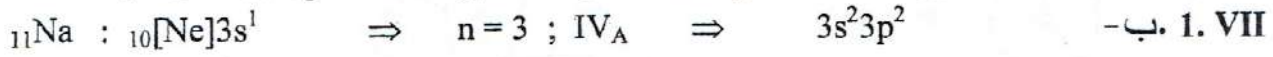
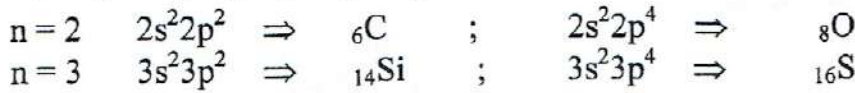
4d الطبقة التكافؤية الداخلية التحتية

-2. VI

5p و 5s الطبقات التكافؤية الخارجية التحتية



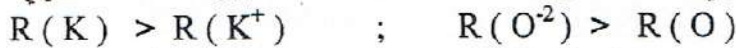
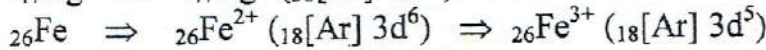
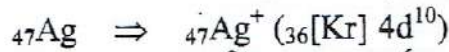
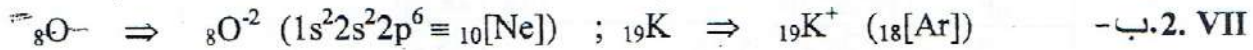
الباب السابع :



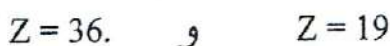
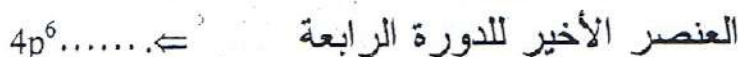
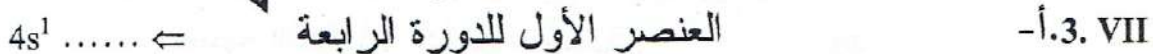
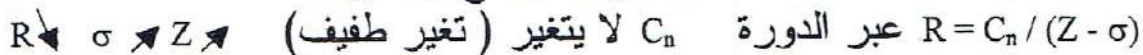
-أ.2. VII

العناصر	التوزيع
${}_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^2$
$_{19}\text{K}$	$18[\text{Ar}] 4s^1$
$_{26}\text{Fe}$	$18[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$
$_{47}\text{Ag}$	$36[\text{Kr}] 5s^1 4d^{10}$

يكون التوزيع الإلكتروني للفضة : ${}_{36}[\text{Kr}] 5s^1 4d^{10}$ $\text{Ag} : {}_{36}[\text{Kr}] 5s^2 4d^9$ عوض عن
 (يصبح المحط الذري d أكثر استقرارا عندما يكون نصف مملوءا أو مشبعا)

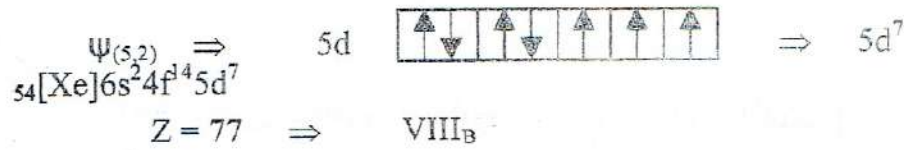


فعل الشاشة وحده يسمح بالمقارنة



$_{19}\text{K} : _{18}[\text{Ar}]4s^1$; $_{36}\text{Kr} : _{18}[\text{Ar}]4s^23d^{10}4p^6$
الدورة الرابعة $\Leftarrow 4s^13d^5 \Leftarrow$ $_{24}\text{Cr}$: $6e^-$ حرة (عازبة) - VII 3.ب-

- VII 4.أ-



- VII 4.ب-

- VII 5.أ- $R_{\text{النري}} > R_{\text{الأيون}} > R_{\text{الكاتيون}}$ و $R_{\text{النري}} > R_{\text{الأيون}}$
تتزايد طاقة التأين E_i عبر الدورة من اليسار إلى اليمين و من الأسفل إلى الأعلى عبر العمود

$$R(S^{2-}) > R(\text{Ar}) > R(\text{Ca}^{+2}) ; E_{ii}(\text{Ca}^{+2}) > E_{ii}(\text{Ar}) > E_{ii}(S^{2-})$$

- VII 5.ب- $R(\text{Cl}^-) > R(\text{Cl}) ; E_{ii}(\text{Cl}) < E_{ii}(\text{Cl}^-) ; R(\text{Na}) > R(\text{Na}^+) ; E_{ii}(\text{Na}) < E_{ii}(\text{Na}^+)$

- VII 5.ج- $R(\text{K}) > R(\text{Ca}) ; E_{ii}(\text{K}) < E_{ii}(\text{Ca}) ; R(\text{Rb}) > R(\text{K}) ; E_{ii}(\text{Rb}) < E_{ii}(\text{K})$

- VII 6.1 عبر الدورة عندما $\nearrow \chi$ $\nearrow Z$
عبر العمود عندما $\searrow \chi$ $\searrow Z$

يمكن ترتيب العناصر التي لا تنتمي لنفس الدورة ولا لنفس العمود بإدخال عنصر "مرجع" و على سبيل المثال : Na و S

$$\left. \begin{array}{l} \chi(\text{Na}) > \chi(\text{K}) \text{ نفس العمود} \\ \chi(\text{Al}) > \chi(\text{Na}) \text{ نفس الدورة} \end{array} \right\} \chi(\text{Al}) > \chi(\text{K})$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi(\text{S}) > \chi(\text{Al}) \text{ نفس الدورة} \\ \chi(\text{O}) > \chi(\text{S}) \text{ نفس العمود} \end{array} \right\} \chi(\text{O}) > \chi(\text{Al})$$

$$\chi(\text{F}) > \chi(\text{O}) \text{ نفس الدورة}$$

حسب النتائج تكون الترتيب الموالي :

$$\chi(\text{F}) > \chi(\text{O}) > \chi(\text{Al}) > \chi(\text{K})$$

$$|\chi_A - \chi_B| = k \sqrt{|\Delta H_{A-B} - (\Delta H_{A-A} + \Delta H_{B-B}) / 2|} \Rightarrow k = 0,208 \quad \text{VII 6.2}$$

$$\begin{array}{ll} \text{HF} \Rightarrow \chi(\text{H}) = 2,34 \text{ eV}^{1/2} & \text{VII 6.2} \\ \text{FCl} \Rightarrow \chi(\text{Cl}) = 3,24 \text{ eV}^{1/2} & \\ \text{HCl} \Rightarrow \chi(\text{H}) = 2,34 \text{ eV}^{1/2} \Rightarrow \chi(\text{Cl}) = 3,31 \text{ eV}^{1/2} & \\ & \chi(\text{Cl}) = 3,24 \text{ eV}^{1/2} \Rightarrow \chi(\text{H}) = 2,26 \text{ eV}^{1/2} \end{array}$$

$$\chi(\text{H}) = (2,34 + 2,26) / 2 = 2,3 \text{ eV}^{1/2}$$

$$\chi(\text{Cl}) = (3,24 + 3,31) / 2 = 3,22 \text{ eV}^{1/2}$$

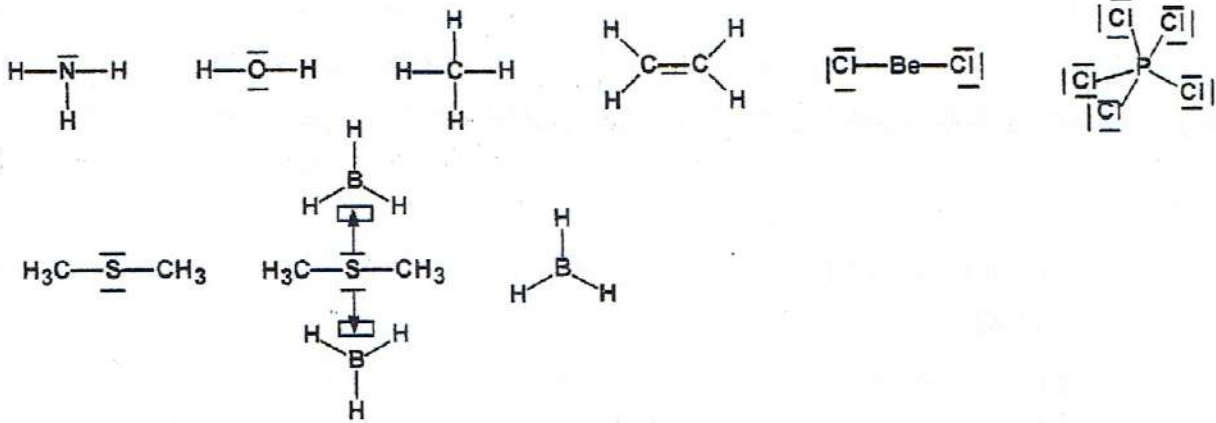
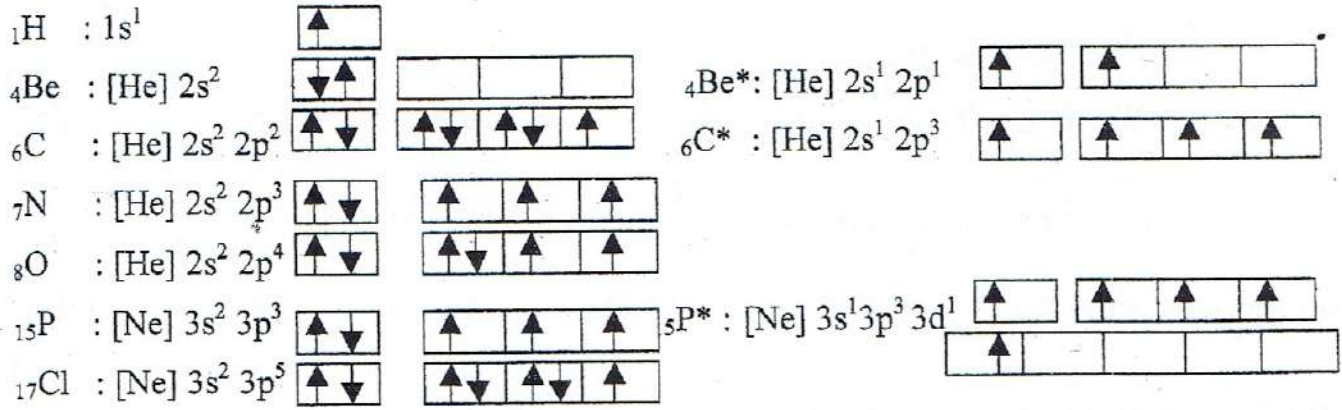
$$\text{Pauling} : \chi(\text{H}) = 2,1 \text{ eV}^{1/2} \text{ و } \chi(\text{Cl}) = 3,0 \text{ eV}^{1/2}$$

يرجع الفرق الملاحظ بين قيم الكهروسلبية المحسوبة و تلك التي أعطاها بولينغ إلى أن χ عبارة عن قيمة متوسطة ناتجة عن قياسات عديدة.

الباب الثامن :

1. VIII

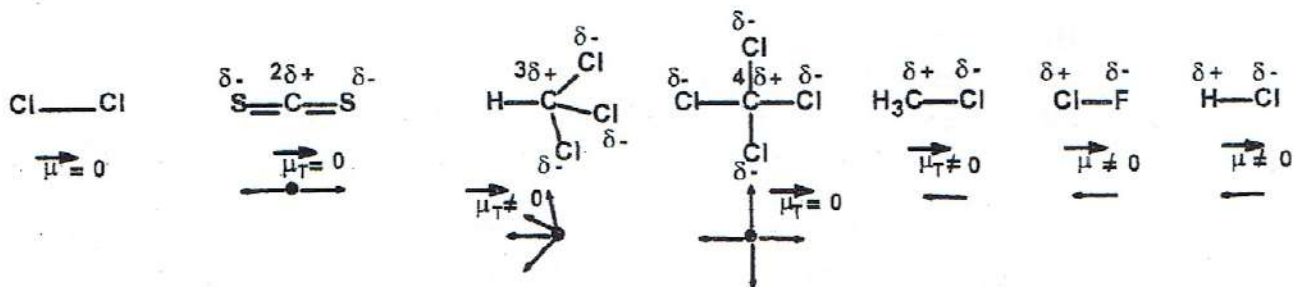
بنية لويس Lewis (تطبيق قاعدة الثماني الثابت)

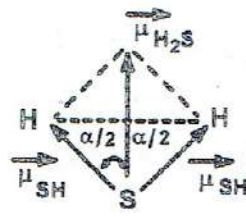


لا تفسر نظرية لويس Lewis وجود مركبات مثل BeCl_2 (يوجد 4e حول Be) أو PCl_5 (10e حول P) لا يحقق Be في جزيء BeCl_2 و لا P في جزيء PCl_5 قاعدة الثماني الثابت

$$\mu_T = \sum \mu_i$$

1.2. VIII





$$\vec{\mu}_{H_2S} / 2 = \vec{\mu}_{SH} \cos \alpha / 2$$

$$\mu_{SH} = 0,7 D$$

1.2. VIII

عزم ثنائي القطب الأيوني للرابطة S-H

$$\mu_{(S-H)} = e.d = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,3 \cdot 10^{-10} = 2,082 \cdot 10^{-29} C.m = 6,246 D$$

$$CI \% = (\mu_{\text{التجريبي}} / \mu_{\text{الأيوني}}) \times 100 = (0,7 / 6,246) \times 100 = 11,2$$

يكون الطابع الأيوني الجزئي للرابطة S-H في جزيء H_2S ضعيفا (11%) و نلاحظ فرقا ضعيفا ($\Delta\chi = 0,4$) بين كهروسلبية ذرة الكبريت $\chi(S) = 2,5$ و كهروسلبية ذرة الهيدروجين $\chi(H) = 2,1$ ، الشيء الذي يسمح بتفسير استقطاب الرابطة.

3. VIII

$$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ H-Cl \end{array} \quad \% C.I = \frac{\vec{\mu}_{exp}}{\vec{\mu}_{th}} \times 100 = \frac{\delta e d}{e d} \times 100 = \delta \times 100 \quad 0 < \delta < 1$$

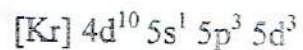
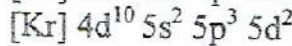
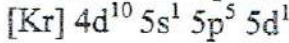
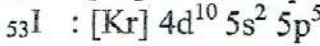
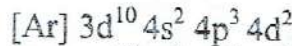
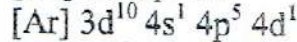
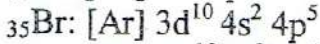
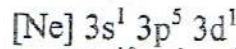
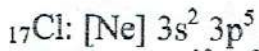
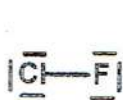
تكون الشحنة الجزئية المحمولة من H و Cl

$$\delta.e = 0,17 \times 1,6 \cdot 10^{-19} C = 0,272 \cdot 10^{-19} C$$

ومنه يكون عزم ثنائي القطب لجزيء H-Cl

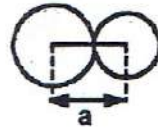
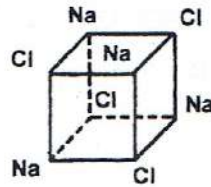
$$\mu_{H-Cl} = \delta.e.d = 0,17 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 1,28 \cdot 10^{-10} (3 / 10^{-29}) = 1,045 D$$

4. VIII



تسمح للإلكترون الانتقالات التي توافق القاعدة $\Delta l = \pm 1$ و تخص طبقات تحتية متتالية : $p \leftrightarrow s$ و $d \leftrightarrow p$. هذا القفز للإلكترون يكون أسهل عندما الفرق في الطاقة بين مستويين متتاليين ΔE يكون أضعف. الشيء الذي يسمح بتفسير، على العموم، التكافؤ المشترك المختلف covalence لبعض الذرات (نستعمل لهذا الغرض التشكيل الإلكتروني عوض عن التوزيع الإلكتروني).

يتناقص ΔE مع تزايد n ($\Delta E \downarrow$ عندما $n \uparrow$) $(Z \uparrow)$.



$$a = r_{Na^+} + r_{Cl^-}$$

على طول الضلع a تعتبر الأيونين Cl^- و Na^+ كرتين صلبتين متماسكتين يحتوي المكعب على $1/8 \times 4$ أيونا من Na^+ و $1/8 \times 4$ أيونا من Cl^- يعني أربعة جزيئات $NaCl$ و يمكن حساب الضلع a و منه استنتاج نصف قطر الأيون Na^+

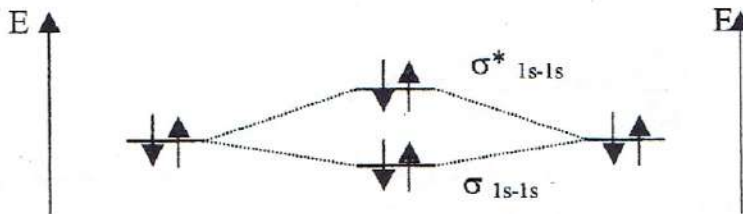
$$M = 1/8 \times 4 \times M_{NaCl} / N = 1/2 \times (23 + 35,5) / 6,02 \cdot 10^{23}$$

$$M = \rho \cdot V \quad (V = a^3) \quad a = (1/2 \times (23 + 35,5) / 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2,165)^{1/3} = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$r_{Na^+} = a - r_{Cl^-} = 2,8 \text{ \AA} - 1,8 \text{ \AA} = 1 \text{ \AA}$$

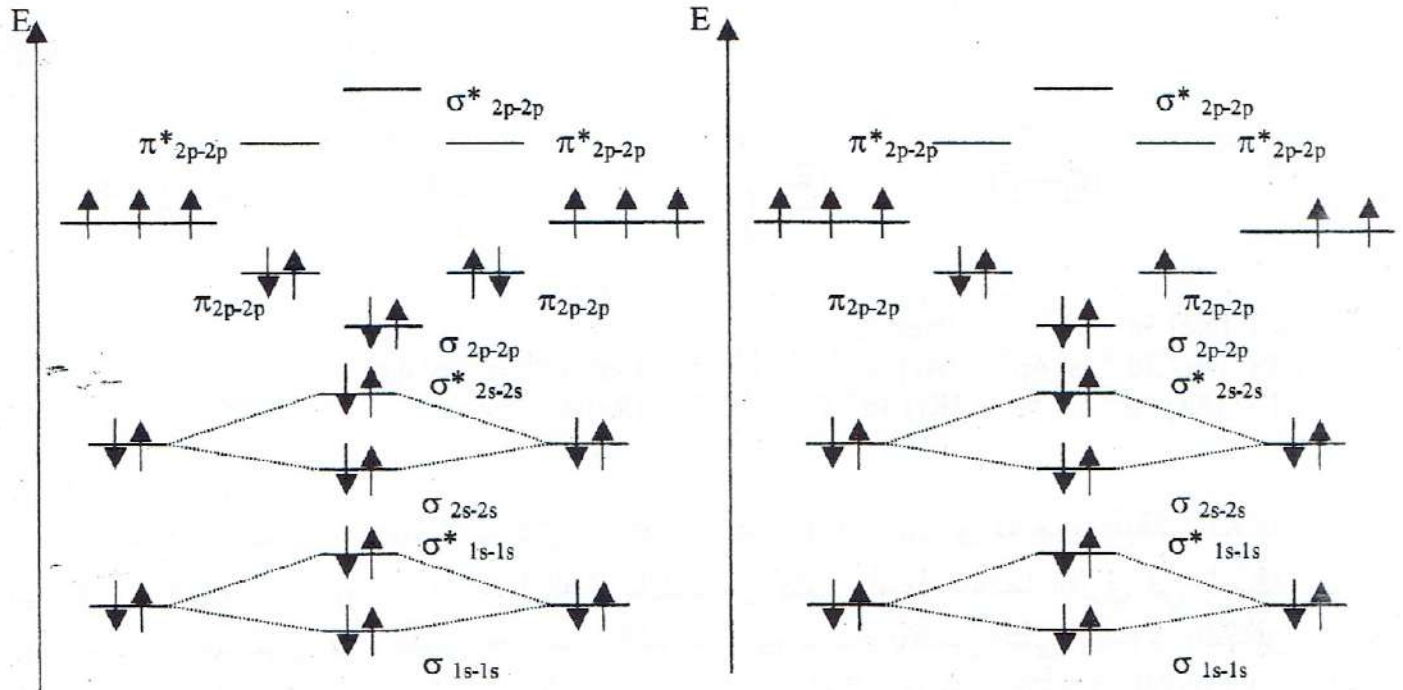
ينقل $NaCl$ التيار الكهربائي لأنه مركب أيوني بينما لا يمكن لـ $BeCl_2$ نقل التيار الكهربائي لأنه مركب مشترك تكافؤ.

6. VIII



يكون التوزيع الإلكتروني الجزيئي: $(\sigma_{1s-1s})^2 (\sigma^*_{1s-1s})^2$ و بالتالي تكون رتبة الربط :

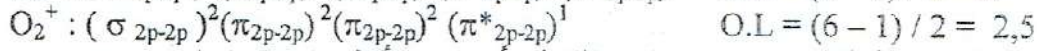
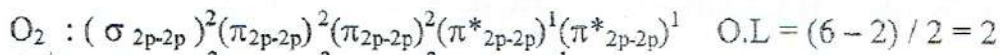
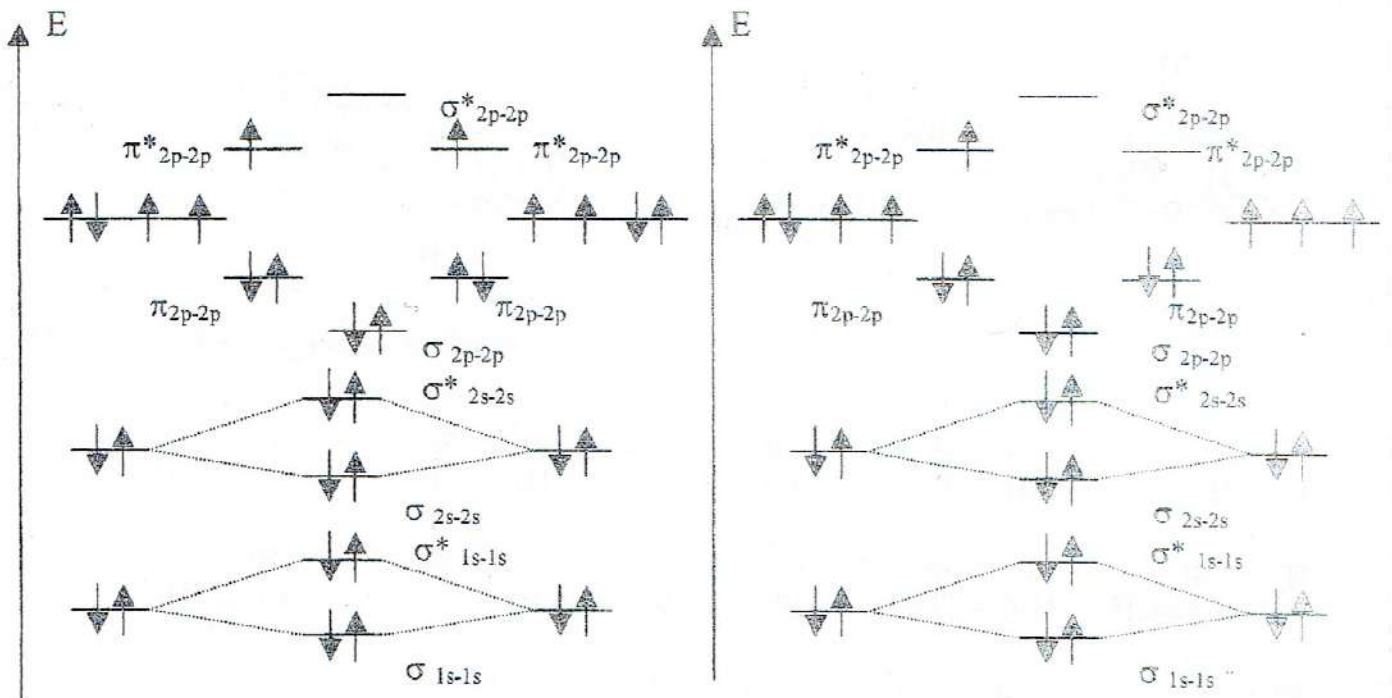
$$O.L(i) = 2-2/2 = 0 \quad \Leftarrow \text{لا وجود للجزيء He}_2$$



$$N_2: (\sigma_{1s-1s})^2 (\sigma^*_{1s-1s})^2 (\sigma_{2s-2s})^2 (\sigma^*_{2s-2s})^2 (\sigma_{2p-2p})^2 (\pi_{2p-2p})^2 (\pi_{2p-2p})^2 \quad O.L = 6/2 = 3$$

$$N_2^+: (\sigma_{1s-1s})^2 (\sigma^*_{1s-1s})^2 (\sigma_{2s-2s})^2 (\sigma^*_{2s-2s})^2 (\sigma_{2p-2p})^2 (\pi_{2p-2p})^2 (\pi_{2p-2p})^1 \quad O.L = 5/2 = 2,5$$

اعتمادا على قيم رتبة الربط لكل جزيء يمكن القول أن N_2 أكثر استقرارا من N_2^+

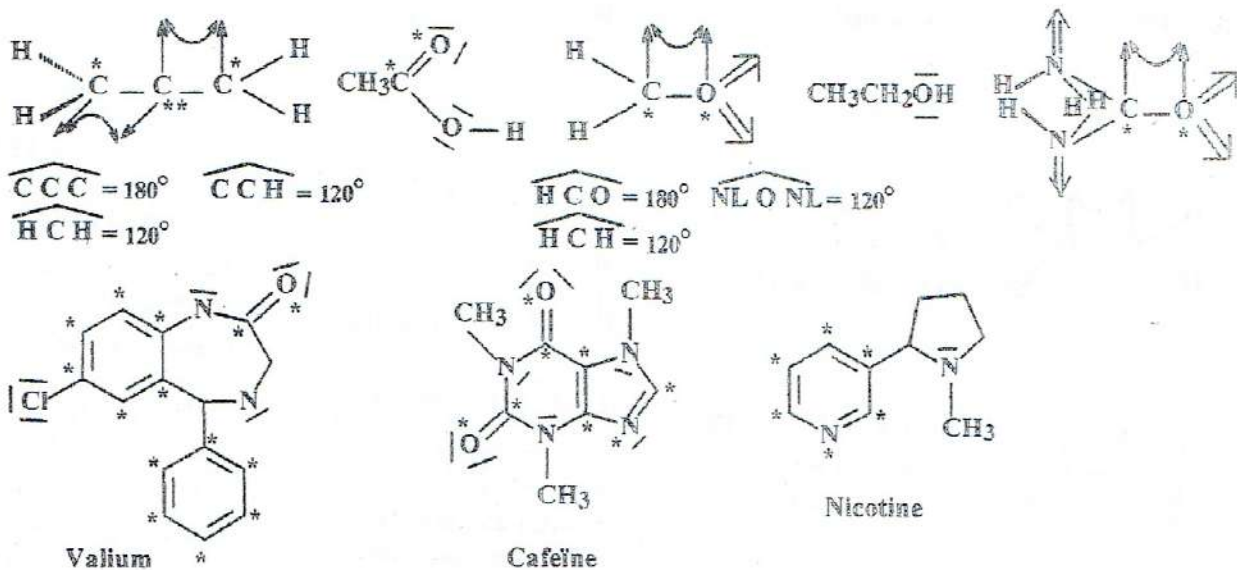


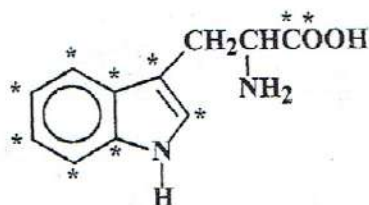
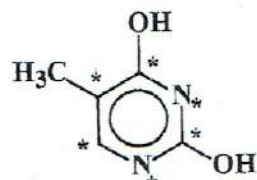
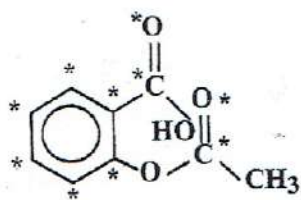
اعتمادا على قيم رتبة الربط لكل جزيء يمكن القول أن O_2^+ أكثر استقرارا من O_2

الباب التاسع:

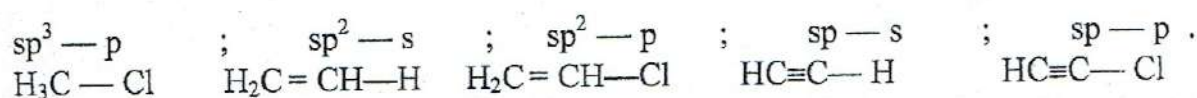
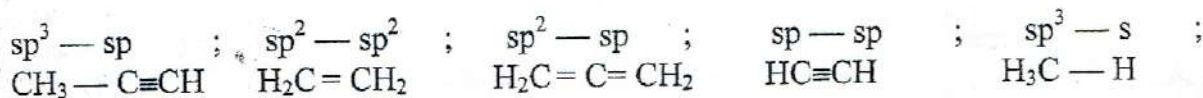
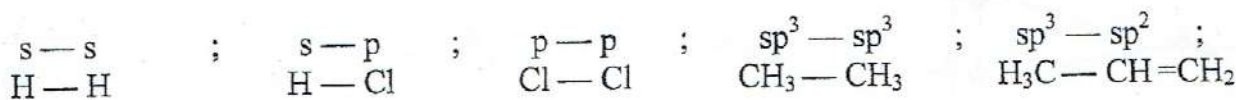
IX. 1. أنواع تهجين الذرات (ما عاد ذرة الهيدروجين)
 $\uparrow \uparrow$ ثنائية لا رابطة (NL) ثنائية رابطة رابطة π
 ثنائية رابطة من وراء المستوي ثنائية صام المستوي

* ذرة مهجنة sp^2 ($\alpha = 120^\circ$) ** ذرة مهجنة sp ($\alpha = 180^\circ$) ، الذرات الأخرى مهجنة sp^3 ($\alpha \approx 109^\circ$)



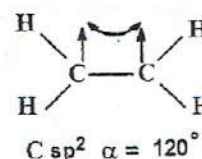
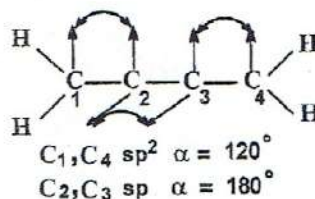
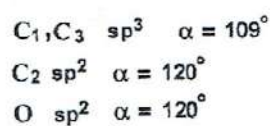
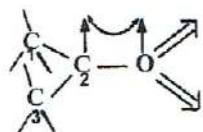
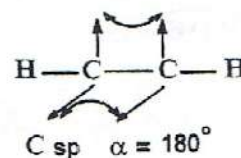
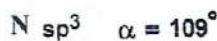
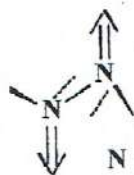
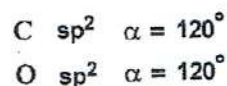
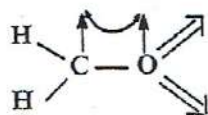
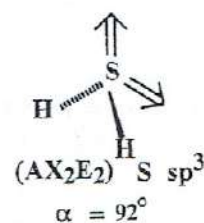
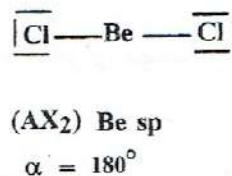
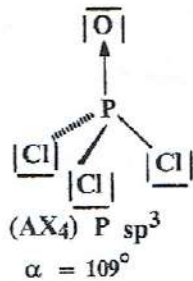
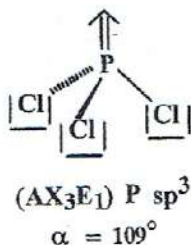
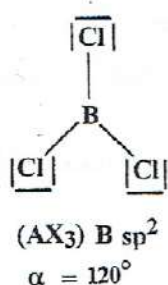


2. IX أنواع الروابط σ الممكنة :

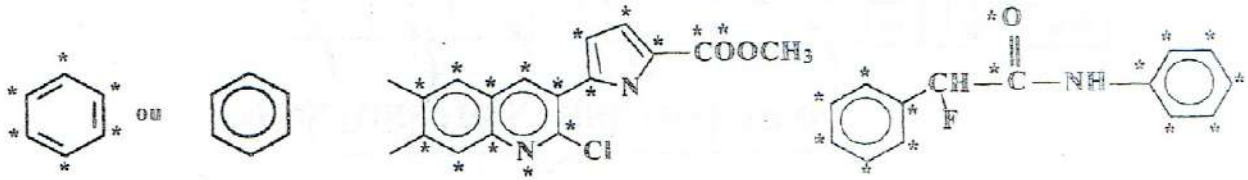


3. IX يمكن تعيين هندسة الجزيئات حسب المجموع $\sigma + NL$

$\uparrow \uparrow \pi$ رابطة π — ثنائية رابطة (NL) $\uparrow \uparrow$ رابطة لا رابطة
 $\searrow$ ثنائية أمام المستوي $\cdots$ ثنائية وراء المستوي



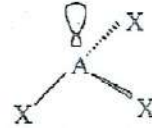
ذرة مهجنة sp^2 ($\alpha = 120^\circ$) ، كل الذرات الأخرى مهجنة sp^3 ($\alpha \approx 109^\circ$)



IX. 4. ترتبط هندسة الجزيئات AX_nE_p بكهروسلبية الذرات المختلفة التي تشكل الجزيء :
في السلسلة : NH_3 , PH_3 , AsH_3 , SbH_3 كل المترابطات متماثلة $X = H$

$$\begin{aligned} N : \sigma + NL &= 3 + 1 = 4 \Rightarrow sp^3 \\ P : \sigma + NL &= 3 + 1 = 4 \Rightarrow sp^3 \\ As : \sigma + NL &= 3 + 1 = 4 \Rightarrow sp^3 \\ Sb : \sigma + NL &= 3 + 1 = 4 \Rightarrow sp^3 \end{aligned}$$

$AX_3E_1 \Leftarrow$ هرم قاعدته مثلث



تنتمي هذه العناصر إلى نفس العمود VI_A و $\chi(N) < \chi(P) < \chi(As) < \chi(Sb)$

$$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 \quad \alpha \nearrow \quad \text{عندما } \chi \searrow$$

في السلسلة : $AsCl_3$, $AsBr_3$, AsI_3 لدينا نفس الذرة المركزية $A = As$
 $AX_3E_1 \Leftarrow$ هرم قاعدته مثلث ($X = Cl, Br, I$)

$$A : \sigma + NL = 3 + 1 = 4 \Rightarrow sp^3$$

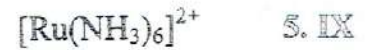
$$Cl : \sigma + NL = 1 + 3 = 4 \Rightarrow sp^3$$

$$Br : \sigma + NL = 1 + 3 = 4 \Rightarrow sp^3$$

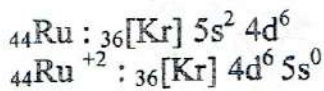
$$I : \sigma + NL = 1 + 3 = 4 \Rightarrow sp^3$$

تنتمي هذه العناصر إلى نفس العمود VII_A و $\chi(I) < \chi(Br) < \chi(Cl)$

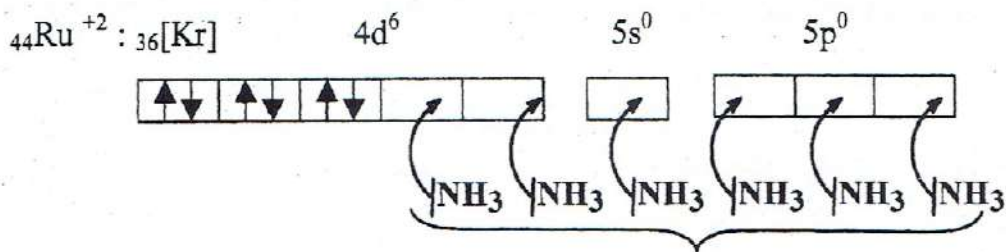
$$\alpha_1' > \alpha_2' > \alpha_3' \quad \alpha' \nearrow \quad \text{عندما } \chi \searrow$$



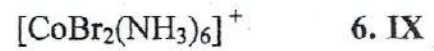
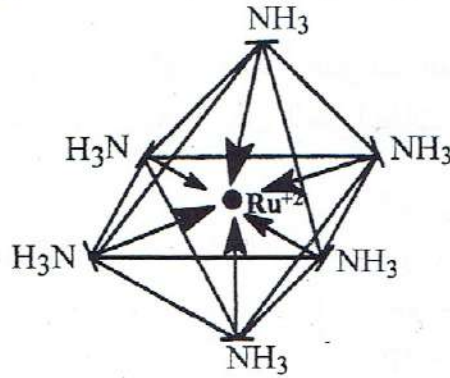
شحنة الأيون المركزي : $x + 6(0) = +2 \Leftarrow Ru^{+2}$



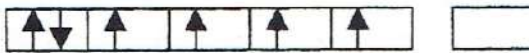
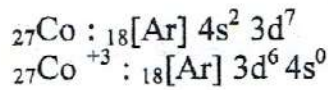
تشكيل الأيون المركزي في المعقد : لا يمتلك المعقد خواص مغناطيسية دائمة
يعني ليس له إلكترونات عازبا $\Leftarrow$ هناك إعادة توزيع إلكترونات التكافؤ :



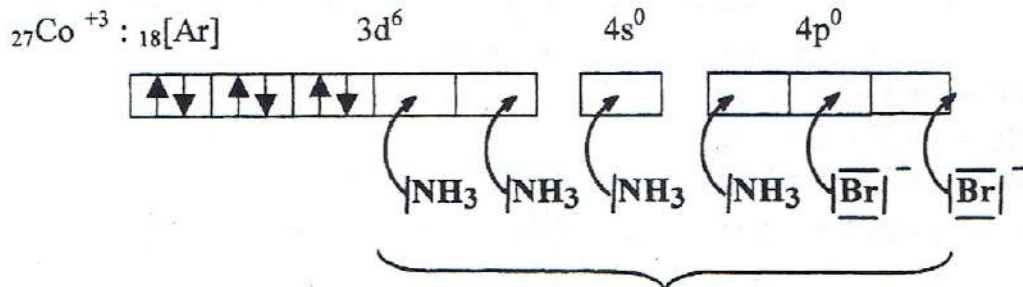
التجهين $d^2sp^3 \Leftarrow$ الهندسة : ثماني الوجوه



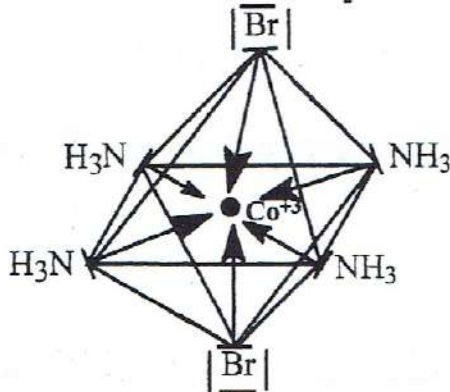
شحنة الأيون المركزي : $\text{Co}^{+3} \Leftarrow x + 6(0) + 2(-1) = +1$



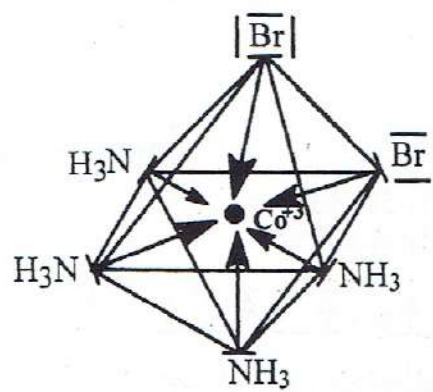
تشكيل الأيون المركزي في المعقد : لا يمتلك المعقد خواص مغناطيسية دائمة
 يعني ليس له إلكترون عازب $\Leftarrow$ هناك إعادة توزيع الإلكترونات



التجهين $d^2sp^3 \Leftarrow$ الهندسة : ثماني الوجوه



'Trans'
مفروق



'Cis'
مقرون

مسائل المراجعة

المسألة 1 :

في تجربة مليكان *Millikan* تسقط قطرة من زيت كروية الشكل في الهواء بسرعة قسوة قدرها $6,32 \text{ mm/s}$.

- 1- أحسب نصف القطر ، حجم و كتلة هذه القطرة.
 - 2- تكتسب القطرة شحنة q عندما تصل بين لبوسي المكثف و تستمر في السقوط بسرعة $v = 6,54 \text{ mm/s}$. علما أن اللبوسة العليا لها كمون أكبر بـ 59300 V من اللبوسة السفلة و المسافة بينهما تقدر بـ 5 cm ، أحسب الشحنة q و أستنتج عدد الشحنات العنصرية التي تحملها القطرة (تعرف قوة ستوكس $6\pi\eta r v = \text{Stockes}$) .
- المعطيات :
- $\rho_{\text{زيت}} = 0,9 \text{ g/cm}^3$ $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ MKSA}$

المسألة 2 :

- I- تعطى قيم طاقة المستويات الطاقوية لذرة الهيدروجين بالعلاقة التالية:

$$E_n = E_1 / n^2$$
 - 1- ما هي الطاقة (بـ eV) اللازمة لانتقال الإلكترون من المستوى الأساسي إلى المستوى المثار الثاني.
 - 2- أحسب طول الموجة ($\text{\AA}$) للإشعاع المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى $n=3$ إلى المستوى $n=2$. ما هي السلسلة التي ينتمي إليها هذا الخط ؟
- II- يمتص الإلكترون بعد عودته إلى الحالة الأساسية فتونا طول موجته $\lambda = 750 \text{ \AA}$
 - 1- برهن أن الذرة متأينة.
 - 2- إذا فرضنا أن الطاقة الفائضة (الطاقة المتبقية) تنقل إلى الإلكترون على شكل طاقة حركية ، أحسب سرعة (m/s) الإلكترون المطرود.
 - 3- أحسب طول الموجة المرافقة لهذا الإلكترون ، إلى أي مجال من الطيف الكهرومغناطيسي تقع علما أن:

المرئي : $4000 \text{ \AA} < \lambda < 8000 \text{ \AA}$

الأشعة السينية : $10^{-2} \text{ \AA} < \lambda < 5 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$

الأشعة γ : $\lambda < 10^{-2} \text{ \AA}$

إذا حددنا هذا الإلكترون في كرة قطرها $0,01 \text{ \AA}$ بتقريب ، عين الأرتياب على السرعة لهذا الإلكترون حسب مبدأ الشك لهيزنبارغ *Heisenberg* . ماذا تستنتج ؟

المعطيات :

$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $R_H = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $E_1 = -13,6 \text{ eV}$

المسألة 3 :

I- أحسب الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u.m.a. بالجول (J) و بالميجا إلكترون - فولط (Mev)

II- إذا أعطيت كتلة البروتون $m_p = 1,007278 \text{ u.m.a}$ و كتلة النيوترون $m_p = 1,007278 \text{ u.m.a}$

1- أحسب الكتلة النظرية لنواة الليثيوم Li (7,3)

2- علما أن الكتلة الحقيقية لنواة Li (7,3) تساوي $7,01001 \text{ u.m.a}$ أحسب النقص في الكتلة .

3- أحسب طاقة التماسك لنواة Li (7,3) .

III- علما أن العدد الذري لعنصر الليثيوم هو $Z = 3$

1- أكتب المعادلات المؤدية إلى الهيدروجينويد الموافق .

2- عبر عن طاقة الهيدروجينويد بدلالة n ، Z و $(E_1)_H$

3- أحسب طاقة انتقال الإلكترون من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة

الأولى و طول الموجة الموافقة لهذا الانتقال ، علما بأن طاقة تأين الهيدروجين تساوي $E_I = + 13,54 \text{ eV}$.

4- أكتب معادلة التأين الثالثة و أحسب الطاقة الموافقة و علل نتائجك .

IV- 1- أحسب الطاقة المحررة عند تشكيل واحد مول من الهليوم Helium إذا

كانت الكتلة الحقيقية لنواة الهليوم He^{+2} هي $4,001503 \text{ u.m.a}$.

2- ما هي كتلة الكربون-12 التي يجب حرقها للحصول على نفس الطاقة

السابقة علما بأن طاقة الاحتراق لمول واحد من C-12 هي $94,1 \text{ kcal}$. ماذا تستنتج ؟

3- قارن بين استقرار نواة He و نواة Li .

المعطيات : $E_I = - 13,6 \text{ eV}$; $1 \text{ eV} = 1,604 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

المسألة 4 :

برهن بالمر Balmer تجريبيا أن الضوء المنبعث من الهيدروجين الذري متكون من عدة خطوط مختلفة موجتها محددة بدقة. و يشمل طيف انبعاث ذرة الهيدروجين على الخصوص : خط أحمر $\lambda = 6593 \text{ \AA}$ ، خط أخضر $\lambda = 4861 \text{ \AA}$ ، خط أزرق $\lambda = 4340 \text{ \AA}$ و خط بنفسجي $\lambda = 4101 \text{ \AA}$.

1- إلى أي انتقال ينتمي كل خط من هذه الخطوط ؟ مثل هذه الانتقالات على مخطط طاقي أين يمكن حساب قيمة المستويات الطاقوية المعنية بـ eV .

2- سمحت الدراسة المفصلة لطيف ذرة الهيدروجين بالمر Balmer ثبات سنة 1885 أن كل الخطوط المنبعثة تخضع للقانون التجريبي :

$$\nu = 3,29 \cdot 10^{15} \left| \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right| \text{ cycles/s} \quad n_2 \geq n_1 + 1$$

هل هذه النتائج التجريبية تنطبق على نظرية بوهر Bohr ؟

3- و بعد سنوات لوحظ عند التواترات المنخفضة سلسلة من الخطوط حيث طول الموجة الخط الأول يساوي $\lambda = 18700 \text{ \AA}$. عرف هذه السلسلة ثم مثل هذا الخط على مخطط طاقي و سمي هذه السلسلة.

المعطيات :

$$R_H = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}; \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N.m}^{-2}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}; \quad m_e = 9,31 \cdot 10^{-31} \text{ kg}; \quad E_1(\text{H}) = -13,6 \text{ eV}.$$

المسألة 5 :

I- نعتبر A ، B و C ثلاثة عناصر أرقامها الذرية هي على الترتيب Z ، Z+1 و Z+2 حيث B يمثل غازا نادرا.

- 1- أعط البنية الإلكترونية الخارجية لهذه العناصر.
- 2- ما هو العنصر الأكثر كهروسلبية ؟
- 3- إلى أي فئة (مجموعة) من الجدول الدوري ينتمي كل من العنصران A و C ؟ سمهما.

4- قارن نصف القطر الذري لكل من هاتين الذرتين مع أيونهما الأكثر

استقرارا.

II- يرتبط العنصران A و C فيما بينهما لتشكل مركب كيميائي.

- 1- أعط بنية لويس Lewis لهذا المركب و حدد طبيعة هذه الرابطة.
 - 2- إذا كان العنصر D يقع أسفل العنصر A مباشرة في الجدول الدوري، مثل حسب لويس Lewis الجزيء AD مع تحديد نوع الرابطة.
 - 3- قارن بين أنصاف الأقطار و طاقة التأين الأولى للعنصرين A و D.
- يكون في محلول مائي، المركب AC ناقلا للكهرباء بينما المركب AD لا ينقل الكهرباء. لماذا ؟

المسألة 6 :

I- إذا كان الرقم الذري للعنصر X $Z = 49$.

- 1- أعط كل من التوزيع و التشكيل الإلكتروني لهذا العنصر.
- 2- ما هي الأعداد الكمية التي تميز الإلكترون الحر (العازب) X-.
- 3- أكتب التشكيل الإلكتروني للأيون الأكثر استقرارا و الأكثر احتمالا الذي يعطيه هذا العنصر.

II- العدد الذري للعنصر Y هو $Z = 53$.

- 1- أعط التشكيل الإلكتروني لهذا العنصر.
 - 2- إلى أي مجموعة (فئة) من الجدول الدوري ينتمي هذا العنصر، سمها.
 - 3- أعط الأعداد الكمية التي تعرف الطبقات التحتية التكافؤية الخارجية.
- III- مركب مشترك التكافؤ XY_3 .

- 1- أعط تمثيل لويس Lewis لهذا الجزيء.

2- أعط نوع التهجين و هندسة هذا الجزيء حسب منهجية جيلسبي Gillespie (مع تحديد عدد ثنائيات الربط و الثنائيات لا رابطة لكل ذرة).

المسألة 7 :

المعطيات التجريبية النسبية لطاقات التأين الأول و الثاني للعناصر التي تنتمي إلى العمودين IA و IIA ملخصة في الجدول التالي :

العناصر	Ei ₁	Ei ₂
X ₁	5,4	75,6
X ₂	9,3	18,2
X ₃	5,1	47,3
X ₄	7,6	15
X ₅	6,1	11,9
X ₆	4,3	31,8

- 1- صنف العناصر التي تنتمي للعمود IA و العمود IIA .
- 2- ينتمي العنصران X₅ و X₆ للدورة الرابعة في الجدول الدوري، عرف X₁ ، X₂ ، X₃ ، X₄ و X₆ .

المسألة 8 :

إذا كان الرقم الذري لعنصر البلاتين $Z = 78$ Platine

1- أعط التوزيع و التشكيل الإلكتروني للبلاتين في الحالة الأساسية.

2- ما هو عدد الإلكترونات التي تملك الأعداد الكمية التالية:

أ - $n = 3$

ب - $l = 3$

ج - $n = 5$ و $l = 2$

د - $l = 2$

3- ما هو الأيون المستقر لهذا العنصر.

4- يرتبط البلاتين Platine بالكلور Chlore $Z = 17$ و كذلك بالنيتروجين Azote $Z = 7$

الموجود في جزيء غاز النشادر NH₃ ليشكل المعقد المختلط $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]^0$.

أ - أعط التشكيل الإلكتروني للأيون المركزي لهذا المعقد علما أن هذا الأخير ليس له خواص مغناطيسية دائمة .

ب - أعط نوع التهجين و كذلك هندسة هذا المعقد.

بعض الثوابت الأساسية

القيمة	الرمز	الكمية
$2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	c	سرعة الضوء في الفراغ
$6,62607 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg/s (J.s)}$	h	ثابت بلانك (Planck)
$6,02213 \times 10^{23}$	N	ثابت أو عدد أفوغادرو (Avogadro)
$1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$	R _H	ثابت ريدبرغ (Rydberg)
$1,60217 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	e	شحنة الإلكترون
$0,082 \text{ Latm /}^\circ\text{K.mole}$	R	ثابت الغازات المثالية
$9,10938 \times 10^{-31} \text{ kg}$	m _e	كتلة الإلكترون
$1,67262 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m _p	كتلة البروتون
$1,67494 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m _n	كتلة النيوترون
$8,85418 \times 10^{-12} \text{ A}^2 \cdot \text{s}^4 / \text{m}^3 \cdot \text{kg}$	ε ₀	سماحية الهواء
$1,66057 \times 10^{-27} \text{ kg}$	u.m.a	وحدة الكتلة الذرية
$0,52917 \times 10^{-10} \text{ m}$	a ₀	نصف القطر لبوهر (Bohr)

$\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$	Bq	النشاطية "بكرال" (Becquerel)
10^{-2} J/kg	Rad	جرعة الإشعاع الممتصة
10^{-2} J/kg	Rem	جرعة الإشعاع المكافئة
$2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$	R	تعرض للإشعاع "ريتغان" (Roentgen)

الوحدات الأساسية في النظام العالمي (S.I) و بعض الوحدات الأخرى

الرمز	الاسم	الكمية
m	متر	طول
kg	كيلو غرام	كتلة
s	ثانية	زمن
A	أمبير	شدة التيار الكهربائي
mole	مول	كمية المينة
J	جول	طاقة
J / kg	جول / كيلو غرام	طاقة
J / mole	جول / مول	طاقة المولية
Bq	بيكرال	النشاطية
Hz	هرتز	تواتر
N	نيوتن	قوة
Pa	بيسكال	ضغط
C	كولون	شحنة كهربائية
V / m	فولت على متر	حقل كهربائي
V	فولت	فرق الكمون
T	تسلا	حقل مغناطيسي
W	ويبر	التدفق المغناطيسي

تحويل لبعض الوحدات الفيزيائية المهمة

طاقة:

Joule (J) جول	kcal	erg	eV	kWh
1	$2,4 \times 10^{-4}$	10^7	$6,24 \times 10^{18}$	$2,78 \times 10^{-7}$
$4,18 \times 10^3$	1	$4,18 \times 10^{10}$	$2,61 \times 10^{22}$	$1,16 \times 10^{-3}$
10^{-7}	$2,39 \times 10^{-11}$	1	$6,24 \times 10^{11}$	$2,78 \times 10^{-14}$
$1,6 \times 10^{-19}$	$3,83 \times 10^{-23}$	$1,6 \times 10^{-12}$	1	$4,35 \times 10^{-28}$
$3,6 \times 10^6$	860	$3,6 \times 10^{16}$	$2,25 \times 10^{23}$	1

ضغط:

$\text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$	atm	bar	torr
1	$9,87 \times 10^{-6}$	10^{-5}	75×10^{-4}
$1,013 \times 10^5$	1	1,013	760
10^5	0,987	1	750
133	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,33 \times 10^{-3}$	1

زمن:

s	min	h	j
1	$1,67 \times 10^{-2}$	$2,78 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-5}$
60	1	$1,67 \times 10^{-2}$	$6,94 \times 10^{-4}$
$3,6 \times 10^3$	60	1	$4,17 \times 10^{-2}$
$8,62 \times 10^4$	$1,44 \times 10^2$	24	1

طول:

$$1 \mu (\text{micron}) = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ \AA} (\text{angstrom}) = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ F (fermi)} = 10^{-15} \text{ m}$$

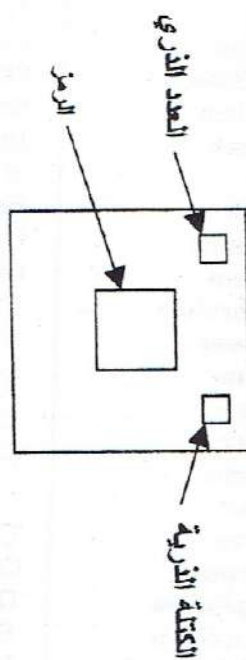
المقاطع البداية المستعملة في النظام العالمي (S.I)

الرمز	بادئة	عامل	الرمز	بادئة	عامل
E	exa	10^{18}	d	deci	10^{-1}
P	peta	10^{15}	c	centi	10^{-2}
T	tera	10^{12}	m	milli	10^{-3}
G	giga	10^9	μ	micro	10^{-6}
M	mega	10^6	n	nano	10^{-9}
k	kilo	10^3	p	pico	10^{-12}
h	hecto	10^2	f	femto	10^{-15}

ترتيب أبجدي لعناصر الجدول الدوري

التسمية	الرمز	Z	الكتلة الذرية النسبية	التسمية	الرمز	Z	الكتلة الذرية النسبية
Actinium	Ac	89	-	Molybdène	Mo	42	95,94
Aluminium	Al	13	26,982	Néodyme	Nd	60	114,24
Américium	Am	95	-	Néon	Ne	10	20,179
Antimoine	Sb	51	121,75	Neptunium	Np	93	237,05
Argent	Ag	47	101,87	Nickel	Ni	28	58,71
Argon	Ar	18	39,948	Niobium	Nb	41	92,906
Arsenic	As	33	74,922	Nobélium	No	102	-
Astate	At	85	-	Or	Au	79	196,97
Azote	N	7	14,007	Osmium	Os	76	190,2
Baryum	Ba	56	137,34	Oxygène	O	8	15,999
Berkélium	Bk	97	-	Palladium	Pd	46	106,4
Béryllium	Be	4	9,0122	Phosphore	P	15	30,974
Bismuth	Bi	83	208,98	Platine	Pt	78	195,09
Bore	B	5	10,81	Plomb	Pb	82	207,2
Brome	Br	35	79,904	Plutonium	Pu	94	-
Cadmium	Cd	48	112,40	Polonium	Po	84	-
Calcium	Ca	20	40,08	Potassium	K	19	39,102
Californium	Cf	98	-	Praséodyme	Pr	59	140,91
Carbone	C	6	12,011	Prométhium	Pm	61	-
Cérium	Ce	58	140,12	Proactinium	Pa	91	213,04
Césium	Cs	55	132,91	Radium	Ra	88	226,02
Chlore	Cl	17	35,453	Radon	Rn	86	-
Chrome	Cr	24	51,996	Rhénium	Re	75	186,2
Cobalt	Co	27	58,933	Rhodium	Rh	45	102,91
Cuivre	Cu	29	63,546	Rubidium	Rb	37	85,468
Curium	Cm	96	-	Ruthénium	Ru	44	101,07
Dysprosium	Dy	66	162,50	Samarium	Sm	62	150,4
Einsteinium	Es	99	-	Scandium	Sc	21	44,956
Erbium	Er	68	177,26	Sélénium	Se	34	78,96
Etain	Sn	50	118,69	Silicium	Si	14	28,086
Europium	Eu	63	151,96	Sodium	Na	11	22,990
Fer	Fe	26	55,847	Soufre	S	16	32,06
Fermium	Fm	100	-	Strontium	Sr	38	87,62
Fluor	F	9	18,998	Tantale	Ta	73	180,95
Francium	Fr	87	-	Technétium	Tc	43	98,906
Gadolinium	Gd	64	157,25	Tellure	Te	52	127,60
Gallium	Ga	31	69,72	Terbium	Tb	65	158,92
Germanium	Ge	32	72,59	Thallium	Tl	81	204,34
Hafnium	Hf	72	178,49	Thorium	Th	90	232,04
Hélium	He	2	4,0028	Thulium	Tm	69	168,23
Holmium	Ho	67	164,93	Titane	Ti	22	47,90
Hydrogène	H	1	1,0080	Tungstène	W	74	183,85
Iodine	I	53	126,90	Unihexium	Unh	106	-
Iridium	Ir	77	192,22	Uniloctium	Uno	108	-
Krypton	Kr	36	83,80	Unipentium	Unp	105	-
Lanthane	La	57	138,91	Unniquadium	Unq	104	-
Lawrencium	Lr	103	-	Unniseptium	Uns	107	-
Lithium	Li	3	6,941	Uranium	U	92	238,03
Lutétium	Lu	71	174,97	Vanadium	V	23	50,941
Magnésium	Mg	12	24,315	Xénon	Xe	54	131,30
Manganèse	Mn	25	54,938	Ytterbium	Yb	70	173,04
Mendelevium	Md	101	-	Yttrium	Y	39	88,906
Mercure	Hg	80	200,59	Zinc	Zn	30	65,37
				Zirconium	Zr	40	91,22

الجدول الدوري للعناصر



العدد الذري																		الكتلة الذرية	

ترتيب أبجدي للأسماء المشهورة

Aston, F. W.....	16,17,22,23	Pauling, L.....	78,82,85
Avogadro, A.....	4,8	Pickering.....	50
Bainbridge.....	16,17,24	Pfund.....	49
Balmer, J. J.....	42,45,49,50	Planck, M.....	9,43,44,45,58
	51,56.	Proust, J.L.....	6
Becquerel, H.....	6,26	Ritz.....	49
Bethe.....	36		
Bohr, N.....	9, 45,46,47, 48	Rutherford, D.....	6,9,14,19,
	50,51,56,57,58,		20,28,42,45
	59,60,61,65.	Rydberg.....	49,56
Bracket.....	49	Schrödinger, E.....	9,60,61
Bravais, A.....	94	Soddy, F.....	31
Chadwick, J.....	9,14	Sommerfeld.....	9,51,58,61,65
Cram,	108,109, 112,	Stooney.....	11
	114.	Stoener.....	69
Crooks.....	9,10,13	Stockes, G.G.....	13
Curie, P. et M.....	6,29,30	Tesla.....	22
Dalton, J.....	7	Thomson, J.J.....	11,16,17,19
DeBroglie L.....	9, 58	VanDerWalls, J.D.....	95,96
De Chancourtois, A.E.B.....	74	Vasquez.....	39
Debye, P.....	91,95,	Wilson.....	26
Dempster.....	17	Zeeman.....	53,56,58
Einstein, A.....	22,33,40,44,58		
Fajans, K.....	31		
Faraday, M.....	9		
Fermi.....	23,25		
Flower.....	50		
Gay Lussac, L. J.....	7		
Geiger-Muller.....	18		
Gillespie.....	109,116,124		
Goldstein, E.....	9,13,14		
Hamilton, W. R.....	60		
Heisenberg, W.N.....	9,59		
Hertz.....	45		
Hund, F.....	71,72,103.		
Joliot-Curie, F. et I.....	30		
Klechkowski.....	70,72,103		
Kessom.....	95		
Laplace, P.S.....	60		
Lavoisier, A.L.....	1,6,6		
Lewis, G.N.....	86,88,90,99,105		
London	95		
Lothar-Meyer, J.....	74		
Lyman.....	49,50,51		
Millikan, R.A.....	12,24		
Mendeleëv, D.I.....	74		
Mulliken, R.....	82		
Newlands.....	74		
Newton, I.....	44		
Newman, M.S.....	110		
Paschen.....	49,50		
Pauli, W.....	68,72,103		

1. « Chimie : Chimie Physique » Tome 1.
H. Guerin ; Ed. Dunod Université. (1968)
2. « Chimie physique générale : Atomistique, liaison chimique et structures moléculaires »
G. Panetier ; Ed. Masson. (1969)
3. « Structure électronique des atomes et des molécules simples »
M. Fayard ; Ed. Herman. (1969)
4. « Structure de la matière »
J. Drillat, J. Layèle et L. Torrès ; Ed. Armand Colin. (1970)
5. « Atomes et Liaisons »
A. Julg ; Collection U. (1970)
6. « Introduction à la chimie structurale »
G. Montel, A. Lattes, J.C et M. Heughebaert ; 2nd édition, Ed. Dunod. (1979)
7. « The structure of matter : an introduction atomic nuclear and particles physics » *R.M. Turnbull* ; Ed. Blacken.Cop. (1979)
8. « Chimie générale »
G. Germain et R. Mari ; Ed. Masson. (1989)
9. « Cours de chimie organique »
P. Arnaud ; 15^e édition, Ed. Dunod. (1990)
10. « Chimie Générale »
René Didier ; 5^e édition. Collection Sciences Physiques. (1993)
11. « Chimie Organique »
M. Le Corre, C. Moreau et J.P. Payen ; Collection Belin Sup.Sciences. (1997)
12. « Précis de chimie : Atomistique et Structures » Vol. 6.
J. Mesplede et J.L. Queyrel ; Ed. Breal (1998).