كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء نووية٢

المحاضرة: السابعة/نظري/د.سمر عمران

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

المحاضرة السابعة لمقرر الفيزياء النووية 2 – د. سمر عمران

ملء الطبقات (توزع النكليونات على الطبقات) وفق تقريب الهزاز التوافقي:

استناداً إلى ما سبق عندما تكون النواة في حالتها الأساسية، من أجل تمثيل هذه الحالة الدنيا من الطاقة يجب وضع الـ A نكليون في الطبقات الأكثر انخفاضاً (الطبقات الدنيا أو السفلى) واحترام مبدأ الاستبعاد لباولي الذي يمنع نكليونين متماثلين من امتلاك نفس مجموعة الأعداد الكوانتية (n, l, m, s) ، لدينا الجدول التالي الذي يُوضح تسلسل طبقات الهزاز التوافقي بتابعية العدد الكوانتي الرئيسي n ، حيث استخدمنا الرموز الطيفية للتعبير عن قيم l وn :

N, l	E_n	d_n عدد النكليونات	$\sum_n d_n$	$n(l)$	النوعية $(-1)^N$ أو $(-1)^l$
0	$\frac{3}{2}\hbar w$	2	2	1s	+
1	$\frac{5}{2}\hbar w$	6	8	1p	–
2	$\frac{7}{2}\hbar w$	12	20	1d , 2s	+
3	$\frac{9}{2}\hbar w$	20	40	1f , 2p	–
4	$\frac{11}{2}\hbar w$	30	70	1g , 2d , 3s	+
5	$\frac{13}{2}\hbar w$	42	112	1h , 2f , 3p	–
6	$\frac{15}{2}\hbar w$	56	168	1f,2g,3d,4s	+

الجدول (1)

في تقريب الهزاز التوافقي تُعطى العبارة الرياضية المعبّرة عن القيم الخاصة للطاقة بالصيغة التالية:

$$E_n = \left[2(n-1) + l + \frac{3}{2}\right]\hbar w \quad \text{أو} \quad E_n = \left[N + \frac{3}{2}\right]\hbar w$$

$$\Longrightarrow \quad N = 2(n-1) + l$$

N العدد الكوانتي الرئيسي .

$$N = 0 \Longrightarrow 2(n-1) + l = 0 \;\; if \;\; l = 0, n = 1 \Longrightarrow 1s_{\frac{1}{2}}$$

$$N = 1 \Longrightarrow 2(n-1) + l = 1 \;\; if \;\; l = 1, n = 1 \Longrightarrow 1p$$

$$N = 2 \implies 2(n-1) + l = 2$$

$$\begin{cases} if \quad l = 2, n = 1 \implies 1d \\ if \quad l = 0, n = 2 \implies 2s_{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

وهكذا من أجل باقي السويات الطاقية. ملاحظة n ترمز إلى رقم السوية مثلاً $ns_{\frac{1}{2}}$

ملاحظة هامة: من أجل إيجاد عدد السويات المنطبقة على السوية الأساسية نقول:

إذا كان N يأخذ قيمة زوجية فإنَّ عدد السويات الطاقية المنطبقة على السوية الأساسية يُعطى: $\frac{1}{2}N + 1$

إذا كان N يأخذ قيمة فردية فإنَّ عدد السويات الطاقية المنطبقة على السوية الأساسية يُعطى: $\frac{1}{2}(N + 1)$

مع العلم أنّهُ يمكن تمثيل هذه السويات الطاقية في تقريب الهزاز التوافقي على الحفرة الكمونية المعبرة عن هذا التقريب.

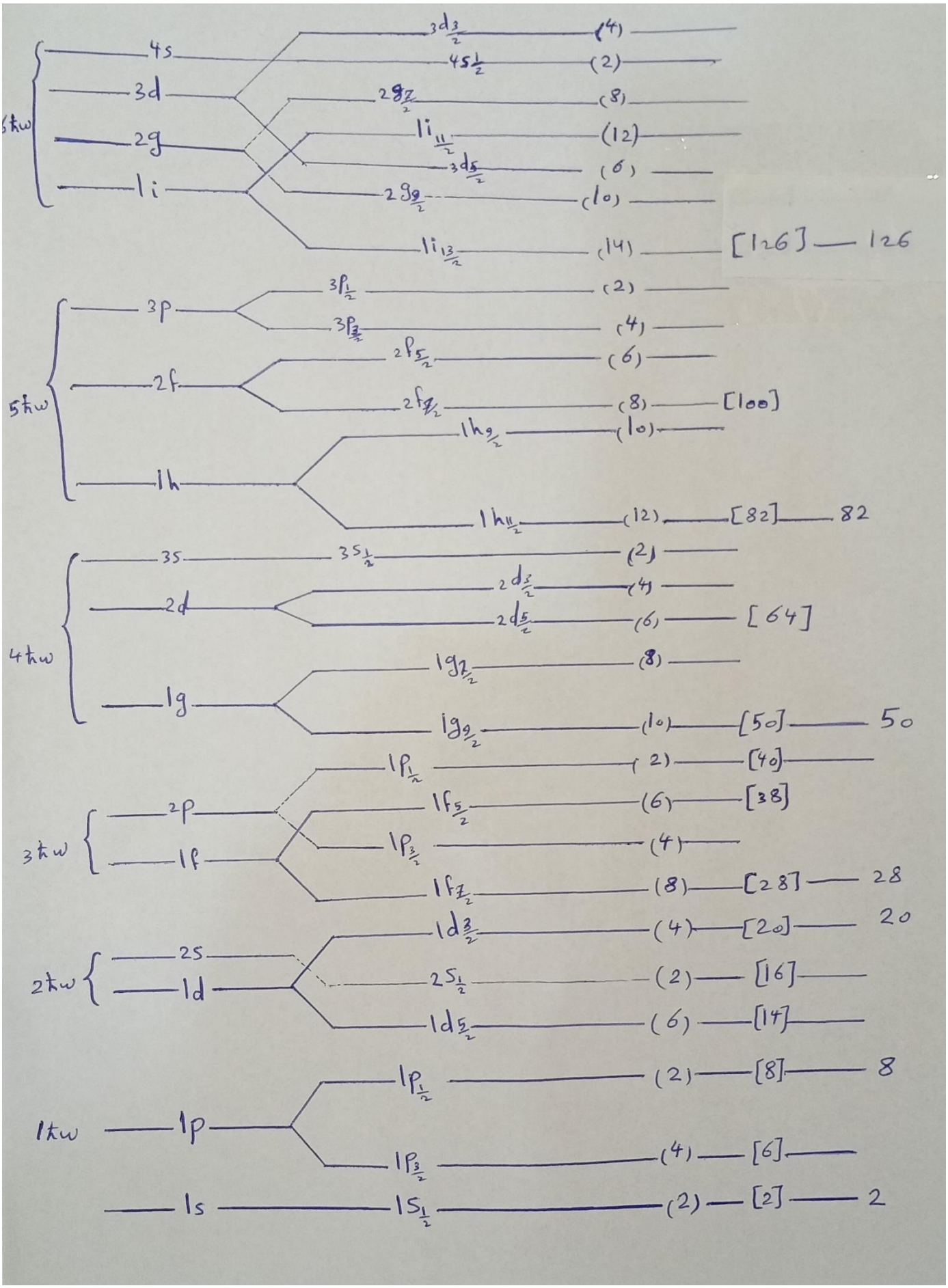
يُعطى عدد النترونات أو البروتونات المتوضعة على كل سوية طاقية بالعلاقة التالية: $2(2l + 1)$

في الجدول (1) يوجد ثلاث أعداد سحرية فقط هي 20,8,2 ولذلك يمكن القول أنَّ الكمون المستخدم في تقريب الهزاز التوافقي لم يستطع إيجاد جميع الأعداد السحرية التي نبحث عنها ولهذا السبب لا بدّ من التوجه إلى تصحيح الكمون السابق والذي سميناه بالكمون المتوسط أو كمون وود ساكسون، وتبين أنَّ الحل في ذلك هو إضافة حدّ كموني يعبّر عن التأثير المتبادل بين العزم السبيني والعزم المداري وهذا التجميع يعطيني العزم الزاوي الكلي J الذي يرفع حالة الانطباق (التحلل) بين الطبقتين الجزئيتين. أي أنَّ هذا التفاعل بين العزمين السبيني والمداري هو الذي يؤدي إلى انشطار كل مستوى مداري إلى مستويين فرعيين: $j = l \pm \frac{1}{2}$ حيث($j = l + \frac{1}{2}$ طاقة منخفضة ، $j = l - \frac{1}{2}$ طاقة مرتفعة) .

إنَّ طاقة السبين مدار المضاف يسمح لنا بإيجاد جميع الأعداد السحرية وذلك بعد أخذ تأثير العزم الزاوي الكلي $j = l \pm \frac{1}{2}$ ويمكن فهم ذلك إذا نظرنا إلى المخطط التالي (يسمى مخطط ماير) الذي يُعبّر عن توضع سويات طيف الطاقة وعدد النكليونات المتوضعة على كل سوية بعد رفع حالة الانطباق وبالتالي هذا المخطط يُظهر ترتيب امتلاء الأغلفة من الأدنى طاقة إلى الأعلى طاقة.

ملاحظة: يُعطى عدد النكليونات المتوضعة على كل طبقة فرعية مرتبطة بالعزم الكلي بالعلاقة التالية: $2j + 1$

وعند النظر إلى المخطط نلاحظ ظهور جميع الأعداد السحرية بعد إضافة كمون السبين – مدار.


4s
3d
2g
1i
3d3/2 (4)
4s1/2 (2)
2g7/2 (8)
1i11/2 (12)
3d5/2 (6)
2g9/2 (10)
1i13/2 (14) [126] 126
3p
2f
1h
3p1/2 (2)
3p3/2 (4)
2f5/2 (6)
2f7/2 (8) [100]
1h9/2 (10)
1h11/2 (12) [82] 82
3s
2d
1g
3s1/2 (2)
2d3/2 (4)
2d5/2 (6) [64]
1g7/2 (8)
1g9/2 (10) [50] 50
2p
1f
1p1/2 (2) [40]
1f5/2 (6) [38]
1p3/2 (4)
1f7/2 (8) [28] 28
2s
1d
1d3/2 (4) [20] 20
2s1/2 (2) [16]
1d5/2 (6) [14]
1p
1s
1p1/2 (2) [8] 8
1p3/2 (4) [6]
1s1/2 (2) [2] 2

سبين ونوعية النواة في النموذج الطبقي:

في دراستنا السابقة لاحظنا أنه عندما تكون النكليونات متماثلة فهي تتجمع في أزواج وبالتالي نقول أنَّ النكليونات التي تمتلك عدداً زوجياً تسعى للتجمع بشكل أزواج وهذا ينتج عزماً زاوياً كلياً يساوي الصفر ونوعية زوجية وعزم مغناطيسي معدوم، ولاحظنا أيضاً أنهُ إذا كانت النكليونات فردية فإنَّ العزم الكلي للنواة يساوي العزم الكلي للنكليون المفرد $J = j$ والنوعية تكون زوجية إذا كانت l زوجية والنوعية فردية إذا كانت l فردية ، والعزم الزاوي الكلي غير معدوم والعزم المغناطيسي يساوي عزم النكليون الفردي في الحالة j . نلخص ذلك بالنقاط الأساسية التالية:

1- يُرافق الحالات الأساسية للنوى التي تمتلك (N زوجي و Z زوجي) عزم زاوي كلي معدوم $J = 0$ وعزم مغناطيسي معدوم $\mu = 0$ ونوعية موجبة.

2- تُحدّد المميزات الأساسية للنوى الزوحية – الفردية (N زوجي و Z فردي) بالبروتونات الفردية، وبشكل معاكس من أجل (N فردي و Z زوجي) بالنترونات الفردية.

3- في نواة ذات عدد كتلي A فردي ، تتجمع (تقترن) النكليونات الفردية مع بعضها البعض (تتجمع عزومها الزاوية) لتعطي عزم زاوي كلي $J = j$ ونوعية $\pi = (-1)^l$

4- في النوى التي تحوي عدداً فردياً من البروتونات والنترونات في وقت واحد (فردية – فردية) ينتج عزمها الزاوي الكلي بطريقة الجمع الشعاعي لعزمي البروتون الفردي والنترون الفردي، أي أنَّ:

$$\vec{\mathrm{J}} = \vec{\mathrm{J}}_n + \vec{\mathrm{J}}_p$$

حيث j تأخذ قيماً صحيحة محصورة في المجال $|j_n - j_p| \le j \le j_n + j_p$

أما النوعية فتعطى بالعلاقة التالية: $\pi = (-1)^{l_n + l_p}$ حيث l_p تمثل العزم المدار للبروتون ، l_n العزم المدار للنترون . للتوضيح سنشرح بعض الأمثلة.

تمرين: أوجد سبين ونوعية النوى التالية: $^{20}_{10}Ne$, $^{39}_{18}K$, $^{15}_{8}O$

الحل: تتوزع البروتونات والنترونات للنوى الثلاثة وفق الشكل التالي:

- من أجل $^{15}_{8}O$ لدينا:

$$Z = 8 \text{ بروتون } \left(\text{زوجي}\right) \Longrightarrow N = 7 \text{ نترون(فردي)}$$

وبالتالي تتزاوج جميع النكليونات باستثناء النترون الفردي في السوية $1p_{\frac{1}{2}}$ هذا يعني أنَّ النترون الفردي الأخير هو الذي يحدد الميزات، أي أنَّ $J = \frac{1}{2}$ أما النوعية فهي $\pi = (-1)^l$ ولكن الطبقة تقابل $l = 1$ لذا فالنوعية فردية (−) ونكتب إذاً $J^{\pi} = \left(\frac{1}{2}\right)^{-}$.

- من أجل $^{39}_{19}K$ لدينا:

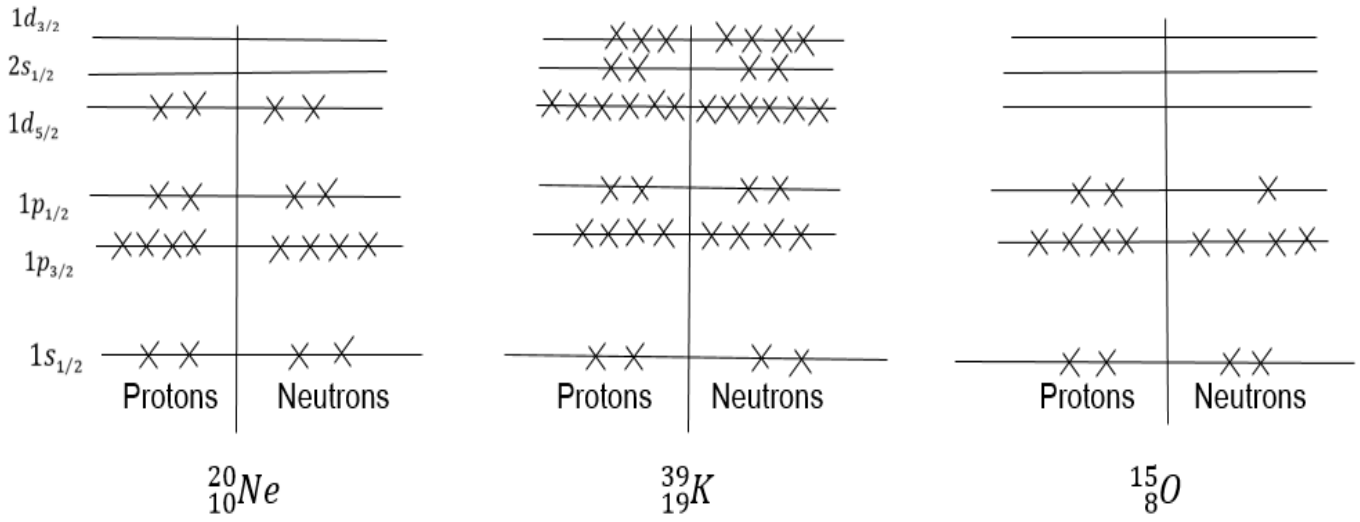
$$Z = 19 \text{ بروتون } \left(\text{فردي}\right) \Longrightarrow N = 20 \text{ نترون(زوجي)}$$

وبالتالي تتزاوج جميع النكليونات باستثناء البروتون الفردي في السوية $1d_{\frac{3}{2}}$ هذا يعني أنَّ البروتون الفردي الأخير هو الذي يحدد الميزات، أي أنَّ $J = \frac{3}{2}$ أما النوعية فهي $\pi = (-1)^l$ ولكن الطبقة تقابل $l = 2$ لذا فالنوعية زوجية (+) ونكتب إذاً $J^\pi = \left(\frac{3}{2}\right)^+$.

- من أجل $^{20}_{10}Ne$ لدينا:

$$\left(\text{زوجي}\right) \Rightarrow N = 10 \text{ نترون } (\text{زوجي}) \quad Z = 10 \text{ بروتون}$$

وبالتالي تتزاوج جميع النكليونات، أي أنَّ $J = 0$ أما النوعية فهي $\pi = (-1)^l$ ولكن الطبقة تقابل $l = 2$ لذا فالنوعية زوجية (+) ونكتب إذاً $J^\pi = (0)^+$.



تمرين: أوجد سبين ونوعية النواة التالي $^{10}_{5}B$

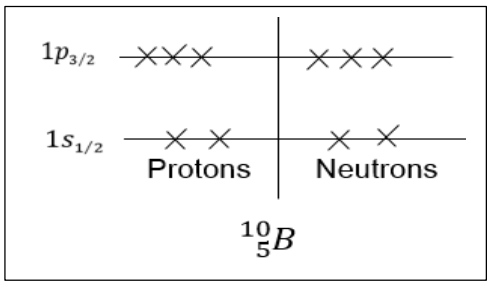
الحل: بما أنَّ هذه النواة تحوي على 5 بروتونات و 5 نترونات

$$\left(\text{زوجي}\right) \Rightarrow N = 5 \text{ نترون } (\text{زوجي}) \quad Z = 5 \text{ بروتون}$$

وبالتالي فهي تتوزع على الشكل التالي:

- بروتونان على $1s_{\frac{1}{2}}$ وثلاثة نترونات على $1p_{\frac{3}{2}}$
- نترونان على $1s_{\frac{1}{2}}$ وثلاثة بروتونات على $1p_{\frac{3}{2}}$

أي أنَّ النترونات تتوزع كالبروتونات تماماً.



للحصول على سبين النواة الكلي ونوعيتها نرى سبين ونوعية البروتون الفردي $J_p^{\pi} = \left(\frac{3}{2}\right)^{-}$ والنترون الفردي $J_n^{\pi} = \left(\frac{3}{2}\right)^{-}$ إلا أنَّ السبين الكلي يساوي: $\vec{J} = \vec{J}_n + \vec{J}_p$ وبإجراء عملية الجمع الشعاعي نحصل على القيم الممكنة للسبين: $|j_n - j_p| \leq j \leq j_n + j_p$ أي أنَّ $0 \leq j \leq 3$ وبالتالي $J = 0,1,2,3$ أما النوعية فتساوي: $\pi = (-1)^{l_n + l_p} = (-1)^{1+1} = +$ وهكذا تكون قيم السبين المحتملة والنوعية لهذه النواة $J^{+} = 0^{+}, 1^{+}, 2^{+}, 3^{+}$ وفعلاً تبين التجربة أنَّ سبين هذه النواة يساوي $J = 3$ وعليه يكون: $J^{\pi} = 3^{+}$

تمرين وظيفة: أوجد سبين ونوعية النوى التالية: $^{209}_{82}Pb$, $^{24}_{11}Na$, $^{55}_{25}Mg$

مكتبة A to Z