سابعًا : الطاقة الحرارية الناتجة من الانصهار

20 تفاعلات الانصهار النووي الحراري (الانصهار)

20. 1 إنتاج الطاقة عن طريق انصهار النوى

إن إنتاج الطاقة النووية عن طريق انشطار عنصر اليورانيوم، هذه العملية أظهرت بأنها أجدى الطرق الصالحة في هذا الوقت لإنتاج الطاقة المرتفعة التي تماشي العملية الفيزيائية لانشطار النواة ولكن مع الوقت والتطبيقات والاستفادة والربح للطاقة في المفاعلات النووية ظهر بأن هذه العملية لإنتاج الطاقة استعملت وشطرت كتلاً صغيرة من عنصر اليورانيوم، وهذا ما ظهر حسب المعادلة القائلة $\Delta E = mc^2$ وطريقة الحل بنقص الكتل المطروقة في درس سابق أبانت بأن الكتلة البدائية النووية المعطاة المساوية 235 ME استعمل منها قسم صغير يساوي 0,223 ME وهذا القسم، أي الكمية الصغيرة، استعملت لتحويلها والربح منها كطاقة نووية منتجة. وهذا القسم المستعمل بالنسبة للكتلة البدائية أظهر بأنه أصغر نسبيًّا من 1/1000، وهذه النتيجة القليلة من الجهة الفيزيائية لعملية الانشطار النووي تدل على استفادة وكسب ربح ضعيف جدًّا. ومن الجهة والفكرة الثانية الأساسية لإنتاج الطاقة ظهرت كذلك عن طريق نقص الكتل. وهذه العملية الفيزيائية العاملة كذلك لما تلتقي وتصطدم كل من جسيمات الnucleon مع الأخرى لخلق نواة ذرة جديدة تذكرنا بالمعادلة $\Delta m = \Sigma m - M$، ولبناء ذرة هليوم يلزمنا طاقة تساوي بوحدة ال Mass Unit= ME حسب البناء الفيزيائي لذرة عنصر الهليوم $_2He^4$ المبنية من مجموع الجسيمات التالية:

2.Protonos + 2.Neutrons + 2.Electrons
2.1,oo727 + 2.1,oo865 + 2.0,00054 = 4,03294 ME

ومن المعروف أن الكتلة البدائية للذرة أصغر بقليل من مجموع كتل جسيماتها الفردية..

$\Delta m = \Sigma m - M$
$\Delta m = (4,03294 - 4,00261) ME = 0,030 ME$

وهنا إذا استعملت هذه العملية الفيزيائية لنقص الكتل كذلك في عملية انصهار الذرة تعطينا نسبة $7,43874.10^{-3}$ = 4,o3294 / 0,030، وهذا ما يساوي تقريبًا 7,5/1000.

وبالمقابلة مع النسبة الحاصلة عن طريق الانشطار المساوي 1/1000 يبين بأننا عن طريق عملية الانصهار نستطيع بأن ننتج طاقة تساوي تقريبًا 7,5 مرات أكبر من الطاقة المنتجة عن طريق الانشطار.

هنا في عملية الانصهار لا نقسم ونشطر نوى الذرات الكبيرة إلى نوى ذرات صغيرة لنستغل عملية الانشطار كما يحدث في عملية الانشطار، ولكن هنا في عملية الانصهار هذه نعمل عملية تركيب من الجسيمات البدائية Elementary Particles الصغيرة جسيمات نوى كبيرة وهذه العمليات تحدث عن طريق التركيب المصنع Synthetic Way أي أننا ننتج منتجات تركيبية نووية؛ وهذه المنتجات سوف نشرحها لاحقًا في هذا الدرس.

وهذه العملية نسميها عملية انصهار النواة، هنا بهذا المثل العلمي أحببنا أن نظهر للطالب الفيزيائي هل هو من الممكن تحقيق عملية انصهار أقسام الـ nucleon النواة لخلق ذرة الهليوم Helium ؟ ولإظهار هذه الإمكانية نقول إذا كان فرق الكتل يساوي Δm = 0,030، ولتركيب كلغم واحد من الهليوم بفرق كتل معطاة بوحدة الغرام يساوي المعادلة التالية:

1000.0,030 / 4.033 gr = 7,438 gr

وهذا ما أظهر بأن كمية فرق الكتلة المساوية 7,438 gr تنتج طاقة انصهار تساوي أو تعادل طاقة احتراق كمية من الفحم الحجري حسب المعادلات التالية:

$E = 7,438\ (3.10^{10})2\ 66,6.10^{20}$ erg

$1erg = 10^{7}$ Wsec . 1Wsec = 1Joule

$1erg = 2,39.10^{-8}$ cal

$= 66,6.10^{20}$ erg . $2,39.10^{-8} = 1,59179.10^{14}$ cal

$1kgr\ coal = 8.10^{6}$ cal

$1,59179.10^{14} / 8.10^{6} = 19,897.10^{6} \approx 20.10^{6}$ Kgr coal

$\approx 20.10^{6}$ Kgr Coal

openkanal.com

ولنتفهم ونستوعب موضوع انصهار نواة الذرة نقول بأن هذه العملية ممكنة لتعطي طاقة مرتفعة كما وجدنا في الحلول العلمية في القسم الأول من هذا الدرس. ولمقارنة عملية الانصهار نشبه هذه بعمليات الانصهار الموجودة في الشمس، وكذلك في كل النجوم الثابتة الجامدة. ولنستطيع بأن ندخل في عمليات الانصهار يجب علينا بأن نتفهم المتطلبات العلمية والفيزيائية المطلوبة:

أولاً عن طريق المعرفة العامة وكذلك حسب الدراسات والقياسات تعرفنا على أن حرارة الشمس في وسطها تفوق الـ 15.10^6 k، وفي محيط هذه الحرارة المرتفعة فإن كل ذرة موجودة في هذا المحيط متأينة Ionized، وتعطي خليطًا من مجموعة جسيمات نسميها فيزيائيًّا البلازما Plasma ولوجود هذه العملية أهمها الحرارة المرتفعة التي يجب بأن نتطرق موضوعها الآن لنتفهم عملية الانصهار النووي وما تعني.

البلازما Plasma؟

الـ Plasma مجموعة أو خليط من مجموعة جسيمات الذرات وألايونات والإلكترونات، قسم كبير منها مشحون مقابل قسم غير مشحون أو محايد. والقسم المشحون هذا هو القسم الذي يحدد النسبية الفيزيائية لهذا الخليط وهذا ما نجده في جسم البلازما Plasma المتباينة الكاملة Completed Ionized Plasma التي لم يعد يوجد بها أبدًا جسيمات محايدة بل ذرات بدون قشور. الإلكترونات الموجودة في محيط هذه الحرارة المساوية 15.10^6 k التي ذكرت قبلاً، هنا الطاقة الحركية لنوى الذرات ترتفع حتى تفقد قدرة Coulumb للتصادم، وهنا لما النوى تلتقي مع بعضها تذوب أو تنصهر.

ولهذا السبب بعد الدراسات الكثيرة في المجامع الفيزيائية العلمية وجد في الوقت الحاضر كما هو موجود بالشمس طريقتان لانصهار نواة الذرة، وهما الطريقتان التاليتان:

A عملية دوران الـ Proton . Proton or P.P Zyklus

فعملية الدوران هذه P.P Zyklus تحدث عن طريق تفاعل درجات متتابعة حسب المعادلات التالية:

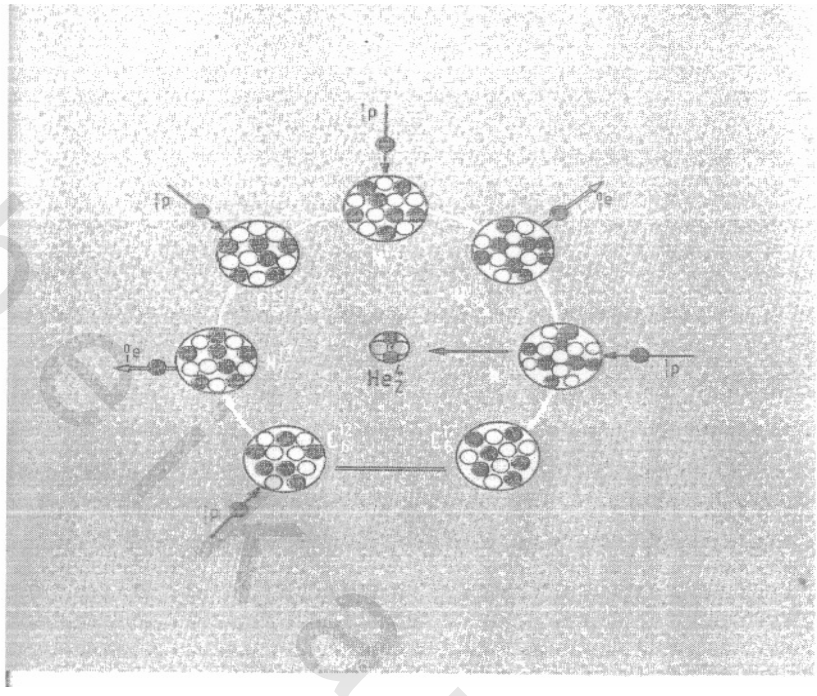
$$_1H^1 + {}_1H^1 \rightarrow {}_1D^2 + {}_1e^0 + \nu$$
$$_1D^2 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4$$
$$_2He^3 + {}_2He^4 \rightarrow {}_3Li^7 + {}_1e^0 + \nu$$
$$_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow 2.\,{}_2He^4$$

وفي نهاية عملية الدوران وجد أو بقي Protons 4 أقل مما دخل في البداية، وفي محل هذه البروتونات الناقصة وجد بدلا منهم 2Positons وكذلك 2 Neutrinos وعملية تفاعلات القسم P.P توجد عامة في النجوم الثابتة الجامدة بحرارة أخف من حرارة الشمس.

B – عملية دورة الفحم مع عنصر النيتروجين أو ما نسميه C.N System هذه العملية المتتابعة الموجودة خاصة في النجوم الثابتة الجامدة اكتشفت في سنة 1938 من الفيزيائي H.A.Bethe 1 عن طريق المراقبة النظرية Optic-Theoretical، وكذلك في نفس الوقت من الفيزيائي الألماني C.v Weizsaecker ولذلك سميت هذه الدورة عملية Bethe Weizsaecker Zyklus ، وتشرح بالمعادلات التالية:

$$6C^{12} + 1H^1 \rightarrow 7N^{13} \rightarrow 6C^{13} + 1e^0 + \nu$$
$$6C^{13} + 1H^1 \rightarrow 7N^{14}$$
$$7N^{14} + 1H^1 \rightarrow 8O^{15} \rightarrow 7N^{15} + 1e^0 + \nu$$
$$7N^{15} + 1H^1 \rightarrow 6C^{12} + 2He^4$$

أي إن نواة المادة البدائية $_6C^{12}$ في هذه العملية الدوارة تظهر في المعادلة الأخيرة، وكذلك عن طريق هذه العملية الدوارة فإن عدد البروتونات ينقص 4 ومحل هذا النقص وجدت نواة واحدة لعنصر الهليوم $_2He^4$ و 2Positrons وكذلك 2 Neutrinos، وهذه العملية شرحت كنموذج في الصورة التالية:



فإن عملية دورة الفحم والنيتروجين تلعب في عمل انصهار الشمس وخاصة في النجوم الثابتة دورًا مهمًّا.

هذه العملية الناتجة الموجودة في نصف الدورة تترك ويحدد التفكير على النتائج الأخيرة الموجودة في نهاية المعادلات، هنا نرى أنه في الحالتين استعملت نوى الهدروجين $1H^1$ ونوى الهليوم $2He^4$ وأما ما وجد من نتائج في نصف الدورة لم يؤخذ بعين الاعتبار.

ولكن تؤخذ النتائج الداخلة والخارجة، ونضع نتائج الحالتين وكذلك ما أعطي ونتج من الطاقة الحرة في المعادلة التالية:

$$4.1H1 \rightarrow 2He^4 + 2.1e^0 + 2\nu + 2{,}73.10^{15}\ J\ mol$$

والطاقة المنتجة المعطاة تعود لعملية تماسك 1 mol من عنصر الهليوم حسب ما حل قبلاً في قسم تماسك نوى الهليوم حسب الحل التالي:

$$E_{He} = \Delta m\, c^2 = 0{,}0503.10^{-27}\ kgr.(2{,}99789)^2.10^{16}\ m^2/sec^2 =$$

$$C = 2,99789.10^{8} m.1/sec$$
$$= 0,435.10^{-11} J = 28,3 \text{ MeV}$$

والطاقة المبنية في جزيئة واحد 1mol بوحدة الجول تساوي: $0,435.10^{-11}$ Joule.

أما عدد الذرات الموجودة في كيلو مول واحد 1.k mol هليوم تساوي حسب أفوكدرو الاصطلاحات التالية:

$$N = 6,02.10^{23} .1000 = 6,02.10^{26}$$

ولإنتاج كيلو مول هليوم 1.kmol Helium يلزمنا طاقة تساوي المعادلة التالية:

$$E_{He} = 0,435.10^{-11} . 6,o2.10^{26} \approx 2,7.10^{15} \text{ Joule}$$

ولهذا نقول إن الانصهار في الشمس وكذلك في النجوم الثابتة الجامدة المنتج من تفاعلات انصهار 4 أربع نوى هدروجين لإنتاج أو خلق ذرة هليوم ولذلك يلزمنا طاقة لانصهار كلغم واحد من الهليوم المساوية المعادلة التالية:

$$E_{He} = 2,73.10^{15} \text{ Joule} = 8.10^{8} \text{ kWh}$$
$$1 \text{Joule} = 2,78.10^{-7} \text{ kWh}$$
$$2,73.10^{15} \text{ J} = \text{x. kWh}$$
$$x = 2,73.10^{15} . 2,78.10^{-7} = 7,589.10^{8} \approx 8.10^{8} \text{ kWh}$$
$$= 8.10^{8} \text{ kWh}$$

وهذه هي الطاقة الوحيدة التي نبحث عنها للمستقبل (قسم من طاقة الشمس على الأرض) .

حتى نأخذ فكرة مختصرة عن هذه الطاقة المرتفعة من انصهار كلغم من الهليوم مقابل طاقة ما ينتج من انشطار كلغم من عنصر اليورانيوم بالنسبة لطاقة ما ينتج من احتراق كلغم من الفحم الحجري لنقابل هذه الطاقات نأخذ أولاً الطاقة المنتجة عن طريق الانصهار:

1 – الطاقة المنتجة عن طريق انصهار النواة

من المعروف أن كتلة 1.kmol Helium تساوي = 4 kgr، ولهذا فإن انصهار كيلو مول من الهليوم يعطي طاقة بوحدة الـ kWh تساوي المعادلة التالية:

$$E_1 = 8.10^8 \text{ kWh} / 4 = 2.10^8 \text{ kWh}$$

ولإنتاج أو خلق 1kgr Helium عن طريق انصهار ذرة الهدروجين ينتج طاقة تساوي:

$$= 200.10^6 \text{ kWh}$$

2 – الطاقة المنتجة عن طريق انشطار النواة

وعن طريق انشطار نوى كلغم واحد من عنصر اليورانيوم 235 تنتج طاقة تساوي:

$$E_2 = 80.10^{12}\text{J} \approx 20.10^6 \text{ kWh}$$

$$1\text{Joule} = 2{,}78.10^{-7} \text{ kWh } 80.10^{12}.2{,}78.10^{-7} \approx 20.10^6 \text{ kWh}$$

$$\approx 20.10^6 \text{ kWh}$$

3 – الطاقة المنتجة عن طريق احتراق كلغم واحد من الفحم الحجري

عن طريق احتراق كلغم واحد من الفحم الحجري تنتج الطاقة التالية:

$$E_3 = 32.10^6 \text{ J} \approx 10\text{kWh}$$

$$1 \text{ Joule} = 2{,}78.10^{-7} \text{ kWh } 32.10^6 .2{,}78.10^{-7} = 8{,}89 \text{ kWh}$$

$$\approx 10 \text{ kWh}$$

وهذا ما أظهر بأن انصهار 1kgr Helium ينتج طاقة تساوي 200 مليون KWh.

وهنا نقول إذا تحققت عملية الانصهار التي نرنو إليها تطبيقيًّا، فتكون مكسبًا للإنسانية؛ ولهذا السبب كل العلميين الفيزيائيين وكذلك الاقتصاديون في كل العالم الاقتصادي والعلمي يعدون وراء تحقيقها كطاقة نظيفة بيئية لا يبقى من تفاعلاتها كتفاعلات الانشطار، بقايا مواد مشعة مضرة للإنسان والطبيعة والبيئة.

فنعود ونقول: لعمليات الانصهار يوجد عديد من الطرق والإمكانيات لانصهار الذرة الخفيفة.

ومن هذه الإمكانيات والطرق ننتقي لعمليات الانصهار العناصر التي تعطينا نتائج وكسب طاقة كبيرة بالنسبة لإدخال طاقة اشتعال صغيرة.

oberkandl.com

وقبل أن ندخل في الموضوع العلمي والتطبيقي لعمليات الانصهار يجب علينا أن نتعمق في بعض النقاط المهمة لنتفهم موضوع الانصهار هذا، مثلاً عمليات انصهار نواة الذرة القائمة عن طريق عكس التصادم الإلكتروستاتيكي للشحنات الإيجابية بتقاربها من بعضها حتى تصبح قدرة طاقة السحب مسارها قصير، وتفوق قدرة التصادم التي تتغلب على قدرة تصادم Coulumb. وعملية إنتاج هذه الطاقة نظهرها بالمعادلة التالية:

$$E = 1/ 4\pi\varepsilon_0 . Z_1e.Z_2e / R_0$$

وهذه الاصطلاحات تساوي:

Z_1,Z_2 = الأعداد النظامية للنوى التي يجب انصهارها مع بعض.

E = الشحنة الكهربائية للجسيمة البدائية تساوي $1,602.10^{-19}$.C .

R_0 = مسافة النقطة المتوسطة التابعة لطاقة السحب التي تفوق طاقة التصادم، وهذه أعطي لها القيمة التقريبية لطول قطر النواة الخفيفة التي تساوي $\approx .5.10^{-15}$m

ε_0 = ثابتة الحقل الكهربائي $8,8542.10^{-12}C.V^{-1}m^{-1}$.

وحتى نتفوق أو نتغلب على قدرة طاقة التصادم الإلكتروستاتسكية يلزمنا طاقة تساوي المعادلة التالية:

$$E = 4,615.10^{-14} Z_1 Z_2 \text{ Joule} = 0,28 Z_1 Z_2 \text{ MeV}$$

هنا بهذه العملية، ضرب قيم الأعداد النظامية للنوى المنصهرة Z_1 Z_2 ببعض، ترتفع وتكبر الطاقة. ولهذا السبب تبين بأن الانصهار ممكن للنوى الخفيفة مثل الهدروجين والهليوم وكذلك عنصر الـ Lithium Isotop .

ولكن هنا نقطة يجب بأن نأتي على ذكرها، وهو عامل الـ Tunnel effect أي أنه يحدث الانصهار حتى لما تكون طاقة الجسيمات تحت مستوى الطاقة المحددة، لذلك عملية الجودة والكفاءة لهذه التفاعلات ترتفع في عملية انحطاط

الطاقة، والطاقة المستفادة تصل إلى حد معروف مرتفع لما الأعداد النظامية لعنصر الهدروجين تكون متساوية وتساوي واحدًا.

$$Z_1 = Z_2 = 1$$

وللتأكد من عملية انصهار Nucleons الهدروجين عن طريق التفوق أو التغلب على التصادم الإلكتروستاتيستيكي فإنه يجب أن يكون عندنا طاقة للجسيمات تساوي

$$E = 0{,}28 \text{ MeV}$$

وكذلك أيضا يوجد لمساعدة عمليات انصهار نواة الذرة إمكانيتان اثنتان واللتان تساعدان وتحددان طاقة الانصهار وهما:

1 – الأجهزة المسرعة أو المسرعات Accelerators.

2 – عملية التحمي heating (سوف تشرح مفصلاً في القسم التابع).

المسرعات Accelerators إن هذه الأجهزة المسرعة لم تكن بالجديدة إلا الأجهزة المسرعة للجسيمات المشحونة التي ذكرت وشرحت في درس سابق حسب خاصية استعمالها. وبمساعدة هذه المسرعات التي تسرع الجسيمات المشحونة وهذه، أي الجسيمات، بإسراعها تكسب طاقة مرتفعة وكذلك في هذه المسرعات تتحرك الجسيمات المشحونة في اتجاه واحد، وتملك عامة في النهاية نفس الطاقة. وعملية التسارع هذه من بعد الاختبار والقياسات التطبيقية والفيزيائية دلت على أنها مساعدة لجودة ودعم عمليات الانصهار.

20 - 2 نموذج التفاعلات النووية الحرارية
Thermos - nucleons Reactions

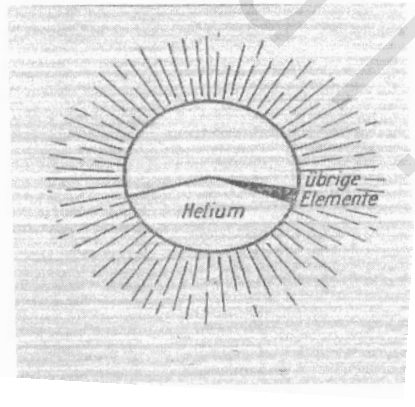
إن عملية التحمي heating كذلك توصل الجسيمات إلى الطاقة المطلوبة المرتفعة، وهذا ما يحدث في عمليات الانصهار في الشمس والنجوم. ولكن هناك في الشمس والنجوم عمليات الانصهار تسير بطيئة، ومن الممكن هناك أن يكون تحرك الجسيمات منظمًا؛ ولكن بعملية الانصهار على الأرض لكسب الطاقة فإن الجسيمات التي أخذت لإنتاج الطاقة عن طريق الحرارة المرتفعة فإنها تسير وتتسرع بتحركها بدون ترتيب أو نظام ولهذا سرعتها وطاقاتها تصبح مختلفة بالقيم

وتنظيم السرعة ومن المعروف في الغاز أن تنظيم الجزيئات متعلق بالحرارة، وهذا يعود إلى عملية قانون تنظيم Maxwell وهنا لا نريد أن نتعمق في هذا الموضوع النظري، ولكن نكتفي بأن نقول إنه في هذه العملية النموذجية يحدث الانصهار الذي نعطيه اسم عملية نموذج التفاعلات الحرارية النووية.

ونفهم بالتفاعلات الحرارية النووية Thermos Nucleons Reactions أنها انصهار النوى في محيط الطاقة الحركية المطلوبة من تصادم الجسيمات المشتركة التي وجدت في التحركات الحرارية.

20 - 3 الطاقة الأساسية في الشمس

هنا يلزمنا لتقسيم الطاقة الواجبة لعملية انصهار النواة حرارة مرتفعة فوق العادة تساوي تقريبًا 100.10^6 k مائة مليون kelvin وهذه الحرارة التي تلزمنا لعملية الانصهار تعادل الحرارة الموجودة في قلب الشمس، وهناك في الشمس يوجد خليط من النوى لذرات عارية من قشورها تكون شكل البلازما Plasma، وهذا ما يساوي الخليط من الانصهار الموجود في الشمس وعلى النجوم الساكنة هنا نسبية الكتل الموجودة في هذا الخليط من الهدروجين والهليوم وبقية المواد تتراوح بين 57 :41 : و3 حسب الصورة التالية:



وفي الأساس نعود ونقول: هي الحرارة الدافعة لإسراع هذه الجسيمات وفي حالة دخول عمليات الانصهار تنتج طاقة حرة، والطاقة المستفادة، أي المقصود بها

الطاقة التكنولوجية المستفادة، ليست من إنتاج كل طاقات ما حدث من عمليات الانصهار بل من قسم منها.

20 - 4 العمليات التكنولوجية الممكنة للانصهار ولإنتاج الطاقة

طرق تذليل الصعوبات التي تواجه تحقيق التفاعلات النووية الحرارية لم توجد بعد بسبب صعوبة إنتاج ووجود الحرارة اللازمة المرتفعة، وكذلك صعوبة وجود طريقة لتجميد وحفظ النوى بهذه الحرارة في وعاء حجمه محدد للسير وتتابع عمليات الانصهار مع كل هذه الصعوبات لتحقيق فكرة الانصهار، وما وجده العلماء الفيزيائيون في كل العالم العلمي فإنهم يهتمون بدون ملل أو اقتصاد من وقت منذ أن وجدت فكرة الانصهار حتى الآن ليتخلصوا من كل المتاعب الكثيرة، ولهذا السبب نقول هل من الممكن مع كل هذه الصعوبات التكنولوجية والفيزيائية والاقتصادية بأن نصل إلى الهدف المقصود ونتحكم بتفاعلات الانصهار الحرارية لإنتاج الطاقة؟ وأنا خاصة أقول: من يعرف الـ Action يجب أن يعرف كذلك الـ Reaction، ولكن العلماء عن طريق العلم توصلوا لإنتاج طاقة الانصهار غير المسيطر عليها: مثلاً طريقة تصنيع القنبلة الهدروجينية التي سوف نأتي على شرحها في القسم التابع ولكن في الوقت الحاضر يهمنا وجود طريق للسيطرة والتحكم على عمليات الانصهار لربح الطاقة؛ لأن عملية الانصهار هذه تحدث بفضل طريقة التفاعلات الحرارية النووية التالية:

إلى الآن وجد عن طريق التجارب والاختبارات لانصهار نوى الهدروجين توصل العلم إلى التفاعلات التالية:

$$1H^1 + 1H^1 \rightarrow 1D^2 + {}_0e^1 + \nu$$
$$1H^1 + 1D^2 \rightarrow 2He^4 + \gamma$$
$$1H^1 + 1T^3 \rightarrow 2He^4 + \gamma$$

ولكن بعملية ذوبان أو انصهار الـ Hydrogen Isotope وجد ربح وجودة صغيرة، ولهذا السبب لم تؤخذ تفاعلات ذوبان الهدروجين بعين الاعتبار، ولكن بتتابع قياسات واختبارات تفاعلات حرارية نووية وجدت الأفضلية لنسبية التفاعلات التالية:

1 – تفاعلات . D.DD.D Reaction

$$1D^2 + 1D^2 \rightarrow 1T^3 + {}_1P^1 + 4{,}03\ MeV \quad \text{Proton Branch}$$
$$1D^2 + 1D^2 \rightarrow 2He^3 + {}_0n^1 + 3{,}27\ MeV \quad \text{Neutron Branch}$$

هذه المعادلات تظهر بأنه لما Deuterons 2 عندهما طاقة مرتفعة يلتقيان ويمتزجان مع بعضهما ينتجان نواة جديدة، مثل ما نراه بالمعادلة الأولى هذه أنتجت نواة جديدة من عنصر ال $1T^3$ ، مع طاقة تساوي 4,03 MeV، وكذلك Protons والمعادلة الثانية أنتجت نواة $2He^3$، مع طاقة تساوي 3,27 MeV، وكذلك Neutrons وهذه الطاقات المنتجة نسميها الطاقات الحركية لخلق وإنتاج الجسيمات.

وبإنتاج عنصر الـ $1T^3$ = Triton نمزج هذا مع الـ Deuteron، وبهذه العملية ننتج طاقة انصهار مرتفعة وكذلك بنفس الطريقة بإنتاج ال$2He^3$ نضع هذه مع الـ Deuteron.

وبهذه العملية كذلك تنتج طاقة مرتفعة، وهذه العمليات نظهرها بالمعادلات التالية:

2– تفاعلات .D.T. $D._1T^3$ Reaction

$$1D^2 + 1T^3 \rightarrow 2He^4 + {}_0n^1 + 17{,}6\ MeV$$

3 – تفاعلات $D._2He^3$ Reaction

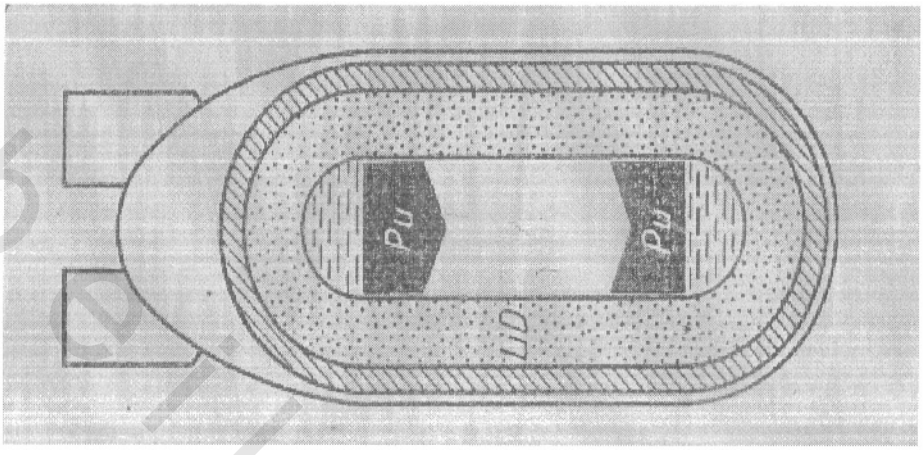
$$1D^2 + 2He^3 \rightarrow 2He^4 + {}_1P^1 + 18\ MeV$$

وهنا الذي أنتج من طاقة مرتفعة عن طريق هذه المعادلات لم تكن ناتجة إلا من خلق نواة الهليوم. ونرى أن النيوترونات المنتجة من عملية انصهار D.T نستطيع أن نستعملها لانصهار غيرها من النوى مثل الـ $3Li^6$ Lithium Isotope مع قسم يساوي 7,5 % من عنصر الـ Lithium الطبيعي، ومن هذا الخليط عن طريق تأثير تفاعل النيوترونات ينتج عنصر الـ $1T^3$، والذي مع هذا من جهته نحصل على عملية انصهار في القنبلة الهدروجينية حسب المعادلات والشرح التابع في القسم 20 –1.4

4 – تفاعلات $_3Li^6._0n^1$ Reaction

$$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1T^3 + 4{,}6\ MeV$$

20. 1.4 القنبلة الهيدروجينية



عملية الانصهار غير المتحكم به في القنبلة الهدروجينية قد ذكـرت وشـرحت مفصلاً بالمقابل من قنبلة الانشطار النووي وهنا نعيد القضايا العلمية لنذكر الطالب بالعمليات الفيزيائية لتفاعلات الانصهار الحرارية وعملية الانصهار هذه في القنبلة الهدروجينية لا تحصل إلا عن طريق إنتاج الحرارة المرتفعة التي أحدثها انفجـار قنبلة الانشطار العاملة كجهاز نسميه الصاعقة Igniter داخل القنبلة الهيدروجينية. وهذه الحرارة المطلوبة المنتجة لانصهار القنبلة الهيدروجينية تساوي تقريبًا حرارة الشمس المساوية 10^6 K درجة .Kelvin، والمقصود بحـرارة kelvin أن كـل أنواع الغاز تتمدد في نفس الضغط بارتفاع حرارة ..1k، أي التمـدد 1/273 مـن الحجم تحت حرارة عادية تساوي 0 C = -273 k.

ومواد الانصهار التي استعملت في هذه القنبلة LiD. Lithium Deterred هنا يجب أن يستعمل العنصر $3Li^6$ المخلوط مع 7,4% من الـ Lithium الطبيعـي. ولكن العنصر $3Li^7$ المحتوي على92,6% مـن الLithium لا يـصلح لعمليـة الانصهار.

وعملية الانصهار في القنبلة الهيدروجينية تحدث حسب المعادلات التالية:

$$3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow 2He^4 + 4{,}6\ MeV$$

$$\downarrow$$

$$1T^3 + 1D^2 \rightarrow 2He^4 + {}_0n^1 + 17{,}6\ MeV$$

هنا لتسير هذه العملية، أخذت النيوترونات التي أنتجت من انشطار القنبلة الذرية التي كانت عاملة كجهاز صاعقة، ونتيجة هذه المراحل الفيزيائية والتفاعلات نظهرها بالمعادلة التالية:

$$3Li^6 + 1D^2 \rightarrow 2.2He^4 + 22{,}2\ MeV$$

وهذه العملية أنتجت وجود 2.2He4 نوى من انصهار نواة الـ Lithium مع نواة الـ Deuterium، ولكن إذا وجدت كمية كافية من الـ $1T^3$. Triton هذه تبعت وتسير التفاعلات التالية:

$$1T^3 + 1T^3 \rightarrow 2He^4 + 2._0n^1 + 11{,}3\ MeV$$

ولذلك يتبع عمليات الدورة التالية:

$$3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow 2He^4 + 1T^3 + 4{,}6\ MeV$$

$$\downarrow$$

$$\rightarrow 1T^3 + 1T^3 \rightarrow 2._0n^1 + 11{,}3MeV$$

$$\downarrow$$

$$3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow 2He^4 + 1T^3 + 4{,}6\ MeV$$

وهذا ما حصل هنا من نواتين اثنتين من الLithium أنتج ثلاث نوى ${}_2He^4$ بدون استعمال ال ${}_1T^3$. Triton، ولعمليات الانصهار يوجد كثير من الطرق العلمية المتبعة التي لم نأتِ على ذكرها.

20 – 2.4 مفاعلات الانصهار Fusion Reactors

إن مفاعلات الانصهار Fusion Reactors للمستقبل سوف تعمل حسب المعادلة التالية:

$${}_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1T^3 + 4{,}6\ M2V$$

مواد الإشعال المستعملة للانصهار يؤخذ في الدرجة الأولى منها الـ Deuterium وبجانبه مادة الـ Lithium، وعلاوة على ذلك يجب في الأول كذلك إدخال كمية معروفة من عنصر الـ Tritium في بداية عملية الانصهار؛ وهذا العنصر المشع والقليل وجوده على الأرض ينتج من عملية الانصهار أو من

المواد الباقية مثل الـــDeuterium وكذلك فإن عنصر الـــ Lithium موجود بكثرة على الأرض، وهذا ما يؤكد كنقطة مهمة بأن مواد الإشـــعال للانـــصهار مؤمنـــة وموجودة على الأرض، ولذلك لا يلزمنا تفتيش ولا تخصيب لعنصر اليورانيوم كما هي الحالة لإنتاج الطاقة في مفاعلات انشطار الذرة. ولإنتاج الطاقة المستفادة مـــن عملية الانصهار التي تسير وتحدث باستعمال ستة Deuterons 6 هنا نظهر قـــيم طاقاتهم بالأرقام التالية:

$$E = 3,27\ MeV+4,03\ MeV+17,3\ MeV+18,3\ MeV+2,46\ MeV = 52MeV$$

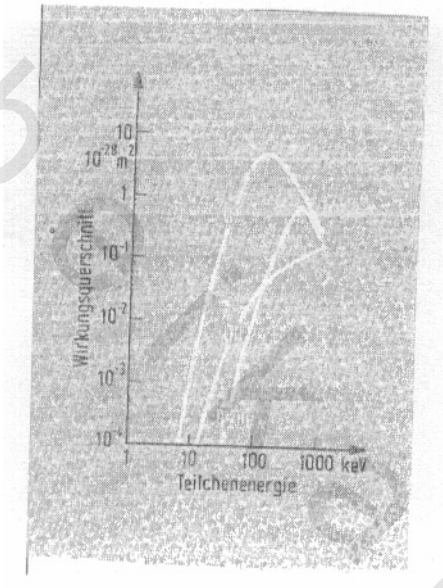
$$E= 52\ MeV$$

وهذا ما يساوي بأن كل deuterons تعطي طاقة انصهار تساوي8,7 MeV.

وهذه الطاقة إذا وجدت وحققت تكون أكبر طاقة مستفادة من كل الطاقات التـــي وجدت حتى الآن. ولهذا يوجد عديد من الأشياء المهمة يجـــب أن نـــذكرها عـــن عمليات الانصهار لإنتاج الطاقة، أي أنه ما وجدنا في عملية انصهار أربع نوى من الهدروجين العادي أنتجت ذرة هليوم، هذه العملية أجري لها حل علمي سابقًا.. هنا للمقابلة هذه العملية المتبعة ليست مثل عملية ذوبان الهدروجين إلى هليوم، ولكـــن هذا ما دل كذلك على أن عملية الانصهار على الشمس ليست إلا العملية المـــذكورة قبلاً، أي انصهار الـــ Deuteron إلى هليوم كما أنه في الحـــالتين لـــم ينـــتج إلا الهليوم.

والطاقة المستفادة من انصهار الـــDeuteron إلى نواة هليـــوم هـــي الطاقـــة العظمى التي للأسف لا نستطيع استعمالها لبعض النقاط التي سوف تذكر لاحقًـــا.. ولهذا نقول بأن انصهار الـــDeuterium بالنظر إلى نتيجة وجودة الاستفادة مـــن هذا الانصهار حسب الدارسات الكثيرة نؤكد ونقول إنها هي المادة الوحيدة الصالحة لإنجاز عمليات الانصهار ولإنتاج الطاقة في المستقبل القريب

ولكن قبل أن ندخل ونتعمق بعمليات الانصهار يجب أن نفحص بدقة جودة Result عمليات الانصهار التي ظهرت في المنحنى التالي:



نرى في المنحنى أن عمليات التفاعل D.D Reaction ظهرت على هذا المنحنى تقريبًا لها نفس الجودة مثل عمليات تفاعل الـD.T Reaction وهذه ظهرت لنا في اللحظة الأولى كأنها موافقة وقادرة على عمليات الانصهار، ولكن هنا وجدنا أن عنصر ال.Tritiumيوجد منه قليل في الطبيعة، وكذلك هو عنصر مشع سام ويضمحل عن طريق بث إشعاعات β..

والسبب كان للبعد عن هذه العملية Process D.T الجيدة هو أن هذا العنصر المنتج من عملية الانصهار ال$1T^3$ مشع سام، ولهذا لا نريد من طاقة المستقبل بث إشعاعات وسموم تبيد البيئة والإنسانية.

ولكن عملية تفاعل الـ $D._2He^4$ Reaction جودتها قليلة ولكن تعطي طاقة مرتفعة بالمقابلة مع عمليات التفاعلات المذكورة قبلاً T.D and D.D .

هنا نرى أن طاقة كل جسيمة تساوي 100 keV، وهذا ما يؤكد لنا أن عملية الانصهار ممكنة ولكن المتطلبات المطلوبة لوجود الحرارة المرتفعة بين طاقة الجسيمات الحركية المتوسطة المعطاة ب E_k وكذلك الحرارة المطلقة T في الغاز، يوجد لهذه العملية النسبية المعادلة التالية:

$$T = 2E_k / 3K$$

لمعرفة الحرارة المطلوبة حسب المعادلة نحول أولاً الوحدات التالية حسب لائحة الوحدات ..

هنا الحرف K ليس إلا ثابتة $\text{Boltzmann} = 1{,}3806.10^{-23}\ J.k^{-1}$

$$1\text{Joule} = 1\text{Wsec}$$

$$1\text{eV} = 1{,}602.10^{-19}\text{Wsec} = 1{,}602.10^{-19}\ \text{Joule}$$

$$1{,}3806.10^{-23}\ J\ k^{-1} = 8{,}62.10^{-5}\ eV\ k^{-1}$$

فنقول لما تكون طاقة كل جسيمة تساوي 100 keV فإن الحرارة المطلوبة تساوي المعادلة التالية:

$$T = 2\ E_k / 3.\ 1{,}3806.10^{-23} = 2.10^5 / 3.8{,}62.10^{-5} =$$
$$2.10^5 / 25.86.10^{-5} = 7{,}8.10^8 \approx 8.10^8\ k$$
$$T \approx 8.10^{+8}\ k$$

وكذلك تطبيقيًّا بارتفاع هذه الحرارة نحصل على جودة واستفادة أكبر من الانصهار ونفكر ونقابل عملية الانصهار بعملية كيميائية للاحتراق؛ هنا في عملية الاحتراق تتحد الذرات مع بعضها لتصبح جزيئة مثل اتحاد الهيدروجين مع الأكسجين ليصبحا جزيئات ماء. وبعملية الاحتراق تنتج حرارة حرة، وعن طريق هذا الاحتراق نصل إلى نقطة حرارة التوهج أو الاشتعال البدائي ignition Point التي تساعد على احتراق كمية كل مواد الاحتراق الموجودة بكاملها. وعملية الاحتراق المتكامل السريع تحدث إذا كان هذا موجودًا تحت ضغط وانحصار في وعاء يصبح هذا الاحتراق بدون تحكم ويوصل لعملية الانفجار. وكذلك مثلاً تكاتف وتجمع جسيمات الهدروجين والأكسجين لإنتاج جزيئة الماء، وعملية التحكم بهذه العملية تأتي من نفسها ومن هذه العملية ممكن إنتاج الطاقة؛ وهذا ما ألقيته كمحاضرة سابقًا في كلية العلوم سلسبورج «إنتاج الطاقة الطبيعية من الطبائع الأربع».

وهنا لنؤكد بعملية انصهار نوى الذرات الخفيفة وجدت القنبلة الهيدروجينية، ونأمل في المستقبل القريب وجود مفاعلات الانصهار. ومن بناء القنبلة الهدروجينية عن طريق الانصهار غير المتحكم به توصل العلماء لبناء هذا الانصهار غير المتحكم به بكل سهولة ولكن لبناء مفاعلات الانصهار إلى الآن لم ينجحوا إلى الوصول لنتيجة مقنعة ولا إلى النهاية، ولكن يعمل في كل العالم العلمي بكل اهتمام

opelkan.com

وتعمق لتحقيق هذه الفكرة، أي إنتاج الطاقة المرتفعة من عمليات الانصهار.. إرادة العلماء الفيزيائيين هي تخطي الصعوبات، وكذلك يجب على الطالب الفيزيائي لتفهم عمليات الانصهار ولتخطي كذلك هذه الصعوبات أن ندخله في المواضيع الفيزيائية الخاصة بالانصهار والذي لم يحل بعد.

ولتفهم عمليات الانصهار الفيزيائية مثلاً:

نفكر بوعاء أو حجم مغلق يحتوي هذا الوعاء على العديد من ذرات الـ Deuterium، وهذه الذرات تقذف بعدد كبير من جسيمات الـ Deuterons السريعة وبعملية القذف هذه قسم كبير من هذه الجسيمات طاقتها تضيع بتفاعل جسيماتها الـ Deuterons الساقطة على غلاف قشور إلكترونات ذرات الـ Deuterium، وبهذه التفاعلات لا يحدث أي انصهار، لأن الطاقة المنتجة الحرة Free energy ضعيفة لا تكفي لعملية تتابع التفاعل الذاتي.. كما ذكرنا عن طريق الاحتراق الكامل بعد التوهج، ولذلك يجب تتابع الاحتراق. وكذلك حتى عمليات الانصهار تتفاعل وتنجح يجب أيضًا على كل النوى المساهمة في هذه العملية أن تعطي طاقات مرتفعة حتى توقف وتتعدى تصادمات طاقة Coulumb، وكذلك ما يتبع لإنتاج استفادة أكبر هو وجود الحرارة المرتفعة اللازمة التي ذكرت فحسبت وحلت سابقًا والتي تفوق $T \geq 8.10^8$ k.

ولتيسير عمليات الانصهار يجب التفهم لكثير من النقاط المهمة منها:

أولاً كثافة البلازما الـ Plasma وهنا للشرح كما ذكر سابقًا نتكلم عن غاز الـ Deuterium الموجود في الوعاء تحت الحرارة العادية والضغط 1013 mbar وهذا الغاز لما حرارته المنتجة من التفاعلات المنظورة تفوق مليون درجة يحدث انصهار ما يعادل 1kmol من الـDeuterium الذي يعطي قدرة طاقة مرتفعة لا تقدر وتساوي تقريبًا 17000MW ولهذا في هذا المحيط ينتج خليط من الPlasma تحت ضغط يساوي تقريبًا 10^9 mbar، وهذه النسبة تعادل قدرة وضغوط انفجار القنبلة الهيدروجينية التي لم تعد تسير أو يتحكم بها فيزيائيًّا ولا تكنولوجيًّا.

ولكن لعملية تيسير الانصهار يجب أولاً التحكم بالقدرة المنتجةResult وضغط الغاز لحد معروف، ولهذا السبب يجب تخفيف عمليات الانصهار عن طريق الاستغناء عن قسم من كثافة الجسيمات بطريقة إنزال الضغط ليصل هذا الضغط تحت ضغط الهواء العادي، وتصبح القدرة المستخلصة أو المنتجة مقبولة وكذلك يجب على ضغط غاز الـ Deuterium gas بأن يبقى تحت الحرارة العادية بل بقدرة ضغط تتراوح بين الـ 0,1 to 0,01 mbar، ولما نحصل على هذه المتطلبات نستطيع أن نقول أخيرًا بأننا على الطريق الصحيح.

لإنتاج طاقة انصهار متحكم بها ومسيطر عليها يستفاد منها الطاقة الناتجة عن ذوبان نوى الـ Deuterium Plasma، ولهذا يلزم لهذه المخلوطة أي الـ Plasma أن تكون كاملة التأين Ionized بكثافة خفيفة مدعومة بحرارة مرتفعة تفوق مئات الملايين من وحدات الـ k.

هنا حتى نوسع تفكير طالب الفيزياء للتعمق في موضوع الانصهار هذا لإنتاج الطاقة يجب أن نلفت نظره إلى كثير من النقاط غير النقاط التي ذكرت سابقًا بل النقاط ذات الأهمية العلمية والفيزيائية المطلقة:

مثلاً لقد ذكرنا قيمة الحرارة المرتفعة، وأي دور تلعب هذه الحرارة المرتفعة في عمليات الانصهار التي تفوق المئات من الملايين k، ولهذا السبب يجب فهم ما قصد بهذه الحرارة؛ هذه الحرارة ليست الحرارة المعروفة الحارقة الملتهبة، ولكن بالحقيقة هذه الحرارة التي نسميها علميًّا الحرارة الحركية Kinetic Temperature إنها الحرارة التي تنسب إلى الطاقة الحركية لجسيمات غاز الـ Deuterium.

وأما الحرارة الموجودة في الPlasma مع أن الحرارة الحركية للجسيمات مرتفعة جدًّا، فإن حرارة الـ Plasma بالنسبة للحرارة الحركية صغيرة لأن كثافة الجسيمات الموجودة في داخل الـ Plasma صغيرة. وهنا إذا أخذنا لترًا واحدًا من 1.Liter Plasma الموجودة تحت الضغط المساوي 0,1mbar، والحرارة الحركية Kinetic Temperature للجسيمات تساوي 350.10^6 k ، بجودة حرارة

تساويJoule 75400، وبالمقارنة هذه لا تساوي أكثر من عملية غليان ربع لتر 1/4 Liter ماء تحت الحرارة العادية.

وما يتبع من نقاط مهمة في عمليات الانصهار ومنها كذلك النقطة المهمة والتي إلى الآن لا يوجد لها حل تطبيقي وهي النقطة التي نسميها حبس أو حصر الـ Plasma. ولكي تبقى كثافة الـ Plasma ثابتة لاستعمال الطاقة يجب أن نحصر الـPlasma في وعاء مغلق؛ وهنا في هذا الوعاء بسبب خفة ضغط الغاز كما سبق وذكرنا سبب تخفيف الضغط فإن الـ Deuterons لذلك يصبح عندها مسار طريق مسافته طويلة توصلها لتصطدم عامة بحائط الوعاء وليس مع غيرها من الـ Deuterons، وبعملية التصادم مع حائط الوعاء تفقد هذه إنتاج الطاقة المطلوبة، وبفقدان هذه الطاقة الواجبة لمتابعة عمليات الانصهار تبرد الـ Plasma ولذلك عمليات الانصهار تضعف وتنطفئ.

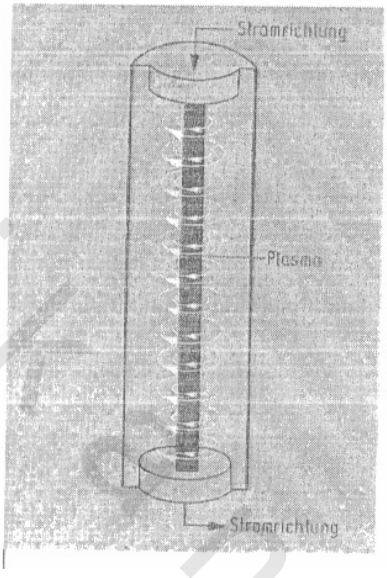
ولمتابعة عمليات الانصهار بدون تشويش يجب تخفيف عمليات تصادم الـDeuterons مع الحائط، ولكن ليست هي النهاية ولكن يجب أن يوجد حل لهذه الحالة لأنه بارتفاع حرارة الـ Plasma يجب ألا يتبخر حائط الوعاء لحفظ الـ Plasma من إضاعة الطاقة.

ولكن ظهر كذلك بعد الاختبارات نقطة لم تحل بعد تطبيقيًّا، وهي عملية الـPinch effect.

وهذه الظاهرة العلمية المعروفة من قديم باسم تأثير عامل القرص Pinch effect، والتي تلعب دورًا مهمًّا في عمليات الانصهار. ونشرح هذه العملية بالطريقة المبسطة التالية:

أن عملية تأثير القرص Pinch effect تحدث لما خطان متوازيان متقاربان قليلاً يمر بهما تيار كهربائي بنفس الاتجاه ينجذبان بعضهما إلى بعض وكذلك هذه العملية تحدث بنفس التفاعل لما نملأ أنبوبًا أسطواني الشكل بغاز ناقل للكهرباء يمر به تيار كهربائي مرتفع، فهذه العملية تخلق في أنبوب الغاز الناقل للتيار الكهربائي حقلاً مغناطيسيًّا بشكل خطوط دائرية متقاربة متوازية، وضغط خطوط هذا الحقل تجبر

حزم جزيئات هذا الغاز إلى داخل الأنبوب، ولما يكون ضغط الحقل الكهربائي أكبر من ضغط الغاز الموجود في الأنبوب تظهر عملية القرص Pinch effect، أي أن كتل الغاز تتحول إلى خيوط تتقلص في داخل الأنبوب وتتباعد عن حائط الأنبوب.

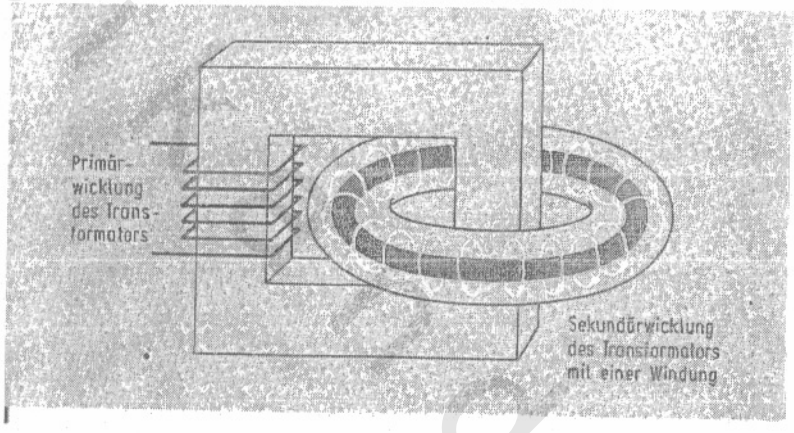


وفي نفس الوقت يحمى الغاز. ولهذه العملية يجب أن توجد كثافة مغناطيسية مرتفعة وكذلك طاقة كهربائية مرتفعة؛ لأن كذلك الـ Plasma كناقل جيد للكهرباء تستطيع قدرة التيار الكهربائي المرتفعة المعطاة شحن الغاز في الـ Plasma ولهذا نستطيع أن نقول:

لما عمود الـ plasma الأسطواني الشكل يمر به تيار كهربائي مرتفع وتنتج عملية الـ Pinch effect يحزم محيط عمود الـ Plasma، أي يضغط ويصر إلى الداخل، ولذلك خليط ال plasma يبتعد عن حائط الأنبوب، وفي هذا الوقت يحدث ارتفاع الحرارة لأجل جني الطاقة ولهذا يجب حبس وتثبيت الـ plasma في الأنبوب عن طريق المغناطيسية المسماة الـ Magnetic enclose of Plasma، أولاً بثبات الـ Plasma المحددة بالخطوط المغناطيسية وثبات عمود الـ Plasma لاستغلال الطاقة المنتظرة وهذه العملية ظهرت في الصورة السابقة، وهذا الحبس المغناطيسي وغيره من عمليات الـ Pinch effect إلى الآن لا تربط أو تحبس

عمود الـ Plasma إلا لوقت لا يتعدى الثانية الواحدة Sec 1 حتى لا تصطدم جسيمات الـ Plasma بحائط الأنبوب. ولكن عمود الـ Plasma هذا بعد وقت قصير يتمدد ويصطدم بقوة على حائط الأنبوب، ولكن بعد الاختبارات وجدت المشكلة، أي أن في أسفل الأنبوب توجد اللوحة واحتكاك خليط الـ Plasma بهذه اللوحة يخرب شكل عمود الـ Plasma .

والعلماء الفيزيائيون وجدوا عدة أفكار للتحسين: منها جعل وبناء عمود الـPlasma بشكل أنبوب هندسي كدائرة Torus.

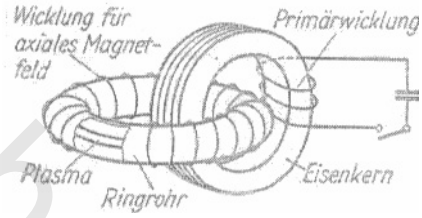


موجود في داخل الملفات الثانوية للمحول الكهربائي. وهذا ما يختبر الآن في مركز أبحاث الانصهار في مونيخ بألمانيا:

Max -Planck Institut (Plasma Physik Garching Muenchen)

وأعطي لهذا الاختبارات اسم الـ Stellarator Wendelstein IIb، وقصد بهذه الاختبارات في الوقت الحاضر الوصول إلى طريقة وقوة مغناطيسية صالحة بثبات عمليات الـ Plasma وجودة تنظيمها.

وكذلك في عديد من بلدان العالم العلمية وغيرهاUSA. UdSSR تتتابع عدة اختبارات، ومنها في إنكلترا وجد النموذج ZETA .



وإلى الآن لم يصل العلم إلى نتيجة صالحة ومقنعة تطبيقيًّا، ونأمل من الفيزيائيين أن يصلوا في المستقبل القريب إلى حل موضوع الانصهار لإنتاج الطاقة الوافرة والتخفيف عن الإنسانية والاقتصاد وضغوط مالكي البترول ونقص الطاقة.

21 المميزات المغناطيسية في الذرة

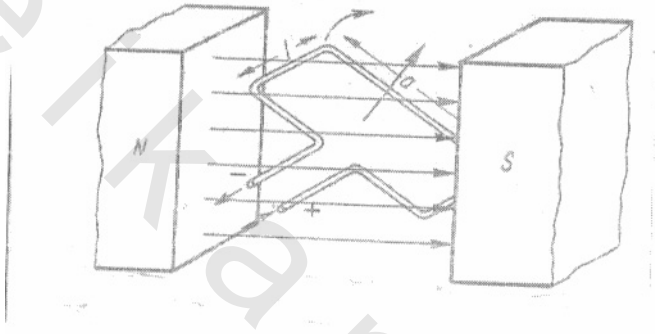
21 .1 بور مكاطرون

إن فيزياء مغناطيسية جسيمات المادة تعمق بدرسها وشرحها في ذلك الوقت العلامة الفيزيائي الفرنسيAmpere في سنة 1822 وهذا فرض فأظهر أن سبب العمليات المغناطيسية في المواد مبنية من دوائر صغيرة موجودة في جسيمات الحديد الصغيرة، وهذه النظرية بقيت تابعة لتفاعل تيارات الجزيئات الكهربائية Molecular Currents لوقت طويل لم يستطع أحد بأن يشرح كيف وجدت هذه التيارات ومن أين أتت ومن أي محل وجد ينبوعها ؟ ومن ذلك الوقت حتى الآن توسعت أفكار العلماء الفيزيائيين، ومن العلوم الفيزيائية عرف ووجد أن إلكترونات الذرة تدور حول النواة، وهنا تجري أو تسيل كمية كهربائية بشكل دائرة أو تيار كهربائي صغير.

ومن المعروف أنه لما يمر تيار كهربائي في ملف من الأسلاك المعدنية الموجودة في حقل مغناطيسي يعطي لهذه قدرة برم أو دوران؛ وهذه العملية تشرح وتظهر الخطوة الأولى الأساسية لمتابعة الدوران كخاصية المحرك الكهربائي Elec - Generator وهنا نعطي بمعادلة تناسب الشرح لسلك معدني صغير طوله L والقوة Power = P المؤثرة على السلك تساوي المعادلة التالية:

$$P = I \cdot L \cdot B$$

في الوقت الذي I يساوي التيار الكهربائي المار في السلك، وكـذلك L طـول السلك المعدني، والحرف B يـساوي قـدرة الحـث المغناطيـسي Magnetic Induction. ولكن إذا أخذنا محل قطعة السلك الصغيرة سلكًا أطول نجعله بـشكل مربع الزوايا طوله a وعرضه L يمر به تيار كهربائي، فإن هذا التيار المار بالسلك ينتج في السلك قدرة دوران Retort Moment مظهرة في المعادلة التابعة وفـي الصورة التالية:



المعادلة تساوي:

$$D = I.aL.B$$

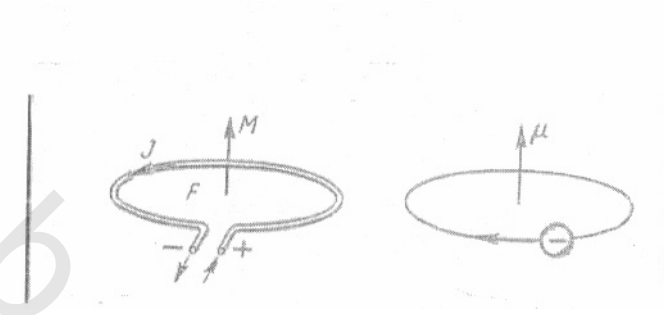
وهذه العملية نستطيع أن نقول عنها بأن قدرة البرم D تـساوي القـوة 2.ILB ضرب ذراع الرفع a / 2 ، في الوقت الذي المساحة تـساوي F = aL والمعادلـة الكاملة لعملية قدرة البرم أو الدوران تساوي:

$$D = 2.I\ LB\ .a/2 = I.F.B$$

في هذه المعادلة القسم I.F نسميه القدرة المغناطيـسية المنتجـة مـن التيـار الكهربائي الدائري المساوي المعادلة التالية :

$$M = I.F$$

ولكن في الذرة يظهر التيار الكهربائي I كشحنة e_0 خاصة بالإلكترون وكـذلك التردد أو الذبذبة f على مسار دائري نصف قطرها يساوي (r) .



هنا المساحة تساوي $F = \pi r^2$، والتـــردد يـــساوي $f = \omega / 2\pi$ وفـــي إنـــزال هـــذه الاصـــطلاحات فـــي المعادلة السابقة تـــصبح القدرة المغناطيسية في جسيمات الذرة تساوي المعادلة التالية:

$$\mu = e_0 fF = e_0 \omega\pi\, r^2 / 2\pi$$

ولذلك هنا نستطيع بأن نختصر ونقول إن القدرة المغناطيسية لدوران الإلكترون تساوي المعادلة التالية:

$$\mu = 1/2.e_0\, r^2\, \omega$$

وحسب معادلة Bohr المسماة Bohrmagneton النهائية المعطـــاة والمبنيـــة بمساعدة المعادلات الملحقة التالية:

$$m_0 r^2 \omega^2 \pi = nh = m_0 r^2 \omega = h / 2\pi \quad n = 1,2,3$$

ويتبع الحل بالمعادلة المنتجة التالية هنا للتذكر: $m_v = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$

$$r^2 \omega = h / 2\pi m_0$$

بوضع قيم الاصطلاحات في معادلـــة القـــدرة المغناطيـــسية المـــساوية $\mu = 1/2.e_0 r^2 \omega$ نحصل على معادلة Bohr Magneton المساوية المعادلة التالية:

$$\mu_{Bo} = e_0.h / 4\pi m_0$$

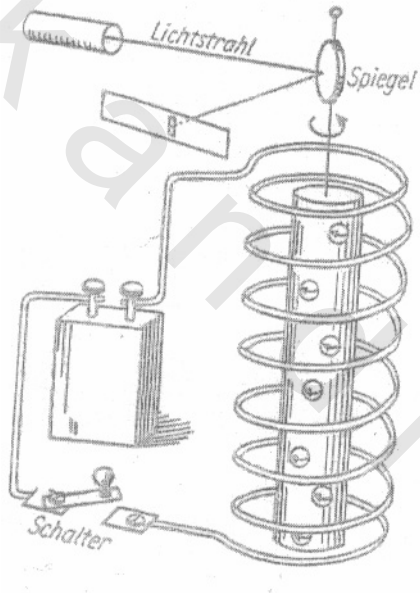
وحسب الاصطلاحات المعروفة تعطينا هـــذه المعادلـــة القـــدرة المغناطيـــسية للإلكترون بالأعداد..

$$\mu_{Bo} = 0{,}09273.10^{-18}\ A\ cm^2$$

نرى هنا أن مسار الإلكترون الدوار حول النواة الذي وجده Bohr والذي فكـــر به Amper بأنه عملية المغناطيس البدائي الذي يمغنط جسيمات الـــ Iron Nickel

Cobalt ، ولكن بالحقيقة وجد بأنه لم يكن المسئول، بل كان دوران مسار الإلكترون كان ولم يزل الدوران الذاتي للإلكترون Spin.

وكذلك حسب قانون بولي Pauli Principe عامة كل الإلكترونات الموجودة في قشرة غلاف الذرة منظمة واتجاه دورانها مزدوج، المقصود إلى اتجاهين، ولهذه العملية وجدت قدرة الدوران التي لم تكن موجودة في القشرة الداخلية لغلاف الذرة أو في قدرة المغناطيس الذاتي المفتش عنه. ولإظهار التعلق بين القدرة المغناطيسية Mag-Moment وكذلك دوران الإلكترون الذاتي Spin أراد العلماء منهم Hass and Einstein إظهار هذا التعلق عن طريق الاختبار، ولهذا بني النموذج التالي:



وللاختبار أخذت قطعة من الحديد الصافي علقت بخيط يتحرك بخفة حالة ساكنة داخل لفة من الأسلاك.. ولما يمر بهذه اللفة تيار كهربائي هنا قضيب الحديد المعلق في داخل اللفة يدور ويبرم إلى زاوية محددة جديدة غير الحالة الموجودة قبل مرور التيار، وهذه العملية تشرح أنه بمرور التيار تتحرك إلكترونات حديد القضيب أساسيًّا إلى كل الاتجاهات، ولكن قسم منها ينساق وينتج نظاميًّا في اتجاه واحد..

وفي هذا العملية تحمل عن طريق دورانها الذاتي نبضات دورية مساوية المعادلة التالية:

$$P_{sp} = m_0 r^2 \omega / 2$$

وهذا ما يدل على أن النصف الدوري النابض يأخذ الحالتين $+1/2.h/2\pi$ and $-1/2.h/2\pi$ والإلكترونات المشاركة الموجودة في قضيب الحديد أجمع تقوم بالدوران بالعكس. وهذا يعود لنظرية بقاء النبض الدوار القائل بأن مجموع كل النبضات الدوارة في نموذج مغلق يبقى بدون تغير Constant ولكن ما تبقى من قدرة المغناطيس في القضيب نستطيع أن نقيسها وكذلك النبض الدائري للإلكترونات هذا القضيب ونتيجة هذا الاختبار للدوران الذاتي للإلكترونات نعرف أن الدوران الذاتي يساوي الـ $\text{Spin} = 1/1.h/2\pi$.

21 . 2 Nucleons Magnetron النواة

كما حل وذكر في القسم السابق عن نبض الدوران لنواة الذرة نقول كذلك بأن كل جسيمة من جسيمات النواة أي Nucleon عندها قدرة مغناطيسية Mag-Moment قدرتها تساوي المعادلة السابقة، ولكن هنا في هذه المعادلة m_0 لم تعد تساوي كتلتها الكتلة الساكنة بل كتلة الإلكترون m_p المعطاة بالمعادلة التالية:

$$\mu_p = e_0 h / 2\pi m_p$$

ولكن في هذه المعادلة بصفة كبر كتلة البروتون وجدنا أن Nucleon Mgneton موجود لنواة أصغر ب 1836 مرة من الـ Bohr Mgneton، ولذاك هنا القدرة المغناطيسية لجسيمات النواة لها عدد مختلف مثلاً للـ Proton $= +27927\mu_p$ وأما للـ Neutron بصفتها جسيمة محايدة بقيمة $-1,19130\mu_p$ والمنتظر من قدرة النواة بأن تكون مساوية مجموع القدرة المغناطيسية لكل جسيمات النواة، وهذه النتيجة لا تتحقق لأنه مثلاً في مكان $(+2,7927\text{-}19130)\mu_p = +0,8797\mu_p)$ أعطيت هذه القيمة، ولكن القدرة المغناطيسية لجسيمة الـ Proton أعطت المعادلة التالية:

$$\mu_{Boh} = 0,09273.10^{-18}$$

Openkanal.com

$$\mu_p = 2{,}7927 \cdot 0{,}09273.10^{-18} / 1836 = 1{,}41.10^{-22} \text{Asec cm}^2$$

21 . 3 قدرة النواة المغناطيسية

ومن المعروف أن قيم القدرة الفيزيائية المغناطيسية في النواة هي قيم صغيرة تقريبًا لا تذكر، ولكن توصلنا في وقتنا الحاضر بأن هذه القدرة الصغيرة تقاس بدقة، وعن طريق القياسات هذه وجدت وطورت طرق قياس جديدة لها أهميتها وتستعمل في مجالات عديدة علمية وفيزيائية، وهذه الطريقة هي وجود الحث المغناطيسي في النواة، ولذلك مثلاً أخذت عينة للخبرة والقياسات حجمها يساوي $3.\text{cm}^3$ وضعت في حقل مغناطيسي متجانس..

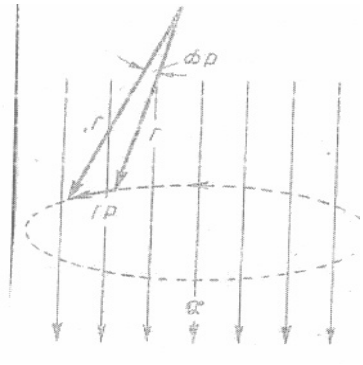
هنا دوران ال Protons يشبه دوران بلبل جيروسكوب صغير، ودوران القدرة المغناطيسية لهذه البروتونات المنظمة بدقة التحركات في اتجاه الحقل تعطي ترددات نسميها ترددات Larmor frequency نظهرها بالمعادلة التالية:

$$\text{Larmor frequency } f_p = \mu.B / I.h$$

هذه العملية نشرحها حسب قانون نيوتن Newton القائل إن القوة P = Power تساوي تغير النبضات في الثانية حسب المعادلة التالية:

$$p = d(mv) / dt$$

وكذلك ما يحصل بالمقابل للحركة الدورية، أي أن القدرة الدورية Retort Moment تساوي كذلك تغير الوقت للنبض الدوري $D = dJ/dt$ في الوقت الذي لما الجيروسكوب يوجد في الحالة الثابتة J ولكن في اتجاه يتغير بالتتابع يجمع السهم Vector الأساسي J .



مع السهم الصغير Vector dJ لذلك نحصل على الزاوية $\Delta\Phi$ في حالة دوران الـــ Vector J´ في الوقت الذي يصبح $dJ = J\Delta\Phi$ فتصبح القدرة الدوارة تساوي المعادلة التالية:

$$D = J.\Delta\Phi / dt$$

والاصطلاحية $\Delta\Phi / dt$ تساوي سرعة الزاوية ω_p الموجودة على غلاف كـــرة مترئسة محور نبض ومـــن الاصـــطلاحات $D = J.\omega_p$ ينـــتج ســـرعة الزاويـــة للبروتونات المساوية المعادلة التالية:

$$\omega_p = D/J$$

وهنا القدرة الدوارة D، وهي ليست إلا ضرب القدرة المغناطيـــسية μ بالحـــث المغناطيسي B بتأثير النبض الدوار J، كذلك ضرب الدوران الذاتيi النـــاتج عـــن ضرب $i.h/2\pi$ ، ولذا تصبح سرعة الزاوية وكذلك التـــردد يـــساوي المعـــادلات التالية:

$$\omega_p = 2\pi f_p = \mu B 2\pi / i.h$$

$$f_p = \mu B 2\pi / ih2\pi = \mu_p.B/i.h$$

وحسب ما حل ووجد في القسم السابق تساوي القدرة المغناطيسية القيمة التالية:

$$\mu_p = 1{,}141.10^{-22} A \sec cm^2$$

وفي وجود حـــث حقـــل مغناطيـــسي يـــساوي $B = 10000 Gauss = 10^{-}$ $^4V.sec/cm^2$، فإن الـــدوران الـــذاتي i= 1/2 للبروتونـــات ووحـــدة بلنـــك h = $6{,}625.10^{-34} Wsec^2$.

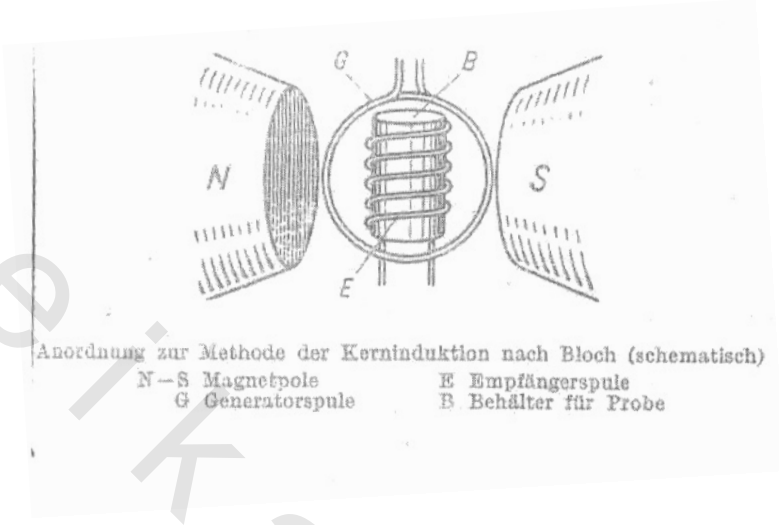
لذلك تردد هذه البروتونات يساوي حسب معادلة التردد:

$$f_p = \mu_p B/i.h = 42.7 \text{ MHz}$$

أما البروتونات الرئيسية فلم تظهر تأثيرات كهربائية للخارج، ولكن تتردد بنفس التردد، وتهتز في أطوار نسبية متفرقة Different Phase Positions.

ولتقويم rectifier هذه البروتونات نرسل بالعرض في الحقل المغناطيـــسي B حقلاً عالي التردد HF عن طريق لفة سلك كمولد Sender الذي يؤثر على عينـــة

المادة المختبرة وذبذبة التردد العالي هذه بطريقة الـ Modulation، أي التقلب دوريًّا.



Anordnung zur Methode der Kerninduktion nach Bloch (schematisch)
N—S Magnetpole E Empfängerspule
G Generatorspule B Behälter für Probe

وعن طريق لفة سلك ثانية مربعة الشكل نسميها لفة الاستقبال نستقبل Receive البروتونات المنبتة الدوارة التي لم تعد تمر في نفس القطب Phase، والتي تبث جهدًا خفيفًا متناوبًا وهذا الجهد يقوى ويظهر على Oscilloscope، وعن طريق قمم الجهد أي الـ Amplitude، نستطيع أن نقرأ ترددات موجودة بين المولد Ge وكذلك البروتونات المترئسة وكذلك النوى، وهل يوجد تجاوب Resonant بينها؟

وحسب معادلة تردد البروتونات التي وجد حسابها في القسم السابق والمساوية المعادلة التالية:

$$f_p = \mu_p B/i.h$$

هنا في هذه المعادلة لما يكون معروفًا الحث المغناطيسي B، فإنه من السهل معرفة القدرة المغناطيسية μ . وكما في البروتونات وعديد من الجسيمات تحل وتوجد بدقة، وكذلك نستطيع عن طريق الترددات المتجاوبة Resonant Frequency أن نقيس قوى الحقول المغناطيسية هذه لما تكون النسبة الهندسية للفة الحقول المغناطيسية محددة. وكذلك نستطيع معرفة وتحديد التيار الكهربائي العالي. وتبعًا لهذه القياسات يوجد كذلك مجال استعمال واسع يحوي كذلك شرح وتفسير

بناء وتركيب الجزيئات المسماة الMolecule Structure، وكذلك لتحديد التـــردد والتجاوب في عمليات التماسك الكيميائي لما تتغير الحالات، وكذلك لربح طريقـــة الحث المغناطيسي للنوى في التحليل الكيميائي، وكذلك لفحص واختبـــار الزيـــوت التكنولوجية وغيرها من المواد.

* * *

obeikandl.com