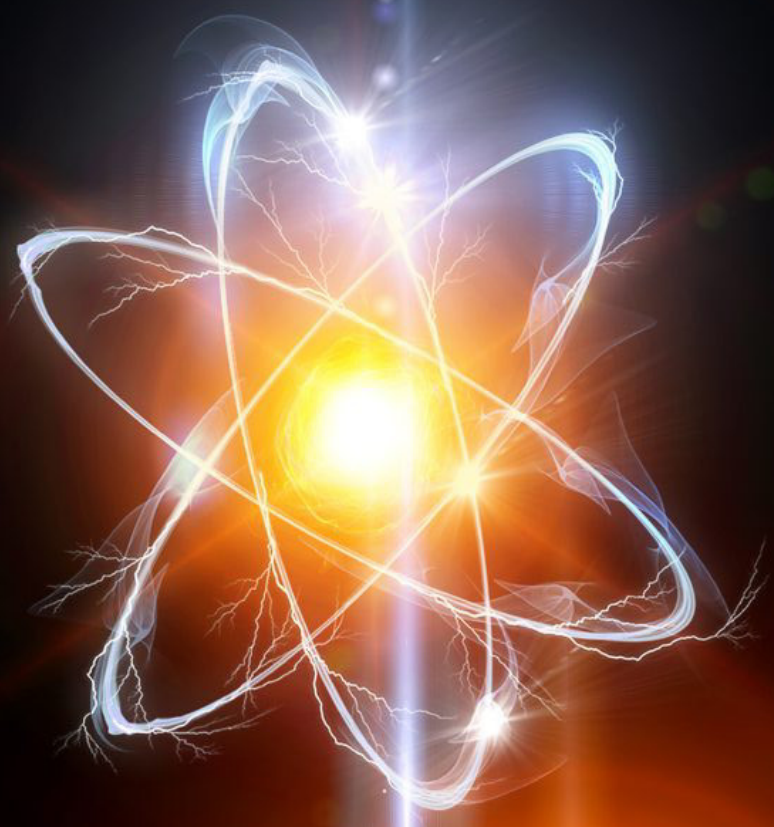
مركز جسور للدراسات والاستشارات الثقافية والتنموية

جسور للدراسات والاستشارات الثقافية والتنموية
CULTURAL-DEVELOPMENT STUDIES-CONSULTING

ق

لأن المعرفة تسبق الرأي

نشرة رقم 35 - ديسمبر 2022



50 ٪ كسباً في صافي
القوى المولدة بواسطة
الاندماج النووي

129 مفاعلاً تجريبياً
موزعاً على 4 فئات
بـ 27 دولة

الإندماج النووي

قوة تتحرر قريباً

4.8 مليار دولار استثمارات
حالية ترتفع لتريليون
وتُشغل الشبكات بحلول 2030

أسسه : صالح بن عبد الله كامل
رئيس مجلس الإدارة : هديل صالح كامل

جسور للدراسات والاستشارات الثقافية والتنموية
CULTURAL DEVELOPMENT STUDIES CONSULTING
دلة البركة Dallah Albaraka

لأن المعرفة تسبق الرأي

www. josor.org
نشرة رقم 35 ـ ديسمبر 2022

ماهو الاندمـــاج النووى ؟

يقصد بالاندماج النووي اندماج نواتان- غالبًا هيدروجين- لتشكيل نواة أثقل، مثل الهيليوم، في عملية ينجم عنها إطلاق كميات هائلة من الطاقة، ووفقًا للوكالة الدولية للطاقة الذرية، يُولِد الاندماج أربعة أضعاف الطاقة لكل كيلوغرام من الانشطار المُستخدم لتشغيل المحطات النووية، وحوالي 4 ملايين مرة أكثر من حرق النفط أو الفحم. وعلى عكس الوقود الأحفوري، لا يُطلق الاندماج في الغلاف الجوي ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة التي تُعد السبب الرئيسي لتَغيُر المناخ كما أنه لا ينتج نفايات مُشِعة طويلة الأمد.

استلهم العلماء فكرة الاندماج من العملية الكونية الطبيعية التي تحدُث في قلب الشمس والنجوم والمدفوعة بقوة الجاذبية الهائلة للشمس ودرجات الحرارة المرتفعة، ومن ثم بدأوا في محاولات مُحاكاتها على الأرض منذ خمسينيات القرن الماضي.

وبما أن الأرض لا تمتلك قوة الجاذبية الهائلة المطلوبة لحصر نوى الهيدروجين كما هو الحال مع الشمس والنجوم، لجأ العلماء لنهج مختلف لتحقيق تفاعلات الاندماج عليها، وهو تسخين الغازات إلى درجات حرارة شديدة الارتفاع تبلغ حوالي 150 مليون درجة مئوية، أي أكثر بعشر مرات من درجات الحرارة داخل الشمس، ثم توصلوا إلى أن أسهل ما يمكن تحقيقه هو تفاعل الاندماج بين نظيرين للهيدروجين: الديوتيريوم (رمزه العلمي D) المُستخرَج من الماء، والتريتيوم (نظير نادر رمزه العلمي T) الذي يُنتَج أثناء تفاعل الاندماج من خلال التلامُس مع الليثيوم، وبإدماج نواتيّ الديوتيريوم والتريتيوم، تتشكل نواة هيليوم/ البلازما، أوما يسمى نيوترون، ومن هنا يحدث إطلاق الطاقة، وعلي الرغم أن مردود مادتيَ D-T هو محور الاهتمام الرئيسي حالياً، يتطلع الباحثون لخطة طويلة المدى لتفاعل الديوتيريوم / الديوتيريوم أو تفاعل D-D الذي يتطلب درجات حرارة أعلى بكثير.

يوجد الديوتيريوم طبيعيا في مياه المحيطات بنسب تبلغ نحو 156.25 جزء في المليون، وهي ذرة واحدة من 6400 من الهيدروجين، أي أن 99.98٪ من الهيدروجين في المحيط عبارة عن بروتيوم و 0.0156 % فقط ديوتيريوم، ويتم الحصول على الديوتيريوم النقي عن طريق فصل الماء الثقيل من الماء الطبيعي وهذا الماء الثقيل أكثر لزوجة وكثافة من الماء العادي بنسبة 10.6 %.

خضع الاندماج لطرق تطوير كثيرة منها تسخين البلازما إلى درجات حرارة تصل إلى 150 مليون درجة مئوية. وحيث أنه لا توجد مادة تحتوي على بلازما تصل لمثل هذه الدرجات الحرارية فائقة التصور، لجأ العلماء لأساليب مختلفة لحصر البلازما، أحدها هو الحصر المغناطيسي حيث يتم احتواء جزيئات البلازما الساخنة في «صومعة» مغناطيسية مصنوعة من مجالات مغناطيسية قوية تمنع الجسيمات من الهروب، وحصر البلازما لفترة طويلة بما يكفي لحدوث الاندماج. ومن هنا ظهر المصطلح المُختصر «توكاماك» المأخوذ عن الروسية وهو اختصار لـ «غرفة فراغ على شكل حلقة محاطة بدوائر مغناطيسية لتوليد مجالا مغناطيسيًا حلقيًا».

ويكمُن التحدي أن كثافة الطاقة لتفاعلات الاندماج في الغاز أقل بكثير من تفاعلات الانشطار في الوقود الصلب، بمُعدل 70 مرة أقل، مما يعني أن يكون حجم مفاعل الاندماج أكبر وبالتالي أكثر تكلفة من مفاعل الانشطار. بالإضافة إلى أن مفاعلات الانشطار النووي تستخدم وقودًا صلبًا أكثر كثافة من البلازما النووية الحرارية، وبالتالي تكون الطاقة المنبعثة أكثر تركيزًا. كما أن طاقة النيوترون الناتجة عن الاندماج أعلى من الانشطار، أى 14.1 ميغا إلكترون فولت مقارنة بـ حوالي 2 إلكترون فولت.

ويشرح أحد البحوث المنشورة في المجلة الإنجليزية «المداولات الفلسفية للجمعية الملكية» أن اندماج الحصر بالقصور الذاتي يمكن أن يوفر ما يُسمى بالتكلفة المستوية للطاقة (LCOE)- وهي القيمة الحالية الصافية لتكلفة توليد الطاقة على مدار عُمر مشروع الطاقة المُولِدة- وقدرُها 25 دولارًا/ ميجاوات/ الساعة مقارنة بـ 100 دولار/ ميجاوات/ الساعة للطاقة النووية وما يصل إلى 50 دولارًا/ ميجاوات في الساعة للرياح البرية. كما قد تكون الطاقة الاندماجية الحل الأكثر فعالية من حيث التكلفة للطاقة النظيفة الأساسية، وأرخص أربع مرات من الطاقة النووية.

وفي الوقت الحاضر، يتم دراسة نهجين تجريبيين رئيسيين: الحصر المغناطيسي والحصر بالقصور الذاتي. تستخدم الطريقة الأولى مجالات مغناطيسية قوية لاحتواء البلازما الساخنة، بينما يتضمن الثاني ضغط حبيبة صغيرة تحتوي على وقود اندماجي إلى كثافات عالية للغاية باستخدام أشعة الليزر القوية أو حزم الجسيمات. وفي هذا السياق، تأتي أهمية التفاعل الجديد الذي ابتكره الباحثون في مختبر «لورانس ليفرمور الوطني» بكاليفورنيا وانتج طاقة أكثر مما استهلِكت لتوليده.

خطوة مهمة نحو طاقة لا تنضب:

50٪ كسباً في صافي القوى المولدة بواسطة الاندماج النووي

■ محمود سلامه الشريف

صباح الثلاثاء 13 ديسمبر 2022، أعلن علماء أمريكيون بمختبر لورانس ليفرمور الوطني تحقيق ما وصفوه بـ «اختراق علمي كبير» في مجال الاندماج النووي، قد يحدث يومًا ما ثورة في إنتاج الطاقة على الأرض، وتمثل هذا الاختراق في استخدام الاندماج النووي لإنتاج كمية من الطاقة أكبر من كمية الطاقة المستهلكة في عملية الإنتاج ذاتها بنحو 50% وهي زيادة تعادل 8 أضعاف نظيرتها التي أنتجت خلال التجارب الأخيرة التي أجريت في بداية العام، فما الذي يعينه هذا التطور بالنسبة لمسيرة طاقة الاندماج النووي؟... وهل اصبح هذا النوع من الطاقة وشيك الاستخدام؟

فيما يتعلق بالسؤال الأول، يمكن القول أن فكرة الاندماج النووي ليست وليدة اللحظة وإنما تعود لما قبل 1958 ذلك العام الذي عُقد فيه مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالاستخدامات السلمية للطاقة الذرية، لتتوالى البحوث والدراسات ويزداد اهتمام المؤسسات والدول بشكل أكثر واقعية عن كيفية توليد واستخدام الطاقة الهائلة المُصاحبة لعملية الاندماج النووي، هذا الاندماج الذي تستمد منه الشمس وسائر النجوم طاقتها ليكون استنساخه على الأرض أشبه بمصدر طاقة لا ينضب.

وقد ظلت حركة البحث العلمي المتعلقة بإنتاج الطاقة من خلال الاندماج النووي في تطور مضطرد ومستمر، غير أن الدراسات تشير إلى استحواذ 14 دولة فقط على أكثر من 90% من المقالات والبحوث المنشورة المصنفة عالمياً في (SCOPUS) من بين ما يجاوز 250 ألف بحثاً في الفترة ما بين 1976 حتى 2016، تقدمتهم الولايات المتحدة الأمريكية بمجموع 7646 بحثاً ثم اليابان بمجموع 3026 بحثاً، بينما تزيّلت الترتيب كندا وهولاندا بمجموع 293 و276 بحثاً على التوالي كما هو موضح في الجدول رقم(1). ومختصر ما أجمعت عليه هذه البحوث هو إمكانية إنتاج طاقة هائلة بفضل الاندماج النووي غير أنها أجمعت أيضا على أن الطاقة المبذولة أو المستهلكة لحدوث عملية الاندماج أعلى من المولدة عنها بكثير من ثم لا تحقق كسب صاف في القوى المولدة.

جدول رقم(1) عدد البحوث المصنفة في الاندماج النووي (1976-2016)

التصنيف	الدولة	عدد البحوث
1	أمريكا	7646
2	اليابان	3026
3	الصين	2778
4	ألمانيا	2147
5	إنجلترا	1776
6	روسيا	1393
7	فرنسا	1136
8	إيطاليا	964
9	كوريا الجنوبية	425
10	سويسرا	410
11	الهند	401
12	السويد	326
13	كندا	293
14	هولاندا	276

صافي القوى المولدة هو الفارق بين الطاقة المستخدمة في عملية الانتاج مقابل الطاقة المنتجة، ويكون صافي القوى موجباً إذا كان حجم الطاقة المنتجة يزيد على حجم الطاقة المستخدمة ويكون سالباً إذا حدث العكس. الصافي الموجب للقوى المولدة إذن هو ما يصبو إليه العالم، وتترجمه الأرقام لا سيما في توليد الطاقة الكهربائية، فعلى سبيل المثال يحتاج توليد كيلو واط /ساعة من الكهرباء إلى 1.12 رطل أي نصف كيلوجرام من الفحم، وبالتالي فالطاقة المستخدمة لحرق 200 كجم فحم أقل بكثير من الطاقة المولدة وهي 4000 كيلو واط / ساعة وهو يُمثل متوسط الاستهلاك المنزلي السنوي، لذا فإن الفحم يعد أكبر مصدر لتوليد الكهرباء بنسبة لامست 40% من إجمالي الكهرباء المولدة عالمياً بحسب أحدث بيانات للبنك الدولي لما يحققه من صافي أو فائض القوى المولدة.

المنطق ذاته يُقاس عليه في عملية الاندماج النووي، بل لطالما كان المعوق الأكبر أمام العلماء والباحثين هو كيفية تحقيق صافي قوى مولدة من خلاله، نظراً لتعاظم الطاقة المطلوبة لحدوث هذا النوع من الاندماج مقابل تضاؤل الطاقة المولدة منه، إذ تحتاج عملية الاندماج قدر كبير من الطاقة تتمثل في توليد درجات حرارة تزيد على 100 مليون درجة مئوية حتى تتحد على إثرها نواتان ذريتان خفيفتان لتكوِّنا نواة ذرية واحدة أثقل وزناً، بالإضافة إلى طاقة ضغط شديدة تُجبر النواتين على الاندماج، وطاقة أخرى لإبقاء هذا الاندماج فترة أطول، ليصاحب هذه العملية في المقابل انبعاث كميات قليلة من الطاقة المولدة أو المنتجة، فحقيقة المشكلة ليس في عملية الدمج ذاتها وإنما لاستهلاكها قدر كبير من الطاقة يفوق ما تنتجه، وهو ما تحقق في يناير 2022 حيث تم استهلاك طاقه قدرت بـ 1.7 ميجا جول في عملية ادماج في أحد المختبرات الأمريكية ولكن في المقابل لم تنتج سوى 1.3 ميجا جول فقط، لينعدم صافي القوى المولدة، بحسب ما نشرته مجلة(nature) على موقعها (https://go.nature.com/3hKuEzv)

بناء عليه حظيت التجربة الأمريكية الأخيرة باهتمام إعلامي كبير -وهو مناط إجابة التساؤل الثاني- حيث استهلكت هذه التجربة ما مقداره 2.05 ميجا جول من الطاقة في عملية الاندماج لينتج في المقابل2.5 ميجا جول تصل إلى 3.15 ميجا جول، وتحقق بذلك أكثر من 50% كسباً في صافي القوى المولدة أي 1.5 مرة أكثر من الطاقة المستهلكة، ورغم أن هذه البيانات لازالت قيد التحليل إلا أن الطاقة المولدة تعد أكبر بـ8 مرات من نظيرتها التي أنتجت خلال التجارب الأخيرة التي أجريت في بداية العام ذاته.

الطفرة التي تحققت في انتاج الطاقة الاندماجية كانت بفضل طريقتين، الطريقة الأولي تقنية «الحبس بالقصور الذاتي» وهي خاصية فيزيائية تعمل على ضغط الوقود المستخدم في عملية الاندماج وتسخينه بسرعة كبيرة من خلال قصف مساحة صغيرة من بلازما الهيدروجين بأكبر ليزر في العالم، في المقابل يتولد عن هذا الاندماج طاقة هائلة. أما الطريقة الثانية هي استخدام المغناطيس لتقييد البلازما فائقة السخونة وبقاءها أطول فترة ممكنة لتوليد أكبر كم ممكن من الطاقة الاندماجية. ورغم تحقيق الاندماج الآن بشكل روتيني في التجارب، إلا أنه لا تزال هناك حاجة إلى تحسين خصائص الحبس بالقصور الذاتي واستقرار البلازما لأطول فترة ممكنة للحفاظ على التفاعل وإنتاج الطاقة بطريقة مستدامة وتصميم تقنيات جديدة لتحقيق أكبر قدر من صافي القوى المولدة.

جدير بالذكر أن صافي القوى المولدة من الطاقة الاندماجية هو مجرد عرض للمقارنة بين حجمي الطاقة المستخدمة من ناحية والمنتجة من ناحية أخرى، وليس إجمالي الطاقة الكلية التي استغرقت تشغيل الليزر وتشغيل المشروع ككل، لذا من الصعب -على الأقل في الوقت الحالي- تقويم أو تحديد قيمة سعرية للطاقة الاندماجية أو ربطها بعملة معينة، لأنها لا زالت قيد التطوير داخل المختبرات ولم تدخل مرحلة الانتاج والتصنيع، وتشير التقديرات -على خلاف ما يتصوره البعض- أن الطاقة الاندماجية ليست وشيكة الانتاج، بل تحتاج ما يزيد على 20 عاماً حتى تفرض نفسها كمنافس نظيف للطاقة نظراً لتعقيد عملية الاندماج والتي تحتاج مزيدا من البحث والدراسة والتجربة ومزيدا من الاستثمارات.

لأن المعرفة تسبق الرأي

جسور للدراسات والاستشارات الاعلامية والثقافية
CULTURAL DEVELOPMENT STUDIES CONSULTING
دلة البركة Dallah Albaraka

أسسه : صالح بن عبد الله كامل
رئيس مجلس الإدارة : هديل صالح كامل

www. josor.org
نشرة رقم 35 ـ ديسمبر 2022

مشهد الطاقة الاندماجية عالميا: 129 مفاعلاً تجريبياً موزعاً على 4 فئات بـ 27 دولة

■ جمال محمد غيطاس

يشير المشهد العام لحركة تطوير الطاقة الاندماجية إلى أن العالم يمضي علي طريق هذه الطاقة مسلحا بنحو 129 مفاعلا اندماجيا تجريبيا، تنضوي تحت 5 فئات مختلفة، وتنتشر في 93 جامعة ومؤسسة بحثية وشركات خاصة وهيئات عامة تابعة لـ 27 دولة، 70.5 % منها في حالة تشغيل تجريبي، وبعضها حقق نتائج على مستوي البحث والتطوير وبعضها الآخر بلغ مرحلة النتائج نصف الصناعية، معززا الأمل في التغلب علي التحديات التقنية التي يتعين التغلب عليها لجعل طاقة الاندماج أمر واقع في غضون العقدين المقبلين.

خلال الشهر الحالي أصدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية https:// www.iaea.org قاعدة البيانات الخاصة بحالة مفاعلات وأجهزة الطاقة الاندماجية حول العالم، واستخلصت منها تقريرا بعنوان "المسح العالمي لأجهزة الاندماج النووي لعام 2022"، وكشفت المراجعة التحليلية التي قام بها مركز جسور لبيانات القاعدة، عن أن هناك 94 جهة حول العالم تمتلك واحد على الأقل من مفاعلات الطاقة الاندماجية التجريبية، والبعض منها يملك أكثر، و68 منها جهات عامة، و25 جهة منها شركات قطاع خاص تجارية تستثمر استثمارا طويل الأجل في مجال الطاقة الاندماجية، وهناك مشروع واحد فقط يتم بالمشاركة بين القطاع الخاص وجهات تابعة للدول.

ويعني هذا التقسيم أن أنشطة البحث والتطوير الجارية في الطاقة الاندماجية هي أنشطة دول وحكومات بالأساس، وإن كان القطاع الخاص والشركات التجارية قد بدأ خلال العقدين الأخيرين يقبل علي الاستثمار في هذا المجال بوتيرة متصاعدة.

تضم المفاعلات الاندماجية الحالية 29 طرازا من أجيال مختلفة تطورت عبر ما لا يقل عن خمسة عقود، وجميعها لا تزال مفاعلات تجريبية، وتنقسم هذه الطرز إلي خمس فئات رئيسية الأولى مفاعلات الاندماج التعويضية والليزر، والثانية مفاعلات الاندماج البديلة، والثالثة المفاعلات التجريبية، والرابعة المفاعلات النجمية والهليوترونات، والخامسة مفاعلات توكاماك.

وفقا للأرقام الواردة بالجدول رقم "1" فإن الفئة الأولى يوجد منها طرازين والثانية 13 طرازا، والثالثة 6 طرازات والرابعة 4 طرازات والخامسة 4 طرازات، لكن الأمر يختلف من حيث عدد المفاعلات المتاحة من كل طراز، فالطرازات المنتمية للفئة الخامسة تشكل 48.8 % من إجمالي عدد المفاعلات الاندماجية عالميا، تليها الفئة الثانية بنصيب 27.1 %، ثم الرابعة بنصيب 10.1 %، ثم الفئتان الأولى والثالثة بنصيب 7 % لكل منهما، ما يعني أن المفاعلات الأكثر انتشارا والأكثر تفضيلا عالميا هي مفاعلات توكاماك، تليها مفاعلات الاندماج البديلة.

من حيث الملكية، تشير بيانات الجدول إلى أن الملكية العامة التابعة للدول والحكومات نصيبها 78 % من إجمالي المفاعلات والباقي للقطاع الخاص، وعلي مستوي الفئات الرئيسية تمتلك الدول 95.5 % من مفاعلات توكاماك، و92.3 % من المفاعلات النجمية والهليوترونات، وتتراجع ملكيتها في الفئات المتبقية الي النصف او ما دون ذلك، حيث ترتفع بها ملكية القطاع الخاص بصورة ملحوظة.

أما حالة التشغيل، فهناك 70.5 % من المفاعلات الاندماجية القائمة بالعالم بلغت مرحلة التشغيل التجريبي بالفعل، و9.3 % من المفاعلات أصبحت قيد الانشاء، بعدما تخطت مرحلة الفكرة النظرية والتصميم، و20.2 % تخطت الفكرة النظرية وأصبحت خطة قابلة للإنشاء.

توضح بيانات الجدول رقم "2" توزيعات المفاعلات الاندماجية عبر الدول المختلفة، وتضم قائمة الدول المالكة لمفاعلات اندماجية 27 دولة، وهناك تنافس امريكي ياباني واضح علي رأس هذه القائمة، حيث تستحوذ الدولتان على ما يتجاوز ثلث المفاعلات الاندماجية عالميا، أو تحديدا 35.7 % من الإجمالي، وفي حين تأتي أمريكا في المركز الأول من حيث حصتها من المفاعلات بواقع 18.6 %، مقابل 17.1 % لليابان، تتفوق اليابان من حيث حصة المفاعلات التي تخطت مراحل الفكرة النظرية والتصميم والانشاء ودخلت حيز التشغيل التجريبي، حيث يوجد ما يربو قليلا على خمس المفاعلات العالمية التي يتم تشغيلها تجريبيا لدي اليابان بواقع 20.9%، لتحتل مركز الصدارة في هذا المعيار، وتتراجع أمامها حصة المفاعلات الامريكية التي دخلت التشغيل التجريبي لتمثل 18.7 %.

لكن .. يبدو أن المستقبل بيد أمريكا أكثر من اليابان، فحصة أمريكا من المفاعلات الاندماجية الأمريكية التي تحت التشييد يمثل 16.7 % من تلك المفاعلات عالميا، في حين يتراجع نصيب اليابان الي 8.3 %، وكذلك فإن عدد المفاعلات الامريكية التي تخطت الفكرة وتحولت الي خطة قابلة للتنفيذ يمثل 19.2 % من هذه النوعية عالميا، في حين يصل نصيب اليابان الي 7.7 %.

في المرتبة الثالثة تأتي روسيا بحصة قدرها 10.9 % من إجمالي عدد المفاعلات، وبحصة قدرها 8.8 % من اجمالي المفاعلات قيد التشغيل التجريبي، لكن خططها المستقبلية تبدو أقوى من اليابان وقريبة للغاية من الخطط الامريكية، إذ تملك روسيا حصة قدرها 16.7 % من المفاعلات قيد الانشاء، وهو ما يوازي ضعف المفاعلات اليابانية، كما تستحوذ على حصة قدرها 15.4 % من المفاعلات المخطط انشاؤها، وهو ما يتجاوز أيضا ضعف حصة اليابان في هذا الصدد.

المرتبة الرابعة تتنافس عليها كل من الصين والسويد، حيث تتساوي حصتهما الإجمالية تقريبا، بواقع 6.2 % لكل منهما، وإن كانت الصين تتفوق حاليا بصورة كبيرة علي السويد في المفاعلات التجريبية قيد التشغيل، حيث تصل حصتها الي 7.7 % وهي حصة تقترب بشدة من حصة روسيا، لكن حصة الصين تهبط إلي الصفر في المفاعلات قيد الانشاء، وترتفع الي 3.8 % فقط في المفاعلات المخطط انشاؤها، وهي وضعية قائمة علي ضعف المشاركة الحالية، وقوة والمشاركة المستقبلية.

تنخفض حصص ومشاركات باقي الدول الأخرى، وتتوزع على نسب ضئيلة من المفاعلات الاندماجية كما هو موضح بالجدول، حتي تصل إلي أدني مستوياتها لكل من البرتغال والدنمارك وسويسرا وكازخستان وليبيا ومصر وأستراليا، التي تملك كل منها مفاعل واحد قيد التشغيل، وليس لديها مفاعلات قيد الانشاء أو في مرحلة التخطيط.

يمكن القول أن الصراع والتنافس علي الطاقة الاندماجية يتركز حاليا بين أمريكا واليابان، لكنه مرشحا بقوة لأن يصبح أمريكيا روسيا، ثم تليهما الصين في غضون السنوات المقبلة.

في النهاية .. تعطي الأرقام والبيانات السابقة مؤشرا علي أن الطاقة الاندماجية الجديدة النظيفة الرخيصة اللامحدودة، كانت حلما مستحيلا تقريبا خلال العقود الماضية، وستظل حلما صعبا لعقدين مقبلين على الأقل، قبل ان تصبح واقعا مريحا يستفاد به على نطاق واسع.

جدول رقم (1) أجهزة الاندماج النووي عالميا موزعة بحسب الفئات الرئيسية وعدد الأنماط وعدد الأجهزة ونمط الملكية وحالة التشغيل بكل فئة

الفئة		أجهزة الاندماج التعويضية	أجهزة الاندماج البديلة	أجهزة تجريبية	الأجهزة النجمية والهليوترونات	أجهزة توكاماك	الإجمالي
عدد الأنماط		2	13	6	4	4	29
عدد الأجهزة		7.0%	27.1%	7.0%	10.1%	48.8%	100%
الملكية	قطاع خاص	44.4%	45.7%	44.4%	7.7%	4.8%	22%
	عامة	55.6%	54.3%	44.4%	92.3%	95.2%	78%
	مشتركة	0%	0%	11%	0%	0%	1%
حالة التشغيل	تجريبي	66.7%	62.9%	0%	84.6%	82.5%	70.5%
	تحت الانشاء	0.0%	14.3%	0%	0.0%	11.1%	9.3%
	مخطط إنشاؤه	33.3%	22.9%	0%	15.4%	6.3%	20.2%

جدول رقم (2) توزيع أجهزة الاندماج النووي عالميا بحسب الدولة ونصيب كل دولة من الأجهزة في حالة تشغيل وتحت

الدولة	تشغيل	تحت التشيد	مخطط	الإجمالي
أمريكا	18.7%	16.7%	19.2%	18.6%
اليابان	20.9%	8.3%	7.7%	17.1%
روسيا	8.8%	16.7%	15.4%	10.9%
الصين	7.7%	0.0%	3.8%	6.2%
السويد	3.3%	8.3%	15.4%	6.2%
بريطانيا	3.3%	0.0%	11.5%	4.7%
فرنسا	3.3%	8.3%	3.8%	3.9%
ألمانيا	3.3%	0.0%	3.8%	3.1%
باكستان	2.2%	8.3%	3.8%	3.1%
البرازيل	3.3%	0.0%	0.0%	2.3%
ايران	3.3%	0.0%	0.0%	2.3%
الهند	2.2%	8.3%	0.0%	2.3%
إيطاليا	2.2%	0.0%	3.8%	2.3%
كوريا	2.2%	0.0%	3.8%	2.3%
أوكرانيا	2.2%	0.0%	0.0%	1.6%
كوستاريكا	2.2%	0.0%	0.0%	1.6%
إسبانيا	1.1%	0.0%	3.8%	1.6%
التشيك	1.1%	8.3%	0.0%	1.6%
تايلاند	1.1%	8.3%	0.0%	1.6%
كندا	1.1%	8.3%	0.0%	1.6%
البرتغال	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
الدنمارك	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
سويسرا	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
كازاخستان	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
ليبيا	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
مصر	1.1%	0.0%	0.0%	0.8%
أستراليا	0.0%	0.0%	3.8%	0.8%
الإجمالي	100%	100%	100%	100%

لأن المعرفة تسبق الرأي

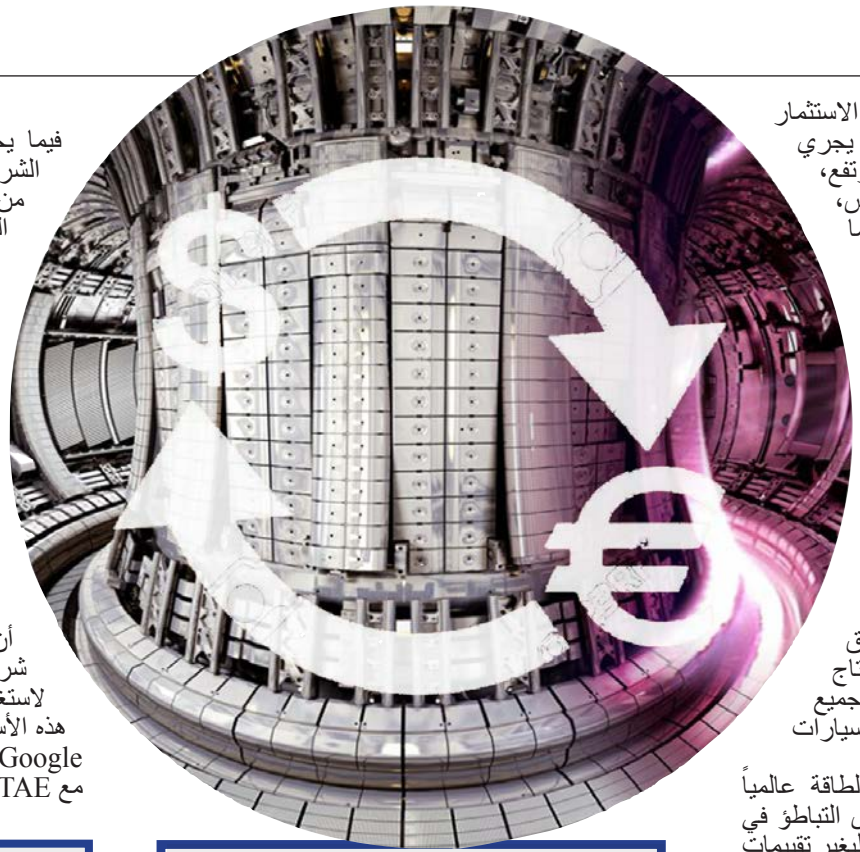
جسور للدراسات والاستشارات الثقافية والتنموية
JOSOR CULTURAL DEVELOPMENT STUDIES CONSULTING
دلة البركة Dallah Albaraka

أسسه : صالح بن عبد الله كامل
رئيس مجلس الإدارة : هديل صالح كامل

نشرة رقم 35 ـ ديسمبر 2022
www. josor.org

4,8 مليار دولار استثمارات حالية ترتفع لتريليون وتُشغل الشبكات بحلول 2030

■ نهال زكي



لا تقل الجوانب الاقتصادية للاندماج النووي (التكلفة ـ الاستثمار ـ العائد ـ القابلية للتشغيل التجاري) إثارة وسخونة عما يجري في الجانب العلمي والتقني، فالاستثمارات تتلاحق وترتفع، والتكلفة تخضع لمراجعات متواصلة عميقة لتنخفض، والعائد المتوقع علي الأمد البعيد يزداد وضوحا يوما بعد آخر، والتصورات الموضوعة في هذا السياق على المدي الطويل تسعي لضخ تريليون دولار في مشروعات الاندماج النووي، من أصل 9.5 تريليون في استثمارات الطاقة المتجددة علي مدار السنوات العشرين المقبلة، حتي يشهد العالم طاقة اندماج موصولة بشبكات الكهرباء بحلول عام 2030، أما على الأجل القصير والمتوسط، فقد ارتفعت الاستثمارات الجديدة في الاندماج النووي هذا العام لتصل الي نحو 4.8 مليارات دولار، بزيادة قدرها 139 % مقارنة بالعام الماضي، وبما يعادل أكثر من ضعف الاستثمار التاريخي الإجمالي للصناعات في عام واحد، وهناك توقعات بأن يواصل الرقم الارتفاع ليبلغ 40 مليار دولار خلال وقت قريب.

بالمعايير الاقتصادية أيضا، يرى الخبراء أنه حال تحقيق مُعضلة تكلفة مُدخلات الإنتاج المنخفضة والوعود بإنتاج طاقة لا نهاية لها، سيغير الاندماج النووي التجاري جميع المقاييس الراهنة، وقد يتفوق عل تقييمات "تيسلا" للسيارات الكهربائية في سوق تكنولوجيا الطاقة.

وبحسب تقديرات"بلومبرج"، تبلغ قيمة مشاريع الطاقة عالمياً حوالي 15 تريليون دولار، ثم ظهر الاندماج ليعكس التباطؤ في مكاسب إنتاجية الطاقة نظرا لارتفاع تكاليف الانتاج، وليغير تقييمات الكفاءة. فإذا تم استثمار تريليون دولار فقط في مشاريع الاندماج من أصل 9.5 تريليون دولار في استثمارات الطاقة المتجددة المخطط لها على مدار العشرين عامًا المقبلة، فقد تتحقق آمال وكالة الطاقة الدولية لتوصيل الكهرباء المُولدة عن طاقة الاندماج إلى الشبكة بحلول عام 2030.

مستويات الاستثمار

وطبقاً لتقارير عام 2022 الصادرة عن "مؤسسة صناعة الاندماج" https://bit.ly/3PJHbjd، والوكالة الدولية للطاقة الذرية https://www.iaea.org، فقد استطاع القطاع الخاص خلال عام 2021، توفير أكثر من 2.8 مليار دولار من التمويلات الجديدة، لتصبح إجمالي التمويلات الخاصة أكثر من 4.7 مليار دولار، بالإضافة إلي 117 مليون دولار إضافية في شكل منح وتمويلات حكومية، أي بإجمالي حوالي 4.8 مليار دولار أمريكي ونسبة إجمالية بلغت 139 % عن العام الماضي، وهو أكثر من ضعف الاستثمار التاريخي الإجمالي للصناعات في عام واحد. وقد يصل هذا الرقم قريبا بحسب تقديرات "بلومبرج" الى 40 مليار دولار https://bit.ly/3VpqMBD. وكان النصيب الأكبر من هذه الاستثمارات خلال نفس العام من نصيب الشركتين الأمريكيتين وومنولث للنظم الاندماجية -Commonwealth Fusion Sys tems) 1.8 مليار دولار) التي دعمتها بشكل أساسي الشركة الإيطالية للنفط إيني ENI ومعهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وشركة هيليون للطاقة Helion Energy) 500 مليون دولار)، بالإضافة الى بعض الاستثمارات الأخرى التي تزيد قيمتها على 100 مليون دولار.

وبوجه عام، من ضمن حوالي 33 شركة خاصة و69 مستثمر تضمنه التقرير، تم تأسيس 8 شركات اندماج خاصة جديدة خلال عامي 2021 و2022 فقط، مما يدل على النمو السريع للصناعة وثقة المستثمرين فيها. ويتعدى تمويل أكبر 5 شركات في القائمة 200 مليون دولار-بالإضافة الى الشركتين السابق ذكرهما- وهم ثاني شركة تأسست عام 1998 TAE Technologies الأمريكية (أكثر من مليار دولار) - سبقتها شركة Princeton Fusion Systems عام -1992، وGeneral Fusion الكندية (أكثر من 300 مليون دولار أمريكي)، وTokamak Energy الإنجليزية (250 مليون دولار أمريكي)، وENN الصينية وZap Energy الأمريكية كلاهما (200 مليون دولار أمريكي)- كما هو موضح بالشكل 1.

تعدد الأهداف

فيما يخص أهداف الاستثمارات، تركِز الغالبية العظمى من الشركات على سوق توليد الطاقة الكهربائية بواقع 28 شركة من إجمالي 33 شركة، بجانب سوقين مُحتملين وهما "الدفع الفضائي والبحري" (6 شركات)، فضلاً عن الاهتمام باستخدام اندماج الطاقة ليس فقط لإنتاج كهرباء للشبكات، بل وإنتاج الهيدروجين النظيف (9شركات)، والطاقة المُستقِلة عن شبكات الخدمات والمرافق العامة المعروفة بالـ Off-grid energy (9شركات)، والحرارة الصناعية (7 شركات). كما تتوقع هذه الشركات أن الاندماج النووي سيتمكن من تشغيل الشبكات خلال العِقد الثالث من القرن الحالي، أو النصف الأول من العِقد على أفضل التقديرات.

سوق اسهم الاندماج

بينما يترقب العالم النتائج، ينصح خبراء الاستثمار مثل "Investorplace" bit.ly/3PStr5v بسبعة أسهُم طويلة الأجل للشراء مرتبطة بالتقدم المرتقبٍ في صناعة الاندماج النووي- موضحة بالشكل -2 استنادا الي أن الشركات مالكة الأسهُم هي نفسها قد استثمرت في أحد شركات الاندماج أو تعاونت معها علمياً او تقنياً او تعتمد عليها لاستغلال طاقة الاندماج لتحقيق مكاسب أكثر لنشاطاتها التجارية. هذه الأسهم هي: -1 سهم (Alphabet (GOOG الشركة الأم لـ Google التي استثمرت بكثافة في طاقة الاندماج وعملت عن كثب مع TAE لدعمها في مجال التعلم الآلي وعلوم البيانات.

جدول (2) أسهم متداولة لبعض الشركات في مجال طاقة الاندماج النووي

اسم السهم	اسم الشركة	قيمة السهم
GOOG GOOGL	Alphabet	89.76
CVX	Chevron	170.29
SSUMY	Sumitomo	16.33
CVE	Cenovus Energy	17.87
AMZN	Amazon	85.39
VEOEY	Veolia Environment	25.6
K	Kellogg	72.14

-2 سهم شركة النفط العملاقة Chevron (CVX) التي تستثمر في مصادر الطاقة النظيفة، والمتوقع أن يرتفع بنسبة 10% العام القادم. -3 سهم شركة Albemarle Corporation (ALB) التي تقوم بإنتاج مادة الليثيوم وهي أحد المواد الأساسية اللازمة لعملية الاندماج النووي. -4 أمازون (AMZN): كواحدة من أضخم شركات التجزئة عالمياً التي تطمح الى خفض التكاليف وزيادة الإيرادات من خلال استخدام طاقة الاندماج بتكلفة منخفضة وطاقة عالية الكفاءة، خاصة بعد أن استثمر "جيف بيزوس" الرئيس التنفيذي السابق بها في شركة "General Fusion" الشركة الناشئة الكندية الموضحة بالقائمة أعلاه (Verizon (VE -5، شركة البيانات العملاقة التي تسعى مثل Amazon لاستخدام هذه الطاقة الجديدة لتحسين وظائف أعمالها وتحقيق أعلي عائد.

في النهاية لا يزال هناك عمل ضخم مطلوب إنجازه حتي تصبح طاقة الاندماج قيد التشغيل التجاري العام، وهو عمل يتطلب حشد للموارد الدولية في مشروعات مشتركة عملاقة بعيدة المدي، مثل مشروع Wendelstein 7-X الذي تكلف أكثر من 1.15 مليار دولار أمريكي لبناء وتوظيف وتشغيل أول اختبار للبلازما عام 2015، ومشروع مفاعل آي تير ITER الاندماجي الذي يعد أكبر مشروع عالمي في هذا المجال، ويتم بناؤه وتشغيله في جنوب فرنسا وتدعمه 35 دولة، بما في ذلك الصين والاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة وروسيا وكوريا الجنوبية واليابان بتكلفة لا تقل عن 23 مليار دولار.

[جدول 1] الشركات الناشئة في صناعة الاندماج النووي المتوقع انطلاق أخر 30 عام

اسم الشركة	موقع المختبر/ المدينة/ الولاية	موقع المختبر/ الدولة	سنة التأسيس	عدد العاملين	إجمالي التمويل المعلن حتى الربحة $	مصدر الطاقة النسخ ذرية	المنهج المستهدف	الجدول الزمني للمصنع التجريبي	الأسواق الأولية المستهدفة
AVALANCHE ENERGY	نيويورك، وانشطن	الولايات المتحدة	2018	14	5125000	*DT	محبس مغناطيسي وكهروستاتيكي المحصر	الربع الأخير من 2025	الدفع الفضائي، الدفع البحري، الطيران ، الطاقة خارج الشبكات، الهيدروجين / الوقود الصناعي
COMMONWEALTH FUSION SYSTEMS	كمبردج/ ديفلن، ماساتشوستس	الولايات المتحدة	2018	300(+)	2000000000	DT	محبس مغناطيسي	2025	توليد الكهرباء
COMPACT FUSION SYSTEMS, INC.	سانتا في، نيومكسيكو	الولايات المتحدة	2018	/	/	DT	اندماج بالقصور الذاتي المغناطيسي	/	توليد الكهرباء
CROSSFIELD FUSION LTD	لندن	المملكة المتحدة	2019	/	950000	DT	اندماج بالحصر القصور الذاتي	/	توليد الكهرباء
CTFUSION, INC.	سياتل، واشنطن	الولايات المتحدة	2015	10	23000000	DT	محبس مغناطيسي	2030	توليد الكهرباء
DEUTELIO	جاليوان	إيطاليا	2022	2	534500	**DD	محبس مغناطيسي	2027	توليد الكهرباء، الحرارة الصناعية، الدفع، تحلية و الكهرباء المتنقلة
ELECTRIC FUSION SYSTEMS, INC.	بروفايدنس، كولورادو	الولايات المتحدة	2020	5	350000	Proton - LiNiBo ron	الدفع فوق أي ليزر على الكتلة	2025	توليد الكهرباء، الدفع الفضائي، الطاقة خارج الشبكات، وسائل النقل المتحركة 50-1 كيلووات
ENN	لانجفانج	الصين	2018	90	200000000	***pB 11	محبس مغناطيسي	15عام	توليد الكهرباء، الحرارة الصناعية
EX-FUSION	أوساكا	اليابان	2021	8	1100000	DT	اندماج بالحصر القصور الذاتي	2030	توليد الكهرباء، الطاقة خارج الشبكات، الهيدروجين/ الوقود النظيف
FIRST LIGHT FUSION	أوكسفوردشاير	المملكة المتحدة	2011	70	97813500	DT	الحصر بالقصور الذاتي مدفوع بالصدمة	/	توليد الكهرباء
FOCUSED ENERGY	أوستن، تكساس ديربورن	الولايات المتحدة، أيداهو	2021	50	15000000	DT	اندماج بالحصر القصور الذاتي	2035	توليد الكهرباء
GENERAL FUSION	فانكوفر	كندا	2002	207	300000000	DT	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	2030	توليد الكهرباء
HB11 ENERGY	سيدنى	أستراليا	2017	5	4000000	pB11	اندماج بالحصر القصور الذاتي	2030	توليد الكهرباء، الحرارة الصناعية، الهيدروجين/ الوقود النظيف
HELICAL FUSION	طوكيو	اليابان	2021	5	550000	DT	محبس مغناطيسي	2040	توليد الكهرباء، الحرارة الصناعية، الهيدروجين/ الوقود النظيف
HELICITY SPACE CORP	باساديناء كاليفورنيا	الولايات المتحدة	2018	5	6000000	DD	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	2032	الدفع الفضائي
HELION ENERGY	إيفرت، واشنطن	الولايات المتحدة	2013	90	577000000	*****D He3	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	2024	توليد الكهرباء
HORNE TECHNOLOGIES	توجموت، كولورادو	الولايات المتحدة	2008	3	1650000	DD, pB11	محبس مغناطيسي وكهروستاتيكي المحصر	3-5عالم	توليد الكهرباء
HYPERJET FUSION CORPORATION	شانتيلي، فيرجينيا	الولايات المتحدة	2017	7	20000000	DT	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	/	توليد الكهرباء
LPPFUSION, INC.	ميدلسيكس، نيوجيرسي	الولايات المتحدة	2003	3	9000000	pB11	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	2025	توليد الكهرباء، الدفع الفضائي، الدفع البحري، الطاقة خارج الشبكات، الحرارة الصناعية
MAGNETO-INERTIAL FUSION TECHNOLOGY INC. (MIFTI)	كاسلتون، كاليفورنيا	الولايات المتحدة	2009	9	9000000	DT	اندماج مغناطيسي بالقصور الذاتي	2030	توليد الكهرباء، الهيدروجين/ الوقود النظيف، الحرارة الصناعية
MARVEL FUSION	مونيخ	ألمانيا	2019	40	65000000	pB11	اندماج بالحصر القصور الذاتي	2025-2022	توليد الكهرباء، الهيدروجين/ الوقود النظيف، الحرارة الصناعية
N.T. TAO	هودهاشارون	إسرائيل	2019	11	5500000	DT	محبس مغناطيسي	قبل نهاية العقد	توليد الكهرباء، الهيدروجين/ الوقود النظيف
NEARSTAR FUSION INC.	شانتيلي، فيرجينيا	الولايات المتحدة	2021	7	200000	جميع أنواع الوقود الاندماج في بدءا DT.ا	طاقة اندماج بالقصور الذاتي	2032	توليد الكهرباء،الحرارة الصناعية، الدفع الاندماجي
NR LABS, LLC	كمبردج، ماساتشوستس	الولايات المتحدة	2008	20	1830000	DT	الاندماج المحفز بالمون	2032	توليد الكهرباء، الطب، هيدروجين/ الوقود، تطهير، الحرارة الصناعية، الدفع الحراري
PRINCETON FUSION SYSTEMS	فيلبسبورج، نيوجيرسي	الولايات المتحدة	1992	6	9000000	DHe3	محبس مغناطيسي	2030	توليد الكهرباء
PRINCETON STELLARATORS	برينستون، نيوجيرسي	الولايات المتحدة	2002	10	/	DT	محبس مغناطيسي	2030	توليد الكهرباء، الطب ، إنتاج الترينيوم
REALTA FUSION	ماديسون، ويسكونسن	الولايات المتحدة	2022	/	/	DT	محبس مغناطيسي	/	الحرارة الصناعية
RENAISSANCE FUSION	فونتن	فرنسا	2020	14	18500000	DT	محبس مغناطيسي	2027	توليد الكهرباء ، الطب
TAE TECHNOLOGIES	كاليفورنيا	الولايات المتحدة	1998	~400	1000000000	pB11; جميع أنواع دورات الوقود الاندماج الصناعية	محبس مغناطيسي	2025	توليد الكهرباء
TOKAMAK ENERGY	أوكسفورد	المملكة المتحدة	2009	190	250000000	DT	محبس مغناطيسي	2030	توليد الكهرباء
TYPE ONE ENERGY GROUP	ماديسون، ويسكونسن	الولايات المتحدة	2019	10	51750000	DT	محبس مغناطيسي	2035	توليد الكهرباء، الهيدروجين / الوقود النظيف، الحرارة الصناعية
XCIMER ENERGY INC.	ريدوودسيتي، كاليفورنيا	الولايات المتحدة	2022	10	/	DT	اندماج بالحصر القصور الذاتي	2032	توليد الكهرباء
ZAP ENERGY	سياتل، واشنطون	الولايات المتحدة	2017	60	200000000	DT	محبس مغناطيسي	2030	توليد الكهرباء
الإجمالي					4664853000				
دوتيريوم- ترايتيوم DT*	دوتيريوم - دوتيريوم **DD	بروتون - بورون ***pB11	دوتيريوم - هليوم 3	****DHe 3					