عن التفاعلات النووية، كيف تحدث؟ وما هو الفرق بين تفاعلات الانصهار وتفاعلات الانشطار؟ وكيف تعمل القنبلة النووية؟

تعنى الفيزياء النووية Nuclear physics بدراسة خواص وسلوك أنوية الذرات و دراسة القوى التي تربط مكوناتها.

وعلى مر آلاف السنين الماضية تطور تفكير الإنسان بطبيعة المادة والأقسام المكونة لها، وبدأ الأمر قبل الميلاد مع الاغريق الذين قدموا الكثير في هذا الجانب من آرائهم وأفكارهم، فافترض أنكساغوراس Anaxagoras بأن اختلاف المواد عائد لاختلاف رتب الجزيئات غير القابلة للانقسام التي تؤلف المادة، وحصر أمبيدوكلس Empedocles عددها بأربعة عناصر تشكل مواد الطبيعة وهي: التراب والهواء والماء والنار، ثم افترض ديمقريطس Democritus ، في القرن الرابع قبل الميلاد، أن الكون يتألف من فضاء فارغ وعدد لا نهائي من الجزيئات الصغيرة غير المرئية تختلف عن بعضها بالشكل والموضع والترتيب، وقال: أن كل المواد تتألف من جزيئات غير قابلة للانقسام أسماها الذرات Atoms، وفي الفترة الزمنية التي تلت ميلاد المسيح عليه السلام، ابتكر بطليموس الإسكندراني Ptolmy في القرن الثاني الميلادي نظرية معقدة في حركة الكواكب.

obeikandl.com

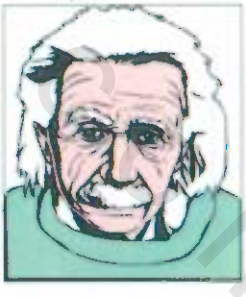
ثم أتت من بعدهم الحضارة العربية الإسلامية وضخت من فكرها و فكر أبنائها الكثير في هذا المجال. فقدم العالم العربي أبو علي حسن ابن الهيثم، الذي يعرف في الغرب باسم «الهازن» Alha-zen، في القرن العاشر إسهامات كبيرة في هذا المضمار، إذ أجرى تجارب عديدة في انتشار الضوء، و ترك سبعة كتب تبحث في علوم البصريات والضوء، ويعتبر **أبا علم البصريات الحديث**.

وبدأ نتاج الحضارة العربية الإسلامية - من إبداعات أصيلة وترجمات للكتب اليونانية - يشع على أوروبا النائمة في ذلك الوقت عابراً البحر الأبيض المتوسط إلى الأندلس و منها إلى باقي أوروبا، وبدأت أوروبا تستيقظ من سباتها فكانت بعد ذلك آراء **كوبرنيكوس** Copernicus في **القرن السادس عشر** بدوران الأرض حول الشمس، مخالفاً بذلك الآراء التي سادت أوروبا من قبله بتأثير من الكهنوت، ثم جاء من بعده العالم **غاليلو** Galeleo في **القرن السابع عشر** ممهداً الطريق بآرائه لأفكار نيوتن، والتي اعتبر بسببها أبا الفيزياء الحديثة. ثم طور كبلر Kepler في القرن السابع عشر أيضاً نظريته في **الحركة الإهليلجية للكواكب** وقدم وصفاً للجاذبية، ثم جاء بعده نيوتن Newton في **القرن الثامن عشر بقوانين علم الميكانيك** التي قدمت شرحاً **لحركة الأجسام بطريقة رياضية** سميت فيما بعد **الميكانيكا الكلاسيكية**، وطور **توماس يونغ** Thomas Young في **القرن التاسع عشر النظرية**

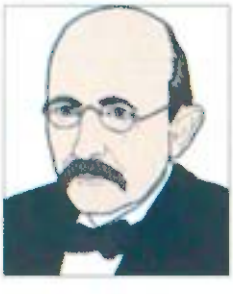
ماري كوري

الموجية وشرح التداخل الضوئي، وفي أواسط القرن التاسع عشر أيضاً طور **ميشيل فاراداي** Michel Faraday **مفهوم الحث الكهرطيسي** الذي قدم دليلاً واضحاً على ارتباط الكهرباء والمغناطيسية وشرح أيضاً قانون **حفظ الطاقة**، ثم قدم جيمس ماكسويل James Maxwell أبحاثاً كبيرة في **النظرية الكهرطيسية والبناء الجزيئي** وشرح كيفية انتشار أمواج الضوء في الخلاء و ذلك في القرن التاسع عشر أيضاً، ثم اكتشف ولهلم رونتجن Wilhelm Rontgen أشعة اكس في عام 1895، وفي نفس العام اكتشفت **ماري وبيير كوري** Curies **النشاط الإشعاعي** لبعض العناصر، ووضع **جوزيف تومبسون** Joseph Thompson **نموذجه** الذري الذي افترض أن الذرة تتألف من كرة موجبة بداخلها الكترونات سالبة وذلك في أواخر القرن التاسع عشر.

آينشتاين



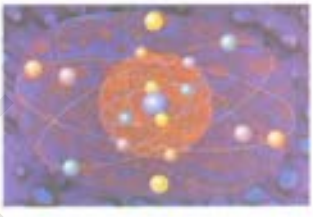
ماكس بلانك

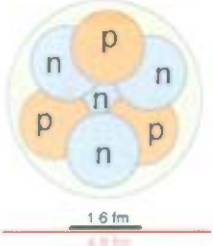


وتتالت بعد ذلك الفتوحات الكبيرة في حقل الفيزياء **خلال القرن العشرين**. ففي بدايته افترض ماكس بلانك Max Planck أن الإشعاع عبارة عن كمات صغيرة من الطاقةPhotons. التقط ألبرت أينشتاين Einstein Albert هذه النظرية ليبني عليها **افتراضه بأن كمات** quantum **الضوء تتصرف كجزيئات وشرح في نظرياته طبيعة الضوء الثنائية الموجية - الجزيئية والنسبية الخاصة والتكافؤ بين الكتلة والطاقة**، **واستدل ارنست رذرفورد** Ernest Rutherford في عام 1911 على النوى من تجربة تبعثر جزيئات ألفا من فوق رقاقة الذهب كما

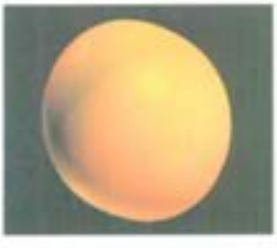
obeikandl.com

اكتشف أول دليل على وجود البروتون Proton، ثم قدم نلزبور Niels Bohr في عام 1913 نظريته في البناء الذري معتمداً على التصورات الكمومية للضوء، ثم تتالت خلال القرن العشرين وبشكل كثيف ومتلاحق أعمال العلماء في تطوير حقل الفيزياء النووية، إذ اكتشف كومبتون Compton الطبيعة الكمومية لأشعة إكس، وطور شرويدينغر Schroedinger الميكانيك الموجي، ودمج ديراك Dirac الميكانيك الكمومي والنظرية النسبية الخاصة لوصف الالكترون وافترض وجود الأجسام المضادة Antiparticles، واكتشف جيمس تشادويك James Chadwick النيوترون عام 1931، كما دمج يوكاوا Yukawa النظريتين النسبية والكمومية ليصف التفاعلات النووية، وفي أواسط القرن العشرين اقترح العالم الباكستاني عبد السلام توحيد التفاعلات الضعيفة والكهرطيسية في التفاعلات الكهرضعيفة، وتشكلت في عام 1973 نظرية كمومية للتفاعلات القوية، و أجريت في عام 1989 في مركز الأبحاث الأوروبي CERN تجارب دلت على وجود ثلاثة أجيال فقط من الجزيئات.





نواة نظير الليثيوم وتحتوي على 3 بروتونات و 4 نيوترونات، أي أن عددها الكتلي 7 .



تتألف الذرة من نواة مركزية Nucleus وألكترونات Electron ذات شحنة سالبة تدور حولها في مدارات، و تحوي النواة جسيمات دقيقة تسمَّى بروتونات Protons ذات شحنة كهربائية موجبة و نيوترونات Neutron غير مشحونة، ولكليهما الكتلة نفسها ويسمى واحدها النوية Nucleon ويتألف بدوره من جسيمات أولية تدعى الكواركات Quarks، والبروتونات مساوية بالعدد للألكترونات ومعاكسة لها بالشحنة، وبالتالي تبقى الذرة متعادلة كهربائياً، أما النيوترونات غير المشحونة فقد يتغير عددها من عنصر لآخر، **وعندما يتساوى عدد البروتونات ويختلف عدد النيوترونات في ذرات مختلفة فإنها تعرف بالنظائر** isotopes، وهناك نوعان منها، نظائر مستقرة، لا تطلق أي إشعاع، **ونظائر غير مستقرة** تطلق إشعاعات لتخفف من عدم استقرارها **وتسمى النظائر المشعة**.

ما هي القوى الأساسية؟

في الطبيعة أربع قوى أساسية:

قوة الجذب: وهي القوة الجاذبة التي تبقي الإنسان ملتصقاً بالأرض والقوى التي تربط الكواكب بعضها ببعض، ويعبر عنها قانون نيوتن الذي ينص على أن القوة الجاذبة بين أي جسمين تتناسب طرداً مع جداء كتلتيهما وعكساً مع مربع المسافة بين مركزيهما:

$$F= GX (m1 X m2) / r2$$

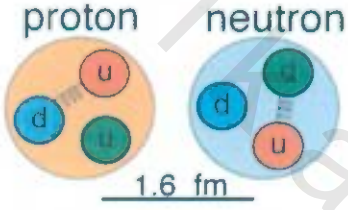
القوة الكهرطيسية: يؤثر ألكترونان متجاوران على بعضهما بقوة دافعة تسمَّى القوة الكهرمغنطيسية.

obeikandl.com

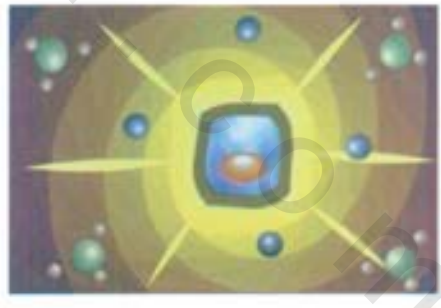
القوة الضعيفة: ينحصر عملها بإحداث انحلال بيتا الإشعاعي في النوى التي تكون فيها نسبة النيوترونات إلى البروتونات غير ملائمة للاستقرار النووي.

القوة الشديدة: وهي القوة العاملة بين الجسيمات الأولية المسماة الكواركات Quarks وهي قوى نووية دافعة ضمن المجالات القصيرة، وجاذبة في المجالات الأكبر ضمن النواة.

تتآلف النوية (بروتون أو نيوترون) من جسيمات أولية تدعى الكواركات quarks.

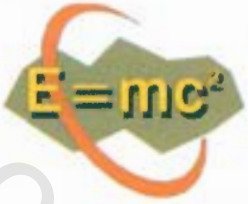


اعتقد الفيزيائيون على الدوام أن بإمكانهم تقليل عدد هذه القوى وتوحيدها بنظرية واحدة، وقضى أينشتاين جل حياته العملية في محاولة ربط هذه القوى ببعضها واعتبارها أوجه مختلفة لقوة وحيدة فائقة Superforce، ولكنه لم يستطع ذلك، ثم بين بعض العلماء في عقدي الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين أن القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية وجهان مختلفان لقوة كهربائية ضعيفة electroweak force (محاولات العالم الباكستاني عبد السلام) وما زال دأب علماء الفيزياء إلى الآن توحيد عدد هذه القوى.



ما المقصود بتكافؤ الكتلة والطاقة؟ وما هو الانشطار النووي؟

برهن أينشتاين في عام 1905 في نظريته النسبية الخاصة أن الطاقة والكتلة مفهومان لشيء واحد، وقال إننا لو استطعنا بطريقة ما تحويل كتلة

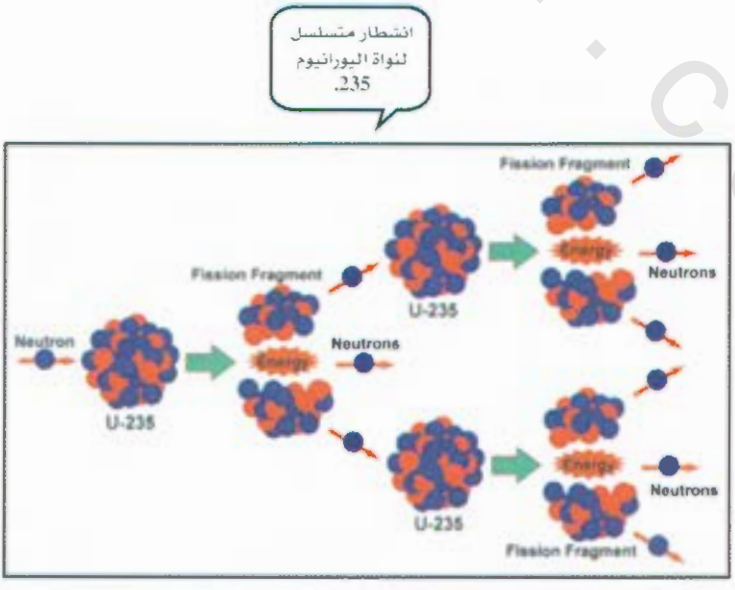


إلى طاقة لأمكن إطلاق وتحرير كميات هائلة من الطاقة، وعبر عن هذا في معادلته الشهيرة:

E (الطاقة) = m (الكتلة) X C**2 (مربع سرعة الضوء)

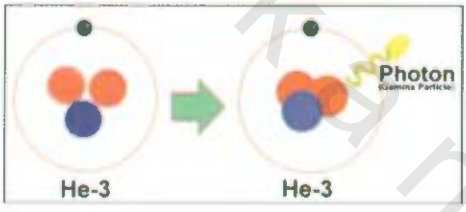
وقانون مصونية الطاقة هو في الحقيقة قانون مصونية الطاقة الكتلة معاً، ففي التفاعلات الكيميائية مثلاً لا نستطيع قياس النقص في كتلة المواد المتفاعلة لأن الطاقة المتحررة قليلة جداً وبالتالي النقص في الكتلة ضئيل جداً أيضاً، أما على مستوى التفاعلات النووية فإن الطاقة المتحررة أكبر بملايين المرات من المتحررة في التفاعلات الكيميائية ويحدث بالتالي نقص واضح في الكتلة.

وتتماسك مكونات النواة، من بروتونات ونيوترونات، بتأثير من **طاقة الارتباط النووية** التي يمكن تعريفها أنها **الطاقة اللازمة لشطر النواة إلى مكوناتها**، وترتبط هذه الطاقة ارتباطاً وثيقاً بالكتلة النووية للعنصر.



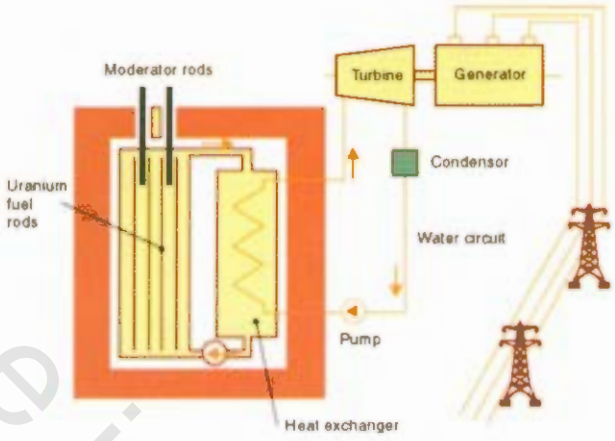
obeikandi.com

ويحدث الانشطار النووي Nuclear fission **عندما تتحطم نواة ثقيلة (عنصر ذو عدد كتلي كبير وفاعلية إشعاعية) محررة نوياتها (بروتوناتها ونيوتروناتها) بطاقة كبيرة.** يحدث هذا التفاعل خلال بضعة بيكو ثانية (**البيكو ثانية جزء من مليون مليون جزء من الثانية**.1pS=1X10*-12S) محرراً طاقة حرارية هائلة بالإضافة إلى إشعاعات بيتا وغاما، وكتلة الجزيئات الناتجة أقل من كتلة الجزيئات الداخلة في التفاعل، وفرق الكتلة هذا هو الذي تحول إلى طاقة كما تشرح ذلك معادلة أينشتاين الآنفة الذكر.



يستخدم مبدأ الانشطار النووي في القنابل الذرية والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة عن طريق إجراء تفاعل متسلسل يشبه حركة أحجار الدومينو المتساقطة، إذ يتم قصف نواة أحد نظائر اليورانيوم 235 أو اليورانيوم 238 أو نظير البلوتونيوم 234 (لسهولة انشطار نواها) بنيوترون مما يؤدي إلى زعزعة استقرارها ومن ثم انشطارها إلى نواتين متعادلتين وتحرير نيوترونات إضافية تقصف بدورها نوى نظائر يورانيوم أخرى مسببة انشطارها أيضاً وتحرير نيوترونات أكثر، وهكذا دواليك، ويتم في المفاعل النووي التحكم بسرعة التفاعل عن طريق اعتراض قضبان من فحم الغرافيت أو الكادميوم لمسار النيوترونات وامتصاصها لإبطاء التفاعل، بينما يجري التفاعل نفسه في القنبلة النووية الانشطارية بسرعة كبيرة بدون أي عائق مبطئ للتفاعل، ويحوي اليورانيوم الخام الموجود في الطبيعة نسبة قليلة جداً من نظائر اليورانيوم المشع (حوالي 7 بالألف) لذلك تتم زيادة نسبة اليورانيوم النظير المشع في اليورانيوم الخام بإضافة البلوتونيوم إليه فيما يعرف بعملية إغناء

obeikandl.com



محطة توليد كهرباء بالاعتماد على مفاعل نووي انشطاري.

الوقود الطبيعي أو تخصيب الوقود enrichment، فترتفع نسبة اليورانيوم المشع 235 بعد الإغناء إلى 3٪ للتطبيقات السلمية و90٪ للتطبيقات العسكرية، ويمكن القول بشيء من التقريب بأن كيلوغرام واحد من اليورانيوم المخْصِب والمستعمل في القنبلة النووية الانشطارية (حجمه بقدر كرة يد تقريباً) ينتج طاقة تعادل احتراق ثلاثة ملايين ونصف المليون لتر من البنزين (حجمها بقدر بناء من عشرة طوابق).

وكان أول من لاحظ أن قذف نواة اليورانيوم بالنيوترونات يؤدي إلى انشطارها وتوليد طاقة كبيرة العالمان الألمانيان ليز مايتنر Lise Meitner وأوتو فريش Otto Frisch في عام 1939، وفي العام نفسه كتب ألبرت أينشتاين إلى الرئيس الأمريكي في حينه، فرانكلين روزفلت، يحثه على الاستفادة من التطورات العلمية الجديدة ويدعوه لصنع القنبلة النووية، و خلال بضعة أعوام كانت القنبلة النووية التي اعتمدت على هذا النوع من التفاعل الانشطاري

obeikandl.com

جاهزة للاستخدام، وأنهى بها الأمريكيون الحرب العالمية الثانية وذلك في عام 1945 عندما ألقوا بالأولى في سماء هيروشيما، وبعدها بثلاثة أيام ألقوا بالثانية من ارتفاع 1.5 كم فوق ناغازاكي، مما أدى لاستسلام اليابان في حينه.

أنتجت القنبلة الأولى التي لقبت بـ «الولد الصغير» قوة تدميرية تعادل انفجار 14500 طن من الديناميت علماً أن مردودها كان 1.5٪ فقط، وقتلت 140000 ياباني، وأنتجت الثانية التي لقبت بـ «الرجل السمين» قوة تدميرية تعادل انفجار 23000 طن من الديناميت، وعملت بمردود 17٪ فقط، وقتلت 75000 شخص، وكلتاهما انفجرتا في زمن أقل من نصف مايكرو ثانية (0.0000005 ثانية).

الى يسار الصورة الولد الصغير، وزنها 4000 كغ وطولها 3 م، وإلى يمينها «الرجل السمين»، وزنها 4500 كغ وطولها 3.5 م، وسميت كذلك لضخامتها المتابهة لضخامة رئيس وزراء بريطانيا في ذلك الوقت ونستون تشرشل

ما هو الاندماج النووي؟

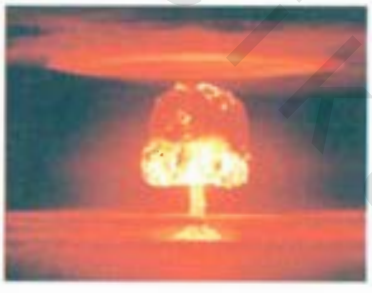
على العكس تماماً من الانشطار النووي، يحدث الاندماج النووي Nuclear fusion عندما تندمج نواتان خفيفتان (نواة عنصر ذي عدد كتلي صغير).

اندماج نواتين لنظيري الهيدروجين منتجتين هليوم وطاقة.

مشكلتَيْن نواة واحدة ذات عدد كتلي متوسط، فعندما تندمج نواتان من

أحد نظائر الهيدروجين، وهو الهيدروجين الثقيل المسمى الديتريوم، تنتج ذرة هليوم وتتحرر كمية كبيرة من الطاقة على شكل حرارة وإشعاعات. ولكي يحدث هذا الاندماج يجب رفع درجة حرارة جزيئات الديتريوم إلى قيمة عالية تمدها بطاقة حركية كافية للتغلب على قوى التنافر الكهربائية فيما بينها ومن ثم اندماج كل جزيئي ديتريوم لإنتاج الهليوم و تحرير الطاقة الهائلة. وكتلة الهليوم الناتج أقل من كتلة الديتريوم المتفاعل والنقص الكتلي هذا هو الذي تحول إلى طاقة بمقتضى قانون تكافؤ الكتلة والطاقة أيضاً لأينشتاين الذي مر آنفاً، وللمقارنة، فإن الطاقة التي ينتجها كيلوغرام واحد من الديتريوم عند تحوله إلى هليوم في التفاعل الاندماجي تعادل ستة أضعاف الطاقة التي ينتجها انشطار كيلوغرام واحد من اليورانيوم في التفاعلات الانشطارية، وجدير بالذكر أن إنتاج الطاقة في الشمس يجري وفقاً للتفاعلات النووية الاندماجية الحرارية هذه.

انفجار قنبلة هيدروجينية بقوة 10 ميغا طن (10 ملايين طن).



وكانت الولايات المتحدة قد أجرت أول تفجير يعتمد على التفاعل النووي الاندماجي في عام 1952 تجاوزت قوته التدميرية قوة انفجار 10 ملايين طن من مادة TNT وتم توليد درجة الحرارة اللازمة له عن طريق تفجير قنبلة انشطارية، أي أن القنبلة

صورة التقطت عقب انفجار «الولد الصغير» في سماء هيروشيما على ارتفاع 500 م.

obeikandl.com

النووية الانشطارية كانت عبارة عن زناد قدح فقط للقنبلة النووية الاندماجية. وللمقارنة فقط فإن مجموع ما تم استخدامه من متفجرات خلال الحرب العالمية الثانية لا تعادل قدرته التدميرية سوى 20٪ من القدرة التدميرية لهذه القنبلة الاندماجية الهيدروجينية.

وهي آثار الانفجارات النووية؟

صورة حديثة التقطت لنفس البناء فيه القنبلة الذرية، الذي ظل صامداً مذكراً بالمأساة.

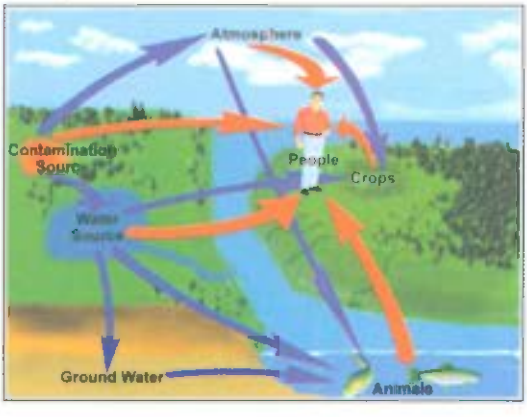
أعقب انفجار القنابل النووية فوق هيروشيما وناغازاكي موجات حرارية هائلة وموجات صدمة كبيرة أحدثت ضغطاً هائلاً، إضافة إلى حدوث تلوث إشعاعي كبير وسحب من الغبار المشع، وتراوحت إصابات سكان المدينتين بين إصابات مباشرة وإصابات على المدى البعيد، الإصابات المباشرة تراوحت أيضاً من تبخر كامل لمن كان تحت مركز الانفجار، الذي يسمى الأرض صفر Zero ground لأن الحرارة هناك وصلت إلى 4000 درجة مئوية، إلى احتراق جزئي وإقياءات وإسهالات وغثيانات بالإضافة إلى إعتام عدسات العين وفقدان خلايا الدم لمن كان بعيداً عن مركز الانفجار، كل هذا أدى تدريجياً إلى أمراض سرطانية مختلفة وتشوهات في المواليد، أما إصابات المدى البعيد فحدِّث و لا حرج عن التلوث الاشعاعي الكبير الذي شمل التربة ومصادر المياه والإنسان أيضاً.

قنبلة الرجل السمين أثناء انفجارها فوق ناغازاكي.

صورة حديثة لنصب تذكاري أقيم في مكان سقوط «الرجل السمين».

وقد تنادى العلماء عام 1980 قبل انتهاء الحرب الباردة بين الحلفين الأطلسي ووارسو لدراسة النتائج المحتملة لاندلاع حرب نووية عالمية وحدوث انفجارات نووية في بقاع متفرقة من أنحاء العالم في نفس الفترة، فافترضوا حدوث ما يسمى شتاءً نووياً Nuclear winter، يحدث فيه تصاعد سحب الغبار المشعة الناتجة عن الانفجارات إلى الغلاف الجوي مما يؤدي إلى حجب أشعة الشمس فتنخفض حرارة الأرض تدريجياً وتضعف عملية التمثيل الضوئي في النباتات والبكتريا وبالتالي تختل حلقة الغذاء و من ثم تنطفئ جذوة الحياة تدريجياً على الأرض بما فيها الإنسان نفسه، وهي نظرية تشبه النظرية التي تعلل اختفاء الديناصورات من الأرض، إذ تم الافتراض أن كوكباً اصطدم بالأرض فأدى الاصطدام إلى سلسلة الحوادث التالية نفسها، من نشوء سحب الغبار، فانخفاض درجة حرارة الأرض ومن ثم فناء بعض الأنواع.

ينقل التلوث الإشعاعي مع دورة الماء إلى الإنسان.



في المجال السلمي، ينظر العلماء إلى المفاعل النووي الاندماجي كمصدر كبير للطاقة في المستقبل نظراً للطاقة الهائلة التي ينتجها، وهي طاقة أكبر بكثير من الطاقة التي ينتجها التفاعل النووي الانشطاري، ولكن

صنع مفاعل اندماجي أمر دونه عقبتان رئيستان، أولاهما كيفية توليد درجة الحرارة العالية التي تتجاوز 10 ملايين درجة مئوية، وثانيهما إيجاد وعاء يحوي هذه الحرارة دون أن يتبخر.

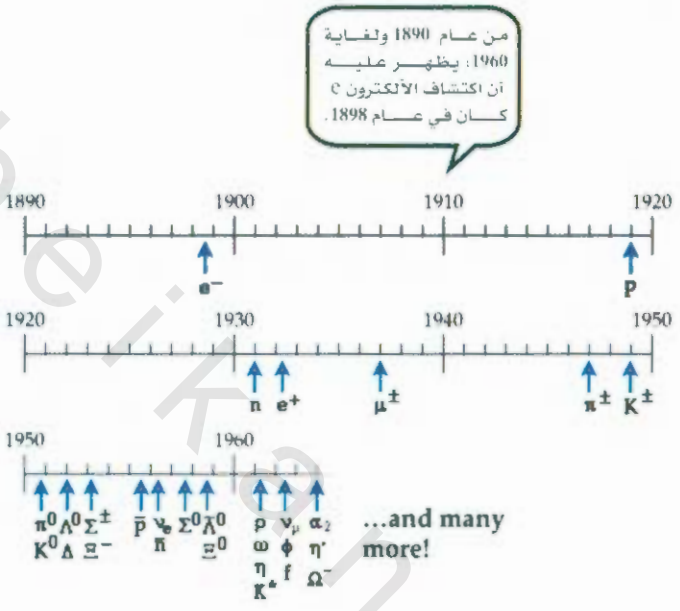
ولكن هل هذه الطاقة الهائلة نظيفة؟ ألا يوجد مضاعفات جانبية لاستخدامها السلمي؟

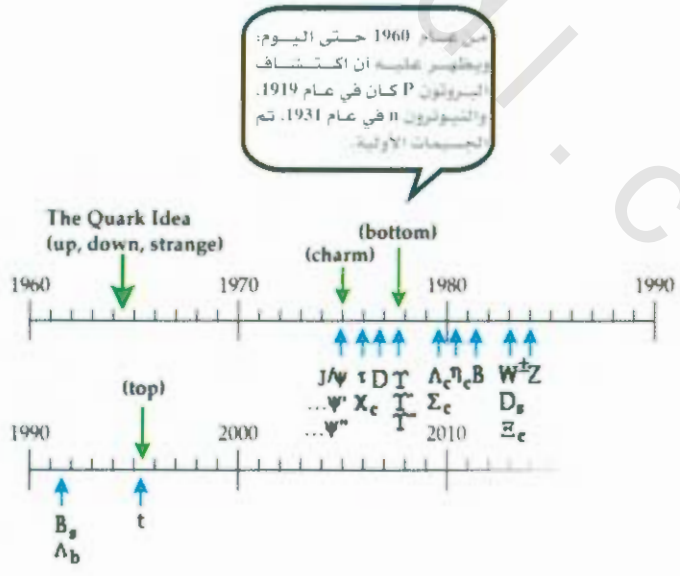
بلى، فللأسف تخلف التفاعلات النووية وراءها نفايات نووية تبقى مشعة لفترة طويلة، وهو الأمر الذي يعارضه بالكلية المدافعون عن البيئة وكل مهتم.

إنَّ إشعاع النفايات النووية يدوم آلاف السنين ويتسرب تدريجياً عبر دورة مياه الأرض إلى الإنسان مع الزمن، ووفقاً لتقرير أصدرته الأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم، فإن النفايات النووية المدفونة في الولايات المتحدة بدءاً من عام 1983 ستبقى مشعة لمدة ثلاثة ملايين سنة أخرى، ولم يتمكن العلماء إلى الآن من احتواء إشعاعات النفايات النووية بشكل كامل في أوعية كتيمة تماماً.

openkandil.com

مخططان زمنيان يبينان تاريخ اكتشاف الأجسام دون الذرية والأولية:





obeikandl.com