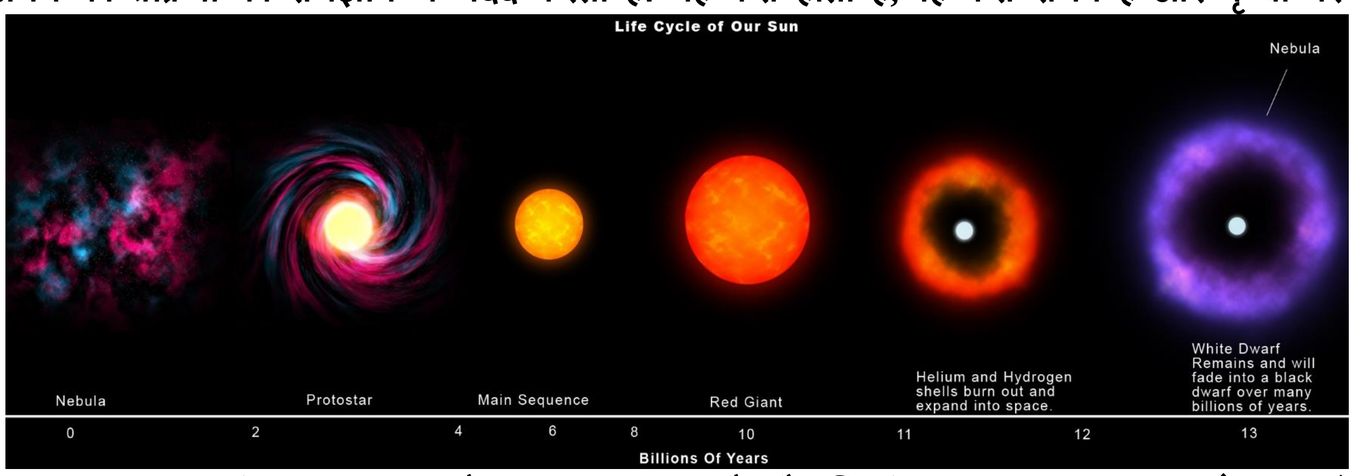
नियंत्रित ताप-नाभिकीय संलयन

परमाणु संलयन क्या है, यह कैसे होता है ?

प्लाज्मा अनुसंधान संस्थान, गांधीनगर - 382 428, गुजरात (भारत)
http://www.ipr.res.in

सितारों का जीवन चक्र, परमाणु संलयन की प्रक्रिया को समझाने में मदद करता है: यह कैसे होता है, यह कैसे संभव है और पृथ्वी पर इसे करना मुश्किल क्यों है!

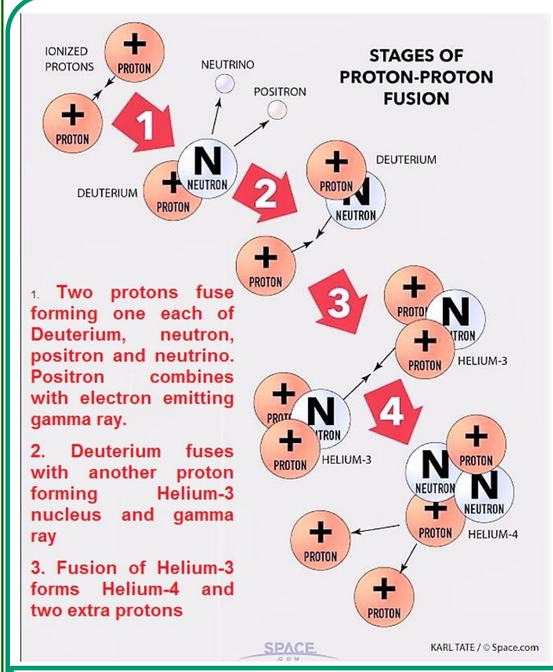
1. यह प्रक्रिया बड़े पैमाने पर गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव के तहत गैस और धूल (नेबुला) के विशाल बादलों के यकायक टकराने के साथ शुरू होती है। केंद्र की ओर उनकी गति तथा घर्षण के कारण ये कण गर्म और चमकदार होने लगते हैं और प्रोटोस्टार बनना आरंभ होता है|



4. हाइड्रोजन समाप्त होने पर संलयन कोर में बंद हो जाता है और गुरुत्वाकर्षण इसे और कोर से आगे धकेलता है। अत्यधिक तापमान और दबाव हीलियम को कार्बन में संलायित करता है। संलयन आवरण में जारी रहता है और फ़ोटोस्फ़ेयर फैलता है। सितारा लाल विशाल दैत्याकार वाला हो जाता है, जहां हीलियम-हीलियम संलयन (AGB अवस्था) होता है और इसके बाद एक सफेद बौने सितारे में बदल जाता है और अंत में एक काले बौने सितारे में बदलकर समाप्त हो जाता है।

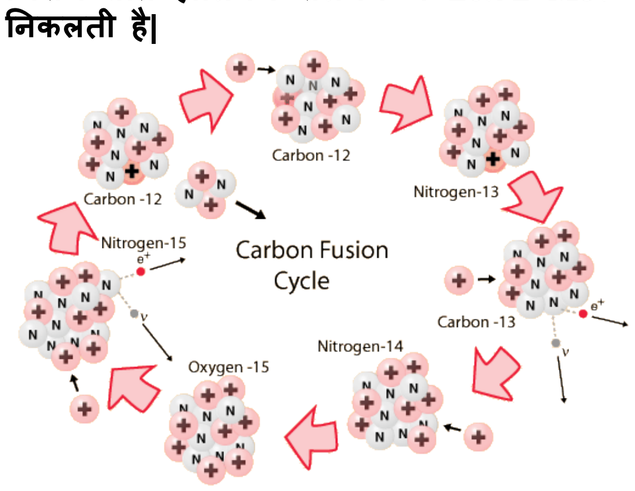
2. इस लाल गर्म मिश्रण को अधिक कसकर दबाए जाने पर तापमान और दबाव बढ़ जाता है और सितारे का जन्म होता है जिसमें दबाव इतना अधिक होता है कि प्रोटॉन-प्रोटॉन प्रतिकर्षण समाप्त हो जाता है तथा हाइड्रोजन परमाणुओं के ताप नाभिकीय संलयन द्वारा हीलियम का निर्माण होता है और प्रकाश / गामा किरणें निकलती हैं|

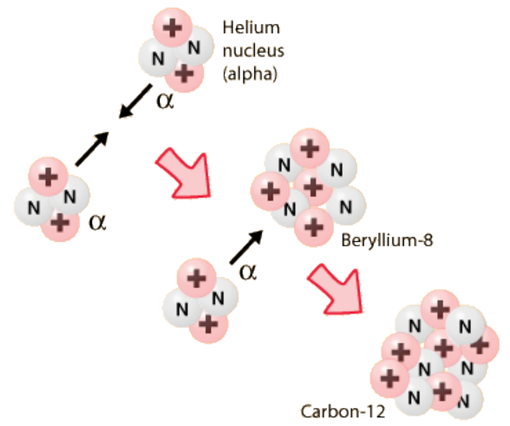
3. परमाणु संलयन के कारण अत्यधिक उच्च बाहरी दबाव गुरुत्वाकर्षण के भारी दबाव से संतुलित होता है और सितारा स्थिर अवस्था में रहता है जिसे हाइड्रोस्टेटिक संतुलन कहा जाता है



प्रोटॉन-प्रोटॉन परमाणु संलयन एक ऐसी प्रक्रिया है जो सूर्य और अन्य सितारों को ईंधन देती हैं, जिनका कोर तापमान 15 मिलियन केल्विन के नीचे हैं एवं प्रति चक्र लगभग 25 MeV ऊर्जा का उत्पादन होता है। गामा किरण को सूर्य के अंदरूनी गर्भ से बाहर आने के लिए लाखों साल लगते हैं जबकि न्यूट्रिनों को केवल 2 सेकंड लगते हैं। Quantum tunneling (क्वांटम सुरंग) वह प्रक्रिया जहां एक कण संभावित बाधा के माध्यम से सुरंगों से गुजरते हुए, अवरोध को पार कर लेते हैं, जो कि पारंपरिक भौतिकी के नियमों में संभव नहीं है, सितारों में प्रोटॉन-प्रोटॉन (पी-पी) संलयन महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

साइरस जैसे सितारे जिनका द्रव्यमान सूर्य से दोगुना और तापमान 15 मिलियन केल्विन से ज्यादा होता है, उनमें उर्जा उत्पादन कार्बन चक्र द्वारा होता है, जिसमें प्रति हीलियम संलयन में 26.72 MeV उर्जा निकलती है|

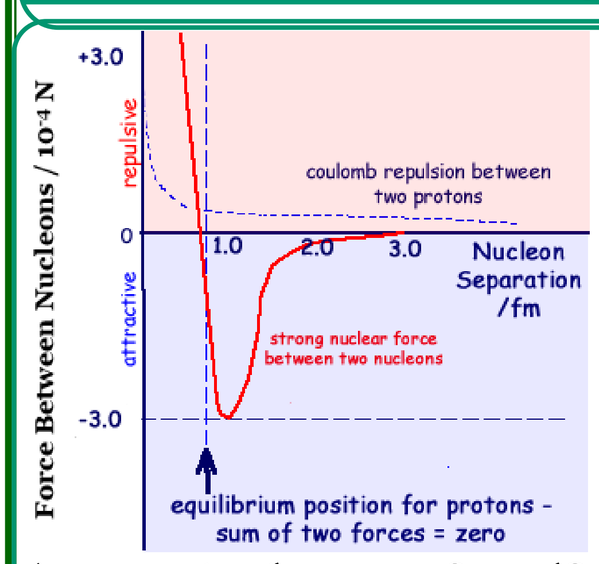




हीलियम-हीलियम संलयन बेरिलियम बनाते हैं और जब तापमान 100 मिलियन काल्विन से अधिक हो जाता है तब कार्बन संघटित होता है और ये लाल supergiant के रूप में सितारा जीवन चक्र के आखिरी चरण में चला जाता हैं।

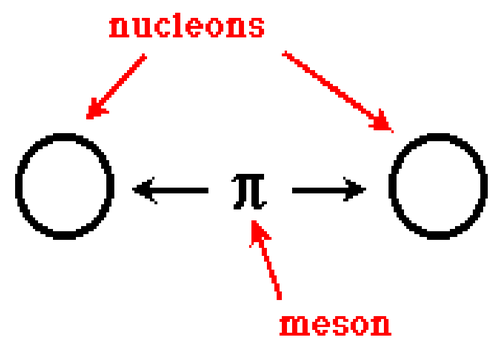
सूर्य पृथ्वी के मुकाबले 330000 गुना अधिक भारी है, जो 15 मिलियन डिग्री सेल्सियस के कोर तापमान पर मुख्य रूप से हाइड्रोजन और हीलियम से युक्त है, और यह चार अरब वर्षों से संपूर्ण पृथ्वी के लिए ऊर्जा का प्रमुख स्रोत है और आने वाले कई अरब वर्षों के लिए ऊर्जा प्रदान करता रहेगा ऐसी आशा है। सूर्य में हीलियम बनाने के लिए 620 मिलियन मीट्रिक टन हाइड्रोजन प्रति सैकण्ड जल जाता है।

क्या पृथ्वी पर इस संलयन प्रक्रिया को दोहराने के लिए आवश्यक स्थितियों को प्राप्त करना संभव है?



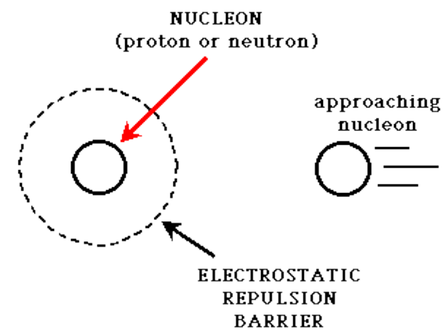
संलयन तब होता है जब कण विद्युत्स्थैतिक प्रतिकर्षण को दूर करने के लिए काफी करीब आते हैं ताकि मजबूत नाभिकीय आकर्षण बल प्रभावी होकर नाभिकीय संलयन होने दे|

छोटे विस्तार वाला नाभिकीय बल, नाभिकीय बंधन ऊर्जा से निकलता है; जब न्यूक्लियोन को नाभिक में इकट्ठा (संलयन) किया जाता है या जब वे अलग हो जाते हैं (विखंडन) तब ऊर्जा मुक्त होती है। यह ऊर्जा जो परमाणुओं के बंधनों के भीतर संघटित की जाती है, इसकी गणना $E = \Delta mc^2$ से की जाती है, जहां Δm इसके घटकों के कुल द्रव्यमान से परमाणु के नाभिक के प्रोटॉन के द्रव्यमान में अंतर है।

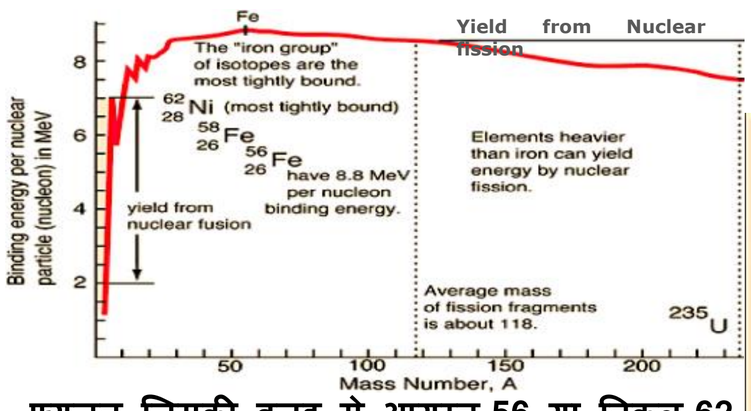


न्यूक्लियोंस के बीच कणों के आदान-प्रदान मेसोन कहते हैं, यह तब होता है जब उनके बीच की दूरी प्रोटॉन के आकार के बराबर होती है, इस समय मजबूत नाभिकिय बल कार्यरत रहता है और जब तक ऐसा होता है तब तक न्यूक्लियस बरकरार रहता है।

मेसन विनिमय के लिए 2 प्रोटॉन / नाभिक को पर्याप्त नजदीक लाने के लिए उन्हें बहुत तेज़ी एक दूसरे से टकराना होता है, और यह क्रिया पर्याप्त उच्च तापमान पर या भारी दबाव में होती है।

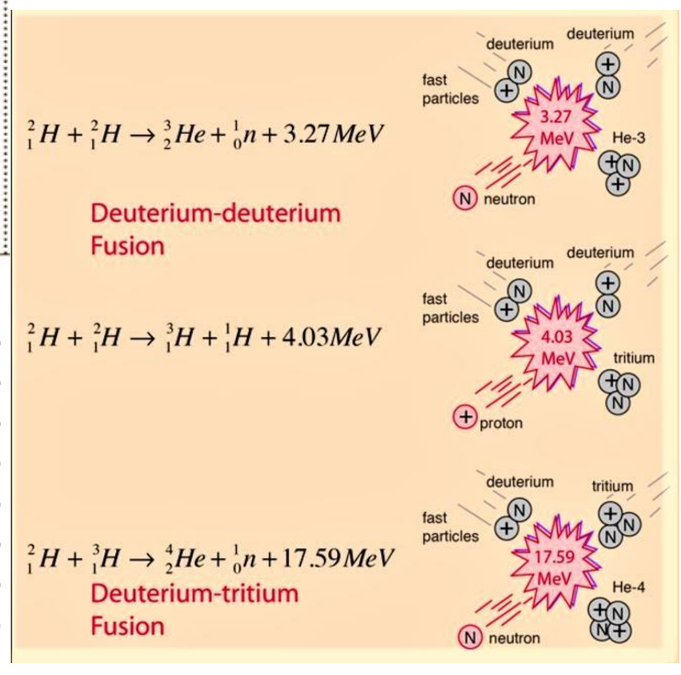


नाभिक में न्यूट्रॉन की उपस्थिति प्रोटोन-प्रोटोन के बीच प्रतिकर्षण बल को कम करती है, जिससे वे एक दूसरे के पास-पास नाभिक में रह सकें| इसके आलावा न्यूट्रॉन नाभिकीय बंधन उर्जा में मेसन विनिमयन के दौरान सहायता भी करते हैं|

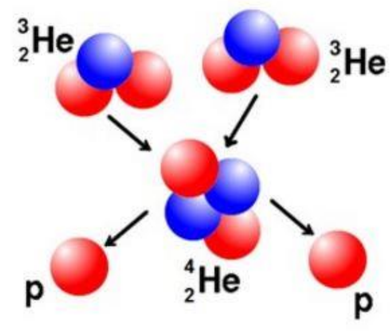


फ्यूजन जिसकी वजह से आयरन-56 या निकल-62 की तुलना में नाभिक हल्का होता है, जिसमें प्रति न्यूक्लियोन सबसे कम द्रव्यमान और सबसे अधिक बंधन ऊर्जा हैं, वे exothermic होती है और ऊर्जा को रिलीज़ करती है। इनकी तुलना में भारी endothermic प्रक्रियाएं हैं। विखंडन के मामले में यह स्थिति ठीक विपरीत है। इस प्रकार हाइड्रोजन और हीलियम जैसे हल्के तत्व सामान्य रूप में फ्यूज होते हैं जबकि भारी तत्व, जैसे यूरेनियम और प्लूटोनियम, अधिक विखंडनीय उत्सर्जन ऊर्जा हैं।

ऐसी परिस्थितियां जिनमें ईंधन अत्यधिक तापमान पर तीव्र दबाव/घनत्व में पर्याप्त समय तक रहता है (जैसे सितारों में) जिससे नाभिकीय संलयन संभव हो पाता है, यह परिस्थिति पृथ्वी पर उत्पन्न करना असंभव है।



उपलब्ध प्रौद्योगिकियों में हाइड्रोजन के दो आइसोटोप ड्यूटेरियम (D) और ट्रिशियम (T), के बीच सबसे संभावित संलयन प्रक्रिया है। D-T प्रतिक्रिया में 17.6 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट उर्जा का उत्पादन होता है, जो कि द्रव्यमान के हिसाब से यूरेनियम फ्यूजन से उत्पन्न उर्जा का चार गुना है। D-D फ्यूजन जिसे अत्याधिक उच्च तापमान की आवश्यकता होती है, वह उर्जा का अन्य स्रोत है जिससे 3-4 MeV उर्जा और ट्रिशियम प्राप्त हो सकता है



हीलियम-3 फ्यूजन, धरती पर संलयन का सबसे उज्ज्वल भविष्यवादी दृष्टिकोण है। इस प्रक्रिया में कोई न्यूट्रॉन उत्पन्न नहीं होने के कारण कोई विकिरण नहीं होता। उत्पन्न प्रोटॉन आसानी से नियंत्रित किये जा सकते हैं और बिजली की तरह सीधे ऊर्जा निष्कर्षण कर सकते हैं। हालांकि H -3 पृथ्वी पर मौजूद नहीं है, लेकिन यह चंद्रमा में प्रचुर मात्रा में है।

सन् 1937 में जब से प्रोफेसर हंस बेथ ने सितारे की शक्ति के पीछे परमाणु संलयन होने के रहस्य का विस्तार से पता लगाया, तब से उसका नियंत्रित रूप नवीन खोज का विषय बना हुआ है और इसे व्यावहारिक रूप देने के लिए अधिक परिमाण में सैद्धांतिक और तकनीकी उन्नति प्राप्त की गई है। लॉसन मानदंड तक पहुंचने के लिए अब तक कई प्रयोग किये गये है। इसमें पिछले 30 सालों में 100,000 गुना से अधिक प्रगति हुई है और जो इसे वास्तविक बनाना सुनिश्चित करता है, जोकि एक सामयिक प्रक्रिया के रूप में भविष्य में दूर नहीं है!

Illustrations owed to Internet websites and readily available on image search with related keywords