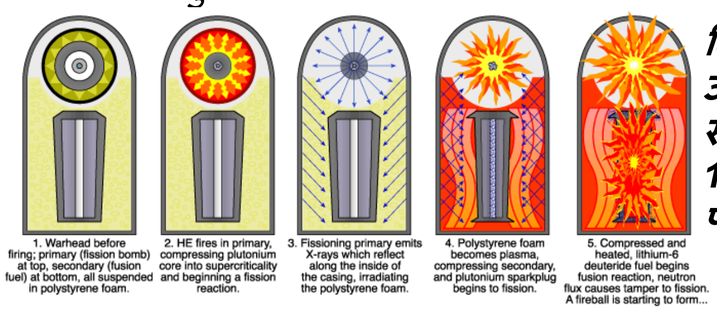
नियंत्रित ताप- नाभिकीय संलयन

अनंत व अविरल नाभिकीय संलयन शक्ति सिर्फ एक दशक दूर

प्लाज़्मा अनुसंधान संस्थान, गाँधीनगर- 382 428, गुजरात (भारत)

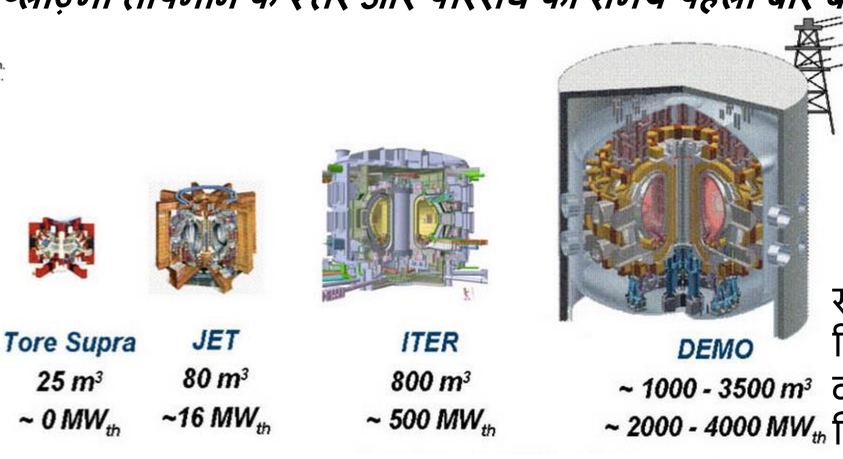
http://www.ipr.res.in

दुर्गम वैज्ञानिक व तकनीकी चुनौतियों के साथ-साथ नियंत्रित नाभिकीय संलयन कार्यन्वित करने में होने वाली लागत ने देशों को मिलकर कार्य करने पर प्रेरित किया है। अर्जित विस्तीर्ण ज्ञान और सबसे आधुनिक तकनीकी प्रगति के परिणामस्वरुप अगले दो दशकों में इस प्रक्रिया को पूरी तरह से उपयोग में लाने का आशावादी दृष्टिकोण आ गया है।

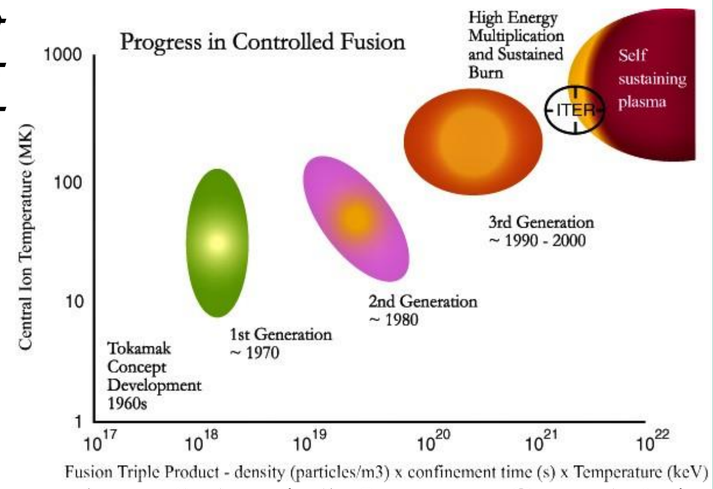


नियंत्रित नाभिकीय संलयन (सीएनएफ) अनुसंधान को उनकी पहली उपलब्धि 1950 में रूसी वैज्ञानिकों द्वारा 'टोकामैक' के आविष्कार के साथ मिली। सबसे पहला अवसर 1968 में हासिल किया गया था जब 1998 में पहले टोकामैक टी-1 में प्लाज़्मा संलयन के दो प्रमुख मानदण्ड- प्लाज़्मा तापमान के स्तर और परिरोध का समय पहली बार बढ़े थे।

1958 तक संलयन अनुसंधान एक वर्गीकृत नाभिकीय शस्त्र विकास कार्यक्रम था। पहले हाइड्रोजन बम, आईवी माइक को 1952 में विस्फोटित किया गया था। एक वितरण प्रणाली, TX-16/EC-16 प्रणाली को 1954 में विकसित किया गया था। यह प्रक्रिया मूल रुप से क्रायोजनिक तरल ड्यूटिरियम को संलयन ईंधन के रुप में इस्तेमाल करती है और संलयन को करने के लिए नाभिकीय विखंडन प्रक्रिया को शुरु करने के लिए व आवश्यक दाब और तापमान को प्राप्त करने के लिए की जाती है।



बीतें दशकों में टोकामैकों का विकास और भविष्य में इसकी संभावनाएँ

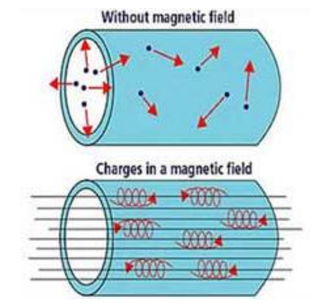


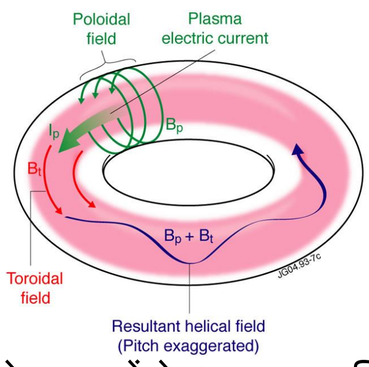
सीएनएफ के अनुसंधान में टोकामैकों की अहम भुमिका होती है। विभिन्न टोकामैकों से प्राप्त डाटा कई दशकों में हुई प्रगति को दर्शाता है। आगे की मशीनों में रोज़ाना के प्रचालनों में 100 मिलियन केल्विन से अधिक का तापमान होता है और जीईटी 0.7 की संवर्धित ऊर्जा के साथ ब्रेक इवन तक पहुँच चुकी है।

स्थिर संलयन प्रतिक्रिया को गर्म उच्च घनत्त्व प्लाज़्मा परिरोधन द्वारा विभिन्न तरीकों से प्राप्त किया जा सकता हैं:- मुख्यत: चुम्बकीय (एमसीएफ) एवं जड़त्वीय (आईसीएफ) परिरोधन

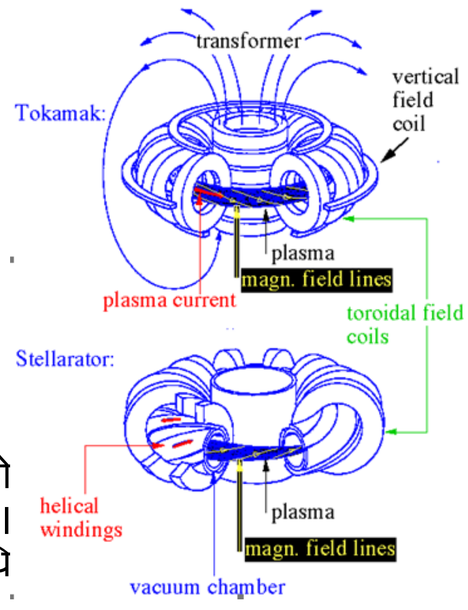
कई तरह के चुम्बकीय परिरोधन प्रणालियाँ हैं, सबसे महत्त्वपूर्ण टोकामैक, स्टैलेटर्स व रिवर्स्ड फिल्ड पिंच (आरएफपी) उपकरण हैं।

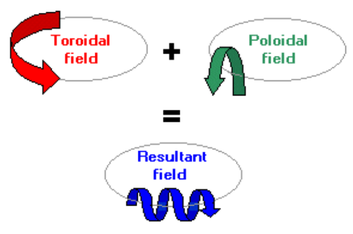
चुम्बकीय परिरोधन की मौलिक प्रक्रिया है जो शक्तिशाली चुम्बकीय क्षेत्रों का उपयोग करके उच्च घनत्व उच्च तापमान को पोत की दीवार तक जाने से रोकना।





आयन और इलेक्ट्रॉन, चुम्बकीय क्षेत्र लाइनों के आसपास घुर्णित हो जाते हैं जो डिज़ाइन द्वारा, निर्वात पात्र के मध्य में केंद्रित है। प्लाज़्मा घनत्व एवं परिरोधन, चुम्बकीय क्षेत्र के बल और अवधि पर निर्भर करतें हैं।

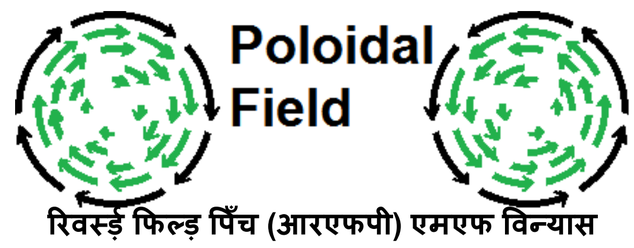




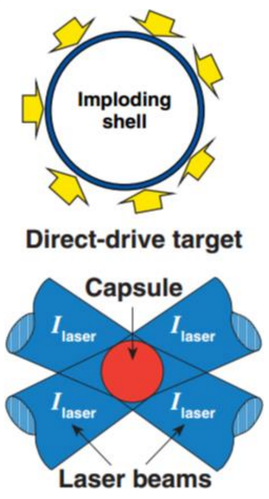
टोकामैकों के पास निर्वात पात्र के रुप में एक टोरोइड (अंतहीन पाइप) है। गर्म प्लाज़्मा को परिसिमित और आसित रखने के लिए उचित मात्रा में वितरित और टोरोइड के केंद्र में रखे उच्च तीव्रता वाले चुम्बकीय क्षेत्र कॉइल क्षेत्र लाइनों को सुकेंद्रित करते हैं।

स्टैलेटर चुम्बकीय परिरोधन विन्यास 1951 में विकसित किया गया था। घुमते हुए चार्ज कणों को मशीन के लंबे अक्ष के साथ घुमावदार रास्तों पर जाने दिया जाता है। यह टोकामैकों में देखी गई अस्थिरता को समाप्त कर देता है और आगे इन्हें ऊँचे स्तर तक तापित करने के लिए चार्ज कणों को लंबे समय तक सिमित रखता है। इसकी कमी कुंडल विन्यास की जटिलता है।

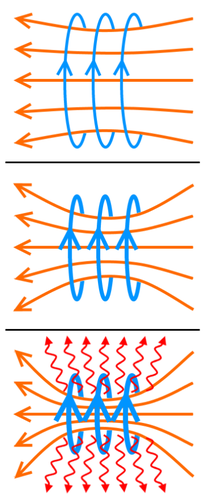
आरएफपी विन्यास टोकामैक के समान है किंतु टीएफ का त्रिज्य अक्ष के साथ उसकी दिशा के विपरित होने के कारण चुम्बकीय क्षेत्र दस गुना कमज़ोर है। इसके परिणामस्वरूप कई सकारात्मक विशेषताएँ जैसे उच्च द्रव्यमान शक्ति घनत्व, ठोसपन, कम या ना के बराबर न्युट्रॉन शिल्डिंग के कारण कम लागत और रखरखाव प्राप्त होता है। आरएफपी में अकेले ही ओमिक तापन द्वारा ज्वलन प्राप्त करने की क्षमता है, जहाँ प्लाज़्मा से धारा गुज़रने से उसे प्रतिरोधक रुप से गर्म रखता है। इस डिज़ाइन की कमी इसकी सतह अस्थिरता है।



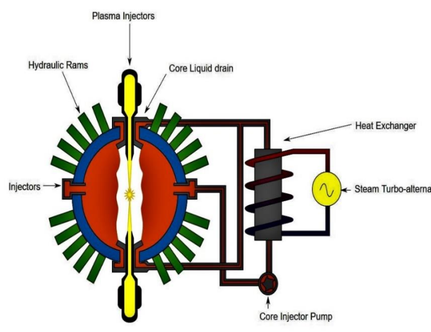
रिवर्स्ड़ फिल्ड़ पिँच (आरएफपी) एमएफ विन्यास



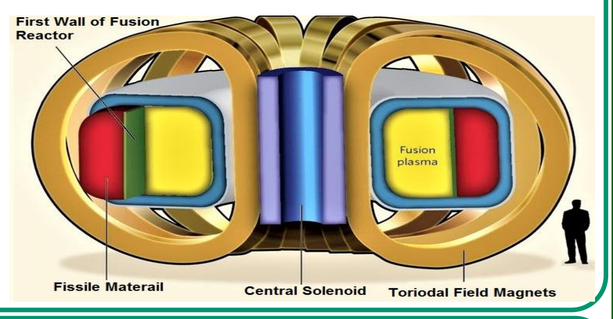
इनर्शियल संलयन में संलयन अभिक्रिया के लिए उपयुक्त अति घने प्लाज़्मा को उच्च शक्ति लेसरों द्वारा ठोस ड्युटेरियम-ट्रिशियम पैलेटों के अंत:स्फोट से उत्पन्न किया जाता है। प्लाज़्मा का संपीड़न अति उच्च घनत्व में होता है और चिंगारी प्रज्वलन होता है।



Z-पिंच एक और संकल्पना है जो उच्च चुंबकीय क्षेत्र और एक्स-रे को उत्पन्न करने के लिए प्लाज़्मा से तेज विद्युत धारा का उपयोग करता है। संपीड़न से एक छोटे डी-टी ईंधन पैलेट से ज़ेड़ अक्ष पर संलयन की स्थिति प्राप्त होती है। न्यु मेक्सिकों में सेंडेलिया नेशनल लैबोरेटरिज़ में स्थित ज़ेड-मशीन एक उदाहरण है।

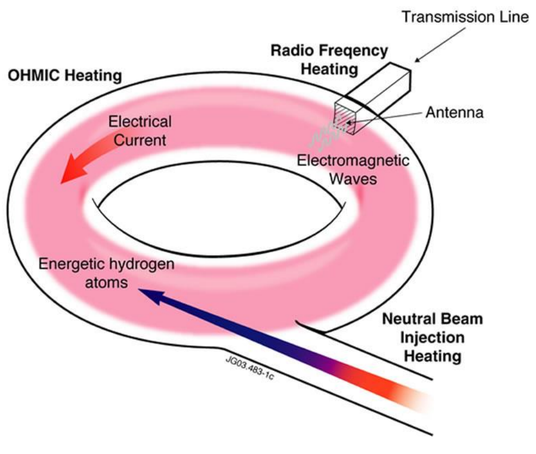


चुंबकीय लक्ष्य संलयन (एमटीएफ) एमसीएफ एवं आईसीएफ दोनों को जोड़ती हैं। कम घनत्व पर संलयन ईंधन एमएफ द्वारा सीमित किया जाता है और प्लाज़्मा पर गर्म किया जाता है। आईसीएफ द्वारा संलयन ईंधन घनत्व और तापमान तक पहुँचने के लिए लक्ष्य को तेज़ी से निचोड़कर संलयन की शुरूआत की जाती है। लंबे परिसिमित समय और बेहतर ताप अवरोधन का संयोजन संलयन में सहायता और मशीन के निर्माण को आसान बनाता है। अन्य किंतु अधिक विस्तृत संस्करण है मेंगेटो-इनर्शियल संलयन (एमआईएफ)।

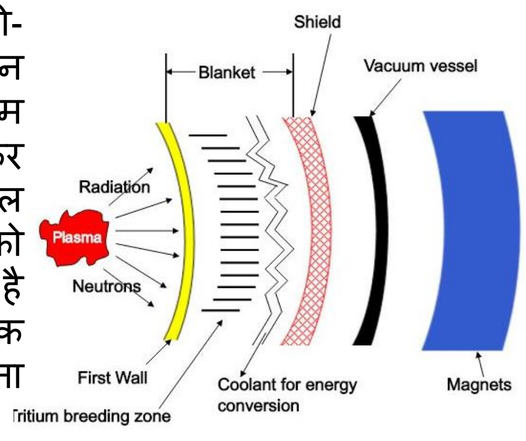


संकरित नाभिकीय संलयन-विखण्डन (संकरित नाभिकीय शक्ति) एक अत्यधिक आशाजनक प्रस्ताव है जिसमें नाभिकीय संलयन एवं विखण्डन प्रक्रियाओँ के संयोजन का प्रयोग किया जाता है। एक संलयन रिएक्टर से उच्च-ऊर्जा तेज़ न्युट्रॉनों का उपयोग U-238 या Th-232 जैसे गैर विखण्डनिय ईंधनों में विखण्डन प्रेरित करने के लिए किया जाता है। कई विखण्डन की घटनाएँ प्रेरित होके प्रत्येक संलयन प्रतिक्रिया से जारी ऊर्जा को कई गुना बढ़ा सकती हैं। इससे संलयन शक्ति के संदर्भ में किफायती हो जाएगा और पारंपरिक विखण्डन रिएक्टरों में ना उपयोग होने वाले ईंधन को जलाएगा। यहां तक कि विखण्डन, अवशिष्ट संकर संकल्पना के रुप में ईंधन प्राप्त किया जा सकता है।

किनारों पर हुए नुकसान की भरपाई के लिए संलयन प्लाज़्मा को भी गर्म किया जाना चाहिए। न्युट्रल बीम, रेडियो आवृत्ति एवं ओमिक तापन तीनों मुख्य तकनीकों को नियोजित किया जाता है।



वर्तमान में टोकामैक के साथ डी-टी संलयन संकल्पना में संलयन द्वारा उत्पन्न न्युट्रॉन लिथियम ब्लैंकेट में अवशोषित होकर ट्रिशियम व हीलियम में तबदील हो जाता है। लिथियम भी ताप को शीतलक में स्थानांतरित करता है जो फिर से टरबाइन में पारंपरिक तरीके से शक्ति उत्पन्न करता है।



सीएनएफ प्रणालियों को यांत्रिक, तापीय, विद्युत चुंबकीय, न्यूट्रॉन प्रवाह एवं निर्वात संबंधित तनाव को कम करने के लिए उच्च कोटि अभियांत्रिकी की **आवश्यकता** है। सुपर कंडक्टर चुम्बकों, अति उच्च निर्वात उत्पादन, लिथियम ब्लैंकेट, डाइवर्टर प्रणाली के लिए क्रायोजनिक परिस्थितियाँ हैं जहाँ अग्रिम प्रौद्योगिकी लागू होती है। प्लाज़्मा अस्थिरता व दीवार-प्लाज़्मा अंत:क्रिया मुद्दों पर सैद्धांतिक एवं प्रायोगिक उत्तरों की निरंतर जाँच की जा रही है। प्रणालियों और उप-प्रणालियों के रिमोट कंट्रोल अन्य क्षेत्र हैं जिन्हें ठीक करने की आवश्यकता है।

संलयन संबंधित प्रौद्योगिकियों में सराहनीय प्रगति की गई है। टीएफटीआर एवं जेईटी को डीटी ईंधन के साथ संचालित किया गया है। इटर-एक बहु राष्ट्रीय प्रयास है जिसमें भारत शामिल है जिसे 2021 तक शुरू किया जाएगा। बाद में यह 50 MW के कुल इनपुट के साथ 500 MWशक्ति का आउटपुट देंगे। इटर की सफलता के पश्चात् यह उम्मीद है कि अगले चरण, डीईएमओ से संलयन से विद्युत शक्ति के उत्पादन को प्राप्त किया जा सकेगा।