क्रायोजेनिक्स

अतिनिम्न ताप प्राप्त करने की तकनीक

डॉ ओउम प्रकाश शर्मा

उप निदेशक,

नेशनल सेंटर फॉर इन्नोवेसन्स इन डिस्टेन्स एड्युकेशन,

इन्दिरा गांधी नेशनल ओपन यूनिवर्सिटी, नई दिल्ली

ई मेल: opsharma@ignou.ac.in

Website: www.worldofscience.in

www.vigyanapkeliye.in

क्रायोजेनिक्स

अतिनिम्न ताप प्राप्त करने की तकनीक

- इस वर्ष के शुरुआत में इसरो ने स्वदेशी क्रायोजेनिक इंजन वाले जीएसएलवी डी-5 के द्वारा जीसैट-14 संचार उपग्रह को सफलतापूर्व उसकी कक्षा में स्थापित किया
- इसी के साथ भारत उन देशों के क्लब में शामिल हो गया है, जिनके पास क्रायोजेनिक तकनीक है।
- भारत के लिए यह एक बड़ी उपलब्धि है, जो कि लगभग 20 सालों की मेहनत का फल है। इससे पहले तीन बार ये क्रायोजेनिक इंजन नाकाम रहा।

क्या है क्रायोजेनिक तकनीक?

- क्रायोजेनिक तकनीक एक 'निम्नतापकी' तकनीक है, जो कि ऑक्सीजन और हाइड्रोजन जैसे गैसीय इंधनों को तरल यानी लिक्विड ईंधन में परिवर्तित करने में सहायक होती है।
- क्रायोजेनिक का उदगम यूनानी शब्दों *क्रायोस* (kryos) तथा *जेनिक* (genic) से बना है। *क्रायोस* का अर्थ होता है शीत यानी बर्फ की तरह ठंडा तथा *जेनिक* का अर्थ होता है पैदा करना ।
- इस शब्द का सबसे पहले उपयोग नीदरलेंड के प्रो केमर्लिंग ओन्न्स ने 1894 में किया था। उन्होने इसका इस्तेमाल ऑक्सिजन, नाइट्रोजन, हाइड्रोजन तथा हीलियम जैसी स्थाई गैसों के शीतलन द्वारा तरलीकरण के संदर्भ में किया गया था।
- क्रायोजनिक को तुषारजनिकी भी कहते हैं और यह शून्य से 238 डिग्री फॉरेनहाइट कम ताप पर कार्य करती है। -238 डिग्री फॉरेनहाइट को क्रायोजेनिक तापमान कहा जाता है।

क्या है क्रायोजेनिक तकनीक?

- वैसे क्रायोजेनिक अवस्था के लिए कोई निर्धारित ताप परास नहीं है, लेकिन -238 डिग्री फारेनहाइट से परम शून्य ताप यानि -459.67 डिग्री फारेनहाइट तक क्रायोजेनिक अवस्था प्राप्त की जा सकती है।
- अतिशीतलन यानी सुपरकूलिंग और क्रायोजेनिक में अंतर होता है. दरअसल, जब किसी द्रव या गैस को बिना ठोस बनाये ही उसका ताप हिमांक से कम कर दिया जाता है तो इसे अतिशीतलन (supercooling) कहते हैं।
- अधिकांश द्रव ऐसे होते हैं जिनको यदि किसी पूर्णतः स्वच्छ बर्तन में बहुत धीरे-धीरे ठंडा किया जाए तो वे बिना क्रिस्टलीकृत हुए अपने सामान्य हिमांक से नीचे तक पहुँच जाते हैं।

क्रायोजेनिक तकनीक का विकास

- क्रायोजेनिक तकनीक का विकास उन्नीसवीं शताब्दी में वैज्ञानिव द्‍वारा स्थाई गैसों के द्रवीकरण के लिए प्रयासों का परिणाम है
- १८४५ में माइकल फेराडे ने कई गैसों का शुष्क वर्फ में डुबोकर और फिर अत्यधिक दवाव डालकर द्रव अवस्था में लाने में सफलता प्राप्त की।
- उसके बाद कई वर्षों वायु के द्रवीकरण के लिए प्रयास करने के बाद १८७७ में फ्रांस के लुईस कैलेटेट और स्विट्‍जरलैंड के राउल पिक्टेट को तरल वायु की एक बूँद प्राप्त करने में सफलता मिली।
- उसके बाद १८८३ में व्रोब्लेव्सकी ने तरल ऑक्सीजन और तरल नाइट्रोजन प्राप्त करने में सफलता प्राप्त की।
- १८८५ में डच वैज्ञानिव केमर्लिंग ओन्स ने -४५२ ^{0}F पर हीलियम गैस का तरलीकरण सफलता प्राप्त की।

क्रायोजेनिक तकनीक का विकास

- द्वितीय विश्वयुद्ध के दौरान तो क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग की तरफ काफी ध्यान गया। उस समय ऑक्सीजन और हाइड्रोजन गैसीय इंधनों को तरल ईंधन में बदल कर रॉकेट के इंजन में इस्तेमाल करने लायक बनाने की दिशा में रूस सहित कई अन्य देशों ने कार्य किया है।
- इस समय लार्ज हेड्रान कोलाइडर दुनियाँ का सबसे बड़ा क्रायोजेनिक सिस्टम है। इसमें लगी इलेक्ट्रोमेगनेट्स -271.1 ^{0}C ताप पर कार्य करती हैं।

कैसे प्राप्त करते हैं क्रायोजेनिक ताप?

कम ताप प्राप्त करने के लिए मुख्यतया चार विधियाँ इस्तेमाल की जाती हैं:

उष्मीय चालन द्वारा शीतलन :

- वस्तु को या तो सीधे क्रायोजेनिक तरल में डुबो दिया जाता है या फिर क्रायोजेनिक ताप वाले वातावरण में रख दिया जाता है.
- इस तरह, उष्मीय चालन के द्वारा वह वास्तु भी ठंडी होने लगती है।

कैसे प्राप्त करते हैं क्रायोजेनिक ताप?

वाष्पीकरण द्वारा शीतलन :

- गैसीय अवस्था की अपेक्षा तरल अवस्था में अणुओं – परमाणुओं की उर्जा कम होती है ।
- इसीलिए जब किसी द्रव का वाष्पीकरण होता है तो इसकी सतह पर मौजूद अणु-परमाणु आस पास के द्रव से इतनी ग्रहण कर लेते हैं कि उनका वाष्पीकरण होने लगता है
- परिणामस्वरूप बचे हुए द्रव की ऊर्जा कम हो जाती है और उसका ताप गिरने लगता है।

त्वरित प्रसार द्वारा शीतलन :

- जूल-थामसन प्रभाव के आधार पर कार्य करती है।
- इस विधि में किसी संपीडित गैस के आयतन में तेजी से बढ़ोत्तरी करके अथवा एकदम से दाब कम करके ताप कम किया जा सकता है।
- आमतौर से इसका इस्तेमाल रेफ्रिजरेटरों तथा एयर कंडिशनर में किया जाता है ।

कैसे प्राप्त करते हैं क्रायोजेनिक ताप?

- **रुद्धोष्म विचुम्बकीकरण द्वारा शीतलन**
- यह विधि एडियावेटिक डिमेग्नेटाईजेसन के सिद्धांत पर कार्य करती है ।
- इसमें ऊष्मा अवशोषण के लिए पैरामेग्नेटिक पदार्थ का इस्तेमाल किया जाता है।
- पैरामेग्नेटिक पदार्थ बहुत छोटे छोटे चुमकों का समुह होता है। सामान्यतया ये छोटे –छोटे चुम्बक अलग अलग दिशाओं में निर्देशित होते हैं, इसीलिए ये समूह चुम्बक की तरह व्यवहार नहीं करता है ।
- लेकिन जब उस पदार्थ को इलेक्ट्रोमेग्नेट द्वारा पैदा किये गए चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो इसके प्रत्येक लघु चुम्बकों के उत्तरी ध्रुव एक दिशा में आ जाते हैं .
- जब इलेक्ट्रोमेग्नेट को बंद किया जाता है तो ये लघु चुम्बक पुनः अलग अलग दिशाओं में आना चाहते हैं,
- इसके लिए आवश्यक ऊर्जा वे आस पास के द्रव से लेते हैं, परिणामस्वरूप द्रव का ताप कम हो जाता है ।

क्रायोजेनिक ताप पर पदार्थों का बदलता व्यवहार

अत्यधिक कम ताप पर कुछ पदार्थों के गुणों में विचित्र परिवर्तन आ जाते है जैसे कि:

- ताप घटने के साथ बहुत सी धातुओं ओर सिरेमिक पदार्थों का विद्युत् प्रतिरोध भी कम हो जाता है, यहाँ तक कि एक क्रांतिक ताप के बाद कुछ धातुओं का प्रतिरोध बिलकुल ही ख़त्म हो जाता है और वे अतिचालक बन जाती हैं।
- क्रायोजेनिक ताप पर अधिकांश पदार्थों की आणविक संरचना मजबूत हो जाती है और वे बाहरी टूट फूट के प्रति अधिक सशक्त हो जाते हैं। इससे वे पहले से ठोस और मजबूत हो जाते हैं ।
- क्रायोजेनिक ताप पर अधिकांश पदार्थों की भंगुरता बढ़ जाती है । जैसे कि रबर और अधिकांश प्लास्टिक पदार्थ एवं कुछ धातुएं क्रायोजेनिक ताप पर भंगुर हो जाती हैं।
- क्रायोजेनिक ताप पर बहुत से पदार्थ सिकुड़ जाते हैं ।

क्रायोजेनिक ताप पर पदार्थों का बदलता व्यवहार

- क्रायोजेनिक ताप पर कुछ पदार्थों की श्यानता बिलकुल ख़त्म हो जाती है। जैसे कि लगभग परम शून्य के आस पास तरल हीलियम की श्यानता बिलकुल खत्म हो जाती है और यह अतितरलता की अवस्था में आ जाती है।

- क्रायोजेनिक ताप पर बहुत से बहुतसे पदार्थों की उष्मीय चालकता बढ़ जाती है जैसे कि हीलियम की उष्मीय चालकता चांदी और ताम्बे की चालकता से कई सो गुना बढ़ जाती है।

क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग

- क्रायोजेनिक तकनीक की मदद से इतने कम तापमान का उपयोग करने वाली प्रक्रियाओं और उपायों का अध्ययन किया जाता है।
- क्रायोजेनिक तकनीक के द्वारा अत्यंत कम तापमान पर धातुओं और एनी पदार्थों के आश्चर्यजनक व्यवहार के अध्ययन के अलावा इलेक्ट्रॉनिक तत्वों पर रेफ्रीजरेसन यानि प्रशीतन के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है।
- क्रायोजेनिक तकनीक का मुख्य प्रयोग रॉकेटों में किया जाता है, जहाँ ईंधनों को क्रायोजेनिक तकनीक से तरल अवस्था में परिवर्तित कर लिया जाता है।
- राकेट प्रक्षेपण के लिए हल्का और अधिक ऊर्जा देने वाले ईंधन के रूप में हाईड्रोजन और ऑक्सीजन को तरल अवस्था में लेन के लिए क्रायोजेनिक तकनीक का उपयोग होता है
- क्रायोजेनिक इंजन में तरल हाइड्रोजन गैस ईंधन का कार्य करती है जबकि तरल ऑक्सीजन एक ऑक्सीकारक का कार्य करती है।

क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग

- भारत में ही निर्मित स्वदेशी जीएसएलवी डी-5 राकेट के तीसरे चरण में एक क्रायोजेनिक इंजन का इस्तेमाल हो रहा है, जिसमें तरल हाइड्रोजन और तरल ऑक्सीजन का इस्तेमाल होता है।
- अधिक वज़न वाले उपग्रहों को प्रक्षेपित करने के लिए क्रायोजेनिक इंजन की सख़्त ज़रूरत पड़ती है।
- तरल हीलियम का उपयोग अंतरिक्ष में घूम रहे इन्फ्रारेड दूरदर्शियों को ठंडा रखने के लिए भी किया जाता है ।
- क्रायोजेनिक तकनीक का सबसे महत्वपूर्ण उपयोग वायु के अतिशीतलन द्वारा ऑक्सीजन, नाइट्रोजन तथा अन्य गैसों को अलग अलग प्रोप्त करना है।
- इसके लिए वायु को अत्यंत कम ताप तक ठंडा किया जाता है, ऐसा करने से ऑक्सीजन, नाइट्रोजन तथा अन्य गैसें विभिन्न तापों पर तरल अवस्था में आ जाती है । फ्रेक्सनल डिस्टलेसन के द्वारा उन्हें एक एक कर अलग कर लिया जाता है ।

क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग

- तरलीकृत गैसों का उद्द्योग एवं चिकित्सा के क्षेत्र में शीतलक के रूप में काफी उपयोग किया जाता है।
- लिक्विड एसिड परिवहन के लिए साधारण टैंकर का ज्यादा इस्तेमाल किया जाता है, जिनकी चद्दर इतनी पतली होती है कि बाहर की गर्मी और अंदर एसिड के तापमान से टैंक फटने का अंदेशा रहता है।
- कई बार टैंकर से एसिड बाहर रिसता रहता है, जो सड़क पर गिरता है। हवा में एसिड गिरने से प्रदूषण तो फैलता ही है, साथ ही जान-माल की क्षति भी होती है।
- क्रायोजेनिक तकनीक के द्वारा क्रायोजेनिक इंसोलेशन लिक्विड स्टोरेज करने वाले टैंक बनाए जा रहे हैं,

क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग

- लिक्विड एसिड़ परिवहन के के लिए टैंकर ख़ास तौर से लिक्विड नाइट्रोजन एवं लिक्विड ऑक्सीजन के लिए तैयार किए जाते हैं।
- चूंकि क्रायोजेनिक्स ताप पर पदार्थों की आणविक संरचना मजबूत हो जाती है, इसीलिए क्रायोजेनिक का इस्तेमाल विभिन्न उपकरणों और औजारों का जीवन काल बढ़ाने और उन्हें अधिक मजवूत बनाने के लिए किया जाता है।
- रेसिंग कारों के इंजन के पुर्जों, खेल-कूद संबंधी समान, बहुत से वादय यंत्रों तथा ऑपरेशन आदि में ईस्तेमाल किए जाने वाले उपकरणों का क्रायोजेनिक ट्रीटमंट कर उन्हें अत्यधिक मजबूत बनाया जा सकता है।
- चूँकि क्रायोजेनिक ताप पर बहुत से पदार्थ सिकुड़ जाते हैं, इसलिए इस तकनीक का उपयोग औटोमोविल जैसे कई क्षेत्रों में किया जाता है
- गाड़ी के इंजन में वाल्व शीट फिट करनी होती है तो पहले उसे तरल नाइट्रोजन में डुबोकर रखा जाता है और जब वह सिकुड़ जाती है तब इंजन में फिट कर दिया जाता है ।

क्रायोजेनिक तकनीक के उपयोग

- खादय प्रसंसरण (food processing) के क्षेत्र में क्रायोजेनिक तकनीक काफी उपयोगी हो सकती है. जैसे कि गेंहू, मसाले या जड़ी बूटियों को क्रायोजेनिक ताप पर पीसने से इनके संघटक अवेयवों पर कोई फर्क नहीं पड़ता है, इनके वाष्पशील अवयव ज्यों के त्यों बने रहते हैं.
- कुछ खादय पदार्थों को तेजी से शीतलन के लिए तरल नाइट्रोजन का इस्तेमाल किया जाता है,
- क्रायोजेनिक तकनीक के दवारा जीवित प्राणियों के वीर्य, उतकों, भ्रूण, बोन मैरो तथा रक्त आदि को लम्बे समय तक सुरक्षित रखा जा सकता है।
- मृत्यु के बाद सम्पूर्ण मानव शारीर को कई मामलों में पुनः जीवित होने की उम्मीद के साथ हिम शीतलन दवारा संभाल कर रखा जाता है। इस प्रक्रिया को क्रयोनिक कहा जाता है।

क्रायोजेनिक तकनीक के क्षेत्र में भारत की स्थिति

- शुरुआत में रूस ने इस मामले में भारत की मदद की थी। दरअसल, 1990 में भारत को रूस से सात क्रायोजेनिक इंजन मिले थे।
- जब भारत ने 1998 में नाभिकीय परिक्षण किया तो अंतर्राष्ट्रीय दबाव में रूस ने क्रायोजेनिक टेक्नोलोजी भारत नहीं दी
- उसके बाद भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (इसरो) ने 1993 में क्रायोजेनिक तकनीक पर कार्य शुरू हुआ
- भारत ने अप्रैल 2010 में स्वदेशी स्वदेशी क्रायोजेनिक इंजन वाले जीएसएलवी डी-3 का प्रक्षेपण किया, लेकिन वह नाकाम रहा।
- इसके बाद इसरो ने स्वदेशी क्रायोजेनिक इंजन की पूरी डिजाइन में ही बुनियादी फेरबदल किया है।

क्रायोजेनिक तकनीक के क्षेत्र में भारत की स्थिति

- रॉकेट में क्रायोजेनिक इंजन को और सुरक्षा देने के लिए जीएसएलवी डी-5 की डिजाइन में भी बदलाव किया गया।
- 27 मार्च 2013 को जीएसएलवी डी-5 में लगे स्वदेशी क्रायोजेनिक इंजन का हाई एल्टीट्यूड टेस्ट किया गया,
- लेकिन 19 अगस्त 2013 को जीएसएलवी डी-5 के सेकेंड स्टेज में लांचिग से ठीक पहले लीकेज का पता लगा।
- जीएसएलवी डी-5 की उड़ान को स्थगित कर उसमें उचित सुधर किये गए।
- वर्ष 2014 के शुरुआत में भारत ने स्वदेशी क्रायोजेनिक इंजन वाले जीएसएलवी डी-5 का सफल प्रक्षेपण किया
- इसके द्वारा जीसैट-14 संचार उपग्रह को सफलतापूर्व उसकी कक्षा में स्थापित कर दिया
- इसी के साथ भारत उन देशों के क्लब में शामिल हो गया है, जिनके पास क्रायोजेनिक तकनीक है।

सधन्यवाद