विज्ञान का क्रमिक विकास (1938-1950)

चौदहवां अध्याय : नाभिक युग का सूत्रपात

राम चौधरी

इस लेखमाला के पिछले लेख में नाभिक भौतिकी के क्षेत्र में होमी भाभा के योगदान के बारे में लिखा जा चुका है। उन्होंने यांत्रिक अभियांत्रिकी, गणित तथा भौतिकी में कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय की ट्राइपोस परीक्षाएं प्रथम श्रेणी में उत्तीर्ण की थी। कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय से पी-एच.डी. की उपाधि प्राप्त करने के पश्चात् उन्होंने इंग्लैंड तथा यूरोप के श्रेष्ठ वैज्ञानिकों के साथ सैद्धांतिक नाभिक भौतिकी में, उन देशों के संस्थानों में महत्त्वपूर्ण अनुसंधान कार्य किया। भारत आने से पहले उन्होंने 12 वर्ष इंग्लैंड तथा यूरोप में बिताए थे। अपने जीवन काल में वे भारत के नाभिक भौतिकी के सर्वश्रेष्ठ वैज्ञानिक थे। उन्हें रमन का प्रोत्साहन, टाटा समूह का आर्थिक समर्थन तथा आगे चलकर, नेहरू सरकार से सब प्रकार की सहायता प्राप्त हुई। उनके भारत आने तक यूरेनियम विखंडन (Uranium fission) की खोज हो चुकी थी, वैज्ञानिक जर्नलों तथा सम्मेलनों में उसकी चर्चा हो रही थी।

नाभिकी के वैज्ञानिकों को ज्ञात हो गया था, कि विखंडन अभिक्रिया द्वारा कल्पनातीत ऊर्जा प्राप्त की जा सकती है। ब्रिटेन तथा यूरोप की धरती पर विश्व युद्ध प्रारम्भ हो गया था। यूरोप तथा अमेरिका में नाभिक भौतिकी से सम्बन्धित अनुसंधान कार्य पर कड़ी गोपनीयता लागू कर दी गई थी। जैसा आगे चलकर बताया जाएगा। अमेरिका में नाभिकीय विखंडन के विषय पर करोड़ों डॉलरों का निवेश तथा सैकड़ों की संख्या में उच्चतम वैज्ञानिकों तथा अभियन्ताओं की नियुक्ति की गई थी। इन में यूरोप से आए वैज्ञानिकों की महत्त्वपूर्ण भूमिका रही थी। इस विशाल उपक्रम द्वारा परमाणु बमों का निर्माण किया गया, दो प्रलयंकारी बम जापान के दो नगरों, हिरोशिमा और नागासाकी पर गिराए गए। जापान ने पराजय स्वीकार की, विश्वयुद्ध का अन्त हुआ तथा अमेरिका और रूस के बीच शीत-युद्ध की नींव पड़ी। दुर्भाग्यपूर्ण विभाजन के पश्चात भारत को स्वतंत्रता प्राप्त हुई, भारत की स्वतंत्रता ने एशिया तथा अफ्रीका के यूरोपीय उपनिवेशों की स्वतंत्रता का मार्ग प्रशस्त किया। विश्व युद्ध की समाप्ति के पश्चात् अमेरिका तथा यूरोप में नाभिक भौतिकी पर किया गया शोधकार्य प्रकाश में आया। यूरेनियम के विखंडन को समझने के लिए, प्रकृति के मौलिक बलों का संक्षिप्त उल्लेख आवश्यक होगा।

प्रकृति के मौलिक बल

न्यूट्रॉन की खोज से पहले, भौतिकिज्ञों का ज्ञान प्रकृति के दो बलों, गुरुत्वाकर्षण (Gravitational) बल F_G, तथा विद्युत-चुम्बकीय (Electromagnetic) बल F_E, तक सीमित था। दोनों बलों की परास (range) असीमित पाई गई थी। गुरुत्वाकर्षण बल प्रकृति के सभी पदार्थों के बीच कार्य करता है। न्यूटन के अनुसार यदि m_1, m_2 द्रव्यमान वाले दो पिंडों के बीच की दूरी r है, तो उनके बीच गुरुत्वाकर्षण बल का मान है :

$F_G = G\,(m_1 m_2/r^2)$, यहाँ G एक मौलिक स्थिरांक है।

दूसरा बल केवल विद्युत आवेशित पिंडों पर कार्य करता है। यदि पिंडों पर विद्युत आवेश q_1 तथा q_2 है, तो उनके बीच की दूरी r है, उनके बीच बल F_E का मान है :

$$F_E = K\,(q_1 q_2/r^2)$$

यहाँ K भी एक मौलिक स्थिरांक है। यदि दोनों आवेश विपरीत प्रकार के हैं, तो विद्युत चुम्बकीय बल आकर्षक, यदि वे एक ही प्रकार के हैं, तो बल विकर्षक होता है। यदि हम हाइड्रोजन परमाणु के प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन पर विद्युत तथा गुरुत्वाकर्षण, दोनों बलों का अनुपात ज्ञात करें तो हम सरलता से देख सकते हैं, कि विद्युत-चुम्बकीय बल की तुलना में गुरुत्वाकर्षण बल नगण्य है, $(F_G/F_E) = 10^{-38}$

परमाणु स्तर से हटकर, यदि हम विशाल स्तर पर पृथ्वी तथा एक किलोग्राम द्रव्यमान की गेंद के बीच गुरुत्वाकर्षण का परिकलन करें, तो इसका मान लगभग 10 न्यूटन होगा। उनके बीच विद्युत बल शून्य होगा, क्योंकि पृथ्वी तथा गेंद, दोनों परमाणुओं से बने हैं, भौतिक पदार्थों में कुल मिलाकर, परमाणुओं का विद्युत आवेश शून्य होता है।

जैसा पहले बताया गया था, परमाणुओं के नाभिकों का निर्माण दो प्रकार के मौलिक कणों, न्यूट्रॉन अनावेशित तथा प्रोटॉन पर धनावेश है। यदि हम नाभिक को गोलाकार मान कर चलें तो नाभिक के अर्द्धव्यास R के लिए हम लिख सकते हैं :

$$R = 1.2\times10^{-15} A^{1/3}\ \text{meter}$$

* 54, पैरोहिल रोड, आसवीगो (न्यूयार्क), यू.एस.ए.ए; फोन : (315) 343-3583 (नि.) Email : chaudhar@oswego.edu

इस समीकरण में A नाभिक की न्यूक्लियो की संख्या है। उदाहरण के लिए जिंक (Zinc) के नाभिक के लिए $A = 64$, तो, $R = 4.8 \times 10^{-15}$ meter. इतने छोटे नाभिक में प्रोटॉनों के बीच विशाल विकर्षण के कारण प्रोटॉनों का नाभिक के अन्दर रह पाना असंभव रहेगा, अतः एक ऐसे आकर्षक बल की कल्पना की गई जो प्रोटॉन-प्रोटॉन (p-p), विकर्षण बल से कई गुना बड़ा हो, और वह नाभिक के सभी कणों, न्यूट्रॉन-प्रोटॉन (n-p), न्यूट्रॉन-न्यूट्रॉन (n-n) प्रोटॉन-प्रोटॉन (p-p) के बीच लागू हो। बल की परास नाभिक के व्यास के समकक्ष मानी गई। इसे दृढ़ बल (Strong force) का नाम दिया गया। जैसा पहले बताया गया था, न्यूट्रॉन का द्रव्यमान प्रोटॉन से कुछ अधिक है, नाभिक के बाहर न्यूट्रॉन अस्थिर होता है, वह एक प्रोटॉन, एक इलेक्ट्रोन तथा एक न्यूट्रीनो (ve) में परिवर्तित हो जाता है। चक्रण के संरक्षण के लिए न्यूट्रॉन से बीटा कण (इलेक्ट्रोन) के साथ ही एक नए कण, न्यूट्रीनो (neutrino) का उत्सर्जन होता है। अतः हम लिख सकते हैं

$^{1}n_{o} = {}^{1}p_{1} + {}^{1}e_{1} + ve$

जैसा पहले लिखा जा चुका है, बीटा कणों की उत्पत्ति के लिए न्यूक्लियोनों के बीच क्षीण बल की कल्पना की भी आवश्यकता थी। अभी तक, कुल मिलाकर, प्रकृति के चार बलों की खोज हुई है। सभी बल विनिमय (exchange) बल है, प्रत्येक बल के लिए विशिष्ट मध्यस्थ कण की आवश्यकता होती है। निम्नलिखित सारणी में गुरुत्वाकर्षण बल को एक मानकर अन्य बलों का मान दिया गया है।

बल	**मध्यस्थ कण**	**मान**
दृढ़	मीसोन	1040
विद्युत चुम्बकीय	फोटोन	1038
क्षीण	w, z^{o}	1027
गुरुत्वाकर्षण	ग्रेवीटोन	1

जैसा उपरोक्त सारणी से स्पष्ट है, गुत्वाकर्षण बल सबसे छोटा है। अभी तक ग्रेवीटोन (graviton) की खोज में सफलता नहीं मिली है। इस बल की अनेक विशेषताएं है, वह आकर्षक तथा संचयशील (cummulative) है, इसकी परास असीमित है, तथा विश्व के सभी कणों पर प्रभावशाली है। कण के स्तर पर उसका प्रभाव नगण्य है, परन्तु बड़े पिंडों, जैसे पृथ्वी, सूर्य आदि के समीप, अन्य बलों से अत्यधिक प्रभावशाली है। गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव से हम पृथ्वी पर रह सकते हैं, इस बल के कारण सौर मंडल में ग्रह सूर्य की परिक्रमा करते हैं। ब्रह्मांड स्तर पर गुरुत्वाकर्षण अदम्य (indomitable) हो जाता है, उसके द्वारा विशालकाय तारा मंडलों तथा गैलेक्सियों (galaxies) का निर्माण होता है। सृष्टि के प्रारम्भ में महान धमाके (big bang) के समय से लेकर ब्रह्मांड के विकास (evolution) में इस बल की महान् भूमिका रही है।

गुरुत्वाकर्षण बल की भांति, विद्युत-चुम्बकीय बल की परास भी असीमित है, परन्तु यह बल, आकर्षक तथा विकर्षक, दोनों प्रकार का होता है। इसके द्वारा परमाणुओं तथा अणुओं की रचना होती है, रसायन तथा जीव विज्ञान से इस बल की महत्त्वपूर्ण भूमिका है। तालिका के शेष दो बलों, दृढ़ बल तथा क्षीण बल की परास अत्यन्त सीमित है, दृढ़ बल तथा क्षीण बल की परास अत्यन्त सीमित है, दृढ़ बल की परास नाभिक के अर्द्ध-व्यास, 1 फर्मी=10^{15} meter के समकक्ष है, क्षीण बल की परास इससे भी कम है।

न्यूट्रॉन द्वारा नए परमाणुओं का सृजन

जैसा बताया जा चुका है, न्यूट्रॉन की खोज से वैज्ञानिकों को एक नया अस्त्र मिल गया था। अनाविष्ट (netural) होने के कारण न्यूट्रॉन, अल्फा कण, प्रोटॉन अथवा इलेक्ट्रोन आदि आवेशित कणों की तुलना में नाभिक में सरलता से प्रवेश कर सकता है। सन् 1934 में रोम में फेरमी तथा उनके सहयोगियों ने आवर्त सारणी (periodic table) के तत्त्वों पर न्यूट्रॉनों का क्रमबद्ध प्रक्षेपण किया। न्यूट्रॉन का स्रोत था, कांच की एक नली जिसमें बेरीलियम (Beryllium) तथा रेडोन (Radon) को सील करके रखा जाता था। जैसा निम्न समीकरण से स्पष्ट है, बेरीलियम तथा रेडोन की नाभिक अभिक्रिया द्वारा थोरियम के एक नाभिक तथा एक न्यूट्रॉन की उत्पत्ति होती है।

$^{9}Be_{4} + {}^{222}Rn_{86} = {}^{230}Th_{90} + {}^{1}n_{0}$

उपरोक्त न्यूट्रॉन वेगवान होते हैं। अनावेशित होने के कारण, विद्युत-चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा उनके वेग पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। वेग कम करने के लिए उन्हें ग्रैफाइट तथा भारी पानी (heavy water) जैसे पदार्थों में प्रवेशित कराया जाता है। कम वेग के न्यूट्रॉनों को तापीय न्यूट्रॉन (thermal neutron) तथा ग्रैफाइट जैसे पदार्थों का वेग-मंदक (Speed moderator) कहा जाता है। न्यूट्रॉनों की संख्या कम करने के लिए उन्हें कैडमियम (cadmium) जैसे पदार्थों से प्रवेशित कराया जाता है, इन पदार्थो का अवशोषक (absorbers) कहा जाता है। मन्दकों तथा अवशोषकों द्वारा न्यूट्रॉनों के वेग तथा उनकी संख्या को कम किया जाता है।

नाभिक समीकरणों में प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन, दोनों को, न्यूक्लियोन (nucleon) कहा जाता है। जैसा ज्ञात है, नाभिक के अन्तर्गत न्यूट्रॉन तथा प्रोटॉन, मेसोन के उत्सर्जन तथा अवशोषण द्वारा, एक-दूसरे में परिवर्तित होते रहते हैं। इस पारस्परिक क्रिया द्वारा न्यूक्लियोनों के बीच दृढ़ बल (Strong force) का प्रादुर्भाव होता है उपरोक्त समीकरण के बाईं ओर बेरीलियम के नाभिक में 4 प्रोटॉन तथा 9 न्यूक्लियोन है, रेडोन के नाभिक में 86 प्रोटान तथा 222 न्यूक्लियोन है। दोनों को मिलाकर बाईं ओर 90 प्रोटॉन तथा 231 न्यूक्लियोन है। समीकरण के दाईं ओर भी कुल मिलाकर 90 प्रोटॉन तथा 231 न्यूक्लियोन है। *अतः हम कह सकते हैं कि नाभिक अभिक्रिया के समीकरणों में प्रोटॉन संख्या तथा न्यूक्लियोन संख्या, दोनों संख्याओं का संरक्षण हुआ है।*

कम भार वाले परमाणुओं पर न्यूट्रॉनों के प्रक्षेपण से अल्फा कण, प्रोटॉन, अथवा गामा किरणों का उत्सर्जन होता है। अल्फा कणों के उत्सर्जन से पुत्री (daughter) परमाणु की प्रोटॉन संख्या में दो की कमी, न्यूक्लियोन संख्या में चार की कमी, प्रोटॉन के उत्सर्जन से प्रोटॉन संख्या तथा न्यूक्लियोन संख्या, दोनों में एक की कमी, इलेक्ट्रोन के उत्सर्जन से परमाणु संख्या में एक की बढ़त, न्यूट्रॉन के उत्सर्जन से न्यूक्लियोन संख्या में एक की कमी तथा गामा कण के उत्सर्जन में प्रोटॉन संख्या अथवा परमाणु भार से कोई परिवर्तन नहीं होता है। उदाहरणतः एल्यूमिनियम पर न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण की नाभिक अभिक्रिया को निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है।

$^{27}Al_{3}+^{1}n_{0}=^{24}Na_{11}=^{4}He_{2}$

संक्षेप में इसे (n,a) अभिक्रिया कहा जाता है। उसी प्रकार न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण से प्रोटॉन की उत्पत्ति को हम (n,p) अभिक्रिया कहेंगे। इसे हम लिख सकते हैं

$^{28}Sl_{14}+^{1}n_{0}=^{28}Al_{13}+^{1}H_{1}$

भारी परमाणुओं पर न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण से (n,r) को न्यूट्रॉन प्रग्रहण (neutron capture) की संज्ञा दी जाती है। इसे निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है

$^{127}I_{53}+^{1}n_{0}=^{128}I_{53}+r$

न्यूट्रॉन प्रक्षेपण के सम्बन्ध में फेरमी ने एक और महत्त्वपूर्ण खोज की नाभिक अभिक्रिया में, अधिक वेग के न्यूट्रॉनों की तुलना में कम वेग के न्यूट्रॉन अधिक कारगर होते हैं। कम वेग वाले न्यूट्रॉन, अधिक समय तक प्रक्षेपित नाभिकों के पास रहते हैं, इससे न्यूट्रॉन के अवशोषण की संभावना बढ़ जाती है। चैडविक द्वारा न्यूट्रॉन की खोज के पश्चात्, उसे एक मौलिक कण माना जाने लगा था। जैसा हमें ज्ञात है, अल्फा कणों द्वारा विभिन्न तत्त्वों पर प्रक्षेपण से रदरफोर्ड ने परमाणुओं के नाभिकों की आमाप (size) के बारे में जानकारी प्राप्त की थी। रदरफोर्ड की परम्परा में, इटली के भौतिकिज्ञ एनरीको फेरमी ने क्रमबद्ध रूप से, कुछ महीनों में मेन्डलीव सारणी के तत्त्वों के 37 तत्त्वों पर न्यूट्रॉन-प्रक्षेपण के प्रयोग किए। फेरमी ने देखा कि जैसे-जैसे परमाणु संख्या बढ़ती जाती है, तत्त्वों से बीटा कणों का उत्सर्जन होता है, और पुत्री नाभिक की परमाणु संख्या में एक की वृद्धि होती है। प्रकृति में यूरेनियम का परमाणु सबसे भारी परमाणु था। फेरमी की परिकल्पना थी कि न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण द्वारा बीटा कण के उत्सर्जन से, यूरेनियम से भारी परमाणुओं का सृजन किया जा सकता है। *फेरमी के अतिरिक्त, अन्य शोधार्थियों का ध्यान भी भारी नाभिकों के सृजन की ओर केन्द्रित था। यह खोज ऐसे तत्त्वों की खोज थी, जो प्रकृति में उपलब्ध नहीं थी, परन्तु उनका निर्माण किया जा सकता था।* सन् 1938 में अपने नोबेल व्याख्यान में फेरमी ने इस संभावना को व्यक्त करते हुए यूरेनियम से भारी दो तत्त्वों के निर्माण की चर्चा की थी। उन्होंने इन तत्त्वों को ओसोनियम (osonium) तथा हेस्पीरियम (hesperium) का नाम दिया था। फेरमी की घोषणा गलत सिद्ध हुई। बाद में अमेरिका के एक रसायनज्ञ, ग्लेन सीबोर्ग (Glenn Seaborg, 1912-1999) तथा उनके सहयोगियों ने परा-यूरेनियम तत्वों, नेप्यूयिम (neptunium-93) तथा प्लूटोनियम (plutonium-94) का प्रयोगशाला में निर्माण किया। आगे इसकी चर्चा की जाएगी।

फेरमी की परिकल्पना, कि यूरेनियम पर न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण से यूरेनियम से भारी परमाणुओं का जन्म होता है, को चुनौती देने वाली इडा नोडैक (Ida Noddack) नामक महिला वैज्ञानिक थीं। *उनका कहना था कि इस अभिक्रिया में, यूरेनियम के समीप भारी नाभिकों के सृजन के साथ ही यूरेनियम नाभिक के दो-तीन टुकड़े हो जाने की संभावना को अनदेखा नहीं किया जाना चाहिए।* फेरमी विश्व पटल पर एक प्रखर वैज्ञानिक के रूप में उभर रहे थे, अधिकांश वैज्ञानिकों ने उनकी बात को स्वीकार किया, परन्तु जैसा नीचे बताया जाएगा, अन्त में नोडेक की परिकल्पना का प्रायोगिक सत्यापन हुआ, यूरेनियम के विखंडन की खोज हुई।

सन् 1935 में फेरमी के प्रयोगों को दो स्थानों, पहला बर्लिन (जर्मनी) के कैंसर विल्हेल्म संस्थान में, तथा दूसरा, पैरिस (फ्रांस) के क्यूरी संस्थान में दोहराया गया। दोनों समूहों में तीव्र प्रतियोगिता थी : उनका एक ही लक्ष्य था, यूरेनियम के आसपास भारी परमाणुओं का सृजन करना। फेरमी की तरह, इन समूहों ने भी नोडेक के सुझाव को अनदेखा किया। बर्लिन समूह में कार्यरत वैज्ञानिक थे, रसायनज्ञ, औटो हान (Otto Hahn, 1879-1968) तथा ऑस्ट्रिया निवासी प्रतिभाशाली महिला भौतिकिज्ञ लीसे माइटनर (Lise Meitner, 1978-1968)। कुछ वर्ष पहले दोनों ने मिलकर एक नए तत्त्व, प्रोटोएक्टिनियम (protoactinium, $^{231}P_{a91}$) की खोज की थी, यह तत्त्व थोरियम तथा यूरेनियम के बीच आता है। दो वर्ष के कठिन परिश्रम के पश्चात भी वे नाभिक अभिक्रिया के उत्पादों (Prouducts) की सही पहचान में असफल रहे। माइटनर यहूदी परिवार से थीं। उनका जर्मनी में बना रहना जोखिम से भरा था। सन् 1938 में अपनी जान बचाने के लिए माइटनर स्टॉकहोम (Stockhom) चली गईं। पैरिस के प्रयोगों में मैडम क्यूरी की सुपुत्री आइरीन जोलियट क्यूरी (Irene Joliot-Curie) तथा चैकोस्लोवाकिया के वैज्ञानिक पॉवेल सेविच (Pavel Savitch) मिलकर काम कर रहे थे, इस अभिक्रिया में उन्होंने एक ऐसे तत्त्व की खोज की, जिसके रासायनिक गुण लैन्थनम (Lanthanum, La_{57}) से मिलते थे। उन्होंने इसे एक्टीनियम (Actinium, Ac_{87}) बताया। यदि उन्होंने इसे लैन्थनम बताया होता, तो वे यूरेनियम के दूसरे टुकड़े की तलाश करते और इस प्रकार यूरेनियम के विखंडन की प्रागुक्ति संभव थी।

माइटनर के स्टॉकहोम ले जाने के पश्चात हान ने विलहेल्म संस्थान में कार्यरत रसायनज्ञ, फ्रिट्ज़ स्ट्रासमान (Fritz Strassmann) के साथ यूरेनियम पर अनुसंधान कार्य जारी रखा, साथ में पत्रों द्वारा

माइटनर के संपर्क भी बनाए रखा। उनका विचार था कि नाभिक अभिक्रिया में यूरेनियम (U_{92}) से दो अल्फा कणों के उत्सर्जन द्वारा रेडियम (Rd_{88}) की उत्पत्ति हुई है। सैद्धांतिक कारणों से माइटनर ने इस निष्कर्ष को अस्वीकार किया। अभिक्रिया के उत्पाद की रासायनिक जांच करने पर सिद्ध हो गया, कि वास्तव में, रेडियम के बजाय बेरियम का जन्म हुआ था। आवर्त सारणी में बेरियम तथा रेडियम एक ही स्तम्भ में आते हैं, अतः उनके रासायनिक गुण समान होते हैं। फिर भी, 19 दिसम्बर, 1938 के एक पत्र में हान ने माइटनर को लिखा कि यूरेनियम से बेरियम की उत्पत्ति संभव नहीं है।

संयोगवश, क्रिस्मस के अवकाश में, माइटनर अपने भतीजे, ओटो फ्रिश (Otto Frisch) के पास गई। औटो फ्रिश एक प्रतिभाशाली सैद्धान्तिक भौतिकिज्ञ थे, वे कोपेनहेगेन में बोर के साथ कार्य कर रहे थे। फ्रिश ने हान तथा स्ट्रासमान के प्रयोग में बेरियम की उत्पत्ति का समाचार माइटनर को दिया, दोनों इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि बेरियम की उत्पत्ति यूरेनियम नाभिक के विखंडन को प्रमाणित करती है। विख्यात विज्ञान पत्रिका 'नेचर' (Nature) में, माइटनर तथा फ्रिश ने एक संक्षिप्त विज्ञप्ति प्रकाशित की, उसमें उन्होंने हान तथा स्ट्रासमान के शोधकार्य को यूरेनियम नाभिक का विखंडन बताया। यह बात आश्चर्यजनक है कि 6 जनवरी, 1939 के एक शोधपत्र में हान तथा स्ट्रासमान ने यूरेनियम के विखंडन की चर्चा नहीं की, वे विखंडन के निष्कर्ष पर आश्वस्त नहीं थे।

कोपेनहेगन पहुंच कर फ्रिश ने यूरेनियम के विखंडन का समाचार बोर को दिया। बोर ने यूरेनियम के विखंडन की पुष्टि की। हान तथा स्ट्रासमान की शंका का निवारण हुआ और दो महीने के अन्दर उन्होंने प्रयोगों द्वारा सिद्ध कर दिया कि यूरेनियम पर न्यूट्रॉन के प्रक्षेपण से यूरेनियम के विखंडन में दो तत्त्वों, बेरियम तथा क्रिप्टोन (Krypton) तथा तीन न्यूट्रॉनों की उत्पत्ति होती है।

$$^{235}U_{92}+{}^{1}n_{0}={}^{236}U_{92}={}^{142}Ba_{56}+{}^{91}Kr_{36}+(3)^{1}n_{0}$$

यदि हम उपरोक्त समीकरण के दोनों ओर द्रव्यमानों की तुलना करें, तो पाएंगे कि दाईं ओर की तुलना में बाईं ओर का द्रव्यमान अधिक है। अतः $E=mc^2$ समीकरण के न्यूट्रॉनों की ऊर्जा का मान ज्ञात कर सकते हैं। और देख सकते हैं कि एक यूरेनियम नाभिक के विखंडन से 200 Mev ऊर्जा उत्पन्न हुई। यदि हम एक किलोग्राम U-235 को ऊर्जा में बदल दें तो वह 20 करोड़ गैलन पेट्रोल से उत्पन्न ऊर्जा के समान होगी। हम इसे विखंडन ऊर्जा कहेंगे। *हमें विखंडन तथा विघटन के भेद को समझ लेना चाहिएः विखंडन में नाभिक के दो टुकड़े हो जाते है, विघटन में नाभिक से छोटे कणों का उत्सर्जन होता है। विघटनाभिकता (radioactivity) एक विघटन क्रिया है। पूर्वावलोकन में (in retro-spect), प्रायोगिक तौर से विखंडन की खोज फेरमी ने सन् 1934 में, जोलियट-क्यूरी तथा सैविच ने सन् 1938 में कर ली थी, परन्तु वे इसकी पहचान नहीं कर पाए थे। नाभिक विखंडन की खोज के लिए ओटो हान को सन् 1944 में रसायनिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।*

16 जनवरी, 1939 को बोर ने न्यूयार्क में अमेरिकन फिजीकल सोसाइटी की बैठक तथा जनवरी के अन्त में वाशिंगटन में सैद्धान्तिक भौतिकी के पांचवें अन्तर्राष्ट्रीय सम्मेलन में यूरेनियम विखंडन पर व्याख्यान दिया। फरवरी 1939 के अन्त तक कोलम्बिया तथा प्रिन्सटन विश्वविद्यालयों में विखंडन अभिक्रिया की प्रायोगिक पुष्टि कर *ली गई थी। कोलम्बिया विश्वविद्यालय के भौतिकिज्ञ जॉन डनिंग (John Dunning) ने 25 जनवरी, 1939 को न्यूट्रॉनों द्वारा आत्म संचारित (self sustaining) शृंखला क्रिया की संभावना बताई। सन् 1940 में डनिंग ने थोड़ी मात्रा में, यूरेनियम-235 को यूरेनियम से वियुक्त (isolate) किया तथा प्रयोगों द्वारा बोर के अनुमान को सिद्ध किया कि यूरेनियम-235 विखंडनशील है, जबकि यूरेनियम-238 नहीं।* यूरेनियम-235 के एक विखंडन में तीन न्यूट्रॉन उत्पन्न होते हैं, उनमें से कुछ अवशोषित हो जाते है। प्रायोगिक रूप से ज्ञात कर लिया गया था कि *औसतन,* एक विखंडन में 2.4 न्यूट्रॉन उपलब्ध होते हैं। उन्होंने यह भी कहा कि एक विखंडन से अति-विशाल ऊर्जा प्राप्त होने से भी महत्त्वपूर्ण बात है, न्यूट्रॉनों द्वारा शृंखला क्रिया की उत्पत्ति। मार्च सन् 1940 में उनकी प्रागुक्ति की पुष्टि हुई। जैसा आगे बताया जाएगा, यूरेनियम-238 से प्लूटोनियम का निर्माण किया सकता है, वह विखंडनशील है।

माइटनर-फ्रिश का सुझाव था कि यूरेनियम-235 की तरह थोरियम भी विखंडनशील है। अतः यूरेनियम के स्थान पर थोरियम का प्रयोग भी किया जा सकता है। भारत में यूरेनियम का अभाव है, यूरेनियम के लिए भारत को अमेरिका, ऑस्ट्रेलिया तथा दक्षिणी अफ्रीका जैसे देशों पर निर्भर रहना पड़ेगा। केरल, तमिलनाडु, आंध्र प्रदेश तथा उड़ीसा के समुद्र-तटों पर थोरियम प्रचुर मात्रा में उपलब्ध है। थोरियम के प्रयोग में कुछ कठिनाइयां है, अभी तक उनका समाधान नहीं निकाला जा सका है।

सन् 1939 के अन्त तक भौतिकी के जर्नलों में नाभिक विखंडन के क्षेत्र में 100 से अधिक शोधपत्र प्रकाशित हुए। द्वितीय विश्वयुद्ध की घोषणा के पश्चात वातावरण बदल गया, ब्रिटेन तथा अमेरिका ने युद्ध सम्बन्धी शोधकार्य के प्रकाशन पर रोक लगा दी। हंगरी से आए, एक प्रतिभ भौतिकिज्ञ लियो जिलार्ड ने अपने सहयोगियों से आग्रह किया कि यूरेनियम सम्बन्धी अनुसंधान कार्य को गोपनीय रखा जाय। इसके अन्तर्गत, सन् 1941 में सीबोर्ग की प्लूटोनियम की खोज को गुप्त रखा गया, द्वितीय विश्वयुद्ध की समाप्ति के पश्चात् सन् 1946 में उसे प्रकाशित किया गया, इस विज्ञप्ति के साथ कि यह खोज सन् 1941 में हुई थी।

विखंडन अभिक्रिया की खोज अत्यन्त महत्त्वपूर्ण सिद्ध हुई। इसके द्वारा ऊर्जा का महान स्रोत मिला। नाभिक के एक विखंडन में 200 Mev ऊर्जा उत्सर्जित होती है, जब कि एक परमाणु से कुछ ev की

रासायनिक ऊर्जा प्राप्त होती है। रासायनिक ऊर्जा पर आधारित टी. एन.टी. जैसे विस्फोटकों की तुलना में नाभिक ऊर्जा पर आधारित विस्फोटक करोड़ों गुना शक्तिशाली है। एक किलोग्राम यूरेनियम के विखंडन से जितनी ऊर्जा का विस्फोट होगा वह 19 मिलियन किलोग्राम टी.एन.टी. से उत्पन्न ऊर्जा के बराबर है। इसके द्वारा प्रलयकारी आयुध बनाए जा सकते हैं। विश्व में रासायनिक ऊर्जा के स्रोत सीमित हैं, अधिकांश स्रोत जीवाश्म (fossil) स्रोतों पर आधारित हैं। क्या नाभिक ऊर्जा रासायनिक ऊर्जा का स्थान ले सकती है? नाभिक ऊर्जा की सबसे गम्भीर समस्या है, विघटनाभिक अपशिष्ट (radioactive waste) की उत्पत्ति तथा उनके निस्तारण की समस्या।

विखंडन शृंखला अभिक्रिया के तीन बड़े गुण हैं, वह अत्यन्त द्रुतगामी है, उसमें विशाल ऊर्जा उत्सर्जित होती है, और उसका सबसे बड़ा गुण है, कि उसके द्वारा शृंखला अभिक्रिया (Chain reaction) संचालित की जा सकती है। इसे समझने के लिए निम्नलिखित पहेली सहायक होगी।

पहेलीशतरंज का खेल

संभवतः आप को ज्ञात होगा कि शतरंज का आविष्कार एक भारतीय गणितज्ञ ने किया था। उसने यह खेल देश के राजा को दिखाया। राजा बहुत प्रसन्न हुआ और गणितज्ञ से इनाम मांगने के लिए कहा। गणितज्ञ ने कहा, महाराजाधिराज, मुझे अपने परिवार के लिए कुछ गेहूं की आवश्यकता है। कृपया अपने कर्मचारियों को आदेश दें कि वे शतरंज के पहले खाने पर गेहूं का एक दाना रखे, दूसरे खाने पर दो दाने, फिर इसी प्रकार दोनों की संख्या को दुगुना करते जाएं। शतरंज में 64 खाने होते हैं। क्या आप अनुमान लगा सकते हैं कि गणितज्ञ की मांग पूरा करने के लिए कितने गेहूं की आवश्यकता होगी? आप को यह जानकर आश्चर्य होगा कि इसका मान विश्व की गेहूं की वार्षिक पैदावार के 1,000 गुने से भी अधिक है।

कृपया पहेली के तत्त्वों को ध्यान में रखिएपहेली की प्रारम्भिक संख्या एक है, उसका *गुणांक* दो है। एक में दो का पांच बार का गुणा करने से गुणनफल 32 हो जाता है, यदि गुणांक 0.5 है तो एक में 0.5 का पांच बार का गुणा करने से गुणनफल 0.0016 रह जाता है। *संक्षेप में, यदि गुणांक एक से अधिक है तो गुणनफल तेजी से बढ़ता है, यदि गुणांक एक से कम है दो गुणनफल तेजी से घटता जाता है।* गुणांक के बारंबार प्रयोग से गुणनफल चारघातांकी फलन (exponential function) बन जाता है। इन फलनों का प्रयोग विज्ञान की सभी शाखाओं में किया जाता है।

नाभिक बम की ओर

हान तथा स्ट्रासमान द्वारा यूरेनियम नाभिक के विखंडन की खोज *एक क्रान्तिकारी खोज थी। इसके एक विखंडन से 200 मिलियन (बीस करोड़) इलेक्ट्रोन-वोल्ट ऊर्जा तथा औसतन 2.4 न्यूट्रॉन उत्पन्न होते हैं। इसे विखंडन गुणांक कहा जाता है।* सरलता के लिए हम विखंडन-गुणांक का मान 2 लेंगे। विखंडन में 10^{8} सेकंड से कम समय लगता है। यदि उपजे हुए न्यूट्रॉनों से यूरेनियम नाभिकों का विखंडन संभव हो, तो एक न्यूट्रॉन से दो, फिर उनसे 4 न्यूट्रॉन, चार से आठ न्यूट्रॉन उत्पन्न होंगे, और उनकी संख्या में उसी प्रकार की बढ़ोतरी होगी जैसे शतरंज के आविष्कारक के गेहूं के दानों की हुई थी। इस अभिक्रिया को शृंखला अभिक्रिया (chain reaction) कहा जाता है। यह अनुमान सरलता से लगाया जा सकता है कि इस ऊर्जा से प्रलयकारी विस्फोट होगा। स्वचालित शृंखला अभिक्रिया अणुबम का आधार है।

यूरेनियम विखंडन की खोज जर्मनी में हुई थी। जर्मनी यूरोप के सबसे शक्तिशाली राष्ट्र के रूप में उभर रहा था। मार्च 1938 में जर्मनी ने पहले ऑस्ट्रेलिया, उसके एक वर्ष पश्चात चेकोस्लोवाकिया पर अधिकार कर लिया। यहूदियों के उत्पीड़न से जर्मनी के अनेक यहूदी, जिनमें कुछ उच्चकोटि के थे तथा यूरोप के उत्तर पश्चिमी देशों में बसने लगे थे। वे अमेरिका के विश्वविद्यालयों तथा अनुसंधान संस्थानों से परिचित थे। जैसा पहले लिखा जा चुका है, कुछ वर्ष पहले रॉकफैलर फैलोशिप द्वारा उन्हें अमेरिका के विश्वविद्यालयों में व्याख्यान देने के लिए, तथा ग्रीष्म कालीन स्कूलों में पढ़ाने के लिए आमंत्रित किया गया था। उन्हें डर था कि यदि जर्मनी ने परमाणु बम पहले बना लिया, तो जर्मनी विश्व का सबसे शक्तिशाली देश बन जाएगा। उनका विश्व-व्यापी उत्पीड़न होगा, और उनकी संस्कृति का भविष्य अंधकारमय हो जाएगा। ऐसे परिदृश्य में हंगरी से आए हुए तीन प्रतिभाशाली यहूदी भौतिकिज्ञ, यूजीन विग्नर (Eugene Wigner, 1902-1995), एडवर्ड टैलर (Edward Teller. 1908-2003) तथा लिओ ज़िलार्द (Leo Szilard, 1898-1964) विश्व के मूर्धन्य भौतिकिज्ञ अल्बर्ट आइन्सटाइन के पास गए तथा उनसे अनुरोध किया कि वे राष्ट्रपति फ्रैंकलिन रूजवेल्ट को एक पत्र द्वारा परमाणु ऊर्जा तथा परमाणु बम की संभावनाओं के बारे में अवगत कराएं। वे अपने साथ प्रस्तावित पत्र का प्रारूप बनाकर लाए थे, 2 अगस्त, 1939 को आइन्सटाइन ने रूजवेल्ट को एक पत्र में लिखा :

महोदय,

फर्मी तथा ज़िलार्द द्वारा हाल में की गई नाभिक विखंडन की खोज का समाचार मुझे अभी मिला है। मेरा अनुमान है कि यूरेनियम का विखंडन, ऊर्जा का एक विशाल स्रोत सिद्ध हो सकता है, इसके द्वारा निकट भविष्य में, नए प्रकार का, अत्यन्त विध्वंसकारी बम बनाया जा सकता है। मुझे यह भी ज्ञात हुआ कि जर्मनी ने चेकोस्लोवाकिया की खानों से प्राप्त यूरेनियम की बिक्री पर रोक लगा दी है। जर्मनी के एक प्रतिभाशाली भौतिकिज्ञ फॉन वाइजेकर (Von Weizacker) के मार्गदर्शन में यूरेनियम के विखंडन पर अनुसंधान कार्य किया जा रहा है। यदि नौका पर लादकर किसी बंदरगाह पर इस बम का विस्फोट किया जाए, तो पूरे बंदरगाह के साथ आसपास का क्षेत्र भी ध्वस्त हो जाएगा।

अमेरिका में यूरेनियम की अच्छी खानें नहीं हैं, कनाडा, चेकोस्लोवाकिया तथा बेल्जियम अधिकृत कांगो में अच्छी खानें उपलब्ध हैं। उपर्युक्त विषयों में अत्यन्त सतर्कता की आवश्यकता है। मेरा आप से अनुरोध है कि यूरेनियम विखंडन पर काम करने वाले वैज्ञानिकों तथा अपने प्रशासन में घनिष्ठ सम्पर्क बनाए रखने के लिए आप एक विश्वासपात्र व्यक्ति की नियुक्ति करें।

एक सितम्बर, 1939 को जर्मनी ने पोलैन्ड पर आक्रमण किया। 3 सितम्बर, 1939 को ब्रिटेन तथा फ्रांस ने जर्मनी के विरुद्ध युद्ध की घोषणा की और द्वितीय विश्वयुद्ध का प्रारम्भ हुआ। राष्ट्रपति रूजवेल्ट को लिखा आइन्स्टाइन का पत्र उनके पास 11 अक्टूबर, 1939 को पहुंचा। 7 दिसम्बर, 1941 को जापान ने पर्लहार्बर के ऊपर आक्रमण किया। इसके दूसरे दिन, 8 दिसम्बर, 1941 को अमेरिका ने धुरी देशों, जर्मनी, जापान तथा इटली आदि देशों के विरुद्ध युद्ध की घोषणा की।

आइन्स्टाइन के पत्र के *एक वर्ष* पश्चात प्रेसीडेन्ट रूजवेल्ट के आदेश से अक्टूबर, 1939 में एक राष्ट्रीय यूरेनियम समिति बनाई गई। द्वितीय विश्वयुद्ध के प्रारम्भ के पश्चात् एक राष्ट्रीय रक्षा अनुसंधान समिति (National Defence Research Committee) का गठन किया गया, एक इंजीनियर, वन्नेवार बुश (Vannebar Bush) समिति के अध्यक्ष बनाए गए, तथा यूरेनियम समिति का कार्य भी उपरोक्त संस्था के अन्तर्गत आ गया। पर्लहार्बर पर जापानी आक्रमण के पश्चात् नाभिक अनुसंधान कार्य गतिशील हुआ। नोबेल पुरस्कार विजेता आर्थर कौम्पटन (Arthur Compton) की अध्यक्षता में शिकागो विश्वविद्यालय में धातु-विज्ञान (metallurgical Laboratory) प्रयोगशाला का गठन किया गया तथा फेरमी को कोलम्बिया विश्वविद्यालय से शिकागो विश्वविद्यालय बुलाकर इस परियोजना के भौतिक विभाग का अध्यक्ष बनाया गया। नाभिक बम बनाने के काम को युद्ध स्तर पर किया जाने लगा। इन प्रयासों को तीन भागों में विभक्त किया जा सकता है।

1. विखंडनशील पदार्थों का निर्माण
2. शृंखला अभिक्रिया का संभाव्यता का अध्ययन
3. प्रयासों का केन्द्रीकरण

1. विखंडनशील पदार्थों का निर्माण

जैसा पहले बताया गया था, यूरेनियम का हलका परमाणु, $^{235}U_{92}$ विखंडनशील नहीं है, वह विघटनाभिक है, उसकी अर्द्ध-आयु (Half life) बहुत अधिक, 4.5 अरब वर्ष है। U-235 भी विघटनाभिक है, यूरेनियम-238 की तुलना में इसकी अर्द्ध आयु बहुत कम है, अतः आज U-238 का भंडार 99.7 प्रशित, तथा U-235 का भंडार केवल 0.3 प्रतिशत रह गया है। शुद्ध यूरेनियम में U-235 की मात्रा केवल 0.3 प्रतिशत होती है। यदि उसकी मात्रा बढ़ाकर 3 प्रतिशत कर दी जाय तो इसका उपयोग शक्ति संयन्त्र (power plants) बनाने के लिए किया जा सकता है, यदि इसकी मात्रा 90 प्रतिशत से अधिक हो जाए तो इसका उपयोग बम बनाने के लिए किया जा सकता है।

यद्यपि $^{235}U_{92}$ विखंडनशील नहीं है, लेकिन इसके द्वारा, विखंडनशील प्लूटोनियम का निर्माण किया जा सकता है। $^{238}U_{92}$ द्वारा न्यूट्रॉन के प्रग्रहण से यूरेनियम-239 का जन्म होता है।

$$^{238}U_{92} + {}^{1}n_{0} = {}^{239}U_{92}$$

$^{239}U_{92}$ अस्थिर है, और बीटा उत्सर्जन से वह नेप्चूनियम (Neptunium) में बदल जाता है :

$$^{239}U_{92} = {}^{239}N_{p93} + {}^{0}e_{1}$$

नेप्चूनियम भी अस्थिर है, वह बीटा उत्सर्जन से प्लूटोनियम में बदल जाता है :

$$^{239}Np_{93} = {}^{239}Pu_{94} + {}^{0}e_{1}$$

नेप्चूनियम तथा प्लूटोनियम, दोनों तत्त्वों का निर्माण अमेरिका के रसायनविद ग्लेन सीबोर्ग (Grenn Seaborg, 1912-1999) ने किया था। उन्होंने अपने सहयोगियों के साथ 10 नए तत्त्वों का निर्माण किया। उनके सम्मान में आवर्त सारणी के 106वें परमाणु को सीबोर्गियम (Seaborgium, Sg-106) का नाम दिया गया। सीबोर्ग कैलिफोर्निया यूनिवर्सिटी, बर्कले में रासायनिकी के प्राध्यापक थे, बाद में वे इस विश्वविद्यालय के प्रेसीडेन्ट भी रहे। मैनहैटन परियोजना में परमाणु बम के निर्माण में भी उनकी महत्त्वपूर्ण भूमिका थी। सन् 1951 में उन्हें रासायनिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया था। सन् 1961 से लेकर सन् 1971 तक वे अमेरिका के परमाणु ऊर्जा आयोग के अध्यक्ष भी रहे।

उस समय वैज्ञानिकों को पता नहीं था कि यूरेनियम-235 अथवा प्लूटोनियम-239, किस पदार्थ से, बम बनाना सुलभ होगा। इसलिए, दोनों प्रकार के पदार्थों द्वारा नाभिक बम बनाने का कार्य किया गया। गहन गोपनीयता के कारण, प्लूटोनियम बम बनाने के लिए हैनफोर्ड, वाशिंगटन (Hanford, Washington) तथा यूरेनियम बम के लिए, वहां से हजारों मील दूर ओक रिज टैनसी (Oak Ridge, Tennesee) को चुना गया। सैद्धान्तिक भौतिकिज्ञों का अनुमान था कि एक बम के लिए कम-से-कम 5 किलोग्राम शुद्ध विखंडनशील पदार्थ की आवश्यकता होगी। इसे क्रान्तिक द्रव्यमान (critical mass) कहा जाता है। इनकी उत्पत्ति के लिए, उपरोक्त स्थानों पर विशाल कारखाने बनाए गए और इनके लिए बजट में 25 करोड़ डॉलर का प्रावधान किया गया।

नाभिक बम के निर्माण की सबसे बड़ी चुनौती थी, बड़ी मात्रा में शुद्ध यूरेनियम-235 अथवा प्लूटोनियम-239 की प्राप्ति। यूरेनियम-235 तथा यूरेनियम-238 समस्थानिक है, उनके रासायनिक गुण एक जैसे हैं, रासायनिक क्रिया द्वारा उन्हें अलग नहीं किया जा सकता। उन्हें

अलग करने के लिए गैसीय विसरण पद्धति (gaseous diffusion method) का प्रयोग किया गया। इस पद्धति में यूरेनियम धातु को रासायनिक क्रिया द्वारा यूरेनियम हैक्सा-फ्लोराइड (Uraniim, UF_6) गैस में परिवर्तित किया गया और फिर उसे सूक्ष्मरंध्र अवरोधकों (Porous barriers) से होकर निकाला गया। यह बहुत धीमी तथा अत्यन्त खर्चीली प्रक्रिया है। सन् 1960 में एक जर्मन वैज्ञानिक ने इसके लिए एक सस्ती तथा शीघ्रगामी पद्धति का आविष्कार किया। इसमें एक अपकेन्द्रित (centrifugel) में यूरेनियम को तेजी से घुमाया जाता है। इसके द्वारा भारी परमाणु (U-238) तथा हल्के परमाणु (U-235) विभिन्न कक्षाओं में घूमने लगते हैं और उन्हें अलग किया जा सकता है। जैसा पहले बताया गया था, प्लूटोनियम का निर्माण U-238 से किया जाता है। यूरेनियम तथा प्लूटोनियम के रासायनिक गुण एक दूसरे से भिन्न है, अतः उन्हें अलग करने में कोई कठिनाई नहीं थी। जुलाई, 1945 के अन्त तक दोनों प्रकार के बम तैयार हो गए थे।

2. शृंखला अभिक्रिया का संभाव्यता अध्ययन

वन्नेवार बुश की अध्यक्षता में यूरेनियम तथा अन्य आवश्यक पदार्थों का भारी मात्रा में संचय किया जा चुका था। बम बनाने से पहले विखंडनशील पदार्थो द्वारा नियंत्रित शृंखला अभिक्रिया का प्रदर्शन आवश्यक था। संयोगवश, नाभिकी की प्रायोगिक तथा सैद्धांतिक, दोनों विधाओं में समान रूप से दक्ष इटली के भौतिकिज्ञ एनरीको फेरमी कोलम्बिया विश्वविद्यालय से शिकागो विश्वविद्यालय में आ चुके थे। विखंडन दर को नियंत्रण में रखने के लिए वे विमन्दकों (moderators) तथा अवशेषकों (absorbers) का प्रयोग कर चुके थे। उन्होंने विमन्दकों के लिए ग्रेफाइट तथा अवशोषकों के लिए कैडमियम की छड़ों का प्रयोग किया था। अब आवश्यकता थी, एक नाभिक्रियक (unclear reactor) के निर्माण की, जिसमें विमंदक तथा अवशोषकों द्वारा न्यूट्रानों का विखंडन गुणांक घटाया-बढ़ाया जा सके। एक से कम गुणांक द्वारा विखंडन क्रिया शून्य हो जाएगी, और यदि वह एक से थोड़ा भी अधिक हो, तो नाभिक विखंडन तथा ऊर्जा की उत्पत्ति बढ़ती जाएगी।

नाभिक अभिक्रियक के निर्माण के लिए शुद्ध यूरेनियम की आवश्यकता नहीं थी, इस परीक्षण के लिए यूरेनियम में यूरेनियम-235 की पाँच प्रतिशत मात्रा पर्याप्त थी। वहां 385 टन ग्रेफाइट, 6 टन यूरेनियम की चादर के ऊपर ग्रेफाइट की चादर, इसी एकान्तर (alternating) विधि से चादरें रखी गईं। इन चादरों में छेद करके कैडमियम की छड़ें लगाई गई थीं। यूरेनियम, ग्रेफाइट तथा कैडमियम की इस संरचना को अम्बार (pile) का नाम दिया गया। प्रारम्भ में सभी छड़ें अम्बार के अन्दर थीं। अम्बार को शिकागो विश्वविद्यालय के एक स्क्वाश कोर्ट में स्थापित किया गया। अम्बार की लम्बाई 32 फीट, चौड़ाई 30 फीट तथा ऊंचाई 21.5 फीट थी। उसका कुल भार 1,400 टन था। यूरेनियम-235 तथा प्लूटोनियम-239 बनाने के संयन्त्रों का मूल्य लगभग 2 अरब डॉलर था।

शृंखला अभिक्रिया का परीक्षण करने के लिए एक-एक करके धीरे से अवशोषक छड़ें बाहर खीची गईं, न्यूट्रॉनों की संख्या तथा विखंडन की गति बढ़ती गई। फेरमी का उद्देश्य था, अम्बार द्वारा नियंत्रित रूप से परमाणु ऊर्जा का विमोचन (release)। उनके निर्देशन में 2 दिसम्बर, 1942 को पहले परमाणु अम्बार का सफल परीक्षण हुआ। फेरमी ने उसे 28 मिनट तक इसे सक्रिय रखा। इससे केवल 0.5 वाट शक्ति उत्पन्न हुई, परीक्षण सफल हुआ, नाभिक युग का आविर्भाव हुआ। ध्यान देने योग्य है कि फेरमी के सफल परीक्षण से कई महीने पहले, दो स्थानों, ओक रिज (टैनसी), हैनफोर्ड (वॉशिंगटन), में बड़े पैमाने पर, विखंडनशील पदार्थ बनाने का कार्य प्रारम्भ हो गया था, इस विश्वास के साथ कि फेरमी शृंखला अभिक्रिया का सफल परीक्षण करके दिखा देंगे।

3. प्रयासों का केन्द्रीकरण

अब प्रयासों के केन्द्रीकरण की आवश्यकता थी। फेरमी के यूरेनियम अभिक्रियक (reactor) के सफल परीक्षण से पहले, 17 सितम्बर सन् 1942 को ब्रिगेडियर जनरल लैजली ग्रोव (Brigadier General Leslie Grove) के अधीक्षण में न्यू मैक्सिको के एक एकांत स्थान, लॉस अल्मोस में परमाणु बम बनाने के लिए प्रयोगशालाएं, कर्मचारियों तथा वैज्ञानिकों के लिए निवास स्थान बनाने का काम प्रारम्भ कर दिया था। सैकड़ों वैज्ञानिक, लगभग 3,000 इंजीनियर इस काम में लगाए गए थे। फरवरी, 1943 में जो. रोबर्ट ओपनहाइमर परमाणु बम प्रोजेक्ट के निदेशक बनाए गए। उनके अधीक्षण में सात प्रभाग थे, कुछ प्रभागों तथा उनके अध्यक्षों के नाम हैंसैद्धान्तिक भौतिकी (हान्स बेथे, Hans Bethe), प्रायोगिक भौतिकी (रॉबर्ट विल्सन, Robert Wilson), विस्फोटक, (जार्ज किस्टियाकौस्की (George Kistiakowsky)। सम्भवतः फेरमी को छोड़कर, परमाणु बम के निर्माण का सर्वाधिक श्रेय ओपेनहाइमर को है।

परमाणु बम बनाने के लिए यूरेनियम-235 तथा प्लूटोनियम-239 के क्रान्तिक द्रव्यमान (critical mass) की आवश्यकता थी (इससे कम द्रव्यमान बिना विस्फोटक संभव नहीं था)। अन्त में, कठिन परिश्रम के पश्चात बम बनाने के लिए पर्याप्त द्रव्यमान उपलब्ध हुआ। 16 जुलाई, 1945 को न्यू मैक्सिको में परमाणु बम का परीक्षण हुआ तथा 6 अगस्त, 1945 को जापान के नगर हिरोशिमा और 9 अगस्त 1945 को नागासाकी के ऊपर परमाणु बम गिराए गए, जिसमें लाखों व्यक्ति मारे गए। जापान के आत्मसमर्पण के पश्चात् द्वितीय विश्व युद्ध समाप्त हुआ। यह एक भयंकर त्रासदी है कि परमाणु युग का आविर्भाव एक नृशंस जनसंहार द्वारा हुआ।

7 मई, 1947 को जर्मनी ने आत्मसमर्पण कर दिया था। जापान की पराजय अधिक दूर नहीं थी, वह पीछे हट रहा था। नाभिक बम का

कार्य तेजी से चल रहा था। कुछ वैज्ञानिकों को आशंका थी कि जापान पर बिना चेतावनी के बम डाल दिया जाएगा। वे इसे अनैतिक मानते थे। उनकी राय थी कि बम डालने से पहले जापान को एक निर्जन स्थान बम का प्रयोग दिखा दिया जाय। चेतावनी के पक्षधर दो नोबेल पुरस्कार विजेता वैज्ञानिक थे, पहले, जेम्स फ्रैंक, जो सन् 1935 में जर्मनी से अमेरिका आए थे, तथा दूसरे, डेनमार्क के नील्स बोर। फ्रैंक ने अमेरिका के युद्ध-सचिव (War secretary) को एक ज्ञापन में लिखा : वैज्ञानिकों पर दोषारोपण किया जाता है कि वे विध्वंसकारी आयुध बनाने में सरकारों की सहायता करते हैं। इनके द्वारा भारी मात्रा में निर्दोष व्यक्ति हताहत होते हैं। अतः वैज्ञानिकों का दायित्व है कि वे विध्वंसकारी आयुधों का अनावश्यक प्रयोग न होने दें।

बोर, फ्रैंक के विचारों से सहमत थे। वे चाहते थे कि नाभिक बम बनाने का समाचार, फ्रांस तथा रूस से न छिपाया जाय। बोर को ज्ञात था कि विज्ञान की कोई खोज देर तक रहस्यमय नहीं रहती, अन्य वैज्ञानिक उसे थोड़े समय में खोज लेते हैं। विश्व युद्ध से पहले वैज्ञानिक अनुसंधानों को मुक्त रूप से जर्नलों में प्रकाशित किया जाता था, ऐसे वातावरण में वे एक-दूसरे के विश्वासपात्र बन जाते थे। गोपनीयता का प्रश्न लेकर बोर व्यक्तिगत रूप से रूजवेल्ट तथा चर्चिल से मिले। रूजवेल्ट ने बोर की बात को ध्यानपूर्वक सुना चर्चिल की प्रतिक्रिया भिन्न थी, उन्होंने बोर के सुझाव को पूर्णतः अस्वीकार करते हुए रूजवेल्ट से आग्रह किया कि गोपनीयता का उल्लंघन करने के लिए बोर को तुरन्त जेल में डाल दिया जाए। इन परिस्थितियों में फ्रांस तथा रूस को नाभिक बम का समाचार नहीं दिया गया।

आइन्स्टाइन को नाभिक बम की परियोजना से दूर रखा गया था। वे बोर तथा फ्रैंक के शांतिवादी विचारों से सहमत थे। सन् 1955 में उन्होंने एक अनन्य शांतिवादी, बर्ट्रेंड रसल (Bertand Russel) के साथ नाभिक बम बनाने तथा उनके परीक्षण पर रोक लगाने का अभियान चलाया था।

यद्यपि द्वितीय विश्व युद्ध में अमेरिका, ब्रिटेन तथा सोवियत यूनियन एकजुट थे, परन्तु उनके बीच गहरे राजनीतिक मतभेद थे। अमेरिका, ब्रिटेन तथा फ्रांस में लोकतांत्रिक सरकारें थी। अमेरिका तथा ब्रिटेन के घनिष्ठ सम्बन्ध रहे थे, दोनों रूस के साम्यवाद के तीव्र विरोधी थे। विश्व युद्ध के पश्चात् एशिया तथा अफ्रिका के यूरोपीय उपनिवेश स्वतंत्र होने लगे थे। युद्ध के पश्चात् अमेरिका तथा सोवियत यूनियन की गणना प्रथम श्रेणी के राज्यों में होने लगी थी, ब्रिटेन, फ्रांस, जर्मनी आदि देश द्वितीय श्रेणी के राष्ट्र बन गए थे। विश्व द्विध्रुवी (bipolar) बन गया था, अमेरिका लोकतांत्रिक पूंजीवादी देशों का नेतृत्व तथा रूस साम्यवादी देशों का नेतृत्व कर रहा था। उनमें टकराव हुआ और अमेरिका ने कोरिया तथा वियतनाम में अपनी सेनाएं भेजी, प्रत्युत्तर में रूस ने कोरिया तथा वियतनाम को हथियार प्रदान किया।

अमेरिकी सरकार का विश्वास था कि विश्व के अन्य देश परमाणु बम बनाने में असफल होंगे। परन्तु अमेरिका द्वारा परमाणु बम के परीक्षण के चार वर्ष पश्चात् रूस ने परमाणु बम का सफल परीक्षण किया। अमेरिका तथा रूस के शीत युद्ध में तेजी आई, उनमें हाइड्रोजन बम बनाने की होड़ लग गई। हाइड्रोजन बम को ताप-नाभिकीय बम (Thermo-nuclear bomb) भी कहा जाता है। हाइड्रोजन बम परमाणु बम से सैकड़ों गुना शक्तिशाली है। अभी तक विश्व के सात देशों ने परमाणु बम का सार्वजनिक प्रदर्शन किया है, इनके नाम तथा प्रदर्शन वर्ष कोष्ठक में दिए गए हैं। अमेरिका (1945), रूस (1949), ब्रिटेन (1952), फ्रांस (1960), चीन (1964), भारत (1974) तथा पाकिस्तान (1998)। अभी तक चार देशों, रूस, अमेरिका, ब्रिटेन तथा चीन के पास हाइड्रोजन बम है।

नाभिक बमों के अतिरिक्त, यूरेनियम-235 पर आधारित अभिक्रियकों का उपयोग पनडुब्बी तथा वायुयान संवाहकों (aircraft carriers) के लिए भी किया गया है। सन् 1954 में अमेरिका की जल सेना ने सबसे पहले नॉटिलस (Nautilas) नामक पनडुब्बी तथा एक एयरक्राफ्ट संवाहक के लिए नाभिक ऊर्जा का प्रयोग किया। इन अभिक्रियकों की लागत बहुत अधिक थी, उनके निर्माण में कई वर्ष लग जाते थे, तथा उनकी तुलना में गैस से बनाई गई बिजली बहुत सस्ती पड़ती थी। अतः उनका अधिक प्रचलन नहीं हुआ।

सैन्य कार्यों के अतिरिक्त नाभिक अभिक्रियकों का उपयोग बिजली उत्पन्न करने के लिए भी किया जाने लगा। 20 दिसम्बर, 1951 में अमेरिका के एक राज्य आइडहो (Idaho) में नाभिक अभिक्रियक (nuclear reactor) द्वारा 100 किलोवाट विद्युत शक्ति (electric power) उत्पन्न की गई। 27 जून, 1954 को रूस ने 5 मेगावाट का एक अभिक्रियक बनाया। सन् 1956 में व्यापार के लिए ब्रिटेन ने सैलाफील्ड (Selafield) में 50 मेगावाट की क्षमता के नाभिक अभिक्रियक का निर्माण किया। नाभिक ऊर्जा के रचनात्मक उपयोग तथा परमाणु बम के निर्माण को नियंत्रित करने का उद्देश्य लेकर सन् 1955 में जेनेवा (स्विटजरलैन्ड) में संयुक्त राष्ट्र के तत्वाधान में वैज्ञानिकों एवं इंजीनियरों की एक विशाल बैठक हुई। इसके फलस्वरूप, सन् 1957 में राष्ट्र संघ के तत्वाधान में एक अन्तर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा एजेंसी (International Atomic Energy Agency, IAEA) की स्थापना की गई।

संगलन अभिक्रिया पर एक दृष्टि

शृंखला विखंडन अभिक्रिया में भारी विखंडनशील परमाणु, उदाहरणतः यूरेनियम-235, छोटे परमाणुओं में परिवर्तित हो जाते हैं। यह अभिक्रिया प्रकृति में कहीं नहीं पाई जाती है, यह पूर्णतः मनुष्य का आविष्कार है। इनका विलोम, संगलन अभिक्रिया (fusion reaction), जिसमें हाइड्रोजन

के चार परमाणु, उससे भारी परमाणु, हीलियम में परिवर्तित हो जाते हैं, प्रकृति के अधिकांश तारों में विद्यमान हैं। इसके लिए 50 मिलियन से लेकर 400 मिलियन डिग्री तापक्रम की आवश्यकता होती है। यह पृथ्वी पर उपलब्ध नहीं है, इन्हें केवल परमाणु बम विस्फोट द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। यूरेनियम के विखंडन में यूरेनियम परमाणु का 0.1 प्रतिशत द्रव्यमान, तथा संगलन अभिक्रिया के हाइड्रोजन का 0.5 प्रतिशत द्रव्यमान ऊर्जा में परिवर्तित हो जाता है।

हाइड्रोजन के संगलन द्वारा इतनी विशाल ऊर्जा उत्पन्न होने की जानकारी जर्मनी से अमेरिका आए हुए एक प्रखर भौतिकिज्ञ, हान्स अल्ब्रेख़्ट बैथे (Hans Albrecht Bethe, 1,906,005) के शोधकार्य से प्राप्त हुई थी। बैथे का जन्म जर्मनी में हुआ था, उन्होंने आर्नोल्ड सॉमरफैल्ड के मार्गदर्शन में पी-एच.डी. की उपाधि प्राप्त की थी। उनकी माता यहूदी परिवार से थी, सन् 1953 में वे अमेरिका के कौर्नेल विश्वविद्यालय में भौतिकी के प्राध्यापक नियुक्त हुए। मैनहैटन परियोजना में बैथे की अत्यन्त महत्त्वपूर्ण भूमिका थी, वे सैद्धान्तिक भौतिकी विभाग के अध्यक्ष थे, और हाइड्रोजन बम की परियोजना में उनका महत्त्वपूर्ण योगदान था। सन् 1967 में उन्हें नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा तारों में ऊर्जा की उत्पत्ति के विषय पर भौतिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

सन् 1938 में प्रकाशित शोधपत्र में उन्होंने बताया था कि सूर्य तथा अन्य तारों में ऊर्जा की उत्पत्ति का स्रोत नाभिकीय अभिक्रियाएँ है, जिनमें हाइड्रोजन परमाणुओं के संगलन से हीलियम परमाणु की उत्पत्ति होती है। यह अभिक्रिया निम्नलिखित स्तरों पर होती है : पहले दो या तीन हाइड्रोजन परमाणुओं से उसके दो समस्थानिकों (isotopes) ड्यूटोरियम (Deutorium) तथा ट्रिटियम (Tritium) का निर्माण होता है और फिर इनके संगलन से हीलियम-4 तथा उसके अन्य समस्थानिकों (isotopes) का निर्माण होता है।

$$^{2}H_{1} + {}^{3}H_{1} = {}^{4}He_{2} + {}^{1}n_{0} + 17.8\text{Mev}$$

संगलन अभिक्रिया द्वारा हाइड्रोजन, हीलियम में परिवर्तित हो जाती है। इसके पश्चात, तारे का संकुचन (contraction) प्रारम्भ होता है, गुरुत्वाकर्षण ऊर्जा, ऊष्मा में बदल जाती है, तथा हीलियम का तापक्रम बढ़ जाता है, और हीलियम के संगलन से भारी परमाणु, $^{12}C_{6}$ का जन्म होता है।

$$^{4}He_{2} + {}^{4}He_{2} = {}^{8}B_{e4}$$

$$^{4}He_{2} + {}^{4}He_{2} + {}^{4}He_{2} = {}^{12}C_{6}$$

हीलियम समाप्त होने के पश्चात तारे का फिर संकुचन होता है, तापक्रम बढ़ता है और भारी तत्त्वों का जन्म होता है। यह चक्र चलता रहता है। प्रश्न उठा, कि इस 'शृंखला में तारों की अन्तिम अवस्था क्या होगी? इस प्रश्न का उत्तर भारत के एक 20 वर्षीय विद्यार्थी, सुब्रह्मनियम चंद्रशेखर ने दिया था। वे कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय में उच्च शिक्षा प्राप्त करने के लिए जलयान से लन्दन जा रहे थे। उनका उत्तर था, यह तारों के प्रारम्भिक द्रव्यमान पर निर्भर है। यदि तारे का द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान के 1.44 से कम है तो, वह तारा श्वेत वामन (white dwarf) में बदल जाता है, यदि वह अधिक है तो तारा कृष्ण विवर (black hole) में परिवर्तित हो जाता है। उनके प्रोफेसर आर्थर एडिंगटन (Arther Eddington) ने उनके हल को दृढ़तापूर्वक अस्वीकार किया, परन्तु तीस वर्ष पश्चात उसे सही पाया गया। सन् 1983 में चन्द्रशेखर को उपरोक्त खोज के लिए भौतिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया था।

सन्दर्भ

1. *The Physicists*, C.P. Snow, Little, Brown & Company, Boston, MA, USA
2. *Atoms in the Family*, *my life with Enrich Fermi*, by Laura Fermi, University of Chicago Press, 1954
3. *Asimov's New Guide to Science*, Isaac Asimov, Basic Books, Inc. New York (1984)
4. *Einstein*, Jeremy Bernstein, Viking Press, New York (1973)