



मुलांनो, तुम्हाला हे माहीतच आहे की आपल्याला रोज ठराविक प्रमाणात जेवावे लागते, कारण आपल्या दिनचर्येतील वेगवेगळी कामे करण्याकरिता आपल्याला जी ऊर्जा लागते ती या अन्नातून मिळते. त्याचप्रमाणे आपल्या वापरातील विविध साधने चालविण्याकरिता पण ऊर्जा लागते.

ही ऊर्जा आपल्याला कशी मिळते?

घरात लागणारी ऊर्जा आपल्याला दोन प्रकारे मिळते –

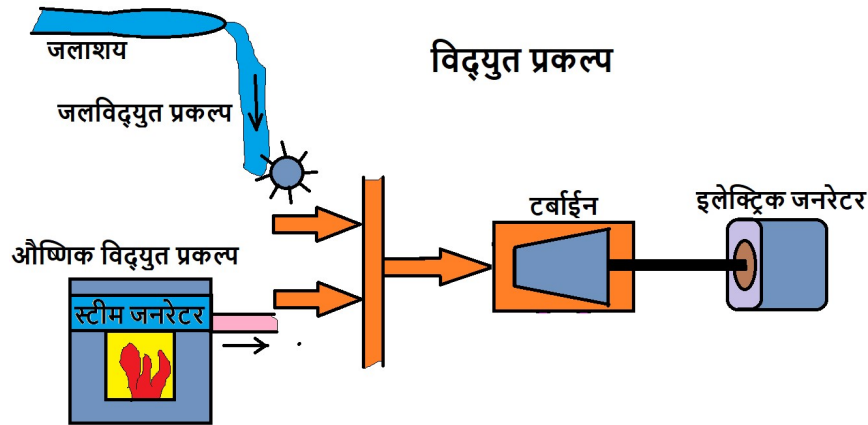
1. स्वयंपाकाकरिता लागणारे केरोसीन किंवा घरगुती गॅस (LPG), वाहनांकरिता लागणारे पेट्रोल किंवा डिझेल यांच्या ज्वलनातून ऊर्जा उत्पन्न होते, ती वाहनांना गती देण्याकरिता वापरता येते. म्हणजे आपण गॅस किंवा पेट्रोल सारखी इंधने विकत घेतो आणि यांमध्ये असलेल्या रासायनिक ऊर्जेचे उष्णता किंवा गतिज ऊर्जेत रूपांतर करून आपण ती वापरतो.
2. घरातील दिवे, पंखे, फ्रिज, दूरचित्रवाणी संच ही साधने विजेवर चालतात, जी वीज आपल्याला राज्यातील वीज महामंडळे पुरवितात, ती आपल्याला विजेच्या तारांमधून मिळते.

पण या तारांमध्ये ही वीज येते कुठून?

वीज आपल्याला मिळते ती जनित्रांनी उत्पन्न केल्यानंतर. जनित्रातून ही वीज तारांमधून आपल्या घरापर्यंत पोचविली जाते.

ज्याप्रमाणे पेट्रोल किंवा घरगुती गॅस यांमध्ये रासायनिक ऊर्जा साठविलेली असते आणि ती ज्वलनातून वापरता येते, तसे विजेचे नाही. वीज ही विशिष्ट प्रकारच्या जनित्रातून उत्पन्न करावी लागते. मात्र ती रासायनिक इंधनांप्रमाणे साठविता येत नाही, तर तिचा लगेच वापर करावा लागतो. म्हणून ही जनित्रे विजेच्या आवश्यकतेनुसार चालवावी लागतात.

विद्युत जनित्र हे विद्युत चुंबकीय प्रवर्तनावर आधारित असते. यात विद्युतवाहक कुंडल चुंबकीय क्षेत्रात फिरवून वीजनिर्मिती केली जाते. हे कुंडल फिरविण्याकरिता जे यंत्र वापरले जाते ते म्हणजे टर्बाईन. टर्बाईन ह्या यंत्रामध्ये एखाद्या द्रव पदार्थाच्या (उदा. पाणी, वाफ, गरम वायू इ.) गतिज ऊर्जेचे वर्तुळाकार गतीत रूपांतर होते. जो द्रव पदार्थ वापरावयाचा असेल त्याप्रमाणे टर्बाईनची रचना केलेली असते. उदा. जलविद्युत केंद्रामध्ये उंचावर साठविलेले पाणी टर्बाईन च्या पाल्यांवर टाकले जाते, म्हणजे पाण्याच्या साठ्यातील स्थितिक ऊर्जेचे टर्बाईनला गती देऊन पुढे विद्युत शक्तीत रूपांतर केले जाते. तर औष्णिक केंद्रामध्ये कोळशाच्या ज्वलनाने पाण्याची वाफ करून त्या वाफेच्या साहाय्याने टर्बाईन चालविले जाते, म्हणजे कोळशातील रासायनिक ऊर्जेचे विद्युत शक्तीत रूपांतर होते.



वर सांगितलेल्या ऊर्जेच्या साधनांच्या (म्हणजे जलविद्युत केंद्रातील पाण्यातील स्थितिज ऊर्जा किंवा औष्णिक केंद्रातील कोळशातील रासायनिक ऊर्जा) तुलनेत असे एक इंधन अस्तित्वात आहे ज्यात कैक पट ऊर्जा सामावलेली असते, ते म्हणजे अणुऊर्जा.



अणुभट्टीत वापरल्या जाणाऱ्या युरेनियमच्या विभाजनातून बाहेर पडणारी ऊर्जा ही सध्या अस्तित्वात असणाऱ्या इंधनात सर्वात जास्त आहे. एक किलोग्रॅम कोळसा आणि एक किलोग्रॅम युरेनियम यांची तुलना केली, तर युरेनियमच्या वापरातून मिळणारी ऊर्जा कोळशाच्या काही लाख पट असते.

ऊर्जेच्या या साधनांमध्ये आणि अणुऊर्जेत काय फरक असतो तो आता पाहूया.

अणुमधील ऊर्जा

या विश्वातील सर्व वस्तू वेगवेगळ्या अणूपासून बनल्या आहेत. प्रत्येक अणूच्या केंद्रकामध्ये प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन असतात, तर इलेक्ट्रॉन बाहेरील कवचांमध्ये फिरत असतात. प्रत्येक मूलद्रव्याच्या अणूमध्ये प्रोटॉनची संख्या वेगळी असते आणि त्याला आपण अणुअंक ($Z = \text{Atomic Number} = \text{Number of Protons}$) म्हणतो. तुम्हाला माहीतच आहे की अणूच्या केंद्रकात जेवढे प्रोटॉन असतात तेवढेच इलेक्ट्रॉन असतात. अणूच्या केंद्रकातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनच्या एकंदर संख्येला आपण अणुवस्तुमानांक ($A = \text{Atomic Mass} = \text{Number of Protons} + \text{Neutrons}$) म्हणतो. हे लिहिण्याची पद्धत अशी आहे- जर X हे मूलद्रव्य असेल, Z त्याचा अणुअंक आणि A अणुवस्तुमानांक असेल तर मूलद्रव्य ${}_Z X^A$ असे लिहितात.

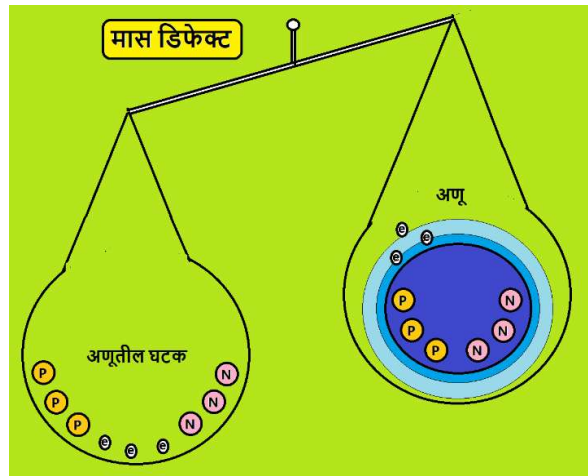
उदा. हेलियम = ${}_2\text{He}^4 = \{Z = 2, A = 4\}$, सोडियम = ${}_{11}\text{Na}^{23} = \{Z = 11, A = 23\}$,

क्लोरीन = ${}_{17}\text{Cl}^{35} = \{Z = 17, A = 35\}$

याचाच अर्थ की आपल्याला एखाद्या मूलद्रव्यातील न्यूट्रॉनची संख्या हवी असेल, तर आपण ती $A - Z = \text{अणुवस्तुमानांक} - \text{अणुअंक}$ या वजाबाकीतून मिळवू शकतो. उदा. क्लोरीनचा अणुअंक (किंवा प्रोटॉनची संख्या) आहे 17, आणि अणुवस्तुमानांक (किंवा प्रोटॉन + न्यूट्रॉन ची संख्या) आहे 35, म्हणजे क्लोरिनमधील न्यूट्रॉन असणार $35 - 17 = 18$.

प्रत्येक मूलद्रव्याचा अणुअंक (म्हणजेच प्रोटॉनची संख्या) हा त्याच्या गुणधर्माशी निगडित असतो. मात्र त्यातील न्यूट्रॉनची संख्या ही नेहमीच निश्चित नसते. काही मूलद्रव्यांमध्ये वेगवेगळ्या अणुवस्तुमानांकाचे अणू असू शकतात, (म्हणजे मूलद्रव्याच्या दोन प्रकारच्या अणूंमध्ये प्रोटॉनची संख्या समान पण न्यूट्रॉनची संख्या वेगळी) त्यांना अणूचे समस्थानिक (Isotope) म्हणतात. उदा. क्लोरीनचे दोन समस्थानिक मिळतात, ते म्हणजे ${}_{17}\text{Cl}^{35}$ आणि ${}_{17}\text{Cl}^{37}$.

साधारणपणे एखाद्या वस्तूचे वजन त्या वस्तूतील घटकांच्या वजनाच्या बेरजेइतके असते. उदा. समजा एका चेंडूचे वजन 100 ग्रॅम आहे आणि पिशवीचे वजन 50 ग्रॅम आहे. जर त्या पिशवीत आपण 10 चेंडू ठेवले, तर आता तिचे वजन होईल $100 \times 10 + 50 = 1050$ ग्रॅम. म्हणजे एखाद्या मूलद्रव्याच्या अणूचे वजन त्यातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन यांच्या वजनाच्या बेरजे इतके हवे. मात्र प्रत्यक्षात असे आढळून येते की अणूचे वजन (Atomic Weight) त्याच्यात असलेल्या स्वतंत्र प्रोटॉन, इलेक्ट्रॉन आणि न्यूट्रॉन यांच्या वजनाच्या बेरजेपेक्षा थोडे कमी असते. या फरकाला 'मास डीफेक्ट' ($\Delta m = \text{Mass Defect}$) असे म्हणतात.





पूर्वी वस्तुमान आणि ऊर्जा हे अविनाशी आहेत असे समजले जात होते, पण अल्बर्ट आईन्स्टाईन या थोर शास्त्रज्ञाने या दोघांचे एकमेकात रूपांतर होऊ शकते असा सिद्धांत मांडला. या सिद्धांताप्रमाणे

$$E \text{ (ऊर्जा)(Joules)} = m \text{ (वस्तुमान)(kg)} \times c^2 \text{ (प्रकाशाचा वेग) (m/sec}^2)$$

त्यामुळे वस्तुमानातील या फरकाचे ऊर्जेत रूपांतर केले असता मिळणाऱ्या उर्जेला 'अणुकेंद्रातील घटकांना एकत्र बांधून ठेवणारी ऊर्जा' - बाइंडिंग एनर्जी (Binding Energy), असे म्हणतात.

$$\text{त्यामुळे BE (बाइंडिंग एनर्जी)} = \Delta m \text{ (मास डिफेक्ट)} \times c^2 \text{ (प्रकाशाचा वेग)}$$

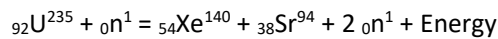
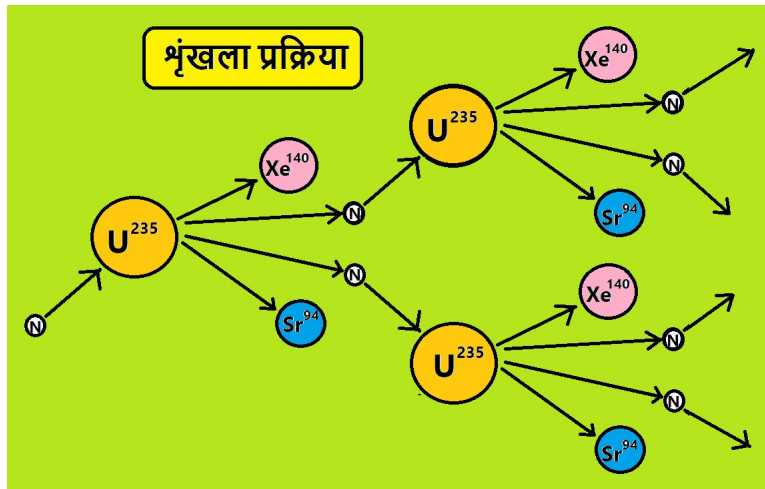
विविध मूलद्रव्यांमध्ये ही बाइंडिंग एनर्जी वेगळी असते. त्यांची तुलना करण्याकरिता एक संज्ञा वापरली जाते, ती म्हणजे (BE/Nucleon = बाइंडिंग एनर्जी)/(अणूतील प्रोटॉन + न्यूट्रॉन). ही ऊर्जा (BE/Nucleon) ज्या मूलद्रव्यात जास्त असते ती स्थिर (Stable) असतात तर ज्यात कमी असते ती मूलद्रव्ये भंग पावू शकतात.

ज्या मूलद्रव्यांचे आण्विक वस्तुमान 209 च्या पेक्षा अधिक आहे, ती मूलद्रव्ये अशी अस्थिर (Unstable) आणि किरणोत्सारी (Radioactive) असतात आणि त्यांचे स्थिर समस्थानिक (Stable Isotopes) नाहीत. त्यातून अल्फा, बीटा आणि गॅमा किरण बाहेर पडतात आणि त्यानंतर त्यांचे स्थिर मूलद्रव्यात रूपांतर होते.

मग अणुशक्तीच्या उत्पादनासाठी कोणते मूलद्रव्य योग्य आहे?

वर सांगितल्याप्रमाणे मूलद्रव्यांच्या आवर्तसारणीतील जास्त अणुवस्तुमानांक असलेली मूलद्रव्ये अस्थिर असतात, पण अणुभट्टीकरिता ती सर्व उपयोगी नाहीत. त्याकरिता असे मूलद्रव्ये लागते, ज्याचे सहजपणे विभाजन होऊन जास्तीत जास्त ऊर्जा बाहेर पडेल. संशोधकांनी हे शोधून काढले की निसर्गात उपलब्ध असणारे ${}_{92}\text{U}^{235}$ हे मूलद्रव्य याकरिता उपयोगी आहे.

युरेनियम ह्या नैसर्गिकरित्या उपलब्ध असणाऱ्या खनिजाचे ${}_{92}\text{U}^{235}$ आणि ${}_{92}\text{U}^{238}$ ही दोन समस्थानिके मिळतात, त्यापैकी ${}_{92}\text{U}^{235}$ चे प्रमाण 0.7% आणि ${}_{92}\text{U}^{238}$ चे प्रमाण 99.3% असते. यापैकी युरेनियम (${}_{92}\text{U}^{235}$) हे मूलद्रव्य न्यूट्रॉनच्या साहाय्याने भंग पावू शकते. त्याच्या केंद्रकामधे न्यूट्रॉनने शिरकाव केला तर तो अस्थिर बनतो आणि भंग पावतो. ते भंग पावताना दोन लहान अणू आणि त्याबरोबर काही प्रक्रियात 2 तर काही प्रक्रियात 3 न्यूट्रॉन तयार होतात, जे ही प्रक्रिया पुढे चालू ठेवतात. यालाच शृंखला प्रक्रिया (Chain Reaction) असे म्हणतात.



(U - युरेनियम, Xe - झेनॉन, Sr - स्ट्रॉन्शियम, n - न्यूट्रॉन)

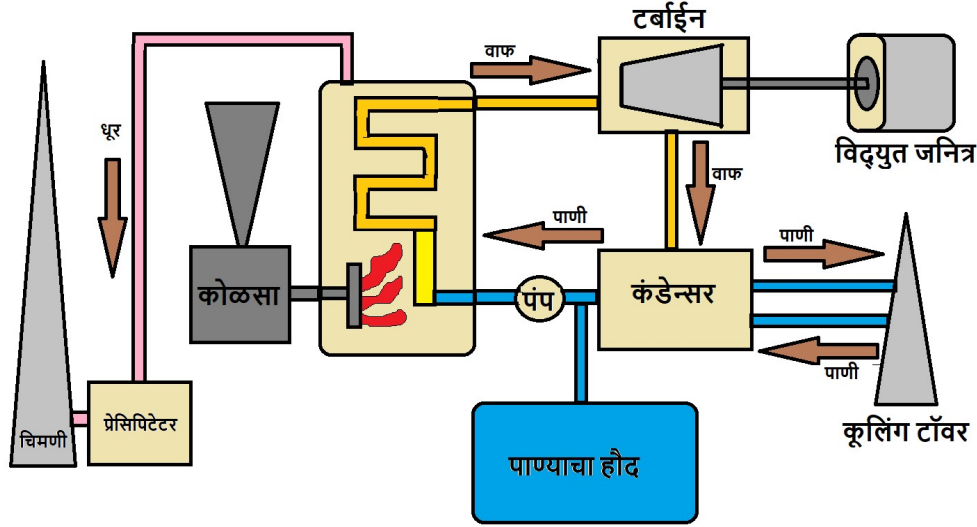
युरेनियमच्या विभाजनात त्याचे विविध पद्धतीने दोन अणू बनू शकतात, त्यापैकी एक उदाहरण वर दिले आहे. साधारणपणे यातील नवीन बनणाऱ्या अणूंचे आण्विक वस्तुमान 140 आणि 94च्या आसपास असते. या समीकरणातील युरेनियम आणि त्याचे तुकडे

होऊन बनलेली मूलद्रव्ये यांची तुलना केल्यास असे दिसते की युरेनियमच्यापेक्षा नवीन बनलेल्या मूलद्रव्यांची बाइंडिंग एनर्जी जास्त आहे किंवा त्या मूलद्रव्यांचे वस्तुमान युरेनियमपेक्षा कमी आहे. म्हणून या आण्विक प्रक्रियेमध्ये युरेनियमचा ऊर्जा बाहेर पडते. या तत्वाचा वापर अणुभट्टी बनविण्यात केला जातो.

औष्णिक विद्युत केंद्र

अणुभट्टीची रचना समजून घेण्याअगोदर आपण औष्णिक विद्युत केंद्राची रचना बघूया, कारण या दोन्हीत खूप समानता असते.

औष्णिक विद्युत केंद्र



औष्णिक विद्युत केंद्रात कोळशाचे ज्वलन करून उत्पन्न झालेल्या उष्णतेने बॉयलरमध्ये पाण्याची वाफ बनविली जाते. या वाफेच्या साहाय्याने टर्बाईन ची पाती फिरविली जातात आणि पर्यायाने विद्युत जनित्र फिरविले जाते, ज्यायोगे वीज तयार होते. ही सगळी वाफ कंडेन्सरमध्ये थंड करून तिचे पाण्यात रूपांतर केले जाते आणि पंपाच्या साहाय्याने ती पुन्हा वापरण्याकरिता पाठविली जाते. अणुभट्टी मध्ये कोळशाऐवजी पाणी गरम करण्याकरिता अणुशक्तीचा वापर केलेला असतो.

अणुभट्टी चालविण्याकरिता कोणत्या गोष्टी आवश्यक आहेत?

इंधन (Fuel) = अणुभट्टीस लागणारे इंधन म्हणजे युरेनियम(U^{235}). खाणीत सापडणाऱ्या युरेनियममध्ये U^{238} चे प्रमाण जास्त असते, U^{235} फक्त 0.7 % असते, म्हणून अणुभट्टीच्या आवश्यकतेनुसार U^{235} चे प्रमाण वाढवून त्याच्या कांबीचा वापर केला जातो.

मंदक (Moderator) = युरेनियमच्या विभाजनातून उत्पन्न होणारे न्यूट्रॉन वेगवान असतात, तर युरेनियम(U^{235}) च्या विभाजनाकरिता कमी ऊर्जेचे न्यूट्रॉन लागतात, म्हणून न्यूट्रॉनची ऊर्जा कमी करण्याकरिता मंदकाचा वापर केला जातो. साधारणपणे भारतीय अणुभट्ट्या जड पाणी मंदक म्हणून वापरतात, कारण ते न्यूट्रॉन शोषून घेत नाही. (जड पाण्यात (D_2O) हायड्रोजनच्या ऐवजी त्याचाच ड्युटेरियम (D) हा समस्थानिक (Isotope) असतो)

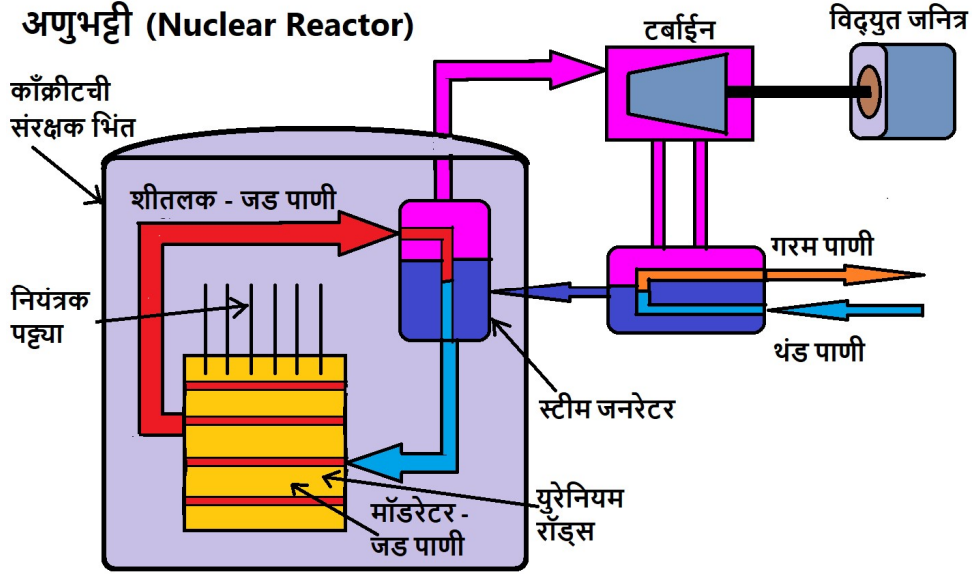
शीतलक (Coolant) = अणुभट्टीच्या गाभ्यात विभाजन प्रक्रियेमुळे उत्पन्न झालेली उष्णता वाहून नेण्याकरिता शीतलक लागते. याकरिता प्राथमिक चक्रात जड पाणी वापरले जाते, तर द्वितीय चक्रात साधे पाणी वापरले जाते.

नियंत्रक पट्ट्या (Control Rods) = शृंखला प्रक्रियेमुळे अणूंच्या विभाजनाची क्रिया सतत चालू राहते. मात्र ती प्रमाणाबाहेर जाऊन स्फोट होऊ नये, याकरिता नियंत्रक पट्ट्यांचा वापर केला जातो. साधारणपणे कॅडमिअम किंवा बोरॉन चा याकरिता उपयोग होतो.

अणुभट्टीचे कार्य कसे चालते?

अणुभट्टीत युरेनियम, मंदक आणि शीतलक यांची विशिष्ट पद्धतीने रचना केलेली असते. प्राथमिक शीतलकाचे जड पाणी अणुभट्टीतील उष्णता बाहेर वाहून नेते आणि द्वितीय चक्रातील पाण्याची वाफ बनविते. ही वाफ टर्बाईन आणि त्याला जोडलेला

विद्युत जनित्र चालविण्यासाठी वापरली जाते. या प्रक्रियेमध्ये किरणोत्साराचे उत्सर्जन होत असल्यामुळे या भोवती सर्व बाजूनी काँक्रीटची जाड भिंत बांधलेली असते. त्यामुळे धोकादायक किरणोत्सर्ग बाहेरील काम करणाऱ्या कर्मचाऱ्यांपर्यंत पोहोचत नाही. ही प्रक्रिया प्रमाणाबाहेर जाणार नाही याकरिता नियंत्रक पट्ट्यांचा वापर करून युरेनियमच्या विभाजनावर काळजीपूर्वक नियंत्रण ठेवले जाते. या प्रकारच्या अणुभट्टीला Pressurized Heavy Water Reactor – PHWR असे म्हणतात. या प्रकारच्या अणुभट्टीच्या तंत्रज्ञानात भारताने स्वयंपूर्णता मिळवली आहे.



अणुभट्टीतील ऊर्जा वरती दिलेल्या युरेनियमच्या आण्विक प्रक्रियेतून उत्पन्न होते. मात्र जर अणुभट्टी प्रथमच किंवा दीर्घकाळ दुरुस्तीसाठी बंद असून त्यानंतर सुरु करायची असेल तर त्याकरिता न्यूट्रॉन उत्पन्न करणारे काही विशिष्ट पदार्थ त्यात ठेवले जातात, ज्यामुळे युरेनियमचे विभाजन सुरु होते आणि नंतर शृंखला प्रक्रिया सुरु होते.

याचप्रमाणे अणुभट्टीच्या इतर रचना संशोधित केलेल्या असून त्यात अन्य प्रकारचे इंधन, शीतलक, मंदक यांचा वापर केला जातो. उदा. BWR- Boiling Water Reactor, FBR- Fast Breeder Reactor, इत्यादी. अशा अणुभट्ट्या भारतात आणि अन्य देशात कार्यरत आहेत.

भारताचा अणुऊर्जा वापरण्याचा कार्यक्रम काय आहे?

भारतात अणुऊर्जा वापरण्याची पायाभरणी डॉ. होमी जे भाभा यांनी केली आणि महत्वाकांक्षी कार्यक्रम आखला. या कार्यक्रमाची सुरुवात जड पाण्याच्या मंदकावर आधारित अणुभट्ट्यांनी (PHWR) झाली. या तंत्रज्ञानाच्या विकासात कॅनडाची मदत झाली. भारतात सध्या या तंत्रज्ञानावर आधारित तारापूर (महाराष्ट्र)-1400MW, कोटा (राजस्थान)-1180MW, नरोरा (उ प्र)-440MW, कायगा (कर्नाटक)-880MW, काक्रापारा (गुजरात)-440MW, आणि कल्पक्कम (तामिळनाडू)-470MW येथे अणुभट्ट्या कार्य करीत आहेत. याशिवाय कुडनकुलम येथे रशियाच्या सहकार्याने बनविलेली अणुभट्टी (2000MW) कार्यरत आहे.

उत्खनन केलेल्या युरेनियममध्ये U-238 चे प्रमाण 99.3% असते. न्यूट्रॉन च्या मान्याने त्याचे प्लुटोनियममध्ये रूपांतर करता येते, जे अणुभट्टीत वापरता येते. तसेच भारतात युरेनियमचे साठे मर्यादित असले तरी थोरियमचे मोठे साठे आहेत. थोरियमचे याच पद्धतीने U-233 मध्ये रूपांतर करता येते, जे अणुभट्टीकरता भविष्यात उपयोगी पडेल. याकरिता U-238 आणि थोरियम चे रूपांतर करणाऱ्या अणुभट्टीला फास्ट ब्रीडर अणुभट्टी म्हणतात, जी कल्पक्कम मध्ये बनविली आहे. त्याचप्रमाणे भविष्यात U-233 वापरण्याकरिता तंत्रज्ञान विकसित करण्याचा भारतीय शास्त्रज्ञांचा कार्यक्रम आहे.

अणुऊर्जेचा इतरत्र कुठे वापर केला जातो?



अणुशक्ती ही प्रामुख्याने औद्योगिक आणि घरगुती वापरासाठी लागणाऱ्या विजेच्या उत्पादनासाठी वापरली जाते. त्याशिवाय तिचा अन्य काही ठिकाणी वापर केला जातो, तो असा:

- पाणबुड्या आणि जहाजे यांच्याकरिता अणुशक्तीचा वापर केला जातो.
- सूर्यमालेत दूर जाणाऱ्या अवकाशयानात अणुशक्तीवर आधारित तंत्रज्ञान वापरले जाते. मात्र ही यंत्रे विशेष प्रकारची असतात.
- अणुशक्तीचा वापर करून वैद्यकीय, शेती आणि औद्योगिक कामांकरिता लागणारे किरणोत्सारी समस्थानिक (Radioactive Isotopes) बनविता येतात.