

भारताचे अणुऊर्जा धोरण

भारतीय अणुकार्यक्रमाची सुरुवात

भारताच्या यशस्वी अणुकार्यक्रमाची पायाभरणी राज्यघटना प्रत्यक्षात अस्तित्वात येण्याच्या अगोदरच झाली. दुसऱ्या महायुद्धा-मुळे भारतात परत आलेले अणुवैज्ञानिक होमी भाभा आणि नंतर पंतप्रधानपद भूषविणारे पंडित नेहरू यांच्यामधील चर्चामधून भारताने स्वातंत्र्यप्राप्तीनंतर लगेचच अणुऊर्जा कार्यक्रम सुरू करावा असे ठरले होते. डॉ. भाभा यांना अणुऊर्जा संशोधनासाठी मूलभूत विज्ञानाचा विकास होण्याची गरज लक्षात आली होती. त्यांनी या संशोधनासाठी मुंबईला जे.आर.डी. टाटा यांच्या सहकार्याने टाटा इन्स्टिट्यूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च (TIFR) ही संस्था १९४५ मध्ये स्थापन केली. डॉ. भाभा हे संस्थेचे पहिले संचालक होते.

स्वतंत्र भारताला प्रगती करण्यासाठी विज्ञानाची मदत घ्यावी लागेल हे ओळखून पंडित नेहरूंच्या पुढाकाराने विज्ञान संशोधन विभागाची स्थापना (Dept. of Scientific Research) जून १९४८ मध्ये झाली. तथापि, अणुऊर्जा संशोधनाला चालना देण्याची आवश्यकता भासल्याने ऑगस्ट, १९४८ मध्ये अणुऊर्जा आयोगाची (AEC : Atomic Energy Commission) स्थापना करण्यात आली. या घडामोडीत डॉ. भाभांचा सक्रिय सहभाग होताच. ते पहिल्या अणुऊर्जा आयोगाचे अध्यक्ष होते.

स्वातंत्र्यप्राप्तीनंतरच्या पहिल्या काही वर्षांमध्ये अणुऊर्जा कार्यक्रम यशस्वी होण्यासाठी पायाभूत सुविधा आणि संशोधनासाठी योग्य मनुष्यबळ विकसित करणे या गोष्टींवर लक्ष केंद्रित करण्यात आले होते. या कार्यक्रमाला गती देण्यासाठी ऑगस्ट, १९५४ मध्ये पंतप्रधानांच्या थेट अखत्यारीत असणारा अणुऊर्जा विभाग (DAE - Dept. of Atomic Energy) स्थापन करण्यात आला. यानंतर स्वतंत्र भारतातील अणुऊर्जा विकासाचा एकूण आराखडा आणि त्याची संकल्पना स्पष्ट करणारा ठराव पंडित नेहरूंनी १९५८ मध्ये लोकसभेपुढे मांडला. अणुऊर्जा विभागाने भारतीय नागरिकांच्या जीवनमानात प्रगती करण्यासाठी अणुऊर्जेचा

विकास करावा असे उद्दिष्ट विभागापुढे ठेवण्यात आले होते. अणुऊर्जेचा वापर करून ऊर्जेच्या बाबतीत भारताला स्वावलंबी बनवण्यासाठी हा विभाग आजवर कार्यरत असून या विभागाच्या अखत्यारीत येणाऱ्या अनेक संस्थांनी भारतीय अणुकार्यक्रम यशस्वी करण्याची जबाबदारी पेलली आहे.

अणुकार्यक्रमाची संस्थात्मक रचना

भारतातल्या अणुकार्यक्रमाची आखणी व त्यावर देखरेख करण्यासाठी १९४८ मध्ये स्थापन झालेल्या अणुऊर्जा आयोगाचे मोलाचे योगदान आहे.

भारत सरकारच्या अणुऊर्जा विभागातील सचिव हे अणुऊर्जा आयोगाचे पदसिद्ध अध्यक्ष असतात. २०१० मध्ये झालेल्या दुरुस्तीनुसार आता आयोगाची सदस्यसंख्या जास्तीत जास्त १५ करण्यात आली आहे. या आयोगाकडे पुढीलप्रमाणे जबाबदारी सोपविण्यात आली आहे.

(१) अणुऊर्जा विभागाचे धोरण ठरवून ते मंजुरीसाठी पंतप्रधानांपुढे ठेवणे.

(२) अणुऊर्जेच्या संदर्भातील भारत सरकारच्या सर्व धोरणांची अंमलबजावणी करणे.

(३) दरवर्षीसाठी अणुऊर्जा विभागाचा अर्थसंकल्प तयार करून तो सरकारकडून मंजूर करून घेणे.

अणुऊर्जेच्या विकासासाठी विभागाने अनेक संस्था स्थापन केलेल्या असून त्यांच्या कामावर देखरेख करण्याचे काम अणुऊर्जा आयोग करतो. अधिक संदर्भासाठी परिशिष्ट एक पहा.

अणुऊर्जा धोरणाचा आढावा

अणुगर्भातील प्रचंड ऊर्जा मोकळी करून ती नियंत्रित शृंखला क्रियेत उपयोगात आणता येईल याचे पहिले प्रात्यक्षिक १९४२ मध्ये एनिको फर्मी या शास्त्रज्ञाने दाखविले होते. या पहिल्या प्रायोगिक अणुभट्टीचे नाव 'शिकागो पाईल-१' असे होते. यानंतर जगभरात अणुऊर्जेचा वापर करण्याचे तंत्रज्ञान विकसित होऊ लागले. तथापि, त्याचबरोबर अणुविघटनाची क्रिया अनियंत्रित स्वरूपात केल्यास त्यातून विनाशकारी शस्त्र तयार होते याची कल्पना वैज्ञानिकांना होती. याचा पहिला प्रयोग दुसरे महायुद्ध संपवण्यासाठी अमेरिकेने केला.

जपानच्या हिरोशिमा शहरावर पहिला अणुबॉम्ब (६ ऑगस्ट, १९४५. नाव : लिट्ल बॉय) पडल्यानंतर अणुऊर्जेच्या महासंहारक रूपाची जाणीव जगाला झाली. पाठोपाठ नागासाकी शहरावर टाकलेल्या दुसऱ्या अणुबॉम्बने (९ ऑगस्ट, १९४५. नाव : फॅटमॅन) संहारक शक्तीची पुन्हा एकदा भयावह प्रचिती आली. तेव्हापासून अणुऊर्जेशी निगडित तंत्रज्ञान हे एकाचवेळी विधायक व विघातक असे दुहेरी असल्याचे सर्वांच्या लक्षात आले.

अणुऊर्जेचा उपयोग करून विद्युत निर्मिती करण्याच्या तंत्रज्ञानाचे संशोधन अमेरिका व तत्कालीन सोव्हिएत महासंघात वेगाने सुरू होते. यामध्ये सोव्हिएत महासंघाने आघाडी घेतली होती. जगातला पहिला अणुविद्युत प्रकल्प मॉस्को शहराच्या उपनगरात- ओबिनिस्क या ठिकाणी जून, १९५४ मध्ये सुरू झाला. या अणुविद्युत निर्मिती संचाचे नाव 'एपीएस-१' असे होते. जगामधल्या या तंत्रज्ञानविषयक घडामोडींवर बारकाईने लक्ष ठेवून असलेल्या भारतीय वैज्ञानिकांनी आणि पंडित नेहरूंच्या दूरदर्शी राजकीय नेतृत्वाने १९५४ नंतर भारतीय अणुकार्यक्रमाचा विस्तार करण्याचे ठरविले.

जुलै, १९६८ मध्ये आंतरराष्ट्रीय पातळीवर अणुऊर्जेच्या विघातक प्रसाराला आळा घालण्याच्या उद्देशाने अमेरिका, ब्रिटन व सोव्हिएत महासंघ या तत्कालीन तीन अणुसत्तांनी इतरांना अणुऊर्जा मिळविता येऊ नये म्हणून करार केला. स्वाभाविकतःच या कराराला अण्वस्त्रप्रसार बंदीचा करार (NPT: Nuclear Nonproliferation Treaty) असे म्हणतात. भारताने १९५४ ते १९६८ या काळात अणुकार्यक्रमात बरीच प्रगती केलेली होती. पंडित नेहरूंनी वारंवार भारताच्या क्षमतेबद्दल वेगवेगळ्या व्यासपीठांवरून तशी माहिती दिली होती. पंडित नेहरू जागतिक पातळीवर शांततेच्या धोरणाचे खंदे पुरस्कर्ते होते. जगातील सर्व अण्वस्त्रे नष्ट झाली पाहिजेत असा त्यांचा आग्रह होता.

भाभा अणुसंशोधन केंद्राने १९६१ मध्ये उभारलेली 'झर्लिना' ही प्रायोगिक अणुभट्टी कार्यान्वित झाल्यानंतर पंतप्रधान नेहरूंनी 'भारत दोन वर्षात अणुबॉम्ब तयार करू शकेल, पण करणार नाही.' अशी स्पष्ट घोषणा केली होती.

इ. स. १९५४ ते १९६८ या काळातील भारतीय अणुऊर्जा कार्यक्रमाचे वर्णन पंडित नेहरूंच्याच शब्दात 'शांततामय अणु कार्यक्रम' असे करता येईल. क्षमता मिळवली असूनही भारत अणुबॉम्ब बनवणार नाही हे या प्रारंभीच्या अणुकार्यक्रमाचे वैशिष्ट्य होते. शांततामय म्हणजेच विधायक कामासाठी भारतीय ऊर्जा संशोधन केले जात असले तरी अणुबॉम्ब बनविण्याच्या तंत्रज्ञानाचा विकास या काळात सुरू होता हे लक्षात घ्यायला हवे.

अणुऊर्जेच्या वापरासाठी अणुगर्भाचे विघटन होऊ शकणाऱ्या युरेनियम-२३५ या किरणोत्सारी समस्थानिकाची (Radioactive Isotope) गरज असते. भारताच्या अणुकार्यक्रमाच्या सुरुवातीला जगात याच प्रकारच्या इंधनाचा उपयोग करणाऱ्या अणुभट्ट्या वापरल्या जात होत्या. तथापि, भारतात युरेनियमचे साठे फारच मर्यादित आहेत. अणुविद्युत निर्मिती करताना अशा प्रकारच्या अणुभट्ट्या बांधल्यास भारताला इतर देशांवर युरेनियम पुरवठ्यासाठी अवलंबून राहावे लागेल व अण्वस्त्रधारी राष्ट्रे या बाबतीत भारताची नाकेबंदी करतील (तसे प्रत्यक्षात पुढील काळात घडलेदेखील) हे वैज्ञानिकांनी अगोदरच ओळखले होते. म्हणूनच अणुऊर्जा आयोगाच्या स्थापनेपासूनच म्हणजे १९५०-१९६० या दशकापासूनच भारतीय अणुकार्यक्रमाच्या धोरणात स्वतंत्र होण्यावर भर देण्यात आला आहे.

भारतीय अणुऊर्जा धोरणाची काही ठळक वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत.

(१) अणुऊर्जेच्या वापराने देशाची ऊर्जाविषयक गरज भागवणे व त्यामधून नागरिकांचे जीवनमान उंचावणे हा या कार्यक्रमाचा मुख्य उद्देश आहे.

(२) भारतीय अणुकार्यक्रम शांततामय व विधायक कामासाठी आहे.

(३) भारतीय अणुकार्यक्रमाचे धोरण संसदेत सार्वजनिक पातळीवर चर्चा करून ठरविले जाते. अनेक देशांमध्ये अशी व्यवस्था नाही.

(४) भारताने अण्वस्त्र बनविण्याची क्षमता विकसित केली असली तरी अण्वस्त्रांचा उपयोग आपण प्रथम करणार नाही (No First Use) व अण्वस्त्रविरहित युद्धजन्य परिस्थितीत करणार नाही अशी भारताची ठाम भूमिका आहे.

(५) जगातील सर्व अण्वस्त्रे नष्ट झाली पाहिजेत. यात अण्वस्त्रधारी व बिगर अण्वस्त्रधारी अशी वर्गवारी योग्य नाही. म्हणून जरी भारत अण्वस्त्रप्रसार करणार नाही हे खरे असले तरी अण्वस्त्रप्रसार बंदी करार (NPT) पक्षपाती असल्याने भारत या करारावर सही करणार नाही. त्याचबरोबर अणुऊर्जा क्षेत्रात स्वयंपूर्ण होण्याच्या दिशेने अणुकार्यक्रम चालू ठेवेल, अशी ही भूमिका आहे.

भारतीय अणुऊर्जा कार्यक्रमाचे तीन टप्पे

अणुऊर्जा विभाग १९५४ मध्ये स्थापन झाल्यानंतर भारतात अणुऊर्जेचा वापर करून विद्युतनिर्मिती करण्यासाठीचा आराखडा तयार करण्यात आला. १९४०-५० या दशकापासून अणुविद्युत बनविण्याच्या दिशेने जाताना लागणारे तंत्रज्ञान विकसित करण्याचे उद्दिष्ट ठेवण्यात आले होते. अणुऊर्जेचा वापर करण्यासाठी तीन

टप्प्यांचा विस्तारित आराखडा बनवण्यात आला. हा तीन टप्प्यांचा अणुऊर्जा विकासाचा कार्यक्रम आखताना खालील बाबी विचारात घेतल्या आहेत.

(१) भारतात युरेनियमचे साठे मर्यादित असून अणुऊर्जा प्रकल्पांना लागणारे इंधन बाहेरून आयात करावे लागेल. असे इंधन महाग असल्याने व त्यासाठी इतरांवर अवलंबून राहावे लागणार असल्याने पर्यायी इंधनांचा वापर करू शकणाऱ्या तंत्रज्ञानाचा विकास करण्यात यावा.

(२) अणुऊर्जा विकास करताना जास्तीत जास्त स्वदेशी तंत्रज्ञानाचा वापर करून प्रकल्पांचा उभारणीखर्च कमी करण्यावर भर देण्यात यावा.

(३) भारतात थोरिअम उपलब्ध असल्याने त्याचा इंधन म्हणून वापर करता येईल अशा जलदगती अणुभट्ट्यांची (फास्ट ब्रीडर रिएक्टर) बांधणी करण्याचे तंत्रज्ञान विकसित करण्यात यावे. अशा जलदगती अणुभट्ट्यांमधून मिळालेल्या युरेनियम

-२३३ याचा इंधन म्हणून वापर करण्याच्या तंत्रज्ञानाचा विकास करणे.

(४) देशातील अणुऊर्जा प्रकल्पांमधून निर्माण होणाऱ्या अणुकचऱ्याची योग्य त्या पद्धतीने विल्हेवाट लावण्यासाठी संशोधन करून अणुभट्ट्या जास्तीत जास्त सुरक्षित करणे.

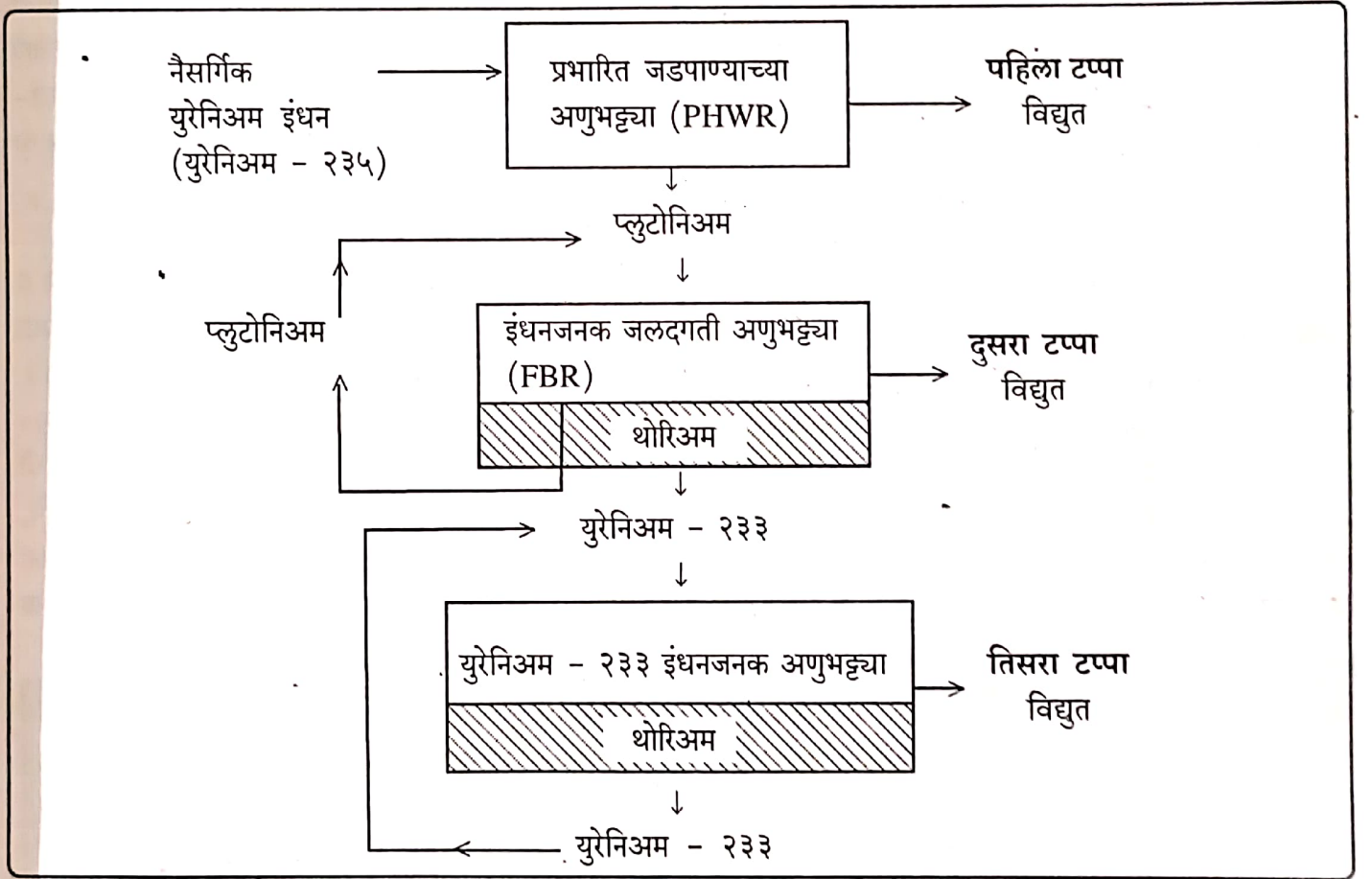
(५) नवीन अणुऊर्जा प्रकल्प उभारताना पर्यावरणाचा कमीतकमी न्हास होईल याची काळजी घेणे.

देशाच्या ऊर्जाविषयक गरजा, तसेच संरक्षणविषयक प्राधान्यक्रम आणि उपलब्ध तंत्रज्ञान याचा एकत्रित विचार करून भारतीय अणुऊर्जा कार्यक्रमाचे जे तीन टप्पे ठरवले आहेत ते पुढीलप्रमाणे आहेत—

पहिला टप्पा : नैसर्गिक युरेनियम वापरणे.

दुसरा टप्पा : प्लुटोनियमचा इंधन म्हणून वापर करणे.

तिसरा टप्पा : थोरिअमचा इंधन म्हणून वापर करणे.



अणुऊर्जा कार्यक्रम बनविताना दीर्घकालीन फायद्यांचा विचार करून हे जे तीन टप्पे तयार करण्यात आले आहेत ते अणुइंधन चक्राचा (Nuclear Fuel Cycle) योग्य वापर करता येईल असे आहेत. याप्रकारे अणुइंधन चक्रावर आधारित अणुकार्यक्रमाचे मुख्य फायदे खालीलप्रमाणे आहेत—

(१) नैसर्गिक युरेनियमची कमतरता भरून काढणे व पुढील टप्प्यांमध्ये नैसर्गिक युरेनियमवरचे परावलंबित्व कमी करणे.

(२) इंधन वापरून झाल्यानंतर त्याची विल्हेवाट लावताना त्यातील उपयुक्त विघटनक्षम इंधन पुढील टप्प्यांसाठी मिळवित जाणे.

(३) भारतातील उपलब्ध थोरिअमच्या साठ्यांचा वापर करणे शक्य झाल्याने दीर्घकाळ भारतीय अणुऊर्जा कार्यक्रम सुरू राहील.

अणुविद्युत अथवा अण्वस्त्र कार्यक्रम या दोन्हीसाठी किरणोत्सारी इंधन मिळविणे, ते वापरणे आणि वापरलेल्या इंधनाशी निगडित अणुकचऱ्याचे व्यवस्थापन करणे या सगळ्यांना मिळून 'अणुइंधन चक्र' म्हणतात. भारताचा अणुकार्यक्रम 'बंदिस्त अणुइंधन चक्रावर' (Closed NFC) अवलंबून आहे. याचा अर्थ असा की, भारतीय वैज्ञानिकांनी अणुइंधन वापरण्याचे; वापरलेल्या इंधनातून पुन्हा विघटनक्षम इंधन मिळवणे व इंधन-चक्रातील कोणताही भाग वाया जाऊ न देणे यासाठी लागणारे तंत्रज्ञान विकसित करून त्यावर प्रभुत्व मिळवले आहे.

आजपर्यंत भारतीय अणुकार्यक्रमाने केलेल्या वाटचालीचा आढावा घेतला तर असे दिसते की, प्रभारित जडपाण्याच्या अणुभट्ट्यांचा (PHWR) पहिला टप्पा पूर्ण झाला असून आज अशा अनेक अणुभट्ट्या काम करत आहेत. दुसऱ्या टप्प्यातील इंधनजनक जलदगती अणुभट्ट्यांची (FBR) रचना करण्यासाठी उपयुक्त अशा संशोधन अणुभट्टीची अथवा चाचणी अणुभट्टीची बांधणी १९८५ मध्येच पूर्ण झाली. FBTR या नावाने ओळखली जाणारी ही जलदगती अणुभट्टी कल्पककम येथे १३ मेगावॉट विद्युतनिर्मितीचे काम करत आहे. या अणुभट्टीच्या वापरातून मिळालेल्या अनुभवामधून आता कल्पककम येथे पहिल्या जलदगती अणुभट्टीची बांधणी सुरू असून या अणुभट्टीमधून ५०० मेगावॉट वीज तयार होईल. ही अणुभट्टी २०१३ मध्ये कार्यान्वित झाली. तिचे आयुष्य ४० वर्षे अपेक्षित आहे. अशा प्रकारे भारतीय अणु कार्यक्रमाचा दुसरा टप्पा तंत्रज्ञान निदर्शक (Technology Demonstration) पातळीवर आहे. अणुकार्यक्रमाच्या तिसऱ्या टप्प्यात युरेनियम-२३३ व थोरियम मिश्रणाच्या इंधनाचा वापर करणाऱ्या प्रगत जडपाणी अणुभट्टीच्या (AHWR) विकासाचे काम सुरू आहे. याचा अर्थ असा की, तिसऱ्या टप्प्यामधील तंत्रज्ञान हे संशोधनाच्या पातळीवर आहे.

अणुऊर्जा

अणुऊर्जा व तिचे उपयोग

अणूची रचना बघितली तर आपल्या लक्षात येईल की, अणुगर्भातील प्रोटॉन व न्यूट्रॉनसारखे कण आणि त्यांच्याभोवती फिरणारे इलेक्ट्रॉन यात ऊर्जा सामावलेली असते. अणूच्या रचनेतील ऊर्जा दोन प्रकारची असते. त्यातील एका प्रकारच्या ऊर्जेला आयनीभवन ऊर्जा (Ionization Energy) असे म्हणतात, तर दुसऱ्या प्रकारच्या ऊर्जेला अणुगर्भ बंधन ऊर्जा (Nuclear Binding Energy) असे म्हणतात.

आयनीभवन ऊर्जा

अणुगर्भाच्या भोवती जितके इलेक्ट्रॉन असतील ते सगळे एकाच जागी व एकाच पातळीत फिरत नाहीत. इलेक्ट्रॉन ठरावीक

पातळ्यांमध्येच फिरतात. प्रत्येक पातळीत किती इलेक्ट्रॉन बसू शकतील हे ठरलेले आहे.

ऊर्जा पातळी	पातळीचे नाव	जास्तीत जास्त इलेक्ट्रॉन
१	K	२
२	L	८
३	M	१८
४	N	३२
५	O	५०
६	P	७२

अणूच्या तापमानानुसार इलेक्ट्रॉन ठरावीक ऊर्जा मिळाल्या-नंतर खालच्या पातळीतून वरच्या पातळीत जाऊ शकतात. त्याच-प्रमाणे ठरावीक ऊर्जा बाहेर टाकून इलेक्ट्रॉन वरच्या पातळीमधून खालच्या पातळीत प्रवेश करू शकतात. प्रत्येक पातळीची स्थितिजन्य ऊर्जाकक्षा (Potential Energy) ठरलेली असल्याने किती ऊर्जा मिळाल्यास इलेक्ट्रॉनची हालचाल विविध पातळ्यां-मध्ये होईल हे गणिताने ठरविता येते. तथापि, अणुरचनेतील या ऊर्जेचा ऊर्जास्रोत म्हणून वापर केला जात नाही.

अणुगर्भ बंधन ऊर्जा

अणुगर्भामध्ये अथवा अणुकेंद्रकामध्ये मुख्यतः प्रोटॉन व न्यूट्रॉन हे कण असतात. हे कण मिळून अणुकेंद्रक बनते. एखाद्या केंद्रकामध्ये हे कण एकत्र राहण्यासाठी जबरदस्त बल लागते. या ऊर्जेलाच अणुगर्भ बंधन ऊर्जा म्हणतात. कोणत्याही अणु-केंद्रकात जेवढे प्रोटॉन व न्यूट्रॉन असतील त्यांच्या वस्तुमानाची बेरीज केली तर अणुकेंद्रकाचे वस्तुमान व्हायला हवे. तथापि, असे नसून अणुकेंद्रकाचे वस्तुमान या एकत्रित वस्तुमानापेक्षा कमी भरते. म्हणजेच वस्तुमान कमी भरते. वस्तुमानातील या फरकाला वस्तुमान त्रुटी (Mass Defect) असे म्हणतात.

हेलियमचे अणुकेंद्रक : २ प्रोटॉन + २ न्यूट्रॉन

प्रोटॉनचे वस्तुमान : 2×1.007276

AMU = २.०१४५५२

न्यूट्रॉनचे वस्तुमान : 2×1.008665

AMU = २.०१७३३०

प्रोटॉन + न्यूट्रॉन

अपेक्षित वस्तुमान : ४.०३१२२२ AMU

प्रत्यक्षात हेलियम

अणुकेंद्रकाचे वस्तुमान : ४.००२६० AMU

वस्तुमान त्रुटी (फरक) : ०.०२८६२२ AMU