1. परमाणु तथा नाभिक की संरचना

- ''रसायन विज्ञान, विज्ञान की वह शाखा है जिसके अन्तर्गत पदार्थों के गुणों, संघटन, संरचना तथा उनमें होने वाले परिवर्तनों का अध्ययन किया जाता है।'' Chemistry अर्थात् रसायन विज्ञान शब्द की उत्पत्ति 'मिस्र' के प्राचीन नाम **'कीमिया'** से हुई है, जिसका अर्थ है- 'काला रंग'। हमारे आसपास की अधिकांश वस्तुएँ या तो रसायन उद्योग से संबंधित है या उनके उत्पादों से। जैसे-किताब बनाने में कागज और स्याही का; घर बनाने में लकड़ी, लोहा, सीसा और रंगों का; कपड़े, आभूषण, जूते, साबुन, अपमार्जक, कॉस्मेटिक्स, क्रीम, विटामिन, दवाईयाँ, उर्वरक, कीटनाशक इत्यादि।
- एक रसायनशास्त्री रसायन विज्ञान को समझने में अपना योगदान देता है। वह सरल और जटिल दोनों विधियों से प्रत्येक पदार्थ के संघटन और संरचना को निर्धारित करता है और इसके संभावित उपयोगों को भी बतलाता है। वह पदार्थों की उपयोगिता को बढ़ाने में भी सहायक होता है जिससे नये पदार्थ अवतरित होते हैं, जैसे- दवाईयाँ, अपमार्जक, रंग, प्लास्टिक, रबर, डाईज, कपड़े, कृषि-रसायन, उर्वरक, कीटनाशक इत्यादि। अगर पदार्थ उपयोगी हो, तो रसायनशास्त्री उसे कम खर्चे में और प्रभावी रूप से अधिक मात्रा में बनाने के उपाय भी सुझाता है। **लैवोजियर** (Lavoisier) को 'रसायन विज्ञान का पिता' कहा जाता है।

रसायन विज्ञान की शाखाएँ

- रसायन विज्ञान के अध्ययन को सरल बनाने के लिए उसे कई शाखाओं में बाँटा गया है, जिसमें निम्न प्रमुख हैं-

1. **अकार्बनिक रसायन-** इसके अन्तर्गत सभी अकार्बनिक तत्वों एवं उनके यौगिकों का अध्ययन किया जाता है।
2. **कार्बनिक रसायन-** इसके अन्तर्गत कार्बन के यौगिकों का अध्ययन किया जाता है।
3. **भौतिक रसायन**- इसके अन्तर्गत रासायनिक अभिक्रियाओं के नियमों तथा सिद्धान्तों का अध्ययन किया जाता है।
4. **औद्योगिक रसायन-** इसमें पदार्थों का वृहत् परिमाण में निर्माण करने से संबंधित नियमों, अभिक्रियाओं, विधियों आदि का अध्ययन किया जाता है।
5. **जैव-रसायन-** इसके अन्तर्गत जीवधारियों में होने वाली रासायनिक अभिक्रियाओं तथा जन्तुओं एवं वनस्पतियों से प्राप्त पदार्थों का अध्ययन किया जाता है।
6. **कृषि रसायन-** इसके अन्तर्गत कृषि से संबंधित रसायन, जैसे- जीवाणुनाशक, मृदा के संघटन आदि का अध्ययन किया जाता है।

परमाणु तथा नाभिक की संरचना
(Structure of Atom and Nucleus)

पदार्थ एवं इसकी प्रकृति

- दुनिया की कोई भी वस्तु जो स्थान घेरती हो, जिसका द्रव्यमान होता हो और जो अपनी संरचना में परिवर्तन का विरोध करती हो, **'पदार्थ'** कहलाती है। उदाहरण- हवा और जल, चीनी और बालू, हाइड्रोजन और ऑक्सीजन, ताँबा, लोहा, लकड़ी, खनिज इत्यादि।
- पदार्थ संरक्षित है, अर्थात् उसे न तो उत्पन्न किया जा सकता है, न ही नष्ट किया जा सकता है। उसके एक रूप को दूसरे रूप में केवल बदला जा सकता है।

पंच तत्व

- भारतीयों और यूनानियों का अनुमान था कि प्रकृति की सारी वस्तुएँ पाँच तत्वों के संयोग से बनी हैं। ये पाँच तत्व हैं- क्षितिज, जल, पावक, गगन, समीर। सांख्य दर्शक में यह मत दिया गया है कि 'प्रकृति' हीं इन पंच तत्वों की जननी है, परंतु यह केवल एक रहस्यमय विचार ही रहा। भारत के महान **ऋषि 'कणाद'** के अनुसार सभी पदार्थ अत्यंत सूक्ष्म कणों से बने होते हैं। उन्होने इन कणों को 'परमाणु' बताया था।

डाल्टन का परमाणु सिद्धान्त

- पदार्थ की संरचना के संबंध में आदिकाल से ही दार्शनिकों का यह मत था कि प्रत्येक पदार्थ का निर्माण सूक्ष्म तथा अविभाज्य कणों से होता है। इस सिद्धान्त की पुष्टि के लिए कोई प्रायोगिक प्रमाण उपलब्ध नहीं था। 1803 ई. में **डाल्टन** (Dalton) ने पदार्थ की संरचना से संबंधित एक सिद्धान्त प्रतिपादित किया जिसे **परमाणु-सिद्धान्त** (Atomic Theory) कहा जाता है। इस सिद्धान्त के अनुसार-

i) प्रत्येक तत्व के सूक्ष्मतम कण को **परमाणु** (Atom) कहा जाता है जिनके द्वारा संपूर्ण तत्व बनता है।

ii) एक ही तत्व के सभी परमाणु परस्पर समान होते हैं तथा दो भिन्न तत्वों के परमाणु एक-दूसरे से भिन्न होते हैं।

iii) परमाणुओं के आपस में मिलने से यौगिक परमाणु बनते हैं जिन्हें **अणु** (Molecule) कहा जाता है। अणुओं में परमाणुओं की पूर्ण संख्या होती है।

iv) एक पदार्थ के सभी अणु परस्पर समान होते हैं।

v) परमाणु अविनाशी होते हैं तथा इन्हें उत्पन्न भी नही किया जा सकता है।

दोष

- डाल्टन के परमाणु सिद्धान्त की कुछ प्रमुख त्रुटियाँ इस प्रकार हैं, हालांकि इन त्रुटियों के बावजूद इस सिद्धान्त की उपयोगिता निर्विवाद है।

i) यह सिद्धान्त किसी तत्व के अंतिम कण और किसी यौगिक के अंतिम कण के बीच विभेद का स्पष्टीकरण नहीं कर पाता है। डाल्टन के अनुसार, इन दोनों प्रकार के कणों को **'परमाणु'** कहते हैं। तत्व के अंतिम कण सरल परमाणु (Simple Atoms) और यौगिक के अंतिम कण यौगिक परमाणु (Compound Atoms) कहलाते हैं।

ii) इसके अनुसार परमाणु अविभाज्य होता है। किन्तु, आधुनिक अनुसंधान ने इसे गलत सिद्ध कर दिया है।

iii) इसके अनुसार किसी एक तत्व के सभी परमाणु समान भार वाले होते हैं। समस्थानिक (Isotopes) तथा समभारिक (Isobars) इस सिद्धान्त के विपरीत हैं।

रदरफोर्ड की संकल्पना

रदरफोर्ड का एल्फा-किरण प्रकीर्णन संबंधी प्रयोग तथा इसके निष्कर्ष

(Rutherford's α-rays Scattering Experiment and its Conclusions)

रदरफोर्ड (Rutherford), **गाइगर** (Geiger) तथा **मार्सडेन** (Marsden) ने एक महत्वपूर्ण प्रयोग किया जिसके निष्कर्षों से परमाणुओं की सही संरचना का ज्ञान होता है। इस प्रयोग में एक निर्वातित कोष्ठ (Evacuated Chamber) C के भीतर सीसे (Lead) की एक मोटी पट्टिका I रखी गई जिसके एक संकीर्ण छिद्र को रेडियोऐक्टिव तत्व पोलोनियम (Polonium) से भर दिया गया (चित्र 1)। पोलोनियम से भरे इस छिद्र के सामने सोने की एक पतली पत्ती (Foil) G रखी गई जिसपर पोलोनियम से निकलने वाले तीव्रगामी एल्फा-कण संकीर्ण किरण-पुंज के रूप में आपतित होने लगे। सोने की पत्ती से गुजरने के बाद इन एल्फा-कणों की उपस्थिति को जानने के लिए एक सूक्ष्मदर्शी (Microscope) M का उपयोग किया गया जिसके सामने जिंक सल्फाइड (Zinc Sulphide) का एक पर्दा लगा दिया गया। पर्दे पर एल्फा-कणों के कारण प्रस्फुरण (Scintillation) की क्रिया अर्थात हल्के प्रकाश का उत्पन्न होना, होती थी। रदरफोर्ड ने यह देखा कि सोने की पत्ती से गुजरने के क्रम में ये कण विभिन्न दिशाओं में विक्षेपित हो जाते हैं। एल्फा-कणों के अपने मार्ग से विक्षेपित होने की इस घटना को **प्रकीर्णन** (Scattering) कहा जाता है। प्रयोग में सूक्ष्मदर्शी को पत्ती के चारों ओर घुमा-घुमा कर प्रस्फुरण की संख्या गिन ली गई। यह देखा गया कि अधिकांश α-कण पत्ती के आरपार, बिना प्रभावित हुए, सीधे निकल जाते हैं, अर्थात वैसे कणों का प्रकीर्णन बिल्कुल ही नहीं होता है। इसके अतिरिक्त कुछ α-कण छोटे कणों से प्रकीर्णित होते हैं तथा कुछ (बहुत ही कम) कणों का प्रकीर्णन 90° से भी अधिक होता है। इन प्रेक्षणों से रदरफोर्ड ने यह निष्कर्ष निकाला कि जब α-कण धातु की पत्ती से गुजरते हैं तो अधिकांश कण जो अविक्षेपित निकल जाते हैं वे किसी बल का अनुभव नहीं करते। अतः, परमाणु का अधिकांश भाग अंदर में खोखला होना चाहिए। (इसे किसी भी तरह ठोस गोला नहीं माना जा सकता जैसा कि टॉमसन ने माना था)। इसके अतिरिक्त वे α-कण जो छोटे कणों से प्रकीर्णित होते हैं वे अवश्य किसी प्रतिकर्षण बल का अनुभव करते हैं। चूँकि α-कण धनावेशित होते हैं, अतः इन्हें विक्षेपित करने के लिए किसी अन्य धनावेशित कण का होना आवश्यक है। इस आधार पर रदरफोर्ड ने यह निष्कर्ष निकाला कि परमाणु का संपूर्ण धन आवेश का एक स्थान पर केंद्रित रहता है (टॉमसन के अनुसार धन आवेश परमाणु में एक समान रूप से वितरित नहीं हो सकता)। कुछ α-कण ऐसे भी होते हैं जो 90° से भी अधिक कोण से प्रकीर्णित होकर वापस लौट आते हैं। (चित्र 2)

- स्पष्टतः ये कण परमाणु के केन्द्र में स्थित धनावेशित कण के बहुत निकट से गुजरने के कारण तीव्र प्रतिकर्षण-बल का अनुभव करते हैं तथा वापस लौट आते हैं।
- इन प्रेक्षणों के आधार पर रदरफोर्ड ने परमाणु का एक नया मॉडल दिया।

रदरफोर्ड का परमाणु-मॉडल

(Rutherford's Atomic Model)

- एल्फा-किरणों के प्रकीर्णन के प्रेक्षणों के आधार पर यह बात स्पष्ट हो जाती है कि किसी भी तत्व के परमाणु में धन आवेश एकसमान रूप से वितरित नहीं रहते हैं बल्कि वे एक सूक्ष्म स्थान में केंद्रित रहते हैं। परमाणु के भीतर इस प्रकार के धनावेशित सूक्ष्म भाग को **नाभिक** (Nucleus) कहा जाता है। रदरफोर्ड ने परमाणु-मॉडल निम्नलिखित प्रकार का प्रस्तुत किया:

  परमाणु का कुल द्रव्यमान (इसके इलेक्ट्रॉनों के द्रव्यमान को छोड़कर) तथा कुल धन आवेश परमाणु के केन्द्र पर 10^{-15}m की कोटि की त्रिज्या के **नाभिक** (Nucleus) में केन्द्रित रहता है। नाभिक के चारों ओर 10^{-10}m की कोटि की त्रिज्या के खोखले गोले में इलेक्ट्रॉन विभिन्न वृत्तीय कक्षाओं (Orbits) में घूमते रहते हैं (चित्र 3) वृत्तीय कक्षाओं

में इलेक्ट्रॉनों को घूमने के लिए आवश्यक अभिकेन्द्र बल, इलेक्ट्रॉन तथा नाभिक के बीच क्रियाशील स्थिर-विद्युत-आकर्षण बल द्वारा प्राप्त होता है।

- रदरफोर्ड के परमाणु-मॉडल को मेण्डलीफ की आवर्त तालिका (Periodic table) से भी समर्थन प्राप्त हुआ। लेकिन इस मॉडल में अग्रलिखित दो कठिनाइयाँ उत्पन्न हुई–

i) **परमाणु का स्थायित्व (Stability of Atom)**

नाभिक के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं में घूमनेवाले इलेक्ट्रॉनों पर अभिकेन्द्र बल लगता है जिससे वे हमेशा केन्द्र की ओर त्वरित रहते हैं। चिर-प्रतिष्ठित सिद्धान्त (Classical Theory) के अनुसार चूँकि त्वरित आवेशित कण (Accelerated charged particle) विद्युत- चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित करता है, अत: नाभिक के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं में घूमने वाले इलेक्ट्रॉनों द्वारा भी विकिरण उत्सर्जित होने के कारण इनकी कक्षा की त्रिज्या धीरे-धीरे घटती जानी चाहिए और अंत में उसे नाभिक में मिल जाना चाहिए। स्पष्टत: ऐसा होने पर परमाणु स्थायी नहीं रह सकता।

ii) **रेखिल स्पेक्ट्रम की व्याख्या (Explanation of line Spectra)**

रदरफोर्ड के मॉडल में परमाणु के इलेक्ट्रान सभी संभव त्रिज्याओं की वृत्तीय कक्षाओं में घूमने के लिए स्वतंत्र माने गए हैं। स्पष्टत: परमाणुओं से सभी संभव आवृत्तियों की विद्युत-चुंबकीय तरंगें उत्पन्न होनी चाहिए अर्थात परमाणु द्वारा उत्पन्न स्पेक्ट्रम को संतत (Continuous) होना चाहिए। परंतु प्रायोगिक सत्य यह है कि तत्वों के परमाणु से निश्चित आवृत्तियों के ही रेखिल स्पेक्ट्रम प्राप्त होते हैं। अत: रदरफोर्ड-मॉडल द्वारा रेखित स्पेक्ट्रम की व्याख्या नहीं की जा सकी।

- इन कठिनाइयों को दूर करने के लिए नील्स बोर ने मैक्स प्लांक के क्वांटम सिद्धान्त के आधार पर रदरफोर्ड के परमाणु-मॉडल में कुछ सुधार किया।

बोर का परमाणु-मॉडल
(Bohr's Atomic Model)

- 1913 ई. में **नील्स बोर** (Neils Bohr) ने रदरफोर्ड के परमाणु-मॉडल में प्लांक के **क्वांटम सिद्धान्त** (Planck's quantum theory) को लगाकर हाइड्रोजन-परमाणु के स्पेक्ट्रम की सफल व्याख्या की तथा परमाणु का एक नया मॉडल दिया। इस मॉडल को बोर का परमाणु-मॉडल कहा जाता है जो बोर के निम्नलिखित अभिगृहीतों (Postulates) पर आधारित है–

i) परमाणु के केन्द्र पर धनावेशित नाभिक होता है जिसका आवेश Ze के बराबर होता है, जहाँ Z परमाणु क्रमांक (Atomic number) तथा e इलेक्ट्रॉन के आवेश के परिमाण का धन आवेश है।

ii) इलेक्ट्रॉन, नाभिक के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं (Circular orbits) में घूमता रहता है। इन कक्षाओं में घूमनेवाले इलेक्ट्रॉन विकिरण नहीं उत्पन्न करते हैं। इन कक्षाओं को स्थायी कक्षाएँ (Stable orbits) कहा जाता है।

iii) किसी भी स्थायी कक्षा के लिए इलेक्ट्रॉन और नाभिक के बीच क्रियाशील आकर्षण बल आवश्यक अभिकेन्द्र बल प्रदान करता है।

iv) इलेक्ट्रान की सभी कक्षाएँ (Orbits) संभव नही होती। इलेक्ट्रॉन केवल उन्हीं कक्षाओं में घूम सकते हैं जिनमें उनका कोणीय संवेग (Angular momentum) $h/2\pi$ का पूर्णांक गुणज (Integral multiple) होता है, जहाँ h प्लांक का सार्वत्रिक स्थिरांक (Planck's universal constant) है। यदि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान m हो तथा वह v वेग से r त्रिज्या की वृत्तीय कक्षा में घूम रहा हो तो उसका कोणीय संवेग mvr होगा। बोर के इस अभिगृहीत के अनुसार

$$mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

- जहाँ n एक पूर्णांक (n = 1, 2, 3, ...) है जिसे मुख्य **क्वांटम संख्या** (Principal quantum number) या कक्षा की क्रम-संख्या कहा जाता है। हाइड्रोजन के परमाणु में nवीं स्थायी कक्षा में घूमने-वाले इलेक्ट्रॉनों की कुल ऊर्जा E के लिए अग्रलिखित सूत्र होता है:

$$E = -\frac{Rhc}{n^2}$$

- जहाँ R = रिडबर्ग स्थिरांक, h = प्लांक स्थिरांक तथा c = प्रकाश का वेग है।
- उपर्युक्त सूत्र से यह स्पष्ट है कि n के अधिक मान के लिए ऊर्जा का मान कम ऋणात्मक (Less negative) होगा अर्थात उच्च कक्षाओं में इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा E का मान अधिक होगा तथा नाभिक के निकटवाली कक्षाओं के इलेक्ट्रॉन के लिए E का मान अधिक ऋणात्मक (More negative) अर्थात परिमाण में कम होगा।

v) जब परमाणु को किसी बाह्य स्रोत से ऊर्जा प्राप्त होती है तो उसका कोई इलेक्ट्रॉन अपनी स्थायी कक्षा को छोड़कर ऊँची स्थायी कक्षा में चला जाता है। वहाँ वह केवल 10^{-8}s तक ठहरकर तुरंत ही नीची कक्षा में लौट आता है। इस क्रिया को **संक्रमण** (Transition) कहा जाता है। इलेक्ट्रॉन का संक्रमण

जब एक कक्षा से दूसरी कक्षा में होता है (चित्र 4) तो उत्सर्जित प्रकाश-फोटॉन (Photon of light) की आवृत्ति v निम्नलिखित समीकरण के अनुसार होती है–

$$E_2 - E_1 = hv \qquad \text{या} \qquad v = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

$$\text{परंतु} \quad E_2 = \frac{Rhc}{n_2^2} \qquad \text{तथा} \qquad E_1 = \frac{Rhc}{n_1^2}$$

$$\therefore \; v = Rc\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

- चूँकि इलेक्ट्रॉन की कक्षाएँ निश्चित रहती हैं अर्थात परमाणु के इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जाएँ निश्चित रहती हैं, अत: किसी परमाणु से केवल निश्चित आवृत्तियों के ही फोटॉन उत्सर्जित होते हैं जिस कारण रेखित स्पेक्ट्रम (Line spectrum) प्राप्त होता है। इस प्रकार बोर के इस मॉडल को मानकर हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम की व्याख्या सफलतापूर्वक की जा सकी।
- बोर का उपर्युक्त परमाणु-मॉडल आधुनिक भौतिकी का मूल आधार है। इसके लिए उन्हें 1922 ई. में नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

बोर के मॉडल की खामियाँ
(Shortcomings of Bohr's model)

- यद्यपि बोर के मॉडल द्वारा हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम की व्याख्या सफलतापूर्वक की जा सकी, फिर भी इसमें निम्नलिखित कमियाँ पाई गई–

1. अधिक विभेदन-क्षमतावाले स्पेक्ट्रोस्कोप से हाइड्रोजन की स्पेक्ट्रमी रेखाओं का परीक्षण करने पर यह देखा गया है कि इनमें से एक अधिक **धूमिल सूक्ष्म रेखाएँ** (Faint fine lines) रहती हैं। स्पेक्ट्रमी रेखाओं की इस सूक्ष्म संरचना (Fine structure) को बारे के सिद्धान्त द्वारा नहीं समझाया जा सका।
2. इस सिद्धान्त द्वारा किसी तत्व की विभिन्न स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तीव्रता में अंतर होने का कारण नहीं समझाया जा सका।
3. यह सिद्धान्त परमाणु में इलेक्ट्रॉनों के वितरण को भी सफलापूर्वक नहीं समझा सका।
4. यह सिद्धान्त केवल एक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणुओं, जैसे हाइड्रोजन, आयनित हीलियम (He^+) के स्पेक्ट्रम की ही व्याख्या कर सका। इसके द्वारा जटिल परमाणुओं के स्पेक्ट्रम की व्याख्या नहीं की जा सकी।

नाभिक की संरचना
(Strucutre of the Nucleus)

- रदरफोर्ड के एल्फा-कण-प्रकीर्णन के प्रयोग से यह सिद्ध हुआ कि किसी परमाणु का कुल धन आवेश तथा कुल द्रव्यमान उसके केन्द्र पर एक सूक्ष्म स्थान के संकेन्द्रित रहते हैं। यही कारण है कि जब कोई एल्फा-कण इस केन्द्र के समीप से गुजरता है तब उसका विचलन 90° से अधिक कोण से हो जाता है। परमाणु के भीतर इस संकीर्ण स्थान को **केन्द्रक** या **नाभिक** (Nucleus) कहा जाता है। नाभिक की त्रिज्या लगभकग 10^{-15}m की कोटि की होती है जो परमाणु की त्रिज्या (लगभग 10^{-10}m) की तुलना में बहुत ही कम है।
- नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन निश्चित कक्षाओं में घूमते रहते हैं जिनका कुल ऋण आवेश, नाभिक के कुल धन आवेश के बराबर होता है क्योंकि संपूर्ण परमाणु को अपनी सामान्य अवस्था में आवेश-रहित होना चाहिए।
- यदि किसी तत्व के **परमाणु-क्रमांक** (Atomic number) को Z से सूचित किया जाए तो उस परमाणु के नाभिक में Ze परिमाण का धन आवेश होता है जहाँ e इलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर परिमाण का धन आवेश है। अत:, किसी परमाणु के नाभिक का कुल धन आवेश +e आवेश का पूर्णांक गुणज (Integral multiple) होता है। स्पष्टत: परमाणु-क्रमांक Z वाले तत्वों के परमाणुओं के नाभिक में +e आवेश वाले Z कण होते हैं। नाभिक में उपस्थित इसी प्रकार के धनावेशित कणों को **प्रोटॉन** (Proton) कहा जाता है। प्रोटॉन का द्रव्यमान लगभग 1.67 × 10-27 kg होता है जिसकी तुलना में इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (9.11 × 10-31 kg) बहुत ही कम है। यही कारण है कि परमाणु का द्रव्यमान इसके नाभिक पर ही संकेन्द्रित माना जाता है। न्यूट्रॉन, आवेश-रहित कण है।
- यहाँ यह स्पष्ट हो जाना आवश्यक है कि नाभिक की संरचना में केवल धनावेशित कण प्रोटॉन ही नहीं रहते हैं, बल्कि प्रोटॉन के अतिरिक्त **न्यूट्रॉन** (Neutron) नामक एक अन्य मूल कण होते हैं जिनका द्रव्यमान प्रोटॉन के द्रव्यमान के लगभग बराबर (यथार्थ में थोड़ा अधिक) होता है। इस मूल कण की खोज सर्वप्रथम **चैडविक** ने 1932 ई. में की थी।
- यदि प्रोटॉन के द्रव्यमान को एकांक द्रव्यमान मात्रक मान लिया जाए तो परमाणु के द्रव्यमान को प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की कुल संख्या A से सूचित किया जाता है। A को परमाणु की **द्रव्यमान-संख्या** या द्रव्यमान-क्रमांक (Mass number) का जाता है। **परमाणु-क्रमांक** (Atomic number) Z से परमाणु के कुल प्रोटॉनों की संख्या सूचित होती है। अत:, यदि किसी परमाणु X का परमाणु-क्रमांक Z तथा

द्रव्यमान-संख्या A हो तो इसके नाभिक को संकेत $^{A}_{Z}X$ से सूचित किया जाता है। स्पष्टत: इसके परमाणु में प्रोटॉनों की संख्या Z तथा न्यूट्रॉनों की संख्या (A-Z) होगी। लेकिन प्रयोग से यह पाया जाता है कि नाभिक का कुल द्रव्यमान उसके अवयवी कणों के कुल द्रव्यमान (अर्थात Z प्रोटॉनों का द्रव्यमान + (A-Z) न्यूट्रॉनों का द्रव्यमान) से कुछ कम होता है। स्पष्टत: नाभिक के निर्माण में जब न्यूट्रॉन और प्रोटॉन मिलते हैं तो उनके कुल द्रव्यमान में कुछ कमी हो जाती है। द्रव्यमान की इस कमी को **द्रव्यमान क्षति** (Mass defect) कहा जाता है।

नाभिक का स्थायित्व तथा नाभिकीय बल
(Stability of Nucleus and Nuclear Force)

- कम परमाणु-भार वाले परमाणु के नाभिक पूर्णत: स्थायी (Stable) रहते हैं, किंतु अधिक परमाणु-भार वाले परमाणुओं के नाभिक स्थायी नहीं होते। जिन तत्वों का परमाणु-भार जितना अधिक होता है उनके परमाणुओं के नाभिक उतने ही अधिक अस्थायी होते हैं। वास्तव में अधिक परमाणु-भार वाले नाभिकों में प्रोटॉनों की संख्या अधिक हो जाने से उनके प्रोटॉनों के बीच विद्युतीय प्रतिकर्षण बल का मान अधिक हो जाता है तथा ये परमाणु अस्थायी हो जाते हैं। उदाहरण के लिए यूरेनियम-235 $\left(^{235}_{92}U\right)$ के नाभिक में 92 प्रोटॉन तथा 143 न्यूट्रॉन होते हैं जिससे वे बहुत अस्थायी हो जाते हैं और α-, β- तथा γ-किरणें उत्सर्जित करते हैं।
- सूक्ष्म नाभिक के प्रोटॉन और न्यूट्रॉन एक-दूसरे से एक विशेष प्रकार के अल्प परास बल (Short range force), जिसे **नाभिकीय बल** (Nuclear force) कहा जाता है।, से जुड़े रहते हैं। इन बलों से संबंधित सिद्धान्त का प्रतिपादन प्रसिद्ध जापानी वैज्ञानिक **यूकावा** (Yakawa) ने 1935 ई. में किया था जिसे **मेसॉन-क्षेत्र-सिद्धान्त** (Meson field theory) कहा जाता है।

नाभिकीय विस्तार तथा नाभिकीय घनत्व
(Nuclear Dimensions and Nuclear Density)

- रदरफोर्ड के एल्फा-कण प्रकीर्णन (α-ray scattering) संबंधी प्रयोग तथा अन्य प्रयोगों के आधार पर नाभिक के साइज का परिकलन लगभग 10^{-15}m की कोटि का किया गया था। भिन्न-भिन्न धातुओं की पत्तियों के साथ प्रयोग करने पर यह पाया गया कि किसी नाभिक का आयतन (Volume) उसके परमाणु की द्रव्यमान-संख्या (Mass number) A का समानुपाती होता है, अर्थात

$V \propto A$ या $4/3\ \pi R3 \propto A$, जहाँ R = नाभिक की त्रिज्या

या $R3 \propto A$ या $R \propto A1/3$; $\therefore R \propto R0A1/3$

- जहाँ R0 का मान लगभग 1.2 फर्मी के बराबर होता है। 1 फर्मी या 1 फेंटोमीटर (fm), लंबाई का सूक्ष्म मात्रक है जो नाभिकीय विस्तार की लंबाइयों के लिए प्रयुक्त किया जाता है। **1 फर्मी का मान 10-15m होता है, अर्थात 1** fm = 10-15m. नाभिक की त्रिज्या का मान इस प्रकार ज्ञात रहने पर नाभिक के घनत्व का परिकलन निम्नलिखित प्रकार से किया जाता है–

उदाहरण के लिए, हीलियम $\left(^{4}_{2}H\right)$ के नाभिक के लिए,

द्रव्यमान संख्या $A = 4$, अत: इसकी त्रिज्या

$R = R_0A^{1/3} = 1.\ 2\times10^{-15} \times 4^{1/3}\ m = 1.9\times10^{-15}\ m$

अत:, हीलियम के नाभिक का आयतन

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\ (1.2)^3 \times 4\times10^{-45}\ m^3$$

$= 28.953 \times 10^{-45}\ m^3$

हीलियम-नाभिक का द्रव्यमान = 4. 0015 amu

$= 4.0015 \times 1.66 \times 10^{-27}$kg

[चूँकि 1 amu = 1.66×10^{-27} kg]

$= 6.64 \times 10^{-27}$ kg

अत:,

नाभिक का घनत्व = ——— = ———————

$= 2.29 \times 10^{17}$ kg m^{-3}

- अर्थात, नाभिक के पदार्थ (Nuclear matter) का घनत्व लगभग 1017 kg m-3 की कोटि का होता है। इतना अधिक घनत्व श्वेत वामन तारों (White dwarf stars) के पदार्थ में पाया जाता है।

नाभिक के कण

अ) प्रोटॉन (Proton)

प्रोटॉन अपेक्षाकृत एक भारी मूल कण (Fundamental particle) है जो सभी परमाणुओं के नाभिक में उपस्थित रहता है। इसका द्रव्यमान (mp), इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान (me) की तुलना में लगभग 1836 गुना होता है। यह कण धन विद्युत से आवेशित रहता है तथा इसका आवेश +1.602×10-19 कूलॉम (Coulomb) होता है जो परिणाम में इलेक्ट्रॉन के आवेश (e = -1.602×10-19C) के तुल्य होता है। किसी भी पदार्थ के नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या उसके परमाणु में इलेक्ट्रॉनों की संख्या के बराबर होती है ताकि इनके धन तथा ऋण आवेश एक-दूसरे के प्रभाव को निष्फल कर दें तथा परमाणु

उदासीन हो जाए। किसी तत्व के परमाणु के नाभिक में उपस्थित प्रोट्रॉनों की संख्या को उस तत्व को परमाणु-क्रमांक (Atomic number) Z कहा जाता है। वास्तव में किसी पदार्थ के रासायनिक गुण उसके परमाणुओं में स्थित प्रोटॉनों की संख्या पर आधारित रहते हैं। यदि किसी कृत्रिम विधि से नाभिक में प्रोटॉनों की संख्या को बदल दिया जाए तो पदार्थ के गुण तथा नाम भी बदल जाते हैं। इस प्रक्रिया को **कृत्रिम तत्वांतरण** (Artificial transmutation) कहा जाता है। उदाहरण के लिए, नाइट्रोजन का रूपांतरण ऑक्सीजन में किया जा सकता है जो निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया गया है–

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

ब) न्यूट्रॉन (Neutron)

प्रोटॉन के समान न्यूट्रॉन भी किसी पदार्थ का एक मूल कण है जो परमाणु के नाभिक में प्रोटॉन के साथ रहता है। न्यूट्रॉन का द्रव्यमान वास्तव में प्रोटॉन के द्रव्यमान से थोड़ा अधिक होता है। यह आवेश-रहित कण है, अत: विद्युत-क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र में विक्षेपित नहीं होता है। इस कण की खोज सर्वप्रथम **चैडविक** (Chadwick) ने 1932 ई. में की थी। नाभिक से बाहर मुक्त अवस्था में यह कण अपेक्षाकृत अस्थायी होता है तथा यह प्रोटॉन में परिणत हो जाता है। इस प्रक्रिया में एक β-कण (इलेक्ट्रॉन) तथा अन्य कण ऐंटीन्यूट्रिनो (Antineutrino) उत्सर्जित होते हैं–

$$^{1}_{0}n \text{ (न्यूट्रॉन)} \rightarrow ^{1}_{1}H \text{ (प्रोटॉन)} + ^{0}_{-1}\beta \text{ (इलेक्ट्रॉन)} + \bar{\nu} \text{ (ऐंटीन्यूट्रिनो)}$$

- न्यूट्रॉन अनावेशित कण होने के कारण गैसों का आयनीकरण (Ionisation) नहीं कर पाता। इस कण की बेधन-क्षमता (Penetrating power) अपेक्षाकृत बहुत अधिक होती है तथा यह सीसे की मोटी पट्टिका को भी बेधकर बाहर निकल जाता है। इस कण का सबसे महत्वपूर्ण गुण यह है कि यह आवेश-रहित होने के कारण परमाणुओं के कक्षीय इलेक्ट्रॉनों द्वारा अप्रभावित रहता है तथा नाभिक में भी आसानी से प्रवेश कर जाता है। अत:, नाभिक का विघटन (Disintegration) तथा विखंडन (Fission) करने में यह कण बहुत उपयोगी होता है। यूरेनियम-235 का नाभिकीय विखंडन (Nuclear fission) भी न्यूट्रॉन द्वारा ही संभव होता है। इसके अतिरिक्त न्यूट्रॉन के अन्य उपयोग हैं- (i) रसायन, जीव-विज्ञान और शोध-कार्यों में, (ii) कैंसर रोग की चिकित्सा में तथा (iii) विभिन्न पदार्थों में कृत्रिम रेडियोऐक्टिविटी (Artificial radioactivity) उत्पन्न करने में।

रेडियोऐक्टिविटी (Radioactivity)

- 1896 ई. में फ्रांसीसी वैज्ञानिक **बेकरेल** (Becquerel) ने देखा कि काले कागज में लिपटी फोटोग्राफी-प्लेट के ऊपर जब यूरेनियम के लवण अँधेरे में रखे जाते हैं तो प्लेट ठीक उसी प्रकार प्रभावित होती है जिस प्रकार वह एक्स-किरणों द्वारा प्रभावित हो जाती है। फोटोग्राफी-प्लेट को प्रभावित करने वाली अदृश्य किरणों की उत्पत्ति यूरेनियम से ही होती है तथा इन किरणों में अपारदर्शी पदार्थों में प्रवेश करने की क्षमता भी रहती है। इन अदृश्य किरणों को **बेकरेल किरणें** (Becquerel rays) या रेडियोऐक्टिव किरणें (Radioactive rays) कहा जाता है तथा जिन पदार्थों से ये किरणें उत्सर्जित होती हैं उन्हें रेडियोऐक्टिव पदार्थ (Radioactive substance) कहा जाता है। प्रकृति में यूरेनियम तथा अन्य पदार्थों से स्वत: अदृश्य विकिरण के उत्सर्जित होने की घटना को **रेडियोऐक्टिविटी** (Radioactivity) कहा जाता है। यूरेनियम के अतिरिक्त थोरियम, रेडियम, पोलोनियम तथा ऐक्टीनियम जैसे प्राकृतिक रूप में उपलब्ध तत्वों में भी रेडियोऐक्टिविटी के गुण पाए जाते हैं। 1898 ई. में **पियरे क्यूरी** (Pierre Curie) तथा उनकी पत्नी **मैडम क्यूरी** (Madam Curie) ने रेडियम (Radium) नामक रेडियोऐक्टिव तत्व की खोज की थी। रेडियम में रेडियोऐक्टिविटी का गुण यूरेनियम की अपेक्षा लगभग चालीस लाख गुना अधिक होता है तथा पोलोनियम में रेडियम से भी अधिक होता है। रेडियम की खोज के लिए **क्यूरी-दंपति** को 1903 ई. में **नोबेल पुरस्कार** से सम्मानित किया गया।

रेडियोऐक्टिव विकिरण के प्रकार

(Kinds of Radioactive Radiation)

- रदरफोर्ड ने 1930 ई. में विभिन्न रेडियोऐक्टिव पदार्थों से उत्सर्जित रेडियोऐक्टिव विकिरण पर विद्युत-क्षेत्र और चुंबकीय क्षेत्र के प्रभावों का अध्ययन कर वह निष्कर्ष निकाला कि रेडियोऐक्टिव विकिरण में तीन प्रकार की किरणें होती हैं। इनमें से दो प्रकार की किरणें इन क्षेत्रों में विपरीत दिशाओं में विक्षेपित हो जाती हैं तथा तीसरे प्रकार की किरणों पर विद्युत-क्षेत्र और चुंबकीय क्षेत्र का कोई प्रभाव नहीं पड़ता। विक्षेपित किरणों में एक को जो धनावेशित कणों से मिलकर बनी होती है, एल्फा-किरणें (α-rays) तथा दूसरी को जो ऋणावेशित कणों से मिलकर बनी होती हैं, बीटा-किरणें (β-rays) कहा जाता है। तीसरे प्रकार की किरणों को जो अविक्षेपित निकल जाती हैं, गामा किरणें (γ-rays) कहा जाता है। इन किरणों की प्रकृति तथा गुण भी भिन्न होते हैं। रेडियोऐक्टिव किरणों पर विद्युत-क्षेत्र के प्रभाव का अध्ययन

करने की व्यवस्था चित्र-5अ में दिखाई गई है। सीसे के ब्लॉक में थोड़ा सा रेडियोऐक्टिव पदार्थ रखा गया जिससे उत्सर्जित विकिरण एक संकीर्ण किरण-पुंज के रूप में पतले छिद्र से होकर बाहर निकलीं। धातु की दो प्लेटों P तथा Q को क्रमशः ऋण तथा धन विभवों पर रखकर इनके बीच तीव्र विद्युत-क्षेत्र उत्पन्न किया गया। संपूर्ण व्यवस्था को निर्वातित कोष्ठ (Evacuated chamber) में रखा गया ताकि उत्सर्जित कण हवा के कणों से नहीं टकराएँ। धनावेशित कणों वाली किरणें (α-किरणें) ऋणात्मक प्लेट P की ओर तथा ऋणावेशित कणों वाली किरणें (β-किरणें) धनात्मक प्लेट Q की ओर मुड़ जाती हैं। उदासीन विकिरण (γ-किरणें) अविक्षेपित निकल जाती हैं।

- इसी प्रकार रेडियोऐक्टिव विकिरण पर चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव का अध्ययन करने की प्रायोगिक व्यवस्था चित्र-5ब में दिखाई गई है जिसमें वृत्त के भीतर के क्षेत्र में चुंबकीय क्षेत्र कागज के तल के लंबवत अंदर की ओर लगाया गया है। प्लेमिंग के बाएँ हाथ के नियमानुसार धनात्मक कणों (α-rays) का विक्षेप बाईं ओर तथा ऋणात्मक कणों (β-rays) का विक्षेप दाहिनी ओर होता है तथा γ-किरणें अपने प्रारंभिक पथ पर अविक्षेपित ही चलती रहती हैं।
- इन प्रयोगों में यह भी देखा गया कि β-किरणों का विक्षेप α-किरणों की अपेक्षा बहुत अधिक होता है। स्पष्टतः β-कण, α-कणों की तुलना में बहुत हल्के होते हैं।
- अन्य प्रयोगों से प्राप्त प्रेक्षणों के आधार पर तीनों प्रकार की किरणों के गुण तथा प्रकृति का ज्ञान हुआ जो निम्नलिखित हैं।

एल्फा-किरणें तथा उनके गुण
(α-rays and their Properties)

i) ये किरणें विद्युत-क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र में विक्षेपित हो जाती हैं तथा इनके विक्षेप की दिशा से पता लगता है कि ये किरणें धनावेशित कणों से मिलकर बनती हैं।

ii) इन कणों पर इलेक्ट्रॉन के आवेश का दुगुना धन आवेश (+2×1.6×10-19C) होता है तथा इनका द्रव्यमान हाइड्रोजन के परमाणु के द्रव्यमान का लगभग 4 गुना या हीलियम के परमाणु के द्रव्यमान के बराबर (6.645×10-27kg) होता है। अतः, α-कणों को हीलियम के नाभिक (Helium nuclei) या **द्वि-आयनित हीलियम** (Doubly ionised helium) He++ भी कहा जाता है। वास्तव में α-कण हीलियम का नाभिक ही है जिसे ${}^{4}_{2}He$ से प्रदर्शित किया जाता है। इस कण में 2 प्रोटॉन तथा 2 न्यूट्रॉन होते हैं।

iii) ये किरणें जब किसी गैस से होकर गुजरती हैं तो तीव्र आयनीकरण (Ionisation) करती हैं, इन किरणों की आयनीकरण क्षमता β-किरणों की अपेक्षा 100 गुनी तथा γ-किरणों की अपेक्षा 10,000 गुनी अधिक होती है।

iv) ये किरणें फोटोग्राफी-प्लेट पर प्रभाव डालती हैं।

v) इन किरणों के कणों का वेग प्रकाश के वेग से काफी कम (1/10वें भाग के लगभग) होता है तथा यह वेग एक छोटी सीमा (Range) के भीतर वितरित (Distributed) रहता है। भिन्न-भिन्न रेडियोऐक्टिव तत्वों से उत्सर्जित α-कणों के वेगों में कुछ भिन्नता होती है।

vi) α-कणों का वायु में परास (Range) अर्थात वह दूरी जहाँ तक वे वायु में चल सकते हैं, रेडियोऐक्टिव पदार्थ पर निर्भर करता है। उदाहरण के लिए, यूरेनियम से उत्सर्जित α-कणों का परास 2.7cm तथा थोरियम-C' से निकले α-कणों का परास लगभग 8.7cm होता है। परास का मान प्रत्येक पदार्थ के लिए नियत होता है।

vii) α-कणों की बेधन-क्षमता (Penetrating power) बहुत कम होती है। उदाहरण के लिए, ये कण ऐल्युमिनियम की केवल 0.1mm मोटी पत्ती द्वारा ही रोक लिए जाते हैं। इनकी बेधन-क्षमता β-कणों की तुलना में 1/100 तथा γ-किरणों की तुलना में केवल 1/10,000 होती है।

viii) धातु की पत्तियों से गुजरने पर इन कणों का प्रकीर्णन (Scattering) हो जाता है।

ix) ये किरणें बेरियम प्लैटिनोसायनाइड तथा जिंक सल्फाइड जैसे पदार्थों पर प्रतिदीप्ति (Fluorescence) उत्पन्न करती हैं। प्रत्येक α-कण जब ऐसे पदार्थों से टकराता है तो वहाँ प्रस्फुरण (Scintillation) उत्पन्न करता है। इसके द्वारा α-कणों को गिना जा सकता है।

x) इन कणों का द्रव्यमान तथा वेग अधिक रहने के कारण नाभिकों पर इनकी बमबारी करने से एक तत्व को दूसरे तत्व में बदला जाता है। इस क्रिया को **कृत्रिम तत्वांतरण** (Artificial transmutation) कहा जाता है।

बीटा-किरणें तथा उनके गुण
(β-rays and their Properties)

i) ये किरणें प्रायः ऋणावेशित (और कभी धनावेशित) कणों से मिलकर बनती हैं। इन कणों के आवेश तथा द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन के आवेश तथा द्रव्यमान के बराबर होते हैं। वास्तव में β-किरणें तीव्र वेग से गतिशील इलेक्ट्रॉनों (और कभी पोजिट्रॉनों) का प्रवाह है।

ii) ये किरणें विद्युत-क्षेत्र एवं चुंबकीय क्षेत्र में विक्षेपित हो जाती