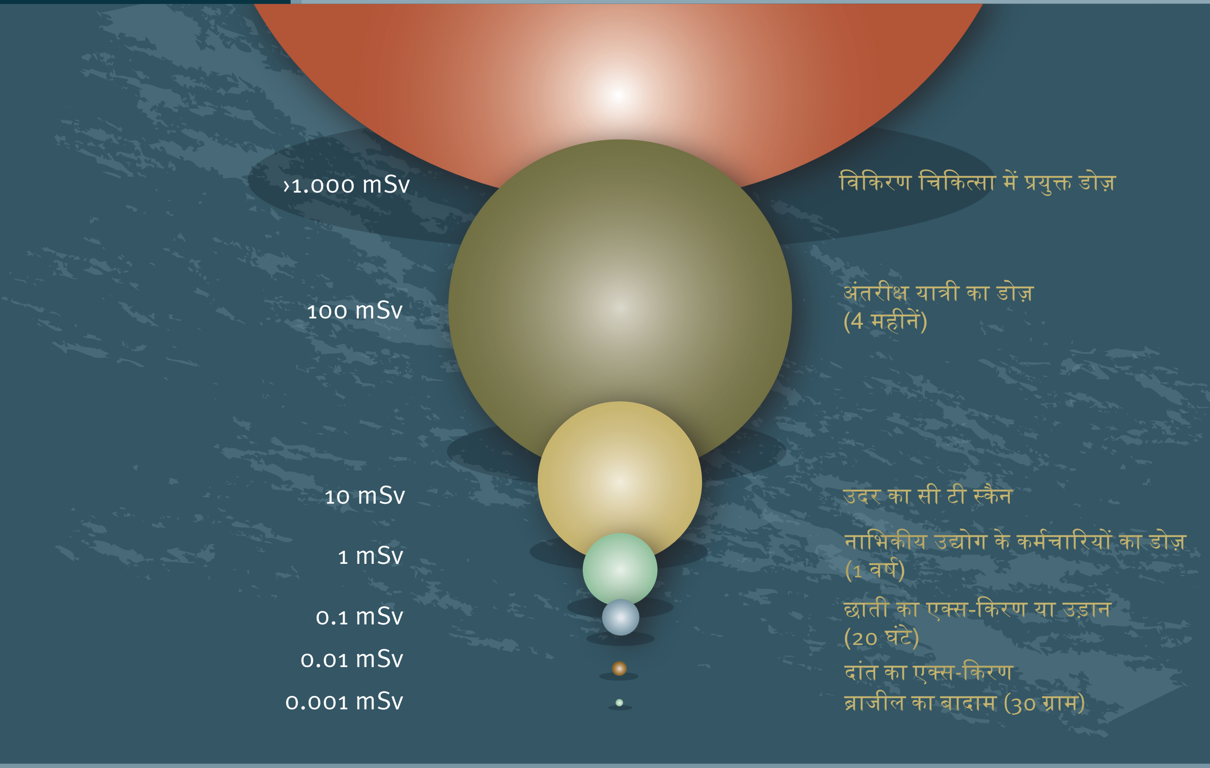
UNEP

विकिरण

प्रभाव एवं स्रोत

विकिरण क्या है?
विकिरण का हम पर क्या प्रभाव होता है?
विकिरण कहाँ से आता है?



संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम

UNEP

विकिरण

प्रभाव एवं स्रोत

विकिरण क्या है?
विकिरण का हम पर क्या प्रभाव होता है?
विकिरण कहाँ से आता है?

संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम

अधिकारत्याग निवेदन

यह प्रकाशन काफी हद तक 'परमाण्विक विकिरण के प्रभावों पर गठित संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति' (UNSCEAR) की जाँच पड़ताल के निष्कर्षों पर आधारित है, जो संयुक्त राष्ट्र महासभा के अन्तर्गत काम करने वाला संघटन है और जिसके सचिवालय की व्यवस्था संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम (UNEP) द्वारा की गयी है। यह प्रकाशन UNSCEAR या UNEP के विचारों का प्रतिनिधित्व करे, यह जरूरी नहीं है।

इस प्रकाशन में प्रयोग में लाये गये पदनाम तथा लेखन सामग्री की प्रस्तुति का अभिप्राय UNEP की तरफ से किसी भी देश, भू-भाग, नगर या उसके अधिकार क्षेत्र या अग्रिम सीमाओं तथा सरहदों के परिसीमन के बारे में विधि सम्मत भूमिका व्यक्त करना कतई नहीं है।

इस प्रकाशन को शिक्षा के लिए या किसी भी रूप में आंशिक रूप से पुन: प्रस्तुत किया जा सकता है कॉपीराइट धारक से विशेष अनुमति के बिना गैर-लाभकारी उद्देश्य, बशर्ते उसमें मूलस्रोत का सन्दर्भ दिया गया हो । UNEP ऐसे किसी भी प्रकाशन की प्रति को पाना पसंद करेगी,जिसका मूलस्रोत यह प्रकाशन है।

इस प्रकाशन की पुनःबिक्री या उसका किसीभी व्यापारी उद्देश्यों के लिए उपयोग, UNEP की लिखित पूर्वअनुमति बिना नहीं किया जा सकताहै।

UNEP, वैश्विक तथा अपने निजी स्तर के क्रियाकलापों में पर्यावरण पूरक प्रथाओं को बढ़ावा देता है। इस प्रकाशन का मुद्रण पुनर्नवीकृत, शतप्रतिशत क्लोरीनमुक्त कागज पर किया गया है। UNEP की वितरण नीति का उद्देश्य उसके कार्बन पदचिन्ह को कम करना है।

संदर्भ सूची: विकिरण :प्रभाव एवं स्रोत, संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम 2016

ISBN: 978-92-807-3827-8

कार्य संख्या: DEW/2325/NA

सर्वाधिकार © संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम, 2016

इलेक्ट्रॉनिक कॉपी

UNEP

विकिरण

प्रभाव एवं स्रोत

विकिरण क्या है?
विकिरण का हम पर क्या प्रभाव होता है?
विकिरण कहाँ से आता है?

संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम

आभार

यह पुस्तिका काफी हद तक 'परमाण्विक विकिरण के प्रभावों पर गठित संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति' (UNSCEAR) की जाँच पड़ताल के निष्कर्षों तथा संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम (UNEP) के प्रकाशन विकिरण: मात्रा, प्रभाव, जोखिम जिसका संपादन पहले जॉफरी लीन ने वर्ष 1985 और 1991 में किया था, पर आधारित है।

यह पुस्तिका मूल रूप से अंग्रेजी में प्रकाशित हुई थी। अनुवाद की व्यवस्था भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई (भारत) द्वारा की गई थी। किसी भी विसंगति के मामले में, मूल भाषा मान्य होगी

तकनीकी संपादन: माल्कम क्रिक और फेरिड शन्नौन

लेखन सामग्री संपादन: सुसान कोहेन - अंगेर और एहन एवरेनसेल

आलेख तथा आकृतिबंध: अलेक्जेन्ड्रा डिसनर-कुएपफेर

इनके अलावा निम्नलिखित व्यक्तियों ने इस पुस्तिका में बहुमूल्य योगदान तथा टिप्पणियाँ प्रदान की हैं:

लौरा एंडरसन, जॉन कूपर, सुसान क्यूएटो-हबेरसक, ऐमीलि वैन डेवेनटर, गिलियान हिर्थ, डेविड किनले, व्लादिस्लाव क्लेनर, क्रिस्टिन लैसेन, कैटरीना नवरातिलोवा-रोवेन्स्का, जया मोहन, वुल्फगैंग-उलरिच मुलर, मारिया पेरेज़, शिन सैगूसा, बरट्रांड थेरिऑल्ट, हिरोशी यसुदा, और एंथोनी व्रिक्सन।

प्रस्तावना

हिरोशिमा, नागासाकी, थ्री माइल आइलैंड, चेर्नोबिल एवं फुकुशिमा-दाइची यह नाम या तो नाभिकीय अस्त्रों के प्रयोग या नाभिकीय विद्युत संयंत्रों में घटी दुर्घटनाओं के कारण, लोगों के मन में बसे हुए विकिरण के डर के साथ जुड़ चुके हैं। वास्तव में, ऐसे और बहुत सारे अन्य स्रोत हैं, जिनमें वातावरण तथा जमीन और चिकित्सा तथा उद्योगों में इस्तेमाल होने वाले स्रोत भी शामिल हैं, जो लोगों को काफी मात्रा में विकिरण आए दिन देते रहते हैं।

सन 1955 में, नाभिकीय अस्त्रों के परीक्षणों से, लोग परमाण्विक विकिरण के हवा, पानी तथा खाद्य पदार्थों पर होने वाले प्रभावों के बारे में चिंतित हो उठे। जिसके परिणामस्वरूप संयुक्त राष्ट्र महासभा ने विकिरण उद्भासन की मात्रा तथा उनके प्रभावों की जानकारी इकट्ठा करने एवं उसका मूल्यांकन करने हेतु परमाण्विक विकिरण के प्रभावों से संबंधित 'संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति' (UNSCEAR) का गठन किया। इस समिति की सर्वप्रथम रिपोर्ट ने उन वार्तालापों को एक वैज्ञानिक नींव प्रदान की जिसके आधार पर सन 1963 में आंशिक परमाणु परीक्षण प्रतिबंध संधि के बारे में विचार-विमर्श हुआ जिसने नाभिकीय अस्त्रों के वातावरण में किये जाने वाले परीक्षणों पर रोक लगा दी। तब से यह समिति विकिरण और लोगों पर होने वाले उसके प्रभावों के विषय में उच्च श्रेणी की तथा अत्यंत उपयोगी रिपोर्ट निरंतर प्रस्तुत करती आ रही है। जिनमें चेर्नोबिल तथा फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत संयंत्रों में घटी दुर्घटनाओं की रिपोर्ट भी शामिल हैं। इस समिति ने हमेशा ही वैज्ञानिक समुदाय तथा नीति निर्धारणकर्ताओं के लिए बहुमूल्य योगदान दिया है।

वैज्ञानिक समुदाय ने विकिरण स्रोत तथा उनके प्रभावों के विषय में विस्तृत पैमाने पर जानकारी प्रकाशित की है। परंतु इस जानकारी का स्वरूप तकनीकी ही रहा है। जिसके कारण इस जानकारी को समझना आम लोगों के लिए शायद इतना पेचीदा हो गया है कि प्रायः लोगों में जानकारी के बजाय भ्रान्ति फ़ैल चुकी है। मतलब, दशकों पहले से अस्तित्व में आये हुए यह डर एवं भ्रान्ति अभी तक कायम हैं। यह प्रकाशन, विकिरणों के प्रकार, उनके स्रोत तथा मानव एवं पर्यावरण पर होने वाले उनके प्रभावों के बारे में, UNSCEAR से प्राप्त हुई नवीनतम वैज्ञानिक जानकारी का विस्तृत विवरण सरल व सुगम भाषा में सर्वसामान्य पाठकों के सामने प्रस्तुत करके, इस समस्या का समाधान करता है।

आज UNSCEAR सचिवालय 'संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम' (UNEP) के तत्वाधान में कार्यरत है जो पर्यावरण की दृष्टि से अनुकूल नीतियों तथा क्रियाकलापों को संचालित करने में विभिन्न देशों की मदद करता है। आम जनता को विकिरण को समझने, तथा यह विकिरण हमारी जीवसृष्टी को कैसे प्रभावित करता है, इससे अवगत कराना, UNEP के मूल कार्यक्षेत्र से पूर्णतः सुसंगत है।

मुझे, उन सबका जिन्होंने इस प्रकाशन में अपना योगदान दिया है तथा समिति के उन सभी सदस्यों तथा उनके दलों का जिन्होंने पिछले छह दशकों से इन पेचीदा समस्याओं पर जी तोड़ मेहनत की है, अभिनन्दन करने में बहुत ख़ुशी हो रही है।

अखीम स्टाइनर
UNEP कार्यकारी निदेशक एवं
अवर महा-सचिव, संयुक्त राष्ट्र

अनुक्रमणिका

परिचय 1

1 .विकिरण क्या है? 3
1.1. इतिहास के कुछ पन्ने 3

1.2. विकिरण की मूलभूत जानकारी 4
रेडियोसक्रिय क्षय व अर्धायु 6
विकिरण की इकाइयाँ 7

1.3. विकिरण की वेधन क्षमता 9

2. विकिरण का हम पर क्या प्रभाव होता है? 11
2.1. मानव जाति पर प्रभाव 13
स्वास्थ्य पर शीघ्र प्रभाव 14
स्वास्थ्य पर विलम्बित प्रभाव 15
अगली पीढ़ी पर होने वाले प्रभाव 18

2.2. प्राणियों तथा पौधों पर प्रभाव 22

2.3. विकिरण डोज़ एवं प्रभावों में संबंध 24

3. विकिरण कहाँ से आता है? 27
3.1. प्राकृतिक स्रोत 28
ब्रह्मांडीय स्रोत 28
भूस्तरीय स्रोत 29
अन्न और पेय पदार्थों में विकिरण के स्रोत 32

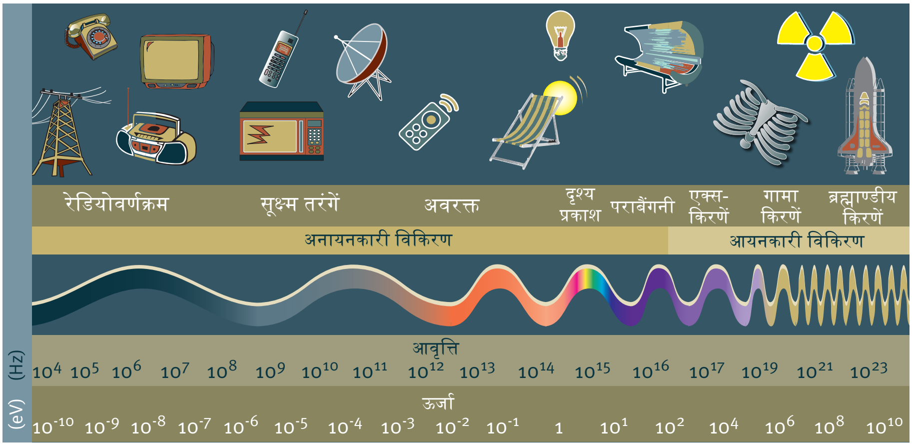
3.2. कृत्रिम स्रोत 32
चिकित्सीय अनुप्रयोग 33
नाभिकीय अस्त्र 37
नाभिकीय रिएक्टर 39
औद्योगिक तथा अन्य अनुप्रयोग 48

3.3. सर्वसाधारण तथा कर्मचारियों को मिलने वाली औसतन विकिरण मात्रा 54

परिचय

सबसे पहले हमें आयनकारी तथा अनायनकारी विकिरण में क्या फर्क होता है, यह जानना जरुरी है। आयनकारी विकिरण में इतनी ऊर्जा होती है कि वो परमाणुओं से इलेक्ट्रॉनों को अलग करने और इस प्रकार उन पर धन आवेश उत्पन्न करने के लिए पर्याप्त होती है और जो विकिरण, जैसे कि प्रकाश की किरणें, रेडियो तरंग एवं परा-बैंगनी किरण, ऐसा नहीं कर सकते उन्हें अनायनकारी विकिरण कहते हैं। यह प्रकाशन, प्राकृतिक तथा मानव निर्मित (कृत्रिम) दोनों प्रकार के विकिरण स्रोतों से होने वाले प्रभावों से संबंधित है। लेकिन इस प्रकाशन में विकिरण शब्द का प्रयोग सिर्फ आयनकारी विकिरण के लिए ही किया गया है।

विकिरण के विभिन्न अनुप्रयोगों के उदाहरण



अनायनकारी विकिरण में इतनी पर्याप्त ऊर्जा नहीं होती – इसे इलेक्ट्रॉन वोल्ट (eV) में मापा जाता है—जिससे परमाणु या अणु में परिवर्तन हो जाये।

आज विकिरण के स्रोत तथा उसके प्रभावों के विषय में हमारी जानकारी प्रायः किसी भी अन्य खतरे का माध्यम बन सकने वाली चीजों से अधिक है और वैज्ञानिक समुदाय इसे निरंतर अद्यतन रखता है तथा उसका विश्लेषण करता रहता है। विकिरण का उपयोग नाभिकीय ऊर्जा पर आधारित विद्युत उत्पादन तथा चिकित्सा में होता है, इस बात से तो ज्यादातर लोग परिचित होते हैं लेकिन नाभिकीय तकनीकों का इस्तेमाल उद्योग, कृषि, निर्माण कार्य, वैज्ञानिक शोधकार्य तथा अन्य कार्यक्षेत्रों में भी होता है, इसके बारे में जानकारी प्रायः किसी को नहीं होती। जो पाठकगण इस विषय के बारे में पहली बार ही कुछ पढ़ रहे हैं, उन्हें इस बात की हैरानी होगी कि जो विकिरण स्रोत आम लोगों को सर्वाधिक विकिरण देते हैं उनकी तरफ लोगों का ज्यादातर ध्यान जाता ही नहीं है। सच तो यह है कि हमें सर्वाधिक विकिरण उन प्राकृतिक स्रोतों से मिलता है जो पर्यावरण में हमेशा ही मौजूद रहते हैं और मानव निर्मित स्रोतों के कारण मिलने वाली विकिरण डोज़ में उन विकिरण स्रोतों का योगदान मुख्य रूप से है जो दुनियाभर में चिकित्सा के क्षेत्र में इस्तेमाल किये जाते हैं।

इतना ही नहीं हमारे रोज़मर्रा के व्यवहार, जैसे हवाई जहाज की यात्रा तथा दुनिया के कुछ हिस्सों में बनाए जाने वाले अच्छी तरह से ताप अवरोधित घरों में निवास करने से भी हमें विकिरण की काफी मात्रा मिलती है।

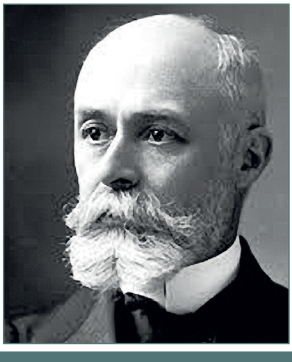
यह प्रकाशन संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम (UNEP) एवं परमाण्विक विकिरण के प्रभावों से संबंधित संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति (UNSCEAR) के सचिवालय द्वारा की गई एक कोशिश है जिसका उद्देश्य आयनकारी विकिरण के विभिन्न स्रोत, उनकी मात्रा तथा प्रभावों के बारे में आम लोगों को अवगत कराना तथा इन सबके बारे में उनकी जानकारी बढ़ाना है। सन 1955 में संयुक्त राष्ट्र महासंघ ने अपने 27 सदस्य देशों के गणमान्य वैज्ञानिकों को आमंत्रित कर के UNSCEAR की स्थापना की, जिसका काम विश्व स्तर पर विकिरण की मात्रा, उनके प्रभाव एवं जोखिमों का मूल्यांकन करना है। तथापि यह न तो सुरक्षा के मानदंड स्थापित करती है और ना ही उनकी संस्तुति करती है, बल्कि यह तो वैज्ञानिक जानकारी उपलब्ध कराती है जिससे राष्ट्र के नियंत्रकों तथा अन्य संस्थाओं को ऐसा करने में सहायता मिल सके। पिछले साठ सालों से UNSCEAR द्वारा किये गए वैज्ञानिक मूल्यांकन इस प्रकाशन हेतु जानकारी के प्रमुख स्रोत हैं।

1. विकिरण क्या है?

विकिरण की मात्रा तथा उसके प्रभावों एवं संभाव्य खतरों पर बात करने से पहले विकिरण विज्ञान के मूलभूत तथ्यों के बारे में जानकारी लेना जरुरी है। रेडियोसक्रियता और विकिरण इन दोनों का अस्तित्व तो तब से चला आ रहा है जब इस पृथ्वी पर जीवन ही नहीं था। सच बात तो यह है कि यह दोनों अंतरिक्ष में ब्रह्मांड की उत्पत्ति के समय से ही मौजूद हैं इसलिए रेडियोसक्रिय पदार्थ पृथ्वी के निर्माण से ही उसका अभिन्न हिस्सा बन गए हैं। लेकिन इस मूल, सार्वत्रिक परिघटना की खोज मानवजाति को मात्र उन्नीसवीं सदी के आखिरी सालों में ही हो पायी और हम आज भी उसके इस्तेमाल के नये-नये तरीकों के बारे में जानने की कोशिश में लगे हुए हैं।

1.1. इतिहास के कुछ पन्ने

विकिरण की खोज एक जर्मन भौतिकविद् **वेल्हम कॉनराड रोन्टगन** ने सन 1895 में की जिन्होंने उसका नाम एक्स-किरण रखा। इन एक्स-किरणों के कारण ही मानव शरीर के अंदरूनी हिस्सों को देखना संभव हो सका। इस खोज ने ही विकिरण के चिकित्सीय उपयोगों की शुरुआत की जिसमें विकास तथा वृद्धि का सिलसिला आज तक कायम है। रोन्टगन को उनकी मानव जाति की इस अतुलनीय सेवा के सम्मान में 1901 का भौतिकी का सर्वप्रथम नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया। रोन्टगन की इस खोज के एक साल बाद की बात है, एक फ्रेंच वैज्ञानिक **हेनरी बेकुरेल** ने छायाचित्रण में काम आने वाली कुछ पट्टिकाएं एक मेज की दराज़ में यूरेनियम खनिज के टुकड़ों के साथ रख दी थी। उन्हें इन प्लेटों पर विकिरण के प्रभावों को देखकर हैरानी हुई। जिस प्रक्रिया से यह संभव हो पाया उसे **रेडियोसक्रियता** कहा जाता है। रेडियोसक्रियता का कारण है परमाणुओं का बगैर किसी बाह्य कारणों के स्वतः ऊर्जा का उत्सर्जन करना और आज इसे जिस इकाई में नापा जाता है उसका नाम है बेकुरेल (Bq) जो उसके खोजकर्ता हेनरी बेकुरेल के सम्मान में रखा गया है। इसके तुरंत ही बाद एक युवती रसायनविद्, मेरी स्क्लोडोव्स्का-क्यूरी, ने इस अनुसंधान को आगे बढ़ाया और सर्वप्रथम रेडियोसक्रियता शब्द का उपयोग किया। 1898 में उन्होंने और उनके पति पियरे क्यूरी ने यह खोज की, कि यूरेनियम विकिरण देते हुए रहस्यमय तरीके से दूसरे तत्वों में तब्दील हो जाता है इनमें से एक तत्व का नाम उन्होंने मेरी क्यूरी की जन्मभूमि पोलैंड के सम्मान में पोलोनियम रखा और दूसरे तत्व का नाम रखा गया 'रेडियम' यानि "चमकीला" तत्व। वर्ष 1903 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मेरी क्यूरी को पियरे क्यूरी तथा हेनरी बेकुरेल के



वेल्हम कॉनराड रोन्टगन (1845–1923) मेरी क्युरी (1867–1934) हेनरी बेकुरेल (1852–1908)

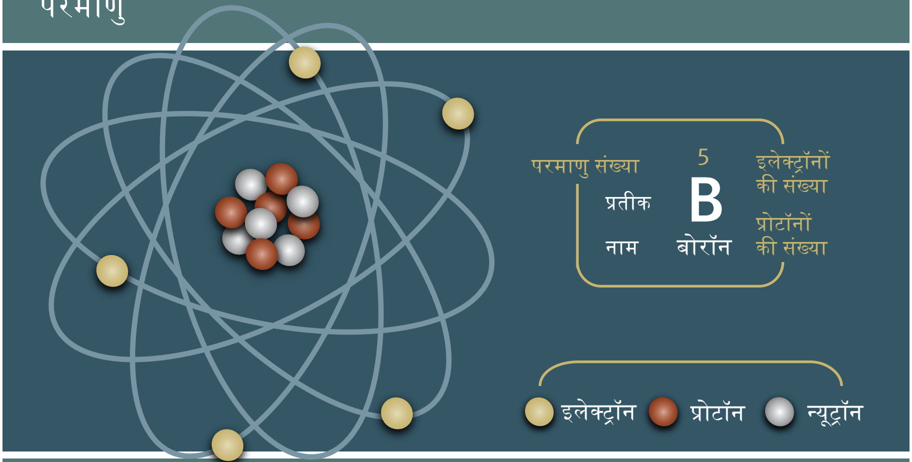
साथ साझा तौर पर प्रदान किया गया। मेरी क्यूरी ऐसी प्रथम महिला थी जिन्हें उनके विकिरण रसायन में की गई खोजों के कारण, 1911 में दूसरी बार नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

1.2. विकिरण की मुलभूत जानकारी

वैज्ञानिकों की यह जिज्ञासा रही है कि वे **परमाणु** को विशेषकर उसकी संरचना को जान लें। अब हमें मालूम हो चुका है कि परमाणु में एक अतिसूक्ष्म धन आवेशित नाभिक होता है जो ऋण आवेशित **इलेक्ट्रॉनों** के बादल से घिरा होता है। नाभिक आकार में परमाणु से लगभग एक लाख गुना छोटा होता है, लेकिन वह इतना घना होता है कि परमाणु का लगभग संपूर्ण द्रव्यमान अपने अंदर समेटे रहता है।

परमाणु का नाभिक, कणों का एक समूह होता है जिसमें **प्रोटॉन** एवं **न्यूट्रॉन** एक दूसरे से तीव्र आकर्षण बलों के कारण मजबूती से जुड़े होते हैं। प्रोटॉन धन आवेशित होते हैं जबकि न्यूट्रॉन आवेश रहित होते हैं। रासायनिक तत्वों की व्याख्या उनके परमाणुओं में कितने प्रोटॉन मौजूद हैं उस पर निर्भर होती है (जैसे बोरॉन के परमाणु में 5 प्रोटॉन तथा यूरेनियम के परमाणु में 92 प्रोटॉन होते हैं)। जिन तत्वों के परमाणुओं के नाभिकों में प्रोटॉनों की संख्या समान होती है लेकिन न्यूट्रॉनों की संख्या भिन्न होती है उन्हें समस्थानिक कहते हैं (जैसे यूरेनियम-235 और यूरेनियम-238 के परमाणुओं के नाभिकों में 3 न्यूट्रॉनों का अंतर होता है) । सामान्यतः परमाणु में जितने धन आवेशित प्रोटॉन होते हैं उतने ही ऋण आवेशित इलेक्ट्रॉन भी होते हैं जिसके कारण परमाणु न तो धन आवेशित होता है, न ही ऋण आवेशित।

परमाणु

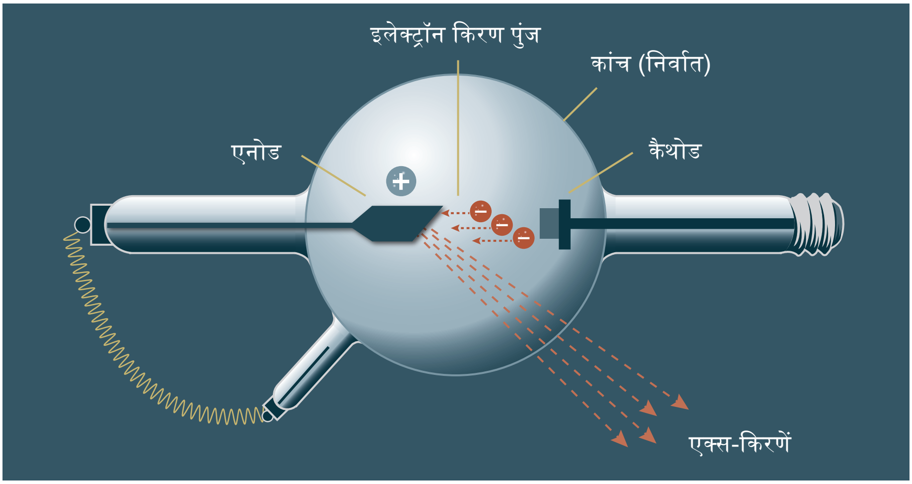


एक परमाणु, नाभिक जिसमें अनावेशित न्यूट्रॉन एवं धनावेशीत प्रोटॉन, और जो ऋणावेशीत इलेक्ट्रॉन के बादल से घिरा रहता है, से मिलकर बनता है। अनावेशित परमाणुओं में इलेक्ट्रॉन एवं प्रोटॉन की संख्या बराबर होती हैं तथा यह संख्या तत्व की परमाणु संख्या दर्शाती है।

कुछ परमाणु प्रकृतिवश स्थिर होते हैं जब कि अन्य अस्थिर होते हैं। कुछ परमाणु जिनका नाभिक अस्थिर होता है, वह खुद ही अपनी ऊर्जा को विकिरण के रूप में उत्सर्जित करते रहते हैं। उन्हें **रेडियोसक्रिय नाभिक** कहा जाता है। यह ऊर्जा परस्पर प्रभाव से दूसरे परमाणुओं को आयनित कर सकती है। **आयनीकरण** वह प्रक्रिया है जिससे परमाणु इलेक्ट्रॉनों को खोकर या पाकर धन या ऋण आवेशित बन जाते हैं। आयनकारी विकिरण में इतनी मात्रा में ऊर्जा होती है कि वह परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनों को उनकी कक्षा से बाहर निकाल कर परमाणुओं को आवेशित बना सकती है जिन्हें **आयन** कहते हैं। ऐसी प्रक्रिया जिससे रेडियोसक्रिय परमाणु के नाभिक से दो प्रोटॉन और दो न्यूट्रॉन बाहर निकलते हैं उसे **अल्फा क्षय** कहते हैं। **बीटा क्षय** वह प्रक्रिया है जिसमें रेडियोसक्रिय नाभिक से इलेक्ट्रॉन बाहर निकलते हैं। प्रायः इन कणों के उत्सर्जन के बावजूद रेडियोसक्रिय नाभिक अपनी ऊर्जा का स्तर इतना कम नहीं कर पाता है जितना स्थिरता प्राप्त करने के लिए आवश्यक होता है। ऐसी स्थिति में नाभिक अपनी ऊर्जा को विद्युत चुम्बकीय तरंगों के रूप में उत्सर्जित करता है, जिन्हें **गामा किरणें** कहते हैं।

एक्स-किरणें, गामा किरणों की तरह ही विद्युत चुम्बकीय तरंगे होती हैं, लेकिन उनके फोटानों की ऊर्जा कम होती है। एक्स-किरणों का स्पेक्ट्रम तब तैयार होता है जब **कैथोड** से निकला हुआ इलेक्ट्रॉन किरणपुंज धन आवेशित **एनोड** से टकराता है। यह सब एक निर्वातित कांच नलिका में होता है। एक्स-किरणों का स्पेक्ट्रम इस बात पर निर्भर होता है कि एनोड किस पदार्थ से बना हुआ है साथ ही ऊर्जा की उस मात्रा पर भी निर्भर करता है जिससे इलेक्ट्रॉन पुंज त्वरित किया जाता है। इस तरह एक्स-किरणों को हमारी जरूरतों के अनुसार जब चाहे तैयार किया जा सकता है जो कि औद्योगिक तथा चिकित्सीय अनुप्रयोगों में इस्तेमाल के लिए काफी फायदेमंद साबित होता हैं।

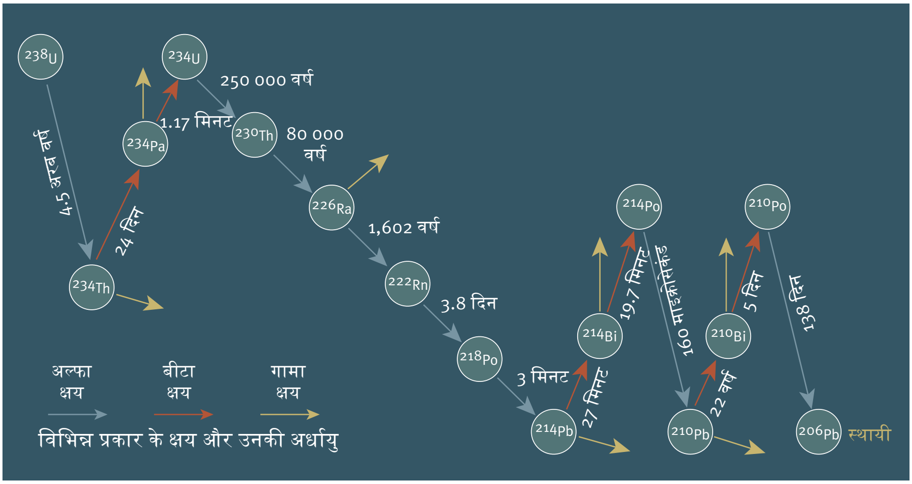
एक्स-किरण नलिका



रेडियोसक्रिय क्षय व अर्धायु

हालांकि सभी विकिरणधर्मी नाभिक अस्थिर होते हैं पर कुछ विकिरणधर्मी नाभिक अन्य नाभिकों से अधिक अस्थिर होते हैं। जैसे कि यूरेनियम-238 का नाभिक (जिसमें 92 प्रोटॉन और 146 न्यूट्रॉन होते हैं जो मुश्किल से ही वहाँ इकट्ठा रह पाते हैं), इसलिए यह नाभिक 2 प्रोटॉन और 2 न्यूट्रॉन के पुंज को अल्फा कण के रूप में त्याग देता है और थोरियम-234 (जिसमें 90 प्रोटॉन और 144 न्यूट्रॉन होते हैं) में परिवर्तित हो जाता है। लेकिन थोरियम-234 भी अस्थिर होता है, और परिवर्तन की अलग प्रक्रिया अपनाता है। इस प्रक्रिया के अन्तर्गत थोरियम-234 का नाभिक उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन बीटा कणों के रूप में करता है और एक न्यूट्रॉन का रूपांतर प्रोटॉन में भी कर देता है। इसके फलस्वरूप थोरियम-234, प्रोटॅक्टिनियम-234 बन जाता है जिसमें 91 प्रोटॉन और 143 न्यूट्रॉन होते हैं। यह प्रोटॅक्टिनियम भी बहुत ज्यादा अस्थिर होने के कारण यूरेनियम-234 बन जाता है।

युरेनियम-238- रेडियोसक्रिय क्षय श्रृंखला

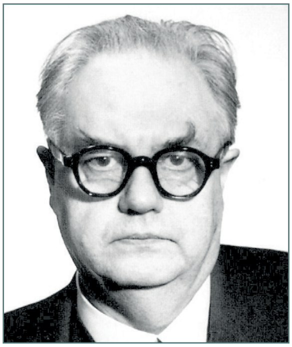


इस तरह यह परमाणु विभिन्न कणों का उत्सर्जन करते हुए अपने आपको तब तक परिवर्तित करता रहता है जब तक कि वह लेड-206 नहीं बन जाता जिसमें 82 प्रोटॉन एवं 124 न्यूट्रॉन मौजूद होते हैं और वह स्थिर होता है। परिवर्तनों की ऐसी अनेक श्रृंखलाएं पायी जाती हैं जिन्हें **रेडियोसक्रिय क्षय** कहा जाता है। जिस अवधि में किसी तत्व के आधे परमाणुओं का क्षय हो जाता है, उसे अर्धायु कहते हैं। एक अर्धायु के बाद, 10 लाख परमाणुओं में से 5 लाख परमाणु रेडियोसक्रिय क्षय द्वारा किसी और तत्व में परिवर्तित हो जाएंगे। उसकी अगली अर्धायु में 2.5 लाख परमाणुओं का क्षय हो जाएगा और यह सिलसिला तब तक चलता रहेगा जब तक कि सारे परमाणुओं का क्षय नहीं हो जाता। 10 अर्धायु के बाद प्रारंभिक 10 लाख परमाणुओं में से तक़रीबन 1000 परमाणु (लगभग 0.1 प्रतिशत) ही बाकी बच जाते हैं। पूर्वोक्त उदाहरण में एक मिनट से कुछ ही ज्यादा

समय में प्रोटॅक्टिनियम के आधे परमाणुओं का क्षय U-234 में हो जाता है। इसके ठीक विपरीत U-238 के आधे परमाणुओं का थोरियम-234 में क्षय होने में साढ़े चार अरब (4 500 000 000) वर्ष का समय लग जाता हैं । यद्यपि गौर करने वाली बात यह है कि कुछ गिने चुने रेडियोसक्रिय तत्व ही ऐसे है जो पर्यावरण में प्राकृतिक रूप से मौजूद होते हैं।

विकिरण की इकाइयाँ

आज हमें इस बात की जानकारी है कि विकिरण सजीव ऊतकों को नुकसान पहुंचा सकता है और ऊतकों में जमा विकिरण की ऊर्जा की मात्रा को जिस इकाई में व्यक्त किया जाता है, उसे डोज़ कहते हैं। विकिरण डोज़ हमें किसी एक या उससे अधिक रेडियोसक्रिय नाभिकों के कारण मिल सकती है। यह नाभिक शरीर के बाहर होते हुए अथवा श्वसन-मार्ग या भोजन-मार्ग द्वारा शरीर के अंदर पहुंचकर भी विकिरण डोज़ देते हैं। विकिरण डोज़ को विभिन्न तरीकों से व्यक्त किया जाता है और ये तरीके डोज़ किस प्रकार के विकिरण से तथा शरीर के कितने और कौनसे हिस्से में मिली, कितनी देर तक मिली (उदाहरण के लिए तीव्र विकिरण मात्रा) और उससे प्रभावित व्यक्तियों की संख्या, इन सब बातों पर निर्भर होते हैं।



हैरॉल्ड ग्रे (1905–1965)
रॉल्फ सीवर्ट (1896–1966)

ऊतकों के प्रति किलोग्राम भार द्वारा अवशोषित विकिरण ऊर्जा को **अवशोषित डोज़** कहा जाता है जिसे Gy (ग्रे) इकाई में व्यक्त किया जाता है। इस इकाई का यह नाम अंग्रेजी भौतिकविद् एवं विकिरण जीवशास्त्र के प्रथम अन्वेषक **हैरॉल्ड ग्रे** के सम्मान में रखा गया है। लेकिन इस इकाई से विकिरण और उसके प्रभावों की पूरी तस्वीर साफ उभरकर सामने नहीं आती है क्योंकि विकिरण का प्रभाव उसकी ऊर्जा के साथ-साथ उसके प्रकार पर भी निर्भर करता है। जैसे कि अल्फ़ा कण उसी ऊर्जा के बीटा कण या गामा किरणों की अपेक्षा ज्यादा नुकसान पहुँचा सकते हैं। इसलिए इनके द्वारा होने वाले नुकसान के विषय में इनकी तुलना तभी संभव होगी जब, उनसे अवशोषित ऊर्जा का विकिरण प्रभाव गुणांक से गुणन किया जाता है। इस तरह संतुलित किये हुए डोज़ को **समतुल्य डोज़** कहा जाता है। इसकी इकाई का नाम सीवर्ट (Sv) है, जो स्वीडिश वैज्ञानिक **रॉल्फ सीवर्ट** के सम्मान में रखा गया है। एक सीवर्ट 1000 millisieverts के बराबर होता है। ठीक उसी तरह जैसे एक लीटर 1000 millilitres या एक मीटर 1000 millimeters के बराबर होता है।

इस बात पर भी ध्यान देना होगा कि विकिरण से शरीर के कुछ हिस्से दूसरे हिस्सों की तुलना में कहीं अधिक प्रभावित होते हैं। जैसे कि एक ही समतुल्य डोज़ की मात्रा से यकृत की अपेक्षा फेफड़ों में कर्करोग पैदा होने की संभावना अधिक है और संभावित आनुवांशिक प्रभावों की दृष्टि से प्रजनन संबंधी अंगों पर विशेष ध्यान देना जरूरी होता है। परिणाम स्वरूप, एक ही समतुल्य डोज़ का विकिरण अलग-अलग अंगों एवं

ऊतकों को अलग-अलग मात्रा में प्रभावित करता है। इसलिए एक ही समतुल्य डोज़ द्वारा विकिरण से होने वाले संभावित खतरे का अनुमान तभी मुमकिन है जब उनका गुणन ऊतक भार गुणांक से किया जाये। इस प्रकार से संतुलित किये हुए डोज़ को **प्रभावी डोज़** कहते हैं जिसकी इकाई भी सीवर्ट (Sv) होती है। हालांकि प्रभावी डोज़, कम मात्रा के विकिरण में कर्करोग तथा आनुवांशिक परिणामों की संभावना का सूचक होता है और अधिक डोज़ में इसका उद्देश्य इन प्रभावों की तीव्रता का मापन नही हैं।

विभिन्न विकिरण मात्राओं की यह कार्यप्रणाली सरल तो नहीं है, लेकिन जरुरी है क्योंकि, वह इन सब परिमाणों को सुनियोजित रूप से साथ लाती है और एक प्रभावी जरिया प्रस्तुत करती है जिसके कारण विकिरण संरक्षण विशेषज्ञ हर किसी व्यक्ति को मिले हुए विकिरण डोज़ को न केवल सुचारू ढंग से नाप सकते हैं बल्कि उनकी आपस में तुलना भी कर सकते हैं। ऐसा करना उन लोगों के लिए बहुत महत्वपूर्ण है जो विकिरण के साथ **काम करने वाले व्यावसायिक विकिरणकर्मी** हैं और इस कारणवश उन्हें विकिरण डोज़ अनिवार्य रूप से मिलती ही रहती है।

विकिरण मात्राएँ

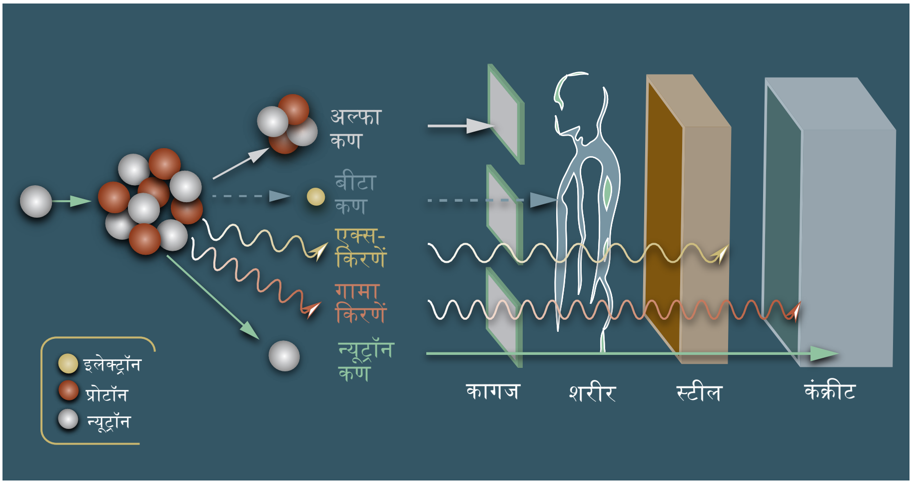
भौतिक मात्रा	
विकिरणधर्मिता	समय की प्रति इकाई में होने वाले ऊर्जा के नाभिकीय परिवर्तनों की संख्या। इसे अपक्षय प्रति सेकंड में नापा जाता है और इस इकाई का नाम बेकुरेल (Bq) है।
अभिशोषित डोज़	विकिरण द्धारा पदार्थ जैसे कि ऊतकों या अवयवों के प्रति द्रव्यमान में निक्षेपित ऊर्जा। इसे ग्रे (Gy) में अभिव्यक्त किया जाता है, जो कि जूल प्रति किलोग्राम के बराबर होती है।
परिकलित मात्रा	
समतुल्य डोज़	अभिशोषित डोज़ का विकिरण प्रभाव गुणांक (wR) से गुणन करने से, जो कि अलग-अलग प्रकार के विकिरण किस तरह ऊतकों या अवयवों को जैविक क्षति पहुचाते है इसका हिसाब करता है। यह सीवर्टस (Sv) में अभिव्यक्त होता है जो जूल प्रति किलोग्राम के बराबर होता है।
प्रभावी डोज़	समतुल्य डोज़ का 'अवयव गुणांक' (wT) से गुणन करने से, जो कि विभिन्न अवयवों एवं उतकों के क्षति संवेदनशीलताओं का हिसाब करता है। यह सीवर्टस (Sv) में अभिव्यक्त होता है, जो जूल प्रति किलोग्राम के बराबर होता है।
सामूहिक प्रभावी डोज़	विकिरण से उद्भासित जनसंख्या या समूह के प्रभावी डोजों का जोड़। यह मैन-सीवर्टस (man Sv) में अभिव्यक्त होता है।

लेकिन विकिरण निर्धारण के यह सब परिमाण किसी व्यक्ति को मिले हुए डोज़ की ही जानकारी देते हैं। इसलिए जब हम हर एक व्यक्ति के प्रभावी डोज़ को जोड़ते है और उसका जो नतीजा सामने आता है उसे **सामूहिक प्रभावी डोज़** या केवल **सामूहिक डोज़** कहा जाता है। सामूहिक डोज़ की इकाई man Sv होती है। उदाहरण के तौर पर पूरी दुनिया के लोगों की वार्षिक सामूहिक डोज़ 19 मिलियन man Sv होगी जो कि प्रतिव्यक्ति वार्षिक औसत डोज़ 3 mSv के बराबर है।

1.3 विकिरण की वेधन क्षमता

संक्षेप में देखा जाए तो विकिरण, कण (अल्फ़ा, बीटा और न्यूट्रॉन) या विद्युत् चुम्बकीय तरंगों (गामा किरण और एक्स- किरणों) के स्वरूप में होता है। जिनकी ऊर्जा अलग-अलग होती है, अतः उनकी वेधन शक्ति भी अलग-अलग होती है। इसके कारण सजीवों पर उनके प्रभाव भी अलग-अलग होते हैं। चूँकि अल्फा कण दो धन आवेशित प्रोटॉन और दो न्यूट्रॉन से बनते हैं, अतः वह सभी प्रकार के विकिरणों में सबसे ज्यादा आवेश वहन करते हैं। इस तरह आवेशित रहने की वजह से उनकी आस-पास के परमाणुओं के साथ होने वाली अन्योन्य क्रिया तीव्र होती है। इस तीव्र अन्योन्य क्रिया के परिणामस्वरूप अल्फ़ा कणों की ऊर्जा शीघ्रता से कम हो जाती है और इस कारणवश अल्फ़ा कणों की वेधन क्षमता भी कम होती है। उदाहरण के तौर पर अल्फ़ा कण महज एक कागज़ के पन्ने से भी रुक जाते हैं। बीटा कण जो की ऋण आवेशित इलेक्ट्रॉनों से बनते हैं अतः उनके कम आवेश के कारण उनकी वेधन क्षमता (अल्फ़ा कणों की तुलना में) ज्यादा होती है। इसलिए वो जीवित ऊतकों की एक/दो सें.मी. की परत के पार जा सकते हैं। एक्स-किरणों तथा गामा किरणों की वेधन क्षमता और अधिक होती है। इसलिए उन्हें रोकने के लिए स्टील के मोटे अवरोध (प्लेट) का इस्तेमाल करना पड़ता है। परमाणु विखंडन या नाभिकीय संलयन के कारण अस्थिर हुए नाभिकों से कृत्रिम न्यूट्रॉन बाहर निकलते हैं। प्राकृतिक तौर पर भी न्यूट्रॉन ब्रह्मांडीय किरणों में पाए जाते हैं । चूँकि न्यूट्रॉनों

विभिन्न प्रकार के विकिरणों की वेधन क्षमता



पर कोई आवेश नहीं होता इसलिए उनकी वेधन क्षमता भी बहुत अधिक होती है और वे पदार्थ तथा ऊतकों में अधिक गहराई तक जा सकते हैं।

2. विकिरण का हम पर क्या प्रभाव होता है?

विकिरण हम पर जो असर करता है उसकी विस्तृत जानकारी लेने से पहले आइये विकिरण विज्ञान के कुछ अग्रणी वैज्ञानिकों के विवरण को एक बार फिर से दोहराते हैं। रेडियोसक्रियता की खोज के तुरंत बाद **हेनरी बेकुरेल** को विकिरण के हानिकारक पहलू का अनुभव हुआ। उन्होंने रेडियम से भरी एक शीशी अपने जेब में रखी और उसके कारण उनकी त्वचा को नुकसान हुआ।

विल्हेल्म कॉनराड रोन्टगन जिन्होंने 1895 में एक्स-किरणों की खोज की थी, आँतों के कर्करोग के कारण वे 1923 में चल बसे। **मेरी क्यूरी**, जिन्हें अपने सारे कार्यकाल में विकिरण की डोज़ मिलती रही, खून की बीमारी के कारण 1934 में गुजर गयीं।

ऐसी जानकारी मिलती है कि, 1950 के दशक के अंत तक कम से कम 359 शुरुआती विकिरण कर्मचारियों की, जिनमें ज्यादातर डॉक्टर एवं वैज्ञानिक थे और विकिरण से सुरक्षा की जरूरत के सम्बन्ध में अनजान थे, विकिरण डोज़ के कारण उनकी मृत्यु हो गयी।

इसमें हैरानी की कोई बात नहीं कि विकिरणकर्मियों की सुरक्षा के बारे में सर्वप्रथम सिफारिशें विकसित करने वाले वही लोग थे जो मरीजों पर उपचार के लिए विकिरण का प्रयोग करते थे। सन 1928 में स्टॉकहोम में आयोजित किये गये द्वितीय अंतरराष्ट्रीय रेडियोलोजी सम्मेलन में 'क्ष' किरण एवं रेडियम सुरक्षा समिति का गठन किया गया। जिसके प्रथम अध्यक्ष के रूप में **रॉल्फ सीवर्ट** का चुनाव हुआ। द्वितीय विश्व युद्ध के बाद, वैद्यकीय चिकित्सा के अतिरिक्त विकिरण के नये उपयोगों को ध्यान में रखते हुए इस समिति का पुनर्गठन किया गया और साथ ही साथ उसका नाम भी बदलकर, 'विकिरण सुरक्षा अंतरराष्ट्रीय आयोग' कर दिया गया। रॉल्फ सीवर्ट ने 1958 - 1960 के दौरान UNSCEAR के चौथे अध्यक्ष के रूप में,उस अवधि के दौरान भी काम किया था तब, जब परमाणु हथियारों के परीक्षणों से निकलने वाले विकिरण से मानवों पर होने वाले प्रभावों के बारे में विशेष चिंता व्यक्त की जा रही थी।

विकिरण से संबंधित जोखिमों के बारे में बढ़ती जागरूकता के कारण बीसवीं सदी के दौरान विकिरण और उसके मानव जाति तथा पर्यावरण पर होने वाले प्रभावों के बारे में गहन अनुसंधान कार्य का तेजी से विकास हुआ है। जनसंख्या समूह पर विकिरण के प्रभावों के मूल्यांकन के संबंध में द्वितीय विश्वयुद्ध (1945) के अंत में हिरोशिमा एवं नागासाकी में हुई परमाणु बमबारी से बचे हुए लगभग 86 500 लोगों पर हुए विकिरण के प्रभावों की जाँच काफी महत्व रखती है। (इसके आगे इस किताब में इन लोगों का उल्लेख **परमाणु बमबारी उत्तरजीवी के रूप में किया जाएगा**)। इसके अलावा हमें इस विषय में विश्वसनीय जानकारी हमारे विकिरण प्रभावित मरीज तथा किसी विकिरण दुर्घटना के शिकार (जैसे चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत संयंत्र दुर्घटना) कर्मचारियों के अनुभवों से एवं प्राणियों तथा कोशिकाओं पर किये जा रहे विकिरण सम्बंधित प्रयोगों से प्राप्त होती है।

विकिरण प्रभावों के बारे में जानकारी के स्रोत

UNSCEAR, विकिरण डोज़ के मानव जाति तथा वातावरण पर होने वाले प्रभावों के बारे में वैज्ञानिक जानकारी का मूल्यांकन करती है और उससे जितना संभव हो सके उतनी विश्वसनीयता के साथ यह पता करने की कोशिश करती है कि कौन से प्रभावों को विकिरण की विभिन्न मात्राओं के साथ जोड़ा जा सकता है। जैसा कि हमने पहले ही देखा है कि विकिरण डोज़ का प्रभाव विकिरण के प्रकार तथा कितनी समय के लिए विकिरण मिलता रहा और विकिरण के कारण पदार्थ में कितनी ऊर्जा जमा हो गई इन तथ्यों पर निर्भर करता है। विकिरण डोज़ के मूल्यांकन के लिए फ़िलहाल, UNSCEAR अल्प डोज़ संज्ञा का उपयोग, 100 mGy से कम लेकिन 10 mGy से अधिक डोज़ मात्राओं के लिए करती है। UNSCEAR ने 10 mGy से भी कम डोज़ को अत्यल्प डोज़ की संज्ञा दी है।

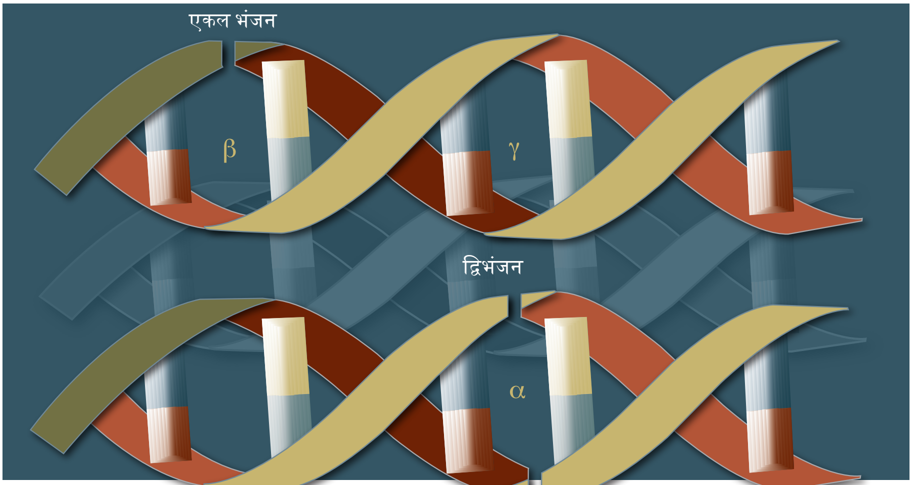
UNSCEAR द्वारा उपयोग में लाये जानेवाले डोज़ के अंतराल

उच्च डोज़	~1 Gy से अधिक	गंभीर विकिरण दुर्घटनायें (उदा. चेर्नो-बिल दुर्घटना के अग्निशमन कर्मी)
मध्यम डोज़	~100 mGy से ~1 Gy	चेर्नोबिल दुर्घटना के उपरांत बचावदल कर्मी
अल्प डोज़	~10 mGy से ~100 mGy	बहु कंप्यूटर टोमोग्राफी (CT) स्कैन
अत्यल्प डोज़	~10 mGy से कम	परम्परागत रेडियोग्राफी (CT स्कैन के बगैर)

2.1.मानव जाति पर प्रभाव

विकिरण अनुसंधान, जिसकी शुरुआत विकिरण की खोज से ही प्रारंभ हो गयी थी, एक सदी से भी अधिक का समय अंतराल तय कर चुका है और इस अवधि के दौरान इस अनुसंधान से उन जैविक क्रियाविधियों के विषय में काफी विस्तृत जानकारी हासिल की गयी है जिनके द्वारा विकिरण हमारे स्वास्थ्य को नुकसान पहुंचाता है। यह ज्ञात है कि विकिरण, कोशिका स्तर पर प्रभाव डाल सकता है जिससे या तो उनकी मौत हो जाती है या उनमें बदलाव आ जाता है। इसका कारण यह है कि विकिरण गुणसूत्रों में स्थित डीऑक्सी-राइबोन्यूक्लिक एसिड (DNA) के रेशों को सीधे हानि पहुंचाता है। यदि ऐसी कोशिकाओं की संख्या, जिन्हें विकिरण के कारण हानि पहुँची हो या जिनकी मौत हो गयी हो, अगर ज्यादा हैं तो इसके परिणामस्वरूप उस व्यक्ति के अंग नाकाम हो सकते हैं और उस व्यक्ति की मौत भी हो सकती है। इसके अलावा DNA को विकिरण के कारण एक दूसरी किस्म की क्षति हो सकती है जिसमें कोशिकाओं की मृत्यु नहीं होती है। इस प्रकार की क्षति आम तौर पर पूरी तरह से ठीक भी हो जाती है। लेकिन यदि ऐसा नहीं हुआ तो DNA में आया हुआ बदलाव, जिसे कोशिका उत्परिवर्तन कहते हैं, बरक़रार रहता है और यह कोशिकाओं की अगली पीढ़ियों में भी दिखाई देता है और अंततः इसका नतीजा कर्करोग हो सकता है। विकिरण के कारण अगर उन कोशिकाओं में बदलाव आ जाता है जो अगली पीढ़ी के लिए आनुवंशिक जानकारी का वहन करती हैं, उस स्थिति में व्यक्ति के वंशाणु में गड़बड़ी पैदा हो सकती है। ऐसी जैविक क्रियाविधियों तथा आनुवंशिक प्रभावों के विषय में जानकारी अक्सर प्रयोगशालाओं में चल रहे अनुसंधान से प्राप्त की जाती है।

डी एन ए रज्जूक की विकिरण क्षति



α = अल्फा कण, β = बीटा कण एवं γ = गामा किरणें।

विकिरण डोज़ मिलने के बाद सेहत पर होने वाले प्रभावों को सामने आने में जो समय लगता है उसे ध्यान में रखते हुए, स्वास्थ्य प्रभावों को दो भागों में बाँटा जाता है। शीघ्र स्वास्थ्य प्रभाव एवं विलम्बित स्वास्थ्य प्रभाव। आम तौर पर शीघ्र स्वास्थ्य प्रभाव व्यक्तिगत रोग सहलक्षणों की नैदानिक चिकित्सा से पता चल जाते हैं। विलम्बित स्वास्थ्य प्रभाव, जैसे कर्करोग के बारे में

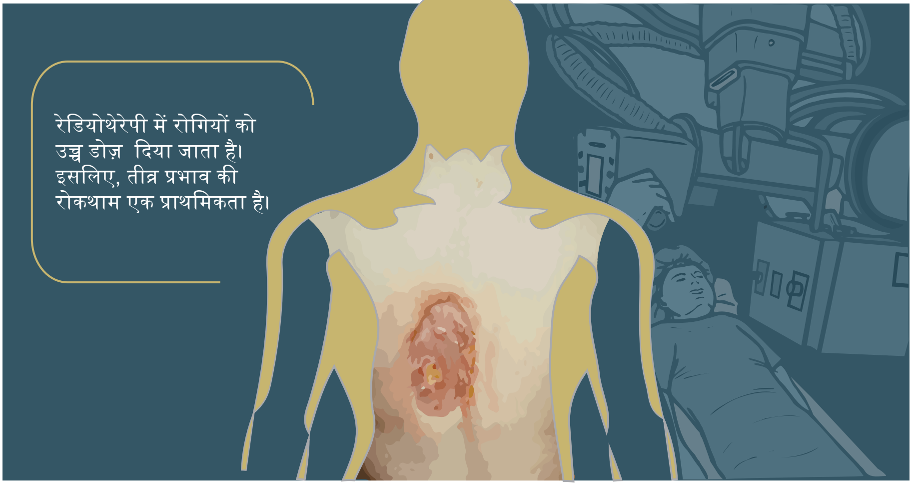
महामारी रोगविज्ञान और जनसंख्या अध्ययनों से पता चलता है जिनमें विशिष्ट रोगलक्षणों के जनसंख्या में दिखाई पड़ने के अवसरों की बढ़ी हुई मात्रा की जाँच होती है। खासकर इसमें बच्चों, भ्रूण तथा गर्भस्थ शिशुओं पर होने वाले और आनुवंशिक प्रभावों पर विशेष ध्यान दिया जाता है।

स्वास्थ्य पर शीघ्र प्रभाव

शीघ्र स्वास्थ्य प्रभावों का कारण है, बड़े पैमाने पर कोशिकाओं की क्षति या उनकी मृत्यु होना। उदाहरण के तौर पर त्वचा का जल जाना, बालों का झड़ना और प्रजनन क्षमता को हानि पहुँचना। जिस निश्चित विकिरण डोज़ सीमा के आगे ये प्रभाव दिखाई देने लगते हैं वो आम डोज़ों की तुलना में अधिक होती है और जब यह डोज़ सीमा कम समय में पार हो जाती है तब ये प्रभाव दिखाई देते हैं। इस डोज़ सीमा को पार करने के पश्चात विकिरण डोज़ की मात्रा जैसे-जैसे और अधिक बढ़ती है वैसे इन परिणामों की तीव्रता भी बढ़ने लगती है।

साधारणतया उच्च विकिरण डोज़ जो 50 Gy से ज्यादा होते हैं उनके कारण केंद्रीय तंत्रिका तंत्र इतनी बुरी तरह से क्षतिग्रस्त हो जाता है कि मरीज की कुछ दिनों में ही मृत्यु हो जाती है। यहाँ तक कि विकिरण डोज़ जब 8 Gy से कम होती है तब भी लोगों में विकिरण रुग्णता के लक्षण दिखाई देते हैं, जिन्हे **तीव्र विकिरण रोग लक्षण** भी कहा जाता है। ऐसे लक्षण उबकाई, उलटी करना, अतिसार, पेट में ऐंठन, लार निकलना, निर्जलीकरण, थकान, उदासीनता, पसीना, बुखार, सिरदर्द और निम्न रक्तचाप के रूप में हो सकते हैं। यहाँ यह बात ध्यान में रखना जरूरी है कि 'तीव्र विकिरण रोग लक्षण', उन चिकित्सीय समस्याओं को संबोधित करता है जो तुरंत ही विकसित हो जाती है ना कि दीर्घ समय के बाद। हालांकि यह संभव है कि विकिरण ग्रस्त व्यक्ति कुछ देर के लिए बच भी जाए लेकिन एक या दो हफ़्तों के बाद जठरांत्रिय क्षति के कारण उसकी मौत हो जाए। इससे कम मात्रा के डोज़ जठरांत्रिय नुकसान भले ही न करें लेकिन फिर भी वो विकिरण ग्रस्त व्यक्ति की मौत (जो

चिकित्सा में आकस्मिक उद्भासन



कुछ महीने बाद हो सकती है) का कारण बन सकते हैं जो मुख्यतः विकिरण द्वारा लाल अस्थिमज्जा को पहुंचाए गए नुकसान की वजह से होती है। विकिरण डोज़ जब इससे कम होते हैं तब उनके द्वारा होने वाली बीमारी की शुरुआत देरी से होती है और उनके कारण पैदा होने वाले लक्षणों की तीव्रता भी कम होती है। जिन्हें 2 Gy की विकिरण डोज़ मिली हो उनमें से लगभग आधे लोगों को तीन घंटे के बाद उल्टी होती है। लेकिन जिन्हें 1 Gy से भी कम विकिरण डोज़ मिली हो उनमें इसकी संभावना बहुत ही कम होती है।

यह सौभाग्य की बात है कि लाल अस्थिमज्जा तथा शेष रक्त तैयार करने वाली प्रणाली को 1 Gy से कम डोज़ मिलने पर,उनके पुर्नजीवित होने की विशेष क्षमता के कारण वे अपना काम फिर से शुरू कर देते हैं। लेकिन ऐसी परिस्थिति में उस व्यक्ति में कुछ वर्षों के बाद ल्यूकेमिया (एक प्रकार का रक्त कर्करोग) होने की संभावना ज्यादा हो जाती है। अगर हमारे शरीर का कुछ हिस्सा ही विकिरण से प्रभावित होता है तब सामान्यतः पर्याप्त लाल अस्थिमज्जा बच ही जाती है जो विकिरण के कारण होने वाली क्षति को ठीक कर देती है। जंतुओं पर किये गए प्रयोगों से पता चला है कि उनकी क्रियाशील अस्थिमज्जा का मात्र दसवाँ हिस्सा भी अगर विकिरणन से बच जाता है तब भी जीवित बचने की संभावना लगभग 100 प्रतिशत होती है।

विकिरण सीधे कोशिकाओं के DNA को नुकसान पंहुचता है। इस तथ्य को ध्यान में रखते हुए विकिरण का उपयोग कर्करोग कोशिकाओं को नष्ट करने के लिए सुनियोजित तरीके से किया जाता है, जिसे **विकिरण चिकित्सा** कहते हैं। रेडियोथेरेपी में विकिरण को कितनी मात्रा में इस्तेमाल किया जाएगा ये कर्करोग के प्रकार तथा कर्करोग किस अवस्था तक पहुँच चुका है इस पर निर्भर करता है। आम तौर पर ठोस ट्यूमर के रेडियोथेरेपी उपचार में डोज़ की मात्रा 20-80 Gy होती है। यदि यह डोज़ एक ही बार में मरीज को मिलती है तो इससे उसकी जान को खतरा हो सकता है। इसलिए मरीज के लिए आवश्यक डोज़ मात्रा का नियोजन उसे भागों में बाँट कर इस तरह से किया जाता है कि किसी भी भाग में मरीज को 2 Gy से ज्यादा डोज़ ना मिल पाए। ऐसे डोज़ नियोजन की वजह से ऊतकों की उन सामान्य कोशिकाओं को ठीक होने के लिए जरूरी समय मिल जाता है, जो कर्करोग से प्रभावित नहीं होती हैं। जब कि डोज़ मिलने के बाद कर्करोग से ग्रसित कोशिकाओं की कार्यक्षमता में कमी होने के कारण वो अपने आप को ढंग से ठीक नहीं कर पाती हैं और नष्ट हो जाती हैं।

स्वास्थ्य पर विलम्बित प्रभाव

विलम्बित प्रभाव डोज़ मिलने के काफी समय बाद ही सामने आते हैं। आम तौर पर व्यक्ति में जो विलम्बित प्रभाव सबसे बाद में दिखाई देते हैं उन्हें प्रसंभाव्य प्रभावों की श्रेणी में रखा जाता है। व्यक्तियों में ऐसे प्रभावों के प्रकट होने की संभावना, मिलने वाली विकिरण की मात्रा पर निर्भर करती है। ऐसा समझा जाता है कि इस तरह के प्रभाव कोशिकाओं के गुणसूत्रों में विकिरण के कारण आये हुए बदलाव की वजह से होते हैं। विलम्बित प्रभावों के उदाहरण हैं - विकिरण डोज़ से प्रभावित व्यक्तियों में होने वाले ठोस ट्यूमर और ल्यूकेमिया तथा ऐसे व्यक्तियों की अगली पीढ़ी में गुणसूत्रों में बदलाव के कारण पायी जाने वाली आनुवंशिक अनियमितताएँ। ऐसा देखने में आया है कि एक जनसंख्या समूह में, इन विलम्बित प्रभावों के पाये जाने की संभावना, मिले हुए विकिरण डोज़ के साथ बढती है पर इन प्रभावों की गंभीरता में वृद्धि नहीं होती है।

विलम्बित प्रभावों को समझने में महामारी विज्ञान अध्ययनों की काफी अहमियत होती हैं। ऐसे अध्ययनों में सांख्यिकीय पद्धतियाँ इस्तेमाल में लाई जाती हैं। जिनमें विकिरण डोज़ से वंचित जनसंख्या समूह की तुलना में डोज़ प्राप्त करने वाले समूह में अगर विकिरण से होने वाले विभिन्न

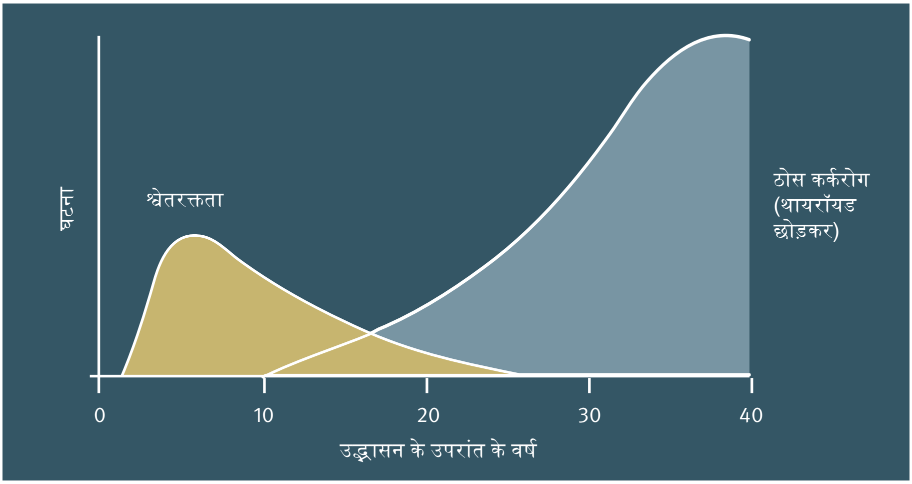
विलम्बित प्रभावों (जैसे कि कर्करोग) में पर्याप्त वृद्धि पायी जाती है तो उसका संबंध, संभवतः पूरे समूह को मिले हुए डोज़ के साथ जोड़ा जा सकता है।

विकिरण उद्भासित जनसंख्या समूह का सबसे महत्वपूर्ण दीर्घकालीन मूल्यांकन है, परमाणु बमबारी के उत्तर-जीवियों का महामारी विज्ञान अध्ययन। क्योंकि मूल्यांकन के लिए उपलब्ध बड़ी संख्या में लोग, जो जनसंख्या समूह का सही मायने में प्रतिनिधित्व करते हों, जिनके शरीर के सभी हिस्सों पर काफी समान रूप से वितरित विकिरण डोज़ की विभिन्न मात्राएँ प्राप्त हुई हो, इन सब पहलुओं के कारण यह अध्ययन आज तक के सबसे व्यापक अध्ययन हैं। इस समूह को मिली हुई डोज़ के अनुमान के बारे में भी अपेक्षाकृत अच्छी जानकारी उपलब्ध है। इस अध्ययन द्वारा, अब तक, विकिरण उद्भासित जनसंख्या समूह में, यदि उन्हे विकिरण नहीं मिलता तो संभावित कर्करोग के मरीजों की तुलना में, कुछेक सौ अधिक कर्करोग के मरीजों का पता चला है। चूँकि परमाणु बमबारी के उत्तरजीवियों में से कई लोग अब तक जिन्दा हैं अतः मूल्यांकन को पूरा करने की दृष्टि से यह अध्ययन अभी भी चल रहा है।

कर्करोग

औद्योगिक दृष्टि से उन्नत देशों में होने वाली मौतों में से 20 प्रतिशत मौतों के लिए कर्करोग जिम्मेदार है और हृदय रोग के बाद, मौतों का मुख्य कारण भी है। एक आम जनसंख्या समूह को विकिरण से कोई भी डोज़ न मिलने की अवस्था में भी, इस समूह के दस में से लगभग चार लोगों को, उनके जीवनकाल में, कर्करोग होने की संभावना होती है। हाल ही के वर्षों में पुरुषों में सामान्य तौर पर पाए जाने वाले कर्करोग में फेफड़े, पुरस्थग्रंथि, कोलोरेक्टम, उदर एवं यकृत और महिलाओं में स्तन, कोलोरेक्टम, फेफड़े, गर्भाशय ग्रीवा तथा उदर के कर्करोग शामिल हैं।

विकिरण उद्भासन के उपरांत कर्करोग का प्रगटन



कर्करोग की उत्पत्ति एक जटिल प्रक्रिया है, जिसमें बहुत सारी अवस्थाएँ निहित होती हैं। ऐसा देखने में आया है कि एक शुरुआती घटना संभवतः अकेली कोशिका पर असर करके इस प्रक्रिया को आरंभ कर देती है, लेकिन ऐसी कोशिका के घातक बन जाने तथा गाँठ के तैयार होने से पहले दूसरी कई सारी घटनाओं का क्रम से घटित होना आवश्यक प्रतीत होता है। कर्करोग का पता इस आरंभिक क्षति के होने के काफी समय बाद ही चलता है जो कि कर्करोग की सुषुप्त अवस्था होती है। विकिरण डोज़ मिलने के बाद कर्करोग होने की संभावना एक गहरी चिंता का विषय है। एक जनसंख्या समूह को उस हद तक डोज़ मिलने के बाद, जिससे उस समूह में अगर कर्करोग की घटनाएं उस मात्रा में बढ़ जाती हैं जो सांख्यिकी तथा अन्य दूसरी अनिश्चितताओं से परे हो तभी डोज़ के कारण कर्करोग की संभावना का निर्धारण किया जा सकता है। तथापि कर्करोग के होने में विकिरण की वास्तविक भूमिका क्या है, इसका ज्ञान अभी भी नहीं हुआ है।

ल्युकेमिया, थायरॉइड कर्करोग तथा हड्डी के कर्करोग, डोज़ मिलने के कुछ वर्षों के भीतर ही दिखाई पड़ जाते हैं। लेकिन बाकी अधिकांश कर्करोग कम से कम दस सालों या कभी विकिरण उद्भासन के कई दशकों के बाद ही मालूम पड़ते हैं। चूँकि डोज़ की वजह से व्यक्ति में किसी एक तरह का ही कर्करोग पाया जाता हो ऐसी बात नहीं है, इसलिए विकिरण के कारण तैयार हुई गांठें तथा दूसरे किसी वजह से तैयार हुई गांठों में फर्क कर पाना संभव नहीं है। इसके बावजूद निश्चित डोज़ मिलने के बाद कर्करोग की संभाव्यता का अनुमान लगाना, डोज़ की उद्भासन सीमा के निर्धारण को ठोस वैज्ञानिक आधार प्रदान करने की दृष्टि से काफी महत्वपूर्ण है।

विकिरण द्वारा वैद्यकीय उपचार पाने वाले, व्यावसायिक विकिरण कार्मिकों और सबसे अहम् वो लोग जो परमाणु बमबारी के उत्तरजीवी हैं इन सभी पर किये गये अध्ययनों ने विकिरण डोज़ और कर्करोग के संबंध के विषय में हमारी जानकारी को वैज्ञानिक आधार प्रदान किया है। इन अध्ययनों में ऐसे बहुत सारे लोगों का समावेश है जिनके शरीर के विभिन्न हिस्सों को डोज़ मिली थी और उनका अध्ययन काफी लम्बे समय तक किया गया था। लेकिन इनमें से कुछ अध्ययनों में गंभीर खामियाँ हैं, जैसे कि इन व्यक्तियों के जनसंख्या समूह तथा सर्वसाधारण व्यक्तियों के जनसंख्या समूह की आयु वितरण में भिन्नता और इस बात के भी सबूत हैं कि अध्ययन किये गए जनसंख्या समूह के कई व्यक्ति पहले से ही बीमार थे और कर्करोग का उपचार भी ले रहे थे जिस समय उन्हें डोज़ मिली थी।

इन अध्ययनों के विषय में इससे और मूलगामी समस्या यह है कि इनमें से लगभग सभी अध्ययन उन लोगों तक ही सीमित हैं जिनके ऊतकों को मिली हुई डोज़ की मात्रा काफी ज्यादा यानी 1 Gy या उससे अधिक है और वो मात्रा भी या तो एक ही किश्त में मिली थी या फिर अपेक्षाकृत कम समय अंतराल में मिली थी। विकिरण की डोज़ कम मात्रा में और लम्बे अंतराल के लिए मिलने से होने वाले प्रभावों के विषय में बहुत ही कम जानकारी उपलब्ध है - जो कि कुछ ही गिने-चुने अध्ययनों द्वारा मिली है जो खासकर उन लोगों के बारे में है जिनका जीवनयापन ही विकिरण से जुड़ा हुआ है। लेकिन उन विकिरण डोज़ के प्रभावों के विषय में तो कोई भी प्रत्यक्ष जानकारी उपलब्ध नहीं है जो विकिरण सर्वसाधारण जनता को आये दिन मिलते रहते हैं। इसलिए ऐसे अध्ययनों की जरुरत है जिनमें बड़े जनसंख्या समूह पर विकिरण डोज़ का एक लंबे अंतराल के लिए परीक्षण किया गया हो। इसके बावजूद भी यह संभावना बनी रहेगी कि यह अध्ययन सामान्य जनसंख्या की तुलना में विकिरण प्रभावित जनसंख्या में कर्करोग वृद्धि को देख पाने में अंततः अक्षम ही साबित होंगे।

UNSCEAR ने विकिरण उद्भासित जनसंख्या समूह में कर्करोग के पाए जाने के विषय में बड़े पैमाने पर विस्तृत समीक्षा की है जिसमें यह आकलन किया गया कि 100 mSv से अधिक डोज़ के कारण, कर्करोग से मृत्यु होने की संभावना में 3 से 5% प्रति Sv की वृद्धि होती है।

स्वास्थ्य पर अन्य प्रभाव

हृदय को उच्च डोज़ मिलने से हृदय विकार होने की संभाव्यता बढ़ जाती है। ऐसी डोज़ मरीज को रेडियोथेरेपी के दौरान मिल सकती है। हालांकि आजकल की प्रगत विधाओं के कारण अब रेडियोथेरेपी में हृदय को मिलने वाली डोज़ कम हो गई है। यद्यपि ऐसा कोई वैज्ञानिक सबूत मौजूद नहीं है जिससे यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि अल्प डोज़ के कारण हृदय विकार हो सकता है।

UNSCEAR ने इस बात पर ध्यान दिया है कि चेर्नोबिल आपातकालीन बचाव दल के कर्मचारियों में मोतियाबिंद होने में पाई गयी वृद्धि का सम्बन्ध संभवतः उच्च विकिरण डोज़ से हो सकता है। इसके साथ ही, UNSCEAR ने विकिरण डोज़ के कारण मानव प्रतिरक्षा तंत्र पर होने वाले प्रभावों के विषय में, परमाणु बमबारी के उत्तरजीवियों, चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत संयंत्र के आपातकालीन बचाव दल के कर्मचारियों तथा रेडियोथेरेपी द्वारा इलाज कराने वाले मरीजों का अध्ययन भी किया है। विकिरण डोज़ से प्रतिरक्षा तंत्र पर होने वाले प्रभावों का मूल्यांकन कोशिकाओं की संख्या में होने वाले बदलाव का अनुमान लगा कर या विभिन्न अभिलाक्षणिक विश्लेषणों से किया जाता है। विकिरण का उच्च डोज़ ज्यादा तर लसिका कोशिकाओं को नुकसान पहुँचा कर प्रतिरक्षा तंत्र को कमजोर करते हैं। इसलिए भारी डोज़ मिलने के बाद उनकी संख्या में आयी हुई कमी का उपयोग, डोज़ की मात्रा निर्धारण हेतु पूर्वसूचक के तौर पर वर्तमान में हो रहा है।

अगली पीढ़ी पर होने वाले प्रभाव

अगर विकिरण डोज़ के कारण होने वाला नुकसान प्रजनन कोशिकाओं यानि शुक्राणु अथवा अंडाणु कोशिकाओं में पाया जाता है तो इससे व्यक्ति की अगली पीढ़ी पर आनुवंशिक प्रभाव हो सकता है। इसके अलावा विकिरण डोज़ सीधे गर्भ या गर्भाशय में विकसित हो रहे शिशु को हानि पहुँचा सकता है। वयस्क व्यक्ति, बच्चे तथा गर्भस्थ शिशु को मिले हुए विकिरण डोज़ में अंतर का ध्यान रखना महत्वपूर्ण है। UNSCEAR ने इन सभी वर्गों में, विकिरण डोज़ के स्वास्थ्य प्रभावों जिनमें आनुवंशिक प्रभाव भी शामिल हैं, परिणामों के विषय में बड़े पैमाने पर विस्तृत समीक्षा की है।

बच्चों पर विकिरण डोज़ का प्रभाव

विकिरण डोज़ के स्वास्थ्य पर होने वाले प्रभाव बहुत सारे शारीरिक घटकों पर निर्भर करते हैं। बच्चों और वयस्कों में दैहिक संरचना तथा शरीर क्रियात्मक विभिन्नताओं के कारण विकिरण डोज़ का उन पर प्रभाव भी अलग-अलग होता है। जैसे बच्चों के कद का आकार छोटा होता है और उन पर ऊतकों का आवरण भी वयस्कों की तुलना में हल्का होता है। इसलिए दोनों को एक ही डोज़ मिलने पर भी बच्चों के अंदरूनी अंगों को मिलने वाली डोज़ की मात्रा वयस्कों से ज्यादा होती है। इसके अलावा बच्चों के कद की ऊँचाई कम होने के कारण उन्हें जमीन पर फैले हुए विकिरणधर्मी नाभिकों से वयस्कों की तुलना में ज्यादा डोज़ मिलने की संभावना होती है।

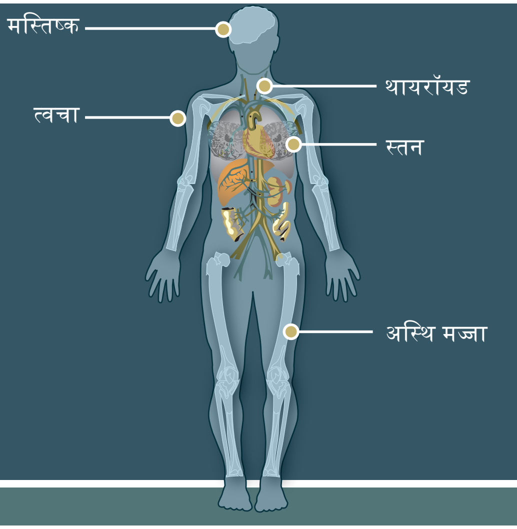
कभी-कभी विकिरणधर्मी पदार्थ शरीर के अंदर पहुँच जाते हैं ऐसी परिस्थिति में व्यक्ति को अंदर से डोज़ मिलती रहती है। इस प्रकार की अंदरूनी डोज़ की दृष्टि से, बच्चों के छोटे आकार के कारण उनके अंग-प्रत्यंग वयस्क व्यक्ति की तुलना में एक दूसरे से ज्यादा करीब होते हैं। इसलिए उनके एक अंग में इकट्ठा हुए विकिरणधर्मी पदार्थ दूसरे अवयवों को, वयस्क व्यक्ति की तुलना में,

ज्यादा विकिरणित करते हैं। व्यक्ति की उम्र से संबंधित और भी कई घटक होते हैं जो चयापचय क्रिया एवं शरीर क्रिया से संबंध रखते हैं और जिनके कारण विभिन्न उम्र के व्यक्तियों के डोज़ में लक्षणीय फर्क पड़ता है। बहुत सारे विकिरणधर्मी नाभिक ऐसे हैं जिन पर बच्चों के अंदरूनी डोज़ की दृष्टि से विशेष ध्यान देना आवश्यक है। ऐसी दुर्घटनाएँ जो रेडियोसक्रिय आयोडीन-131 के मुक्त होने से संबंधित हैं, थायरॉइड ग्रंथि को विकिरण डोज़ मिलने का महत्वपूर्ण स्रोत हो सकती हैं। विकिरणधर्मी पदार्थों की एक सुनिश्चित मात्रा के अंतर्ग्रहण से एक नवजात शिशु की थायरॉइड को मिलने वाली डोज़ वयस्क की तुलना में नौ गुना अधिक होती है। चेर्नोबिल दुर्घटना के अध्ययनों ने थायरॉइड कर्करोग का आयोडीन-131 से सम्बन्ध होने की पुष्टि की है जो ज्यादा तर थायरॉइड ग्रंथि में इकट्ठा होता रहता है।

महामारी विज्ञान अध्ययनों ने यह दिखा दिया है कि 20 साल से कम उम्र के युवा लोगों में, वयस्कों की तुलना में, दोनों को एक ही डोज़ मिलने के बावजूद ल्युकेमिया होने की संभाव्यता, वयस्कों से दुगुनी होती है। इसके अलावा यह भी पाया गया है कि 10 साल से कम उम्र के बच्चे डोज़ से ज्यादा आसानी से प्रभावित हो जाते हैं। जैसे कि कुछ अन्य अध्ययन सूचित करते हैं कि उनकी ल्युकेमिया से मृत्यु होने की संभावना वयस्कों से तीन से चार गुना अधिक होती है। अन्य अध्ययनों से यह भी पता चला है कि लड़कियों को 20 साल की उम्र से पहले डोज़ मिलने पर उनमें स्तन कर्करोग होने की संभावना वयस्क स्त्रियों की तुलना में दुगुनी होती है। बच्चों में वयस्कों की तुलना में डोज़ मिलने के बाद कर्करोग होने की संभावना ज्यादा होती है। लेकिन कर्करोग का प्रादुर्भाव उनमें संभवतः उस आयु में होता है जिसमें कर्करोग सामान्य तौर पर ही दिखाई देता है।

UNSCEAR ने वैज्ञानिक सामग्री की समीक्षा की है जो यह सूचित करती है कि बच्चों में कर्करोग वयस्कों की तुलना में ज्यादा परिवर्तनशील होता है और वो ट्यूमर के प्रकार, बच्चे की उम्र तथा लिंग पर निर्भर करता है। विकिरण संवेदनशीलता विकिरण प्रेरित कर्करोग के संबंध में, ट्यूमर पैदा होने की गति को सूचित करती है। वयस्कों तथा बच्चों की विकिरण संवेदनशीलता में भिन्नता के विषय पर किये गए अध्ययनों से यह पता चलता है कि बच्चे थायरॉइड, मस्तिष्क, त्वचा तथा

बच्चों में विशेष रूप से रेडियो संवेदनशील अंग



विकिरण से उद्धासित होने वाले 20 वर्ष से कम आयु वाले बच्चों में उतने ही डोज़ से उद्धासित वयस्कों की तुलना में मस्तिष्क कर्करोग होने की संभावना दुगनी होती है। 20 वर्ष से कम आयुवाली बालिकाओं मे स्तन कर्करोग के प्रति ऐसी ही समरूपता पायी गई है।

स्तनों के कर्करोग एवं ल्युकेमिया के प्रति अधिक संवेदनशील होते हैं।

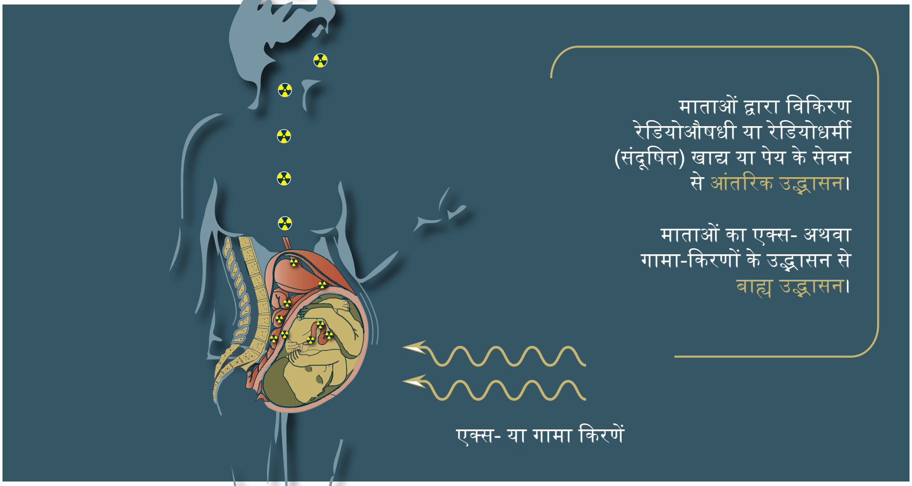
उच्च मात्रा की डोज़ (उदाहरण के तौर पर जो डोज़ विकिरण उपचार पद्धति में मिलती है) मिलने से बच्चों पर होने वाले शीघ्र प्रभावों में जो विविधता होती है वो काफी जटिल होती है और उसका स्पष्टीकरण ऊतकों एवं जैविक क्रियाविधियों की एक दूसरे के साथ होने वाली अन्योन्य प्रतिक्रिया द्वारा हो सकता है। कुछ प्रभाव (जैसे कि मस्तिष्क विकार, मोतियाबिंद एवं थायरॉइड की गांठें) प्रौढ़ावस्था की तुलना में बचपन में विकिरण डोज़ मिलने से अधिक मात्रा में नजर आते हैं और ऐसे कुछ प्रभाव (उदाहरण के तौर पर फेफड़े और अंडाशय पर पाए जाने वाले प्रभाव) भी हैं जिनका मुकाबला बच्चों के ऊतक प्रौढ़ों की तुलना में, अधिक कारगर ढंग से करते हैं।

गर्भस्थ शिशु पर प्रभाव

एक भ्रूण या गर्भस्थ शिशु को विकिरण की डोज़ या तो अपनी माँ के शरीर में, खाने या पीने के जरिये विकिरणधर्मी पदार्थों के पहुँचने से आतंरिक उद्भासन या सीधे माँ के शरीर के बाहर से बाह्य उद्भासन द्वारा मिलती है। अधिकांश विकिरण उद्भासन घटनाओं में, गर्भाशय के कारण भ्रूण के सुरक्षित होने से उसे मिलने वाली डोज़ की मात्रा उसके माँ को मिलने वाली डोज़ की मात्रा से प्रायः कुछ कम ही होती है। लेकिन डोज़ की जिस मात्रा के कारण माँ पर तुरंत असर होता है, उससे कम मात्रा वाली डोज़ भी, माँ के भ्रूण और गर्भ पर, उनकी विकिरण संवेदनशीलता ज्यादा होने के कारण, गंभीर स्वास्थ्य परिणाम उत्पन्न कर सकती है। ऐसे परिणामों में वृद्धि दर में कमी, संरचनात्मक अनियमितताएँ, मस्तिष्क के कार्यकलापो में बाधा तथा कर्करोग शामिल हैं।

स्तनधारी जीवों की गर्भ में विकास की मोटे तौर पर तीन अवस्थाएँ होती हैं। यह ज्ञात है कि विकिरण डोज़ अगर प्रथम अवस्था में मिल जाता है, जो मानव में गर्भकाल के पहले दो सप्ताहों से उस वक़्त तक चलती है जब तक गर्भ गर्भाशय की दीवार पर अपने आप को सुस्थापित कर लेता है,

भ्रूण के विकिरण उद्भासन के मार्ग



तो वह डोज़ गर्भ को गर्भाशय में ही मार सकता है। इस अवस्था में क्या-क्या होता है इसका अध्ययन करना तो बहुत मुश्किल होता है लेकिन उस जानकारी से, जो ज्यादा तर दूसरे प्राणियों पर किये गए प्रयोगों से हासिल हुई है, इस बात की पुष्टि हुई है कि एक विशिष्ट डोज़ सीमा से ज्यादा डोज़ मिलने से प्रारंभिक भ्रूण पर होने वाले प्रभाव का अंजाम उसकी मौत हो सकती है।

अगली अवस्था के दौरान, जो मनुष्य के गर्भकाल के दूसरे सप्ताह से आठवें सप्ताह तक होती है, गर्भ को विकिरण डोज़ मिलने पर, प्रमुख खतरा यह होता है कि उसके कारण विकसित हो रहे अवयवों में संरचनात्मक अनियमितताएँ पैदा हो जाती है, जिससे शायद जन्म होते ही भ्रूण की मृत्यु हो जाती है। दूसरे प्राणियों पर किये गए प्रयोगों से यह पता चला है कि कुछ अंग (जैसे कि आँख, मस्तिष्क एवं हड्डियों का ढांचा) विकास की आरंभिक अवस्था में विकिरण मिलने पर संरचनात्मक अनियमितताओं की दृष्टि से ज्यादा संवेदनशील होते हैं।

ऐसा ज्ञात हुआ है कि विकिरण डोज़ के कारण सबसे अधिक नुकसान केंद्रीय तंत्रिका तंत्र को होता है जब यह डोज़ आठ सप्ताह के बाद गर्भकाल की तीसरी और अंतिम अवस्था शुरू होने पर मिलती है। शिशु के जन्म से पूर्व उसे डोज़ मिलने से उसके मस्तिष्क पर होने वाले प्रभावों को समझने में काफी प्रगति हुई है। उदाहरण के तौर पर परमाणु बमबारी के उत्तरजीवियों के 1600 बच्चे, जिन्हें जन्म के पूर्व उनकी गर्भावस्था में 1 Gy विकिरण डोज़ मिला था, उनमें से 30 बच्चों को तीव्र बौद्धिक दुर्बलता की समस्या थी।

गर्भावस्था में विकिरण डोज़ मिलने के कारण क्या उस व्यक्ति को आगे चलकर जिंदगी में कर्करोग हो सकता है, इस विषय पर सर्वसम्मति नहीं है। अन्य प्राणियों पर किये गए प्रयोग, गर्भावस्था में भ्रूण को मिलने वाले विकिरण डोज़ और कर्करोग के बीच विशिष्ट संबंध स्थापित करने में सफल नहीं हुए हैं। UNSCEAR ने शिशु के, उसके जन्म से पूर्व अवस्था में प्राप्त हुए विकिरण से होने वाले बहुत सारे संभाव्य जोखिमों, जैसे मौत, संरचनात्मक अनियमितताएँ, बौद्धिक दुर्बलता तथा कर्करोग के बारे में अनुमान लगाने का प्रयत्न किया है। जिसके फलस्वरूप UNSCEAR को यह बात स्पष्ट हो चुकी है कि अपने सामान्य रूप में जन्मे हर 1000 बच्चों में, जिन्हें गर्भावस्था के दौरान 1 Gy के सौवें हिस्से जितना 0.01 Gy विकिरण डोज़ मिला था, ज्यादा से ज्यादा 2 बच्चे विकिरण डोज़ से प्रभावित हो सकते हैं। इसकी तुलना में बच्चों को कोई भी विकिरण डोज़ न मिलने की स्थिति में भी 6% बच्चे (1000 में 60) इन्हीं प्रभावों से, प्राकृतिक रूप से ही प्रभावित हो सकते हैं।

आनुवंशिक प्रभाव

विकिरण उन कोशिकाओं में बदलाव ला सकता है जो अगली पीढ़ी को आनुवंशिकता से संबंधित जानकारी पहुंचाती हैं और इस बदलाव के कारण अगली पीढ़ी में आनुवंशिक विकार पैदा होने की संभावना होती है। इस प्रकार के विकारों का अध्ययन मुश्किल होता है क्योंकि विकिरण के कारण वंशाणु को किस प्रकार की क्षति होती है इस विषय में बहुत कम जानकारी उपलब्ध है और वह कुछ हद तक इसलिए कि आनुवंशिक प्रभावों का लेखा जोखा लेने में पीढ़ियाँ गुजर जाती हैं और कुछ हद तक इसलिए भी कि ये प्रभाव (उदाहरण के लिए कर्करोग) व्यक्ति में विकिरण के अलावा दूसरी और वजह से भी हो सकता है और ऐसी स्थिति में व्यक्ति में ये प्रभाव विकिरण के कारण ही हुआ है या किसी और वजह से, यह तय करना संभव नहीं होता।

विकिरण डोज़ के कारण बुरी तरह से क्षतिग्रस्त गर्भ एवं भ्रूणों में से बहुत सारे भ्रूण और गर्भ बच नहीं पाते। ऐसा अनुमान लगाया गया है कि गर्भपात हुए लगभग आधे गर्भों की वंशाणु संरचना में असामान्यताएँ होती हैं। ऐसे गर्भ अगर पैदा होने तक बच भी जाते हैं तो ऐसे शिशुओं की, जिनमें आनुवंशिक विकार मौजूद हैं, उनके पाँचवें जन्मदिन से पहले ही गुज़र जाने की संभावना सामान्य शिशुओं की तुलना में पांच गुना अधिक होती है।

आनुवंशिक प्रभाव मुख्यतः दो प्रकार के होते हैं। पहला गुणसूत्रों में विपथन जिन में गुणसूत्रों की संख्या या उनकी संरचना में बदलाव आ जाते हैं और दूसरा स्वयं वंशाणु में ही उत्परिवर्तन हो जाता है। ये प्रभाव बाद की पीढ़ियों में भी दिखाई दे सकते हैं। लेकिन उनका दिखाई देना जरुरी हो, ऐसा नहीं है।

परमाणु बमबारी के उत्तरजीवियों के बच्चों पर किये गये अध्ययन,उनमें किसी आनुवंशिक प्रभाव को देख पाने में असफल रहे हैं। इसका मतलब यह नहीं है कि विकिरण डोज़ के कारण कोई क्षति नहीं हुई है। बल्कि सिर्फ यह है कि एक तुलना में बड़ी जनसंख्या समूह को एक सीमित विकिरण डोज़ मिलने से उस पर कोई सुस्पष्ट असर नहीं होता है। यद्यपि पौधों और प्राणियों पर किये गए प्रायोगिक अध्ययनों से यह साफ पता चलता है कि उच्च विकिरण डोज़ मिलने से उनमें आनुवंशिक प्रभाव प्रदर्शित होते हैं। मनुष्य इसका अपवाद हो ऐसा असंभव है।

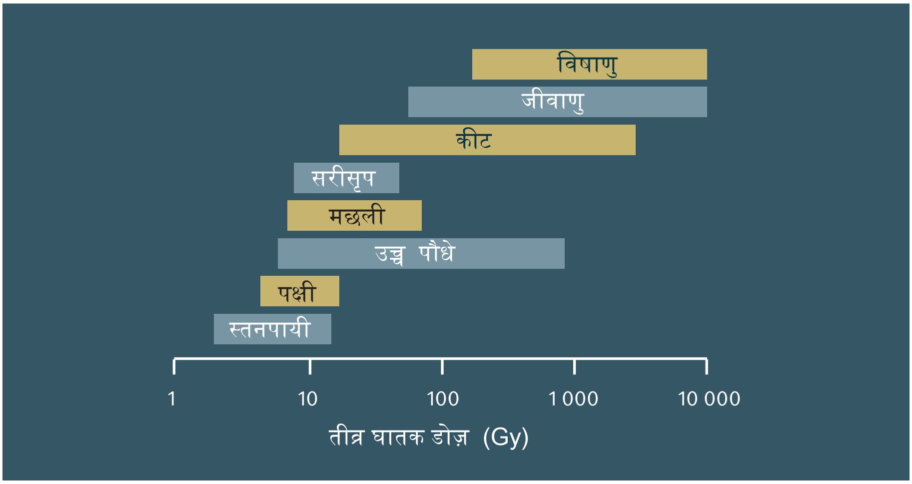
UNSCEAR ने अपना ध्यान सिर्फ गंभीर आनुवंशिक प्रभावों पर ही केंद्रित किया है और अनुमानित किया है कि इन प्रभावों के पाए जाने की कुल आशंका 0.3 से 0.5 प्रतिशत प्रति Gy होती है। जो विकिरण डोज़ मिलने के बाद अगली पीढ़ी में जानलेवा कर्करोग के पाए जाने की संभावना के 1/10 से भी कम है।

2.2. प्राणियों तथा पौधों पर प्रभाव

प्राणी तथा पौधों पर विकिरण डोज़ के प्रभावों पर आज कल पहले से ज्यादा ध्यान दिया जा रहा है। पिछले कुछ दशकों में यह सोच चल रही थी कि अगर मनुष्य को विकिरण से समुचित रूप से संरक्षण दिया गया तो उससे पौधों और प्राणियों का भी संरक्षण हो जाएगा। UNSCEAR ने विकिरण डोज़ के प्राणी तथा पौधों पर होने वाले प्रभावों का मूल्यांकन किया है और पाया कि 1–10 Gy की सैद्धांतिक डोज़ का पौधों और प्राणियों के जनसंख्या समूह पर प्रभाव होना असंभव है और यह भी कि एक समूह में डोज़ की प्रतिक्रियाएँ एक जैसी नहीं होती हैं (प्राणी समूह में स्तनधारी प्राणी सबसे अधिक संवेदनशील होते हैं)। वो प्रभाव जिनके जनसंख्या समूह के स्तर पर महत्वपूर्ण होने की संभावना होती है, उनमें प्रजननक्षमता, मृत्यु की संभावना और गुणसूत्रों में उत्परिवर्तनों का प्रेरित होना शामिल है। प्रजनन से संबंधित बदलाव जैसे ‘अगली पीढ़ी की संख्या’ यह ‘मृत्यु दर’ की तुलना में विकिरण डोज़ से होने वाले प्रभावों का अधिक संवेदनशील संसूचक हैं।

घातक डोज़, विकिरण के वह डोज़ होते हैं जिनके मिलने से जनसंख्या समूह के 50 प्रतिशत सदस्यों की मृत्यु हो जाती है। उन पौधों में, जिन्हें विकिरण डोज़ बहुत कम समय में मिला है (**तीव्र विकिरण**), घातक डोज़ की सीमा 10 Gy से कम मात्राओं से लेकर 1000 Gy तक पायी गई है। आम तौर पर बड़े पौधे छोटे पौधों की तुलना में, अधिक विकिरण संवेदनशील होते हैं। छोटे स्तनधारी प्राणियों के लिए घातक डोज़ की मात्रा 6-10 Gy तक होती है और बड़े स्तनधारी प्राणियों के लिए यह 2.5 Gy के आस-पास होती है। कुछ कीट, जीवाणु तथा विषाणु 1000 Gy से भी अधिक डोज़ को सहन कर पाते हैं।

कुछ जंतुओं एवं पौधों हेतु तीव्र घातक डोज़ों का परास



चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत् संयंत्र के आस-पास के क्षेत्रों में प्राणियों तथा पौधों को मिले हुए विकिरण डोज़ का निरीक्षण जानकारी का एक प्रमुख स्रोत रहा है। विभिन्न संभाव्य पर्यायों का, जिनके कारण पर्यावरण को विकिरण डोज़ मिला था, UNSCEAR ने, मूल्यांकन किया है और इन डोज़ के संभाव्य प्रभावों के निर्धारण के नए तरीकों का विकास किया है।

हाल ही में, UNSCEAR ने फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत् केंद्र दुर्घटना के बाद चुनिंदा प्राणियों तथा पौधों पर विकिरण डोज़ के प्रभावों का आकलन किया है और यह निष्कर्ष निकाला है कि डोज़ की मात्रा बहुत कम होने की वजह से, आम तौर पर ये गंभीर प्रभावों का कारण नहीं बन सकती। तथापि जैविक चिन्हों, जो खास तौर पर स्तनधारी प्राणियों में विशिष्ट रोग या एक जीव की शारीरिक क्रिया अवस्था को दर्शाते हैं, में बदलाव से इंकार नहीं किया जा सकता, लेकिन जनसंख्या समूह की समग्रता को प्रदर्शित करने में उन जीवों की सार्थकता के बारे में सुस्पष्टता नहीं है।

यहाँ इस बात का ध्यान रखना जरूरी है कि मानव को मिलने वाले विकिरण डोज़ को कम करने के लिए जो रक्षात्मक एवं उपचारात्मक कार्रवाई की जाती है इसका महत्वपूर्ण एवं व्यापक प्रभाव

होता है। उदाहरण के लिए, ऐसी कार्रवाई पर्यावरणीय संपत्ति और सेवाओं और उन संसाधनों पर जो कृषि, वानिकी, मत्स्य पालन एवं पर्यटन में इस्तेमाल होते हैं, तथा उन सुख-सुविधाओं पर जो आध्यात्मिक, सांस्कृतिक एवं मनोरंजनात्मक गतिविधियों में इस्तेमाल होती हैं, को प्रभावित कर सकती है।

2.3.विकिरण डोज़ एवं प्रभावों में संबंध

विकिरण डोज़ और उनके स्वास्थ्य विषयक प्रभावों के सम्बन्ध को संक्षेप में प्रस्तुत करते समय UNESCEAR ने इस बात पर बल दिया है कि विकिरण डोज़ मिले हुए जनसंख्या समूह में मौजूदा स्वास्थ्य प्रभाव और सैद्धान्तिक मीमांसा द्वारा संभाव्य प्रभावों की भविष्य वाणियों में फर्क करना बहुत महत्वपूर्ण है। इन दोनों परिस्थितियों में सांख्यिकीय विवेचन में, विकिरण मापनों में या किसी अन्य घटकों में जो अनिश्चितताएँ और गलतियां होती हैं उन्हें ध्यान में रखना जरुरी है।

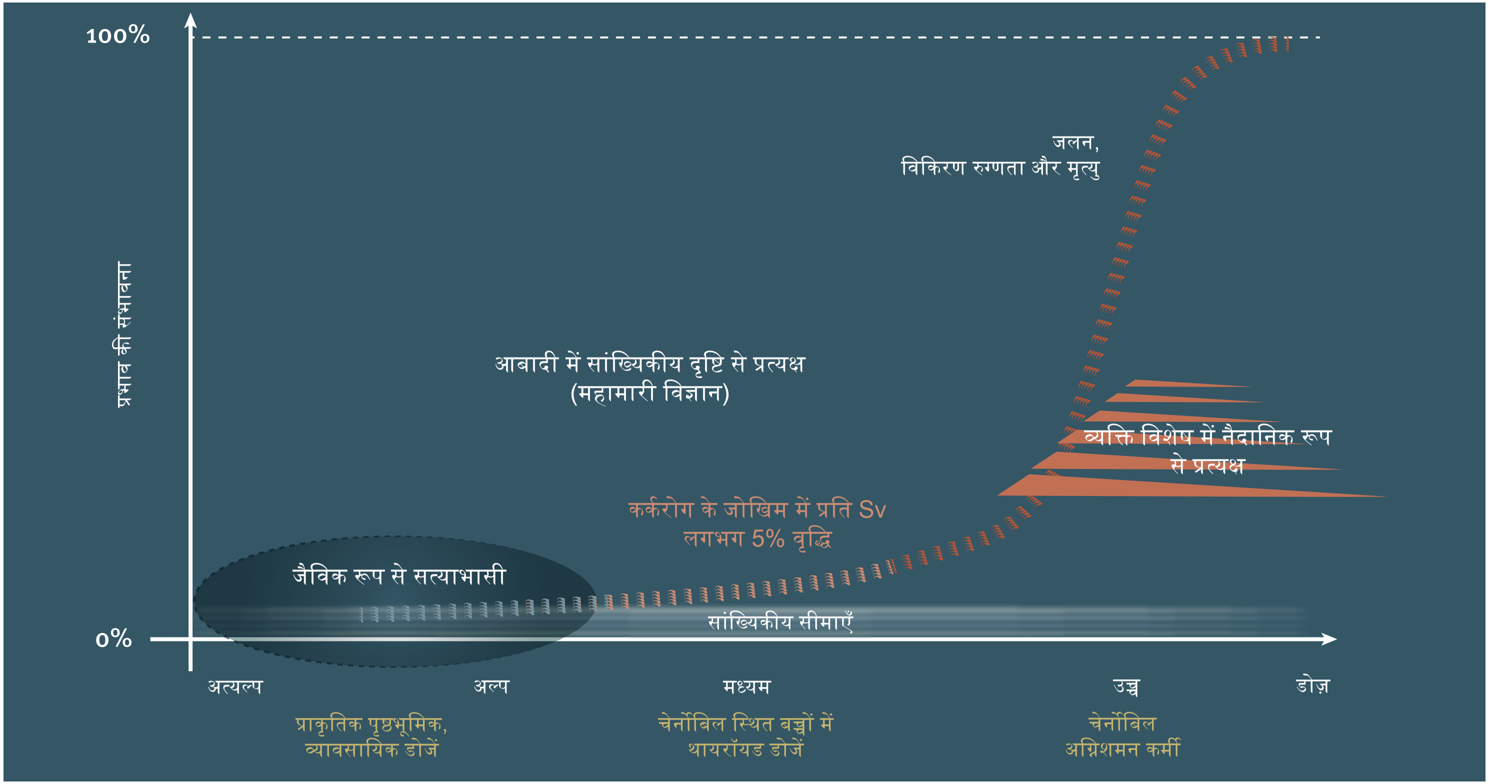
वर्तमान में उपलब्ध जानकारी के अनुसार, व्यक्तियों में पाए गये स्वास्थ्य प्रभावों को हम पूरे विश्वास के साथ विकिरण से जोड़ सकते हैं अगर उन व्यक्तियों में, उच्च डोज़ 1 Gy से अधिक मिलने पर होने वाले शीघ्र प्रभाव (उदाहरण के तौर पर त्वचा का जल जाना) नजर आते हैं। ऐसे डोज़ विकिरण दुर्घटनाओं में मिल जाते हैं जैसे कि चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत् संयंत्र दुर्घटना के दौरान आपातकालीन बचाव दल कर्मियों को मिले थे या विकिरण उपचार पद्धति के दौरान होने वाली दुर्घटनाओं में मरीजों को मिल जाते हैं।

यह संभव है कि, महामारी-विज्ञान तरीकों का इस्तेमाल करके एक जनसंख्या समूह में विलंबित स्वास्थ्य प्रभावों (जैसे कि कर्करोग) में हुई वृद्धि को उसे मिली हुई सीमित मात्रा के विकिरण डोज़ से जोड़ा जाए, यह तभी संभव है जब विलम्बित स्वास्थ्य प्रभावों में हुई वृद्धि सभी अनिश्चितताओं से परे हो। तथापि ऐसे कोई भी जैवसूचक फ़िलहाल उपलब्ध नहीं हैं जो बता पाएँ कि कर्करोग विकिरण डोज़ से हुआ है या नहीं।

जहां विकिरण उद्भासन का स्तर निम्न या अतिनिम्न स्तर पर था जैसे कि ज्यादातर पर्यावरणीय या व्यावसायिक विकिरण उद्भासन में होता है, विलंबित स्वास्थ्य प्रभावों में बदलाव की पुष्टि सांख्यिकी तथा दूसरी अनिश्चितताओं के चलते नहीं की जा सकती। हालांकि ऐसे प्रभावों को नकारा नहीं जा सकता।

जहाँ तक भविष्य में होने वाले संभावित प्रभावों की बात है, उच्च और मध्यम डोज़ के लिए, इन प्रभावों की संभाव्यता का आकलन कैसे किया जाये इसकी जानकारी उपलब्ध है। यद्यपि अल्प और अत्यल्प डोज़ मात्रा के स्तर पर कुछ चीजों को मान्य करना आवश्यक होता है और गणितीय मॉडलों का इस्तेमाल करके किसी भी स्वास्थ्य प्रभावों की, संभाव्यता का आकलन करने पर जो नतीजे मिलते हैं वह बहुत अनिश्चित होते हैं। इसके परिणामस्वरूप अल्प एवं अत्यल्प विकरण डोज़ के लिए UNSCEAR ने इनका हेतुपूर्वक इस्तेमाल नहीं किया है। उदाहरण के लिए चेर्नोबिल एवं फुकुशिमा-दाइची दुर्घटनाओं में स्वास्थ्य प्रभावों या मौतों के आंकड़ों के अनुमान लगाने में अस्वी-कार्य अनिश्चितताएँ पायी गई हैं। इसके बावजूद जनसाधारण के स्वास्थ्य विषयक तुलनाओं में या विकिरण संरक्षण प्रयोजनों के लिए ये अनुमान काम आ सकते हैं बशर्ते इन अनिश्चितताओं का ध्यान रखा जाए और उनकी सीमाओं का सुस्पष्ट स्पष्टीकरण दिया जाए।

विकिरण डोज़ और स्वास्थ्य प्रभाव का संबंध

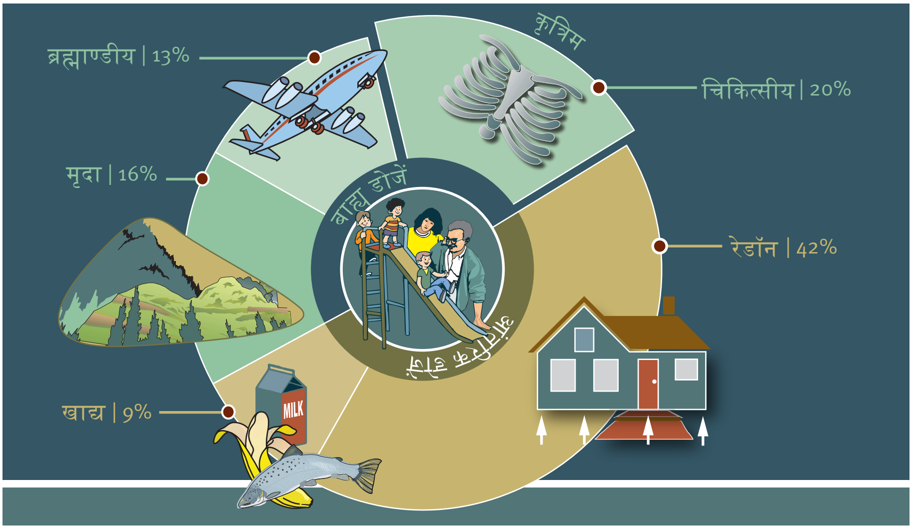


3. विकिरण कहाँ से आता है?

हमें बहुत सारे स्रोतों से विकिरण निरंतर मिलता रहता है। पृथ्वी पर सभी प्रजातियों का प्रादुर्भाव एवं विकास ऐसे पर्यावरण में हुआ है जिनसे उन्हें प्राकृतिक पृष्ठभौमिक विकिरण से डोज़ मिलती रही है। वर्तमान समय में मानव एवं अन्य जीवों को कृत्रिम विकिरण स्रोतों से भी डोज़ मिलती है जिनका विकास पिछली सदी में या उसके आस-पास हुआ है। हमें जो डोज़ मिलती है उसकी 80% से अधिक डोज़ प्राकृतिक स्रोतों के कारण है और सिर्फ 20% मानवीय अर्थात कृत्रिम विकिरण स्रोतों के कारण है, जो मुख्यतः विकिरण के उन उपयोगों से मिलती है जो चिकित्सा के क्षेत्र में इस्तेमाल होते हैं। इस प्रकाशन में विकिरण उद्भासन का वर्गीकरण उनके स्रोतों के आधार पर – विशेषकर उन स्रोतों पर ध्यान केंद्रित रख कर किया गया है, जिनसे सर्वसाधारण जनता को डोज़ मिलती है। विकिरण नियमन (उदाहरण के लिए विकिरण संरक्षण) के उद्देश्य से विकिरण उद्भासन को विभिन्न समूहों के सन्दर्भ में परिभाषित किया जाता है। इसी कारणवश, इस प्रकाशन में उन मरीजों के बारे में अतिरिक्त जानकारी दी गई है जिन्हें विकिरण के चिकित्सीय उपयोग के कारण डोज़ मिलती है और उन लोगों के बारे में भी जिन्हें अपने कार्यस्थल में विकिरण डोज़ मिलती है।

विकिरण उद्भासन के वर्गीकरण का एक अन्य तरीका इस बात पर निर्भर करता है कि विकिरण हमें किस प्रकार से किरणित कर रहा है। विकिरणधर्मी पदार्थ तथा विकिरण जो पर्यावरण में मौजूद हैं, शरीर को बाहर की तरफ से याने बहिर्गत डोज़ दे सकते हैं। अथवा हो सकता है कि विकिरणधर्मी पदार्थ हवा से श्वसन द्वारा, अन्न या पानी के निगलने से या त्वचा तथा जख्मों द्वारा उनके अवशोषण से शरीर के अंदर प्रवेश कर जाए और उसके पश्चात वो हमें भीतर से याने अन्तर्गत विकिरण डोज़ देते रहें। वैश्विक स्तर पर देखा जाए तो बहिर्गत और अन्तर्गत विकिरण से मिलने वाली डोज़ की मात्राएँ लगभग बराबर ही होती है।

विकिरण उद्भासन का विश्वव्यापी वितरण



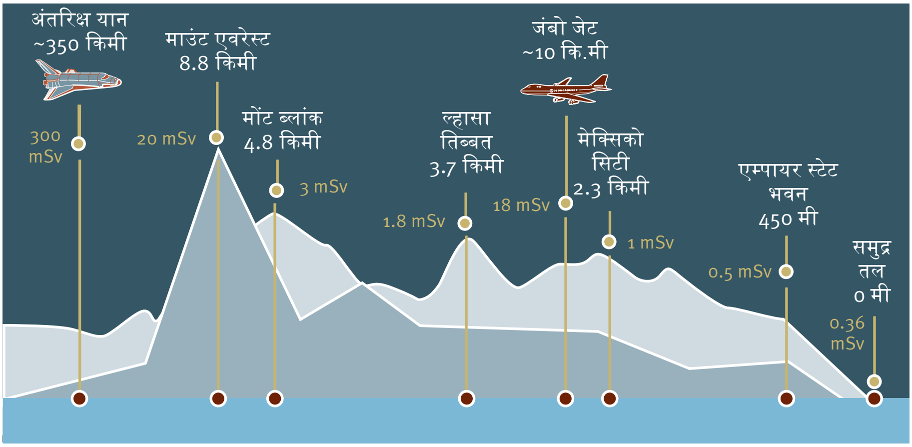
3.1. प्राकृतिक स्रोत

पृथ्वी के निर्माण के समय से ही इसके पर्यावरण को अंतरिक्ष तथा पृथ्वी की सतह एवं उसकी तह में मौजूद विकिरणधर्मी पदार्थों के कारण डोज़ मिलती आ रही है। इन प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली डोज़ से बचने का कोई रास्ता नहीं है और सच तो यह है कि विश्व की जनसंख्या को ज्यादा तर डोज़ इन्हीं स्रोतों के कारण मिल रही है। वैश्विक औसतन प्रभावी डोज़ प्रति व्यक्ति 2.4 mSv होती है जो लोगों के रहने के स्थान के हिसाब से, 1 से लेकर 10 mSv से भी अधिक की डोज़ सीमा में होती है। इमारतों के अंदर, विशेषकर एक विकिरण गैस रेडॉन के व्याप्त होने की संभावना के कारण, या इमारत बनाने में इस्तेमाल की गई सामग्री में ही रेडियोन्यूक्लाइड़ की मौजूदगी के कारण विकिरण उद्भासन में वृद्धि हो सकती है। यद्यपि यह स्रोत प्राकृतिक हैं फिर भी उनसे मिलने वाली डोज़ में, हमारे विकल्पों के चयन, जैसे हम कैसे और कहाँ रहते हैं, क्या खाते और क्या पीते हैं, के अनुसार बदलाव आ सकता है।

ब्रह्मांडीय स्रोत

ब्रह्मांडीय किरणें बहिर्गत विकिरण डोज़ का एक प्रमुख स्रोत हैं। इनमें से ज्यादातर किरणें सुदूर अंतर्तारकीय अंतरिक्ष से और कुछ सौर लपटों के दौरान सूर्य से उत्सर्जित होती हैं। ये पृथ्वी को सीधे तौर पर विकिरणित करते हैं तथा वायुमंडल के साथ अन्योन्य प्रतिक्रिया करके विभिन्न प्रकार के विकिरण तथा विकिरणधर्मी पदार्थ पैदा करते हैं। अंतरिक्ष में विकिरण के यही प्रमुख स्रोत हैं। जबकि पृथ्वी का वायुमंडल तथा चुम्बकीय क्षेत्र ब्रह्मांडीय विकिरण को काफी हद तक कम कर देते हैं, पृथ्वी के कुछ हिस्सों को अन्य हिस्सों की तुलना में अधिक डोज़ मिलती है। चूँकि ब्रह्मांडीय विकिरण चुम्बकीय क्षेत्र के कारण उत्तर तथा दक्षिण ध्रुवों की तरफ मोड़ दिये जाते हैं, इसलिये इन्हे विषुवृत्तीय क्षेत्रों की तुलना में अधिक विकिरण डोज़ मिलती है।

ब्रह्मांडीय विकिरण से वार्षिक डोज़*



* इन स्थानों पर वर्ष भर के उद्भासन के मान्यता पर आधारित।

विकिरण डोज़ की मात्रा उँचाई के साथ बढ़ती है क्योंकि अधिक ऊँचाई पर हमारे आस-पास की हवा कम होती जाती है इसलिये उससे मिलने वाले विकिरण संरक्षण में कमी आ जाती है। इस प्रकार, समुद्र सतह पर रहने वाले लोगों को ब्रह्मांडीय स्रोतों से मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ 0.3 mSv के आस-पास होती है जो कि प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली कुल डोज़ का लगभग 10 से 15% होती है। जो लोग 2000 मीटर से अधिक ऊँचाई पर रहते हैं उन्हें इससे कई गुना ज्यादा डोज़ मिलती है। हवाई जहाज के यात्रियों को तो इससे भी ज्यादा डोज़ मिलती है क्योंकि ब्रह्मांडीय स्रोतों से मिलने वाली डोज़ सिर्फ ऊँचाई पर ही नहीं बल्कि हवाई यात्रा की अवधि पर भी निर्भर करती है। मसलन अपनी उड़ान की ऊँचाई पर 10 घंटों की हवाई यात्रा के कारण मिलने वाली औसतन प्रभावी डोज़ 0.03 से 0.08 mSv होती है। दूसरे शब्दों में, न्यूयॉर्क से पेरिस की वापसी हवाई यात्रा के दौरान यात्री को मिलने वाली विकिरण डोज़ लगभग 0.05 mSv होगी। यह डोज़ लगभग उस प्रभावी डोज़ के बराबर है जो एक सामान्य एक्स-किरण द्वारा छाती के परीक्षण के दौरान मरीज को मिल सकती है। हालांकि अनुमानित प्रभावी डोज़ जो वैयक्तिक पैमाने पर यात्रियों को मिलती है काफी कम है लेकिन सामूहिक डोज़ काफी ज्यादा होती है क्योंकि दुनियाभर में यात्रियों और उड़ानों की संख्या बहुत ज्यादा है ।

कार्यस्थल में मिलने वाली विकिरण डोज़

ब्रह्मांडीय स्रोतों से मिलने वाली डोज़ विशेषकर उन लोगों के लिये महत्वपूर्ण है जो बार-बार हवाई यात्रा करते हैं उदाहरण के तौर पर हवाई जहाज के चालक और दूसरे विमानकर्मी जिन्हें मिलने वाली वार्षिक औसतन डोज़ लगभग 2 से 3 mSv होती है। बहुत सारे अंतरिक्ष अभियानों में भी विकिरण डोज़ का मापन किया गया है। विवरणों से पता चलता है कि कम अवधि के अंतरिक्ष अभियानों में मिलने वाली विकिरण डोज़ सूरज की गतिविधियों पर निर्भर करती है और वो 2 से 27 mSv की डोज़ सीमा के अंदर होती है। तथापि एक अंतरिक्षयात्री को, अंतर्राष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर, जो पृथ्वी के 350 कि. मी. दूर रह कर चक्कर काटता है, चार महीनों के अभियान के दौरान मिलने वाली प्रभावी डोज़ लगभग 100 mSv होती है।

भूस्तरीय स्रोत

मिट्टी

हर किसी चीज में, जो पृथ्वी के सतह पर या अंदर होती है, **आदिकालीन रेडियोन्यूक्लाइड़** मौजूद होते हैं। ये अत्यंत दीर्घजीवी रेडियोन्यूक्लाइड़ जमीन में पाए जाते हैं। जैसे कि पोटैशियम-40, यूरेनियम-238 तथा थोरियम-232 और इनके साथ वो रेडियोन्यूक्लाइड़ भी होते हैं जिनमें इनका क्षय हो जाता है जैसे कि रेडियम-226 और रेडॉन-222, ये पृथ्वी के अपना वर्तमान रूप पाने के पहले से ही विकिरण का उत्सर्जन करते आ रहे हैं। UNSCEAR ने यह हिसाब लगाया है कि दुनिया के हर व्यक्ति को मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ 0.48 mSv के आस-पास होती है जो उसे भूस्तरीय विकिरण स्रोतों से बहिर्गत विकिरण डोज़ के जरिये मिलती है।

एक स्थान पर मिलने वाली बहिर्गत विकिरण डोज़ दूसरे स्थान के बहिर्गत विकिरण डोज़ से काफी अलग होती है। उदाहरण के तौर पर फ्रांस, जर्मनी, इटली, जापान तथा संयुक्त राज्य अमेरिका में किये गये अध्ययन सूचित करते हैं कि उनकी लगभग 95% आबादी उन इलाकों में रहती है जहाँ घर के बाहर मिलने वाली औसतन वार्षिक डोज़ 0.3 से 0.6 mSv तक होती है। हालांकि इन देशों में कई जगहों पर लोगों को मिलने वाली यह वार्षिक डोज़ 1 mSv से अधिक भी हो सकती है। दुनिया में दूसरी कई जगहें ऐसी हैं जहाँ भूस्तरीय विकिरण स्रोतों के कारण मिलने वाली विकिरण डोज़ इससे भी ज्यादा होती है। उदाहरण के लिए भारत में केरल के दक्षिण-पश्चिम किनारे पर स्थित 55 कि.मी. की लंबाई की घनी आबादी वाले क्षेत्र में, जमीन में प्रचुर थोरियम रेत के होने के कारण, वहाँ के निवासियों को सालाना औसतन 3.8 mSv की डोज़ मिलती है। दूसरे अन्य इलाके जहाँ प्राकृतिक भूस्तरीय विकिरण स्रोतों के कारण उच्च विकिरण डोज़ मिलती है, ब्राज़ील, चीन, इरान का इस्लामिक गणराज्य, मेडागास्कर एवं नाइजीरिया में पाए गये हैं।

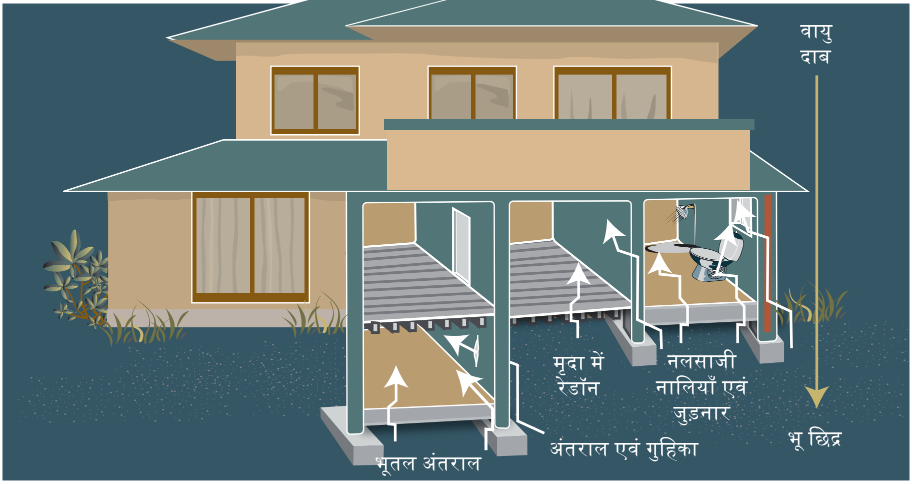
रेडॉन गैस

रेडॉन-222 एक विकिरणधर्मी नाभिक है जो गैस अवस्था में होता है और स्वाभाविक रूप से मिट्टी से बाहर आता है। यह गैस जमीन की मिट्टी और चट्टानों में मौजूद यूरेनियम-238 की क्षय श्रृंखला से उत्पन्न होती है। श्वसन द्वारा शरीर के अंदर पहुँचने पर रेडॉन के कुछ अल्पायु क्षय उत्पाद खासकर पोलोनियम-218 एवं 214 फेफड़ों में जमा हो जाते हैं और श्वसन मार्ग की कोशिकाओं को अल्फा कणों से विकिरणित करते हैं। इसलिए रेडॉन धूम्रपान करने एवं न करने वाले दोनों प्रकार के व्यक्तियों में फेफड़ों के कर्करोग का मुख्य कारण है। तथापि धूम्रपान और रेडॉन उद्भासन के बीच प्रबल अंतर्क्रिया के फलस्वरूप धूम्रपान करने वाले व्यक्ति, इसका बहुत आसानी से शिकार बन सकते हैं।

वायुमंडल में रेडॉन हर कहीं मौजूद होता है और वह इमारतों के भीतर छत तथा तलों से रिस कर पहुँच जाता है, जहाँ उसकी **सांद्रता** और इसके कारण उसकी रेडियोधर्मिता की मात्रा, यानी हवा के एक सुनिश्चित आयतन में होने वाले क्षयों की प्रति सेकंड संख्या, भी बढ़ सकती है। विशेषरूप से जब घर गर्म होते हैं तब गर्म हवा छतों, खिड़कियों तथा और अन्य जगहों से बाहर निकल जाती है जिससे तहखाने एवं भूतल में कम दबाव वाला क्षेत्र तैयार हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप रेडॉन का, मिट्टी की निचली सतह की दरारों से तथा दूसरी जगहों से (जैसे कि उन छिद्रों के आस-पास से जिनमें से विविध सेवाओं के पाइप घर के अंदर आते हैं) जो घर के निचले हिस्से में होती है, सक्रिय प्रशोषण हो जाता है।.

दुनियाभर में रेडॉन की घर के भीतर पायी जाने वाली औसत सांद्रता लगभग 50 Bq/m^3 होती है। लेकिन यह औसत सांद्रता, स्थानों के हिसाब से अत्यधिक परिवर्तनशील होती है। सामान्य तौर पर रेडॉन की राष्ट्रीय औसत सांद्रता में काफी अंतर पाया जाता है। जैसे सायप्रस, मिस्र एवं क्यूबा में इसकी सांद्रता 10 Bq/m^3 से कम होती है और चेक गणराज्य, फ़िनलैंड तथा लक्सेम्बर्ग में यह 100 Bq/m^3 से भी अधिक है। कुछ देशों जैसे कनाडा, स्वीडन एवं स्विट्ज़रलैंड के घरों में तो यह सांद्रता 1000 से 10,000 Bq/m^3 के बीच होती है। हालांकि रेडॉन की इतनी उच्च स्तरीय सांद्रता वाले घरों का अनुपात बहुत ही कम है। स्थानिक भूगर्भीय संरचना, मिट्टी की रेडॉन के लिये पारगम्यता, घरों की निर्माण सामग्री तथा घरों का संवातन, ये कुछ घटक हैं जिनके कारण रेडॉन की सांद्रता में यह परिवर्तन होता है।

भवनों में रेडॉन का प्रवेश



इसमें विशेष रूप से, संवातन जो जलवायु पर निर्भर करता है, सबसे मुख्य घटक है। अगर इमारतों की संवातन व्यवस्था सही है, जैसे कि ऊष्ण कटिबंधीय जलवायु वाले प्रदेशों में होती है, तो उनमें रेडॉन के काफी मात्रा में इकट्ठा होने की संभावना बहुत कम होती है। लेकिन समशीतोष्ण और शीत जलवायु वाले प्रदेशों में, संवातन में कुछ कमी सी होती है जिसके कारण रेडॉन की सांद्रता काफी हद तक बढ़ जाती है। इस प्रकार ऊर्जा-कुशल इमारतों के अभिकल्पन में, सिमित संवातन का प्रभाव महत्वपूर्ण होता है। अनेक देशों में, विस्तृत पैमाने पर (विकिरण) मापन के कार्यक्रम चलाए गए हैं, जो इमारतों के अंदर रेडॉन की सांद्रता को कम करने के उपायों के कार्यान्वयन का आधार हैं।

पानी में रेडॉन का स्तर आम तौर पर काफी कम होता है लेकिन कुछ जलस्रोतों में, उदाहरण के लिए हेलसिंकी, फ़िनलैंड के गहरे कुँए और अरकंसास, अमेरिका के गर्म पानी के झरनों में रेडॉन की सांद्रता काफी ज्यादा होती है। पानी में मिली हुई रेडॉन, हवा में रेडॉन की सांद्रता को बढ़ा सकती है, ख़ास तौर पर स्नान करते वक़्त स्नानागार में। तथापि UNSCEAR ने यह निष्कर्ष निकाला है कि, पीने पानी के जरिए शरीर के अंदर पहुंची हुई रेडॉन से मिलने वाली विकिरण की मात्रा श्वसन द्वारा शरीर के अंदर पहुंची हुई रेडॉन से मिलने वाली विकिरण की मात्रा की तुलना में कम होती है। UNSCEAR ने यह आकलन किया है कि रेडॉन के कारण मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ 1.3 mSv है जो सभी प्राकृतिक स्रोतों से जनता को मिलने वाली विकिरण डोज़ के लगभग आधे हिस्से के बराबर होती है।

कार्यस्थलों में विकिरण डोज़

कुछ विशिष्ट कार्यस्थलों में रेडॉन गैस का अंतःश्वसन कर्मचारियों को मिलने वाली विकिरण डोज़ का मुख्य कारण होता है। सभी प्रकार की भूमिगत खदानों में रेडॉन, विकिरण डोज़ का मुख्य कारण होती है। कोयले के खदान के कर्मचारी की वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ लगभग 2.4 mSv और दूसरी अन्य खदानों के कर्मचारियों की लगभग 3 mSv होती है। नाभिकीय उद्योगों में कर्मचारियों को मिलने वाली वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ लगभग 1 mSv होती है जो मुख्य रूप से यूरेनियम खनन में रेडॉन विकिरण के कारण मिलती है।

खाद्य और पेय पदार्थों में विकिरण के स्रोत

खाने और पीने की चीजों में, आदिकालीन तथा कुछ अन्य विकिरणधर्मी नाभिक मुख्य रूप से प्राकृतिक स्रोतों की वजह से मौजूद हो सकते हैं। ये विकिरणधर्मी तत्व मिट्टी तथा पानी में मौजूद पत्थरों एवं खनिजों से, वनस्पतियों और उसके बाद प्राणियों में स्थानांतरित हो सकते हैं। इस प्रकार विकिरण डोज़ की मात्रा में परिवर्तन हो सकता है क्योंकि यह विकिरणधर्मी नाभिकों की उस सांद्रता पर जो खाद्य और पेय पदार्थों में होती है, तथा उस जगह के लोगों की खान-पान की आदतों पर निर्भर करता है।

उदाहरण के लिए, मछली तथा कवचधारी मछली में लेड-210 और पोलोनियम-210 की सांद्रता अपेक्षाकृत अधिक होती है। इसलिए जो लोग अत्यधिक मात्रा में समुद्री खाद्य पदार्थों का इस्तेमाल करते हैं उन्हें सर्वसामान्य जनता की तुलना में कुछ अधिक डोज़ मिलती है। तुलना की दृष्टि से आर्कटिक प्रदेश के उन लोगो को भी अधिक मात्रा में विकिरण डोज़ मिलती है जो बड़ी मात्रा में रेनिडयर का माँस खाते हैं । आर्कटिक प्रदेश के रेनिडयर में पोलोनियम -210 की सांद्रता अपेक्षाकृत अधिक होती है, जो उस लाइकेन वनस्पति में संचियत होती है जिसे ये रेनिडयर चरते हैं । UNSCEAR ने यह अनुमान लगाया है कि खाद्य और पेय पदार्थों में मौजूद प्राकृतिक स्रोतों के कारण मिलने वाली औसत प्रभावी डोज़ 0.3 mSv होती है जो प्रमुख रूप से पोटैशियम-40 एवं यूरेनियम-238 तथा थोरियम-232 श्रेणी के विकिरणधर्मी नाभिकों के कारण मिलती है।

खान-पान की चीजों में प्राकृतिक स्रोतों से आनेवाले विकिरणधर्मी नाभिकों के अलावा वो विकिरणधर्मी नाभिक भी मौजूद हो सकते हैं जो कृत्रिम विकिरण स्रोतों से आते हैं। हालांकि इन कृत्रिम विकिरणधर्मी नाभिकों के पर्यावरण में प्राधिकृत निस्सरण द्वारा मिलने वाली विकिरण डोज़ की मात्रा आम तौर पर बहुत ही कम होती है।

3.2. कृत्रिम स्रोत

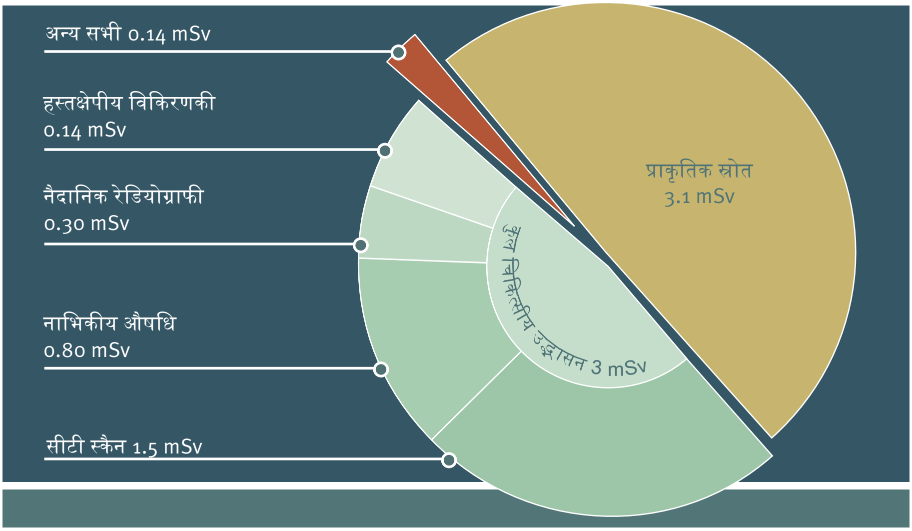
पिछले कुछ दशकों से विकिरण के जनहित अनुप्रयोगों में महत्वपूर्ण वृद्धि हुई है। वैज्ञानिकों ने विविध उद्देश्यों के लिए, जैसे कि सैन्य उपयोगों से लेकर चिकित्सीय उपयोगों (उदाहरण के लिए कर्करोग का उपचार) और विद्युत उत्पादन से लेकर घरेलु उपयोगों (उदाहरण के लिए धूम्र संसूचक) तक में परमाणु ऊर्जा के इस्तेमाल का ज्ञान हासिल कर लिया है। अतः ये और ऐसे अन्य दूसरे कृत्रिम स्रोत, प्राकृतिक स्रोतों के साथ मिलकर दोनों व्यक्तिगत तौर पर तथा वैश्विक जनसंख्या को मिलने वाली विकिरण डोज़ में बढ़ोतरी करते हैं।

कृत्रिम स्रोतों से मिलने वाले वैयक्तिक डोज़ में काफी विविधता पाई जाती है। अधिकांश लोगों को, इन स्रोतों से मिलने वाली डोज़, अपेक्षाकृत कम होती है लेकिन कुछ लोगों को तो इनसे मिलने वाली डोज़ औसतन डोज़ से कई गुना ज्यादा होती है। विकिरण के कृत्रिम स्रोत, विकिरण संरक्षण उपायों की वजह से, आम तौर पर सुनियंत्रित ही रहते हैं।

चिकित्सीय अनुप्रयोग

कुछ रोगों के निदान तथा उनके इलाज में विकिरण का उपयोग इतनी अहम् भूमिका निभाता है कि अब यह विश्व भर में कृत्रिम विकिरण स्रोतों से मिलने वाली डोज़ का प्रमुख स्रोत बन गया है। औसतन सभी कृत्रिम विकिरण स्रोतों से मिलने वाली डोज़ में इस विकिरण का अंश 98 प्रतिशत होता है और प्राकृतिक स्रोतों के बाद, जनसंख्या समूह को वैश्विक स्तर पर डोज़ देने वाला यह दूसरा सबसे बड़ा कारक है, जिसकी भागीदारी कुल डोज़ के लगभग 20 प्रतिशत के बराबर है। ज्यादातर चिकित्सीय विकिरण डोज़ औद्योगिक दृष्टि से विकसित देशों में रहने वाले लोगों को मिलती है, जहां चिकित्सीय सेवाओं के लिए अधिक संसाधन उपलब्ध होने के कारण विकिरण आधारित उपकरणों का इस्तेमाल भी व्यापक स्तर पर होता है। इसके परिणाम स्वरूप कुछ देशों में तो विकिरण के चिकित्सीय उपयोगों के कारण मिलने वाली वार्षिक औसत प्रभावी डोज़, प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली डोज़ के समकक्ष हो गयी है।

संयुक्त राज्य में प्रति व्यक्ति औसत प्रभावी डोज़ (2007)



चिकित्सीय विकिरण डोज़ और दूसरी किस्म के विकिरण डोज़ में स्पष्ट तथा गहरा अंतर होता है। चिकित्सीय विकिरण डोज़ सामान्य तौर पर शरीर के किसी एक ही हिस्से से संबंधित होती है जब कि दूसरी किस्मों के विकिरण डोज़ पूरे शरीर से संबंधित होते हैं। इसके अलावा चिकित्सीय

डोज़ पाने वाले मरीजों की आयु आम तौर पर सामान्य जनसंख्या समूह की आयु से ज्यादा ही होती है। इतना ही नहीं, चिकित्सीय विकिरण डोज़ से मरीज को सीधा फायदा होता है, अतः दूसरे किस्म के विकिरण डोज़ के साथ इसकी तुलना पूरे एहतियात से करनी चाहिए।

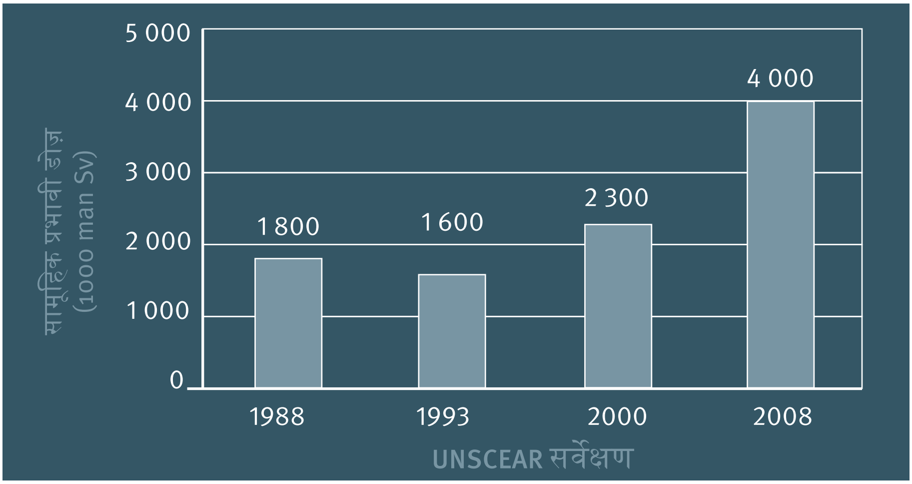
बढ़ता हुआ शहरीकरण और उसके साथ-साथ रहन-सहन में धीरे-धीरे हो रहा सुधार का अपरिहार्य मतलब यह है कि अब अधिक संख्या में लोग आरोग्य संबंधी सुविधाओं को पा सकते हैं। इसके परिणामस्वरूप, दुनियाभर में लोगों को, चिकित्सीय विकिरण के कारण मिलने वाली डोज़ में लगातार वृद्धि हो रही है। UNSCEAR नियमित रूप से, नैदानिक तथा चिकित्सीय प्रक्रियाओं के विषय में जानकारी इकट्ठा करता रहा है। इसके द्वारा 1997 से 2007 की अवधि के दौरान किये गये सर्वेक्षण के अनुसार, विश्व भर में लगभग 3.6 अरब चिकित्सीय विकिरण प्रक्रियाओं का प्रतिवर्ष इस्तेमाल किया गया, जबकि इसकी तुलना में इसके पहले के सर्वेक्षण अवधि 1991-1996 में यह संख्या 2.5 अरब प्रतिवर्ष थी, यह वृद्धि करीब-करीब 50 प्रतिशत है।

चिकित्सा शास्त्र की प्रमुख सामान्य श्रेणियाँ जिसमे विकिरण का उपयोग होता है, वो विकिरण रोग चिकित्सा (प्रतिबंधात्मक पद्धतियाँ भी शामिल), नाभिकीय औषधि तथा रेडियोथेरेपी हैं । विकिरण के अन्य उपयोग जिनका UNSCEAR के नियमित मूल्यांकनों में समावेश नहीं होता है, उनमें स्वास्थ्य जाँच पड़ताल कार्यक्रम एवं चिकित्सीय, जैव-चिकित्सीय, नैदानिक अथवा चिकित्सीय अनुसंधान कार्यक्रमों में लोगों का स्वैच्छिक सहभागी होना शामिल है।

विकिरण आधारित चिकित्सीय निदान-शास्त्र उन तस्वीरों का विश्लेषण करता है जो एक्स-किरणों का इस्तेमाल कर के खींची जाती हैं, जैसे कि बुनियादी रेडियोग्राफी (उदाहरण के लिए सीने तथा दांत की एक्स-किरण तस्वीरें) प्रतिदीप्तिशीलता आधारित चित्रांकन (उदाहरण के लिए बेरियम खुराक तथा उदरसारक) एवं कंप्यूटर टोमोग्राफी। चित्रांकन की वो युक्तियाँ जिनमें अनायनकारी विकिरण का इस्तेमाल होता है जैसे कि पराध्वनि या चुम्बकीय अनुनाद आधारित टोमोग्राफी, UNSCEAR के कार्यक्षेत्र में शामिल नही हैं। **हस्तक्षेपीय विकिरण रोग चिकित्सा-शास्त्र** में तस्वीरों द्वारा मिले हुए मार्गदर्शन के इस्तेमाल पर आधारित न्यूनतम अतिचार द्वारा रोगों का निदान तथा उपचार किया जाता है (जैसे रक्त वाहिनी मे विरेचन नलिका को दाखिल कर देना)।

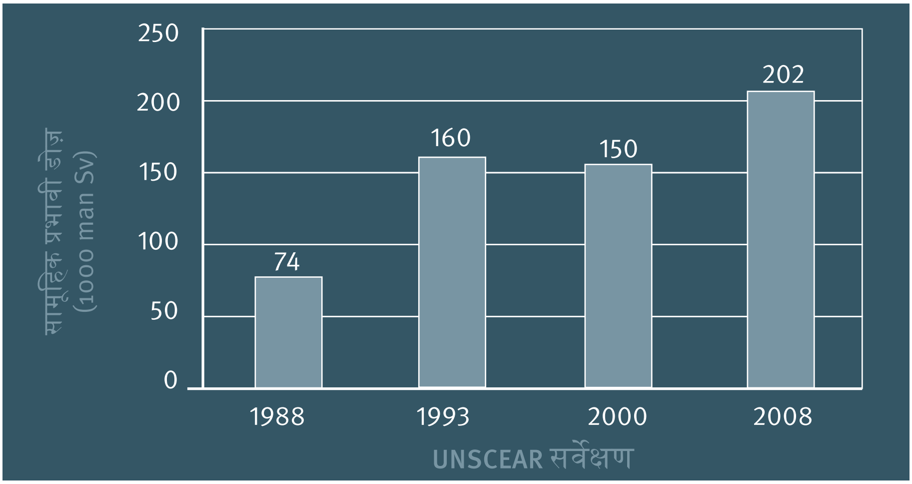
सी.टी. स्कैन के बढ़ते हुए इस्तेमाल और उसके प्रत्येक परीक्षण में मिलने वाली उल्लेखनीय डोज़ के परिणामस्वरूप विकिरण आधारित रोग निदान तथा उपचार से मिलने वाली वैश्विक औसतन प्रभावी डोज़ 1988 में 0.35 mSv के स्तर से बढ़कर 2007 में 0.62 mSv यानी लगभग दुगुनी हो गयी। UNSCEAR के हाल ही में किये गए एक सर्वेक्षण के अनुसार सी.टी. स्कैन के कारण मिलने वाली डोज़ विकिरण आधारित चिकित्सा के कारण मिलने वाली कुल सामूहिक डोज़ के 43% के बराबर होती है। ये आँकड़े क्षेत्र-दर-क्षेत्र बदलते रहते हैं। विकिरण आधारित चिकित्सा की कुल विधियों का लगभग दो तिहाई हिस्सा दुनिया की उस 25% जनसंख्या पर इस्तेमाल होता है जो औद्योगिक दृष्टि से विकसित देशों में रहती है। दुनिया की बाकी 75% जनसंख्या में इन विधियों के इस्तेमाल में, यहाँ तक कि दांतों की साधारण एक्स-किरण चिकित्साओं में भी, कोई ख़ास बदलाव नहीं आया है।

विकिरणकी से वैश्विक उद्भासन (1988-2008)



नाभिकीय औषधियों में **बिना सील किये** विकिरणधर्मी पदार्थों को, जो घुलनशील और कवच रहित होते हैं, शरीर के अंदर पहुँचाया जाता है, ज्यादातर इसलिए कि उनके कारण वो चित्र प्राप्त हो जाये जिससे उस अवयव की संरचना या क्रियाकलापों के बारे में जानकारी हासिल हो सके एवं कभी कभार इसलिए भी, कि कुछ खास रोगों का जैसे थायरॉइड ग्रंथि की उच्च क्रियाशीलता एवं थायरॉइड ग्रंथि के कर्करोग का इलाज हो सके। आम तौर पर, विकिरणधर्मी पदार्थों को संशोधित

नाभिकीय औषधि से वैश्विक उद्भासन (1988–2008)



करके उससे विकिरणधर्मी नाभिकीय भेषज को तैयार किया जाता है जिसे सामान्यतः रक्त नलिकाओं या मुख के द्वारा शरीर के भीतर दाखिल किया जाता है। इसके बाद विकिरणधर्मी नाभिकीय भेषज का शरीर में प्रसार हो जाता है जो उसके भौतिक और रासायनिक गुण विशेषों पर निर्भर करता है, जिसके कारण चित्रण संभव हो पाता है। इस प्रकार विकिरणधर्मी नाभिक से शरीर के भीतर हो रहे विकिरण उत्सर्जन के विश्लेषण से वो चित्र तैयार किया जाता है जिससे रोग निदान में सहायता मिलती है या उस विकिरण उत्सर्जन से रोगों का उपचार किया जाता है।

दुनिया भर में विकिरण आधारित निदान विधाओं की संख्या जो 1988 में 240 लाख थी, 2007 में 330 लाख हो गयी इसके परिणामस्वरूप वार्षिक सामूहिक प्रभावी डोज़ में 74 000 से 202 000 man Sv की उल्लेखनीय बढ़ोतरी हुई है। आधुनिक नाभिकीय चिकित्सा-शास्त्र में विकिरण आधारित रोग निवारण विधाओं के उपयोगों की संख्या भी बढ़ रही है। जिनका इस्तेमाल दुनिया भर में हर साल 9 लाख मरीजों के फायदे के लिए हो रहा है। अन्य विधाओं की तरह नाभिकीय चिकित्सा-शास्त्र का इस्तेमाल भी एक समान नहीं है, इससे संबंधित 90% परीक्षण तो औद्योगिक दृष्टि से विकसित देशों में ही पाए गए हैं ।

विकिरण आधारित रोग निवारण-शास्त्र (जिसे **रेडियोथेरेपी** भी कहते हैं) में विकिरण का इस्तेमाल विविध रोगों के, आम तौर पर कर्करोग ग्रसित गाँठों और सामान्य गाँठों के निवारण के लिए भी होता है। बहिर्गत रेडियोथेरेपी में मरीज का उपचार उसके शरीर के बाहर रखे हुए विकिरण स्रोत का इस्तेमाल करके किया जाता है जिसे **सुदूर विकिरण आधारित रोग निवारण** कहते हैं। यह उपचार एक यंत्र द्वारा किया जाता है जिसमें या तो उच्च रेडियोसक्रिय स्रोत (सामान्यतः कोबाल्ट-60) होता है या उच्च विद्युत विभव का यंत्र होता है जो विकिरण पैदा करता है (जैसे रेखीय त्वरक)। विकिरण उपचार में धात्विक या सीलबंद विकिरण स्रोत को, मरीज के शरीर में कुछ समय के लिए या सदा के लिए रख कर भी इलाज किया जा सकता है जिसे **ब्रैकीथेरेपी** कहते हैं।

दुनिया भर में रेडियो-थेरेपी का इस्तेमाल करके 1997–2007 की अवधी में प्रत्येक वर्ष लगभग 51लाख मरीजों का उपचार किया गया। यह संख्या वर्ष 1988 की अनुमानित 43 लाख मरीजों की संख्या की तुलना में काफी अधिक पायी गई। लगभग 47 लाख मरीजों का टेलीथेरेपी और 4 लाख मरीजों का ब्रैकीथेरेपी द्वारा इलाज किया गया। दुनिया भर में रेडियोथेरेपी द्वारा किये गये उपचारों में से 70 प्रतिशत तथा ब्रैकी-थेरेपी द्वारा किये गए कुल उपचारों में से 40 प्रतिशत उपचार उस 25 प्रतिशत जनसंख्या में किये गये हैं, जो औद्योगिक दृष्टि से विकसित देशों में रहती है।

कार्यस्थलों में विकिरण डोज़

पिछले दशकों में विकिरण पर आधारित चिकित्सा विधाओं की संख्या में हुई उल्लेखनीय वृद्धि के कारण उनसे जुड़े स्वास्थ्य कर्मियों की संख्या भी 70 लाख से अधिक हो गई है जिन्हें औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ लगभग 0.5 mSv प्रति कर्मचारी मिलती है। प्रतिबंधात्मक विकिरण रोग चिकित्सा एवं नाभिकीय औषधि के चिकित्सीय कर्मचारियों को तो औसत डोज़ से भी अधिक डोज़ मिलना संभव है।

विकिरण के चिकित्सीय उपयोगों में दुर्घटनाएँ

विकिरण के कुछ चिकित्सीय उपयोग (जैसे रेडियोथेरेपी, विकिरण आधारित प्रतिबंधात्मक रोग चिकित्सा एवं नाभिकीय औषधि) ऐसे हैं जिनमें मरीजों को उच्च विकिरण डोज़ देनी होती है। यह डोज़ अगर ठीक से नहीं दी गई तो गंभीर क्षति हो सकती है यहाँ तक कि मौत भी हो सकती है। जिनको इस खतरे का सामना करना पड़ सकता है, उनमें सिर्फ मरीज ही नहीं बल्कि मरीज के आस-पास रहने वाले जाँचकर्ता डाक्टर और दूसरे कर्मचारी भी शामिल होते हैं। मानवीय गलतियाँ,इन दुर्घटनाओं का सबसे आम कारण होती हैं। उदाहरणों में, उपचार नियोजन में गलतियों के कारण गलत डोज़ का दिया जाना, उपकरणों को ठीक से इस्तेमाल न कर पाना एवं गलत अंग या कभी-कभी तो गलत मरीज को डोज़ देना भी शामिल हैं।

हालांकि गंभीर किस्म की रेडियोथेरेपी दुर्घटनाएँ कभी कभार ही घटती हैं फिर भी सौ से अधिक ऐसी दुर्घटनाएँ दर्ज की जा चुकी हैं। 1967 से UNSCEAR ने ऐसी 29 दर्ज की हुई दुर्घटनाओं की समीक्षा की है जिनके कारण 45 मौते हुई हैं एवं 613 लोग घायल हुए हैं। हालांकि यह भी संभव है कि कुछ मौतें और घायल होने की कई दुर्घटनाएं दर्ज नहीं की गई हों।

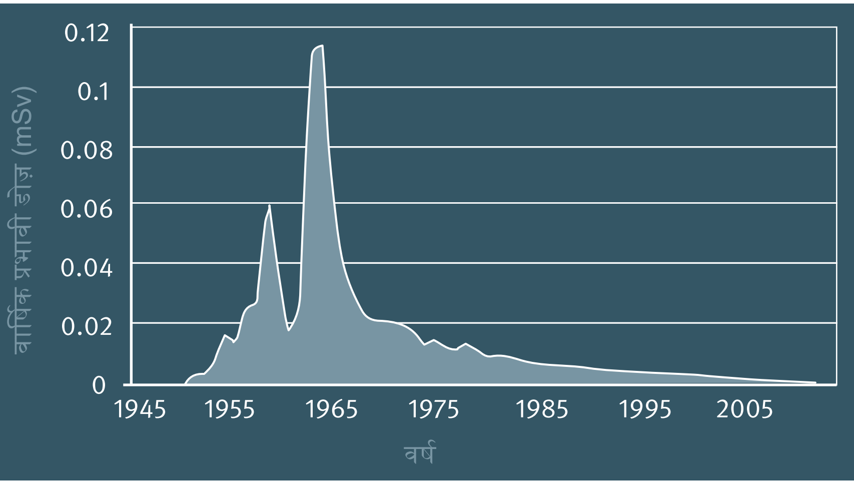
सिर्फ उचित मात्रा से अधिक डोज़ देने से ही नहीं बल्कि मरीज को एक जान लेवा बीमारी के इलाज के दौरान जरूरत से कम डोज़ देने से भी गंभीर परिणाम हो सकते हैं। ऐसी दुर्घटनाओं के खतरे को कम से कम करने के लिए तथा प्रचलित पद्धति के उच्च और सुसंगत मानकों को बनाए रखने में गुणवत्ता निर्धारण कार्यक्रम मदद करते हैं।

नाभिकीय अस्त्र

1945 में, दूसरे विश्वयुद्ध के अंतिम चरण में दो परमाणु बम जापान के शहरों, 6 अगस्त को हिरोशिमा एवं 9 अगस्त को नागासाकी, पर गिराए गये। इन दो बमों के धमाकों ने करीब 130 000 लोगों की जाने ले ली। इतिहास में यही दो घटनाएँ ऐसी हैं, जिनमें नाभिकीय अस्त्रों का लड़ाई के मैदान में इस्तेमाल किया गया था। लेकिन 1945 के बाद, अधिकांशतः उत्तरी गोलार्ध में, बहुत सारे नाभिकीय अस्त्रों के परीक्षण वातावरण में किये गये। परमाणु अस्त्रों के परीक्षणों की दृष्टि से 1952 से 1962 के बीच का कालखंड सर्वाधिक सक्रिय परिक्षण काल रहा। कुल मिलाकर 500 से अधिक परीक्षण किये गए, अंतिम परीक्षण 1980 में हुआ, इन सबका कुल परिणाम 430 मेगाटन ट्राई नाइट्रो टॉलुइन (TNT) के समतुल्य था। पूरी दुनिया के लोगों को इन परीक्षणों के परिणामस्वरूप निकलने वाले विकिरण से डोज़ मिली। विकिरण डोज़ के मनुष्यों तथा पर्यावरण पर होने वाले परिणामों के विषय में व्याप्त चिंता की वजह से 1955 में UNSCEAR की स्थापना की गयी।

इन परमाणु बमों के वातावरण में परीक्षणों के परिणाम स्वरूप निकलने वाली विकिरणधर्मी रक्षा से मिलने वाली वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ 1963 में अपनी चरमसीमा पर 0.11 mSv थी और तदोपरांत वो आज के स्तर पर यानि लगभग 0.005 mSv तक कम होती गयी।इस विकिरण डोज़ का स्रोत, मुख्य रूप में दीर्घजीवी विकिरणधर्मी कार्बन-14 नाभिक होने की वजह से, भविष्य में यह बहुत ही धीमे धीमे कम होगी।

नाभिकीय परीक्षण अवपात से प्रति व्यक्ति विश्व-औसत डोज़



भूपृष्ठों पर किये गए परमाणु अस्त्रों के परीक्षणों के परिणामस्वरूप 50 प्रतिशत से भी अधिक नाभिकीय अवपात, परीक्षण स्थल के 100 कि.मी. के अंदर परिसीमित रूप में जमा हो गया था। इस प्रकार परीक्षण स्थलों के आस-पास रहने वाले लोगों को ज्यादातर डोज़ इस स्थानीय विकिरण उत्सर्जन के कारण मिली थी। लेकिन चूँकि ये परीक्षण अपेक्षाकृत सुदूरवर्ती क्षेत्रों में किये गये थे, अतः स्थानीय जनसंख्या समूह जिन्हें इनके कारण डोज़ मिली थी, आकार में छोटे थे, जिससे उनका वैश्विक सामूहिक डोज़ में उल्लेखनीय योगदान नहीं रहा। लेकिन बावजूद इन सबके जो लोग उन इलाकों में रहते थे जहाँ परीक्षण स्थलों की ओर से हवा का प्रवाह आता था, उन्हें औसत डोज़ से कहीं अधिक डोज़ मिली थी।

1958 में UNSCEAR की पहली रिपोर्ट ने उस वैज्ञानिक नींव को तैयार कर दिया जिसके आधार पर नाभिकीय-अस्त्रों के वातावरण, अंतरिक्ष एवं पानी में परीक्षणों पर प्रतिबन्ध के लिए संधि के बारे में विचार-विमर्श शुरू हुआ। इस आंशिक परीक्षण प्रतिबंध संधि पर 1963 में हस्ताक्षर होने के पश्चात 1990 के दशक तक लगभग 50 परीक्षण जमीन के अंदर किये गये, कुछ एक परीक्षण उसके बाद भी किये गये। इनमें से ज्यादातर परीक्षणों की नाभिकीय विस्फोट क्षमता वातावरण में किये गये परीक्षणों की तुलना में काफी कम थी और इनका विकिरणधर्मी मलबा आम तौर पर जमीन के अंदर ही दबा रहा, सिवाय उन परिस्थितियों के जिनमें वायु के फुहार या रिसाव द्वारा वातावरण में उत्सर्जन हो गया हो। हालांकि इन परीक्षणों के परिणामस्वरूप बहुत बड़ी मात्रा में विकिरणधर्मी अपशिष्ट उत्पन्न हुआ लेकिन उसके जमीन के भीतर काफी गहराई में दबे होने तथा चट्टानों के साथ उसका अच्छे से संलयन होने के कारण, इस अपशिष्ट से लोगों को डोज़ मिलने की अपेक्षा नहीं की जा सकती है।

चूँकि इन नाभिकीय परीक्षण स्थलों में से कुछ स्थलों पर भूमि अधिग्रहण होने लगा है, अतः उन स्थलों के पुनःउपयोग (उदाहरण के लिए पशुपालन या कृषि व्यवसाय हेतु) के विषय में चिंता हो रही है। कुछ स्थलों जैसे सेमीपालाटिन्स्क परीक्षण स्थल, जो आज के कज़ाकिस्तान में है, उसके

कुछ स्थानीय क्षेत्रों में विकिरणधर्मी अपशिष्ट के कारण मिलने वाली डोज़ विचारणीय हो सकती है। जबकि अन्य परीक्षण स्थलों जैसे फ्रेंच पॉलीनेशिया में स्थित मुरुरोआ एवं फंगतौफ़ा प्रवालद्वीप में इस डोज़ का योगदान सामान्य पृष्ठभौमिक विकिरण डोज़ के एक अंश मात्र से अधिक नहीं होगा जो अंततः उस भूमि पर रहने वाले जनसंख्या समूह को मिलेगा। अन्य दूसरे परीक्षण स्थलों के लिए जैसे अमेरिका ने मार्शल द्वीप तथा ब्रिटेन ने मारालिंगा में अपने अपने कुछ परीक्षण किये थे, वहां के जनसंख्या समूहों को मिलने वाली डोज़ उनके खान-पान तथा जीवन-शैली पर निर्भर हो सकती है।

नाभिकीय रिएक्टर

जब यूरेनियम या प्लूटोनियम के विशिष्ट समस्थानिकों पर न्यूट्रॉन टकराते हैं तब परमाणु का नाभिक जिस प्रक्रिया से दो छोटे नाभिकों में विभाजित हो जाता है तथा ऊर्जा एवं दो या दो से अधिक न्यूट्रॉन का उत्सर्जन होता है, उसे नाभिकीय विखंडन कहते हैं। ये उत्सर्जित न्यूट्रॉन, यूरेनियम या प्लूटोनियम के दूसरे नाभिकों से टकरा कर उन्हें भी विभाजित कर सकते हैं एवं उनसे और अधिक न्यूट्रॉन उत्सर्जित करा सकते हैं, जो आगे और नाभिकों को विखंडित कर सकते हैं। इसे श्रृंखला अभिक्रिया कहते हैं। आम तौर पर, ये समस्थानिक नाभिकीय रिएक्टर में ईंधन के रूप में इस्तेमाल किये जाते हैं, जहाँ इस श्रृंखला अभिक्रिया को नियंत्रित किया जाता है।

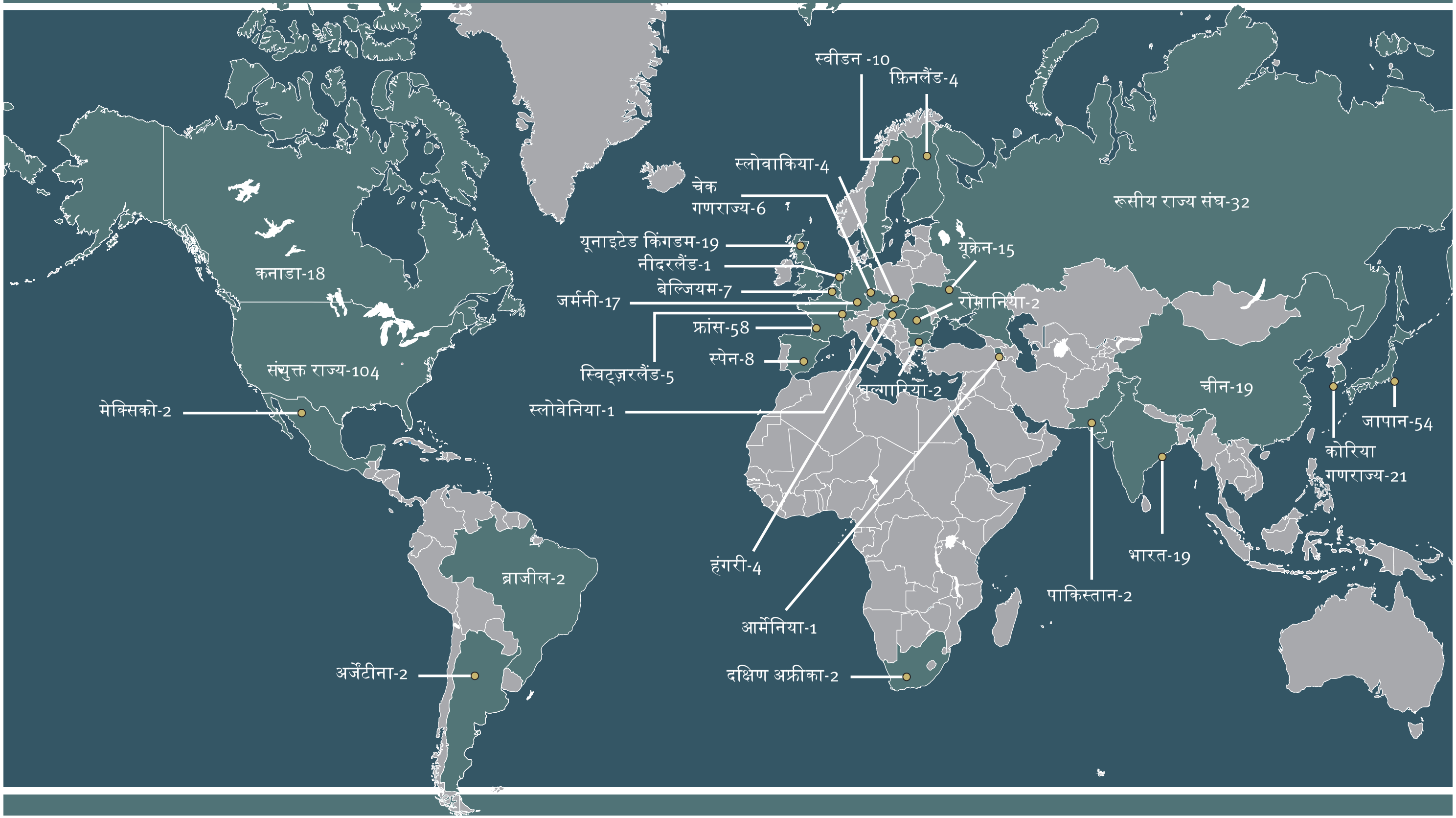
नाभिकीय रिएक्टरों में उत्पन्न विखंडन ऊर्जा का उपयोग नाभिकीय विद्युत संयंत्रों में बिजली उत्पादन हेतु किया जा सकता है। यद्यपि कुछ अनुसंधान रिएक्टर भी हैं जिनका उपयोग नाभिकीय ईंधन तथा विविध प्रकार के पदार्थों के परीक्षण के लिये, नाभिकीय विज्ञान तथा जीव-शास्त्र से संबंधित अनुसंधानों में और उन विकिरणधर्मी नाभिकों के उत्पादन के लिए होता है जिनका औषधि के रूप में तथा उद्योगों में इस्तेमाल किया जाता है। हालांकि इन दो किस्मों के रिएक्टरों में फर्क होता है लेकिन इन दोनों ही किस्मों के लिए औद्योगिक प्रक्रियाओं की आवश्यकता होती है जैसे कि यूरेनियम खनन और विकिरणधर्मी अपशिष्ट का निपटान जिनके कारण व्यावसायिक लोगों एवं सामान्य जनसंख्या समूह को विकिरण डोज़ मिल सकती है।

नाभिकीय विद्युत संयंत्र

दुनिया का पहला औद्योगिक स्तर पर काम करने वाला व्यावसायिक नाभिकीय विद्युत संयंत्र कॉल्डर हॉल था, जिसका निर्माण 1956 में इंग्लैंड में हुआ था और तब से नाभिकीय विद्युत संयंत्रों द्वारा विद्युत ऊर्जा के उत्पादन में उल्लेखनीय बढ़ोतरी हुई है। कुछ ज्यादा पुराने नाभिकीय विद्युत संयंत्रों के बंद होने के बावजूद नाभिकीय स्रोतों द्वारा विद्युत ऊर्जा के उत्पादन में वृद्धि हो रही है। वर्ष 2010 के अंत तक 29 देशों में लगभग 440 नाभिकीय विद्युत संयंत्र कार्यरत थे और उनके द्वारा बिजली का उत्पादन, विश्व के कुल बिजली उत्पादन का लगभग दस प्रतिशत था और 240 अनुसंधान रिएक्टर दुनिया के 56 देशों में स्थापित हो चुके थे।

हालांकि नाभिकीय ऊर्जा के इस्तेमाल द्वारा विद्युत का उत्पादन अक्सर ही विवादास्पद रहा है, परन्तु नाभिकीय विद्युत संयंत्र अपने सामान्य प्रचालन में वैश्विक विकिरण डोज़ में बहुत ही कम मात्रा में बढ़ोतरी करता है। वैसे विकिरण डोज़ की मात्रा में, एक संयंत्र से दूसरे किस्म के संयंत्र में, अलग-अलग जगहों पर, तथा समय के साथ-साथ काफी परिवर्तन हो सकता है।

विश्व भर में नाभिकीय ऊर्जा संयंत्र (2010)



नाभिकीय रिएक्टरों से होने वाले सामान्य विकिरण उत्सर्जन द्वारा मिलने वाली कुल डोज़ की मात्रा में, बिजली के उत्पादन में बढ़ोतरी होने के बावजूद कमी आई है। यह कमी कुछ हद तक प्रौद्योगिकी में सुधार के कारण और कुछ हद तक विकिरण संरक्षण के उपायों में और सख्ती आने के कारण हुई है। आम तौर पर नाभिकीय इकाइयों से विकिरण उत्सर्जन के कारण विकिरण डोज़ में होने वाली बढ़ोतरी बहुत ही कम होती है। नाभिकीय विद्युत संयंत्रों के आस-पास रहने वाले लोगों को मिलने वाली वार्षिक सामूहिक डोज़ 75 man Sv अनुमानित की गयी है। इस प्रकार, विद्युत संयंत्रों के आस-पास रहने वाले व्यक्तियों को मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ लगभग 0.0001 mSv होती है।

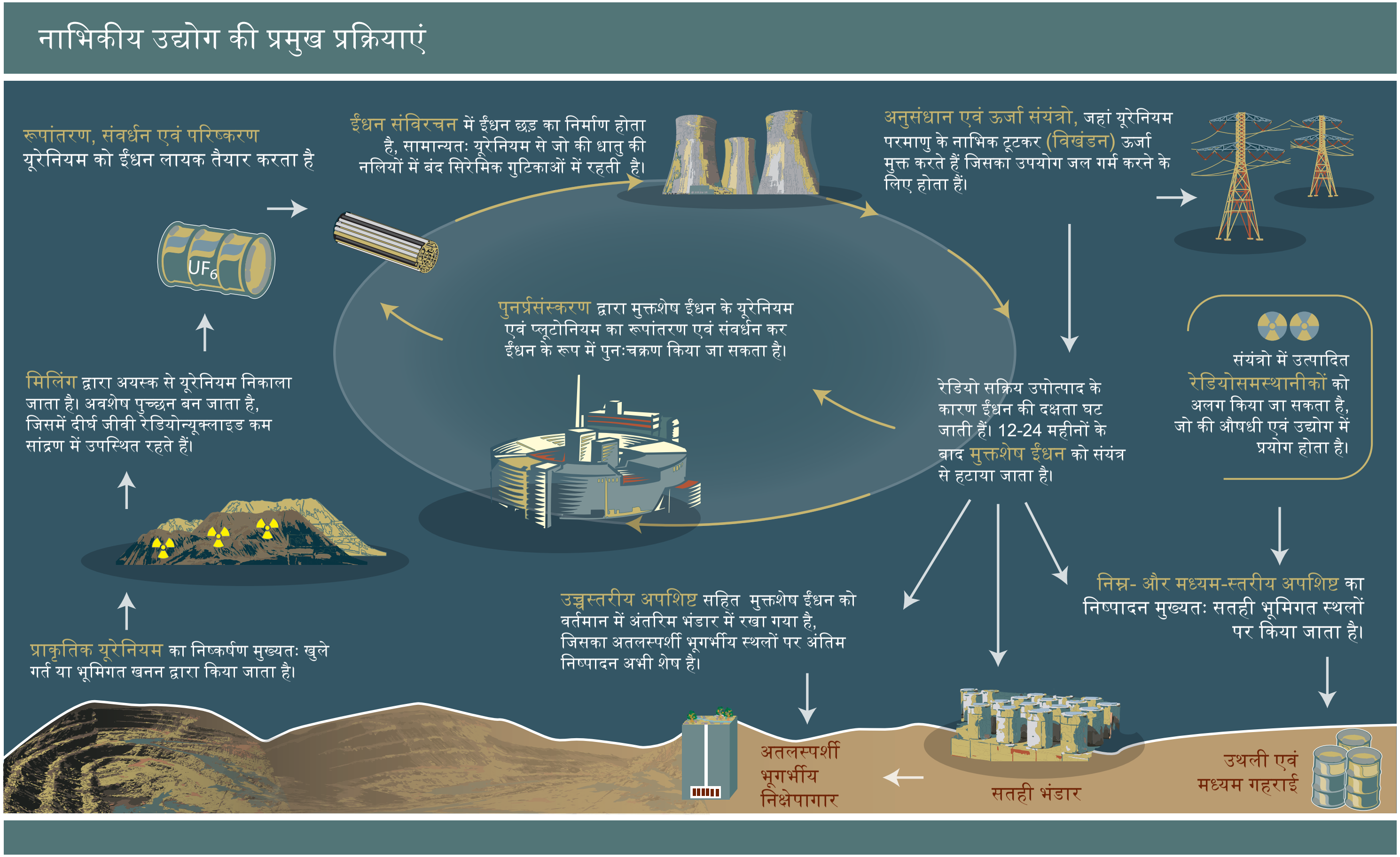
नाभिकीय ऊर्जा से संबंधित क्रियाकलापों से मिलने वाली विकिरण डोज़ में सबसे प्रमुख साझेदारी खनन की तरफ से आती है। यूरेनियम खनन तथा पिसाई के कारण टेलिंग के रूप में काफी मात्रा में अवशिष्ट उत्पन्न होता है जिसमें प्राकृतिक विकिरणधर्मी नाभिकों की संख्या अपने सामान्य स्तर से कहीं अधिक होती है। वर्ष 2003 तक, विश्व में यूरेनियम का कुल उत्पादन लगभग 20 लाख टन तक पहुँच गया था जबकि इस उत्पादन के परिणामस्वरूप तैयार होने वाले टेलिंग अवशिष्ट की कुल मात्रा 2 अरब टन से भी अधिक हो गयी थी। हाल में निर्मित टेलिंग अवशिष्ट के भंडारों का व्यवस्थापन सुचारू रूप से हो रहा है लेकिन ऐसे कई पुराने, दुर्लक्षित स्थान मौजूद हैं जिनमें से कुछ का ही सुधार हुआ है। UNSCEAR के अनुमान के मुताबिक खदान तथा पिसाई स्थल एवं टेलिंग अवशिष्ट भंडारों के आस-पास के जनसंख्या समूहों को मिलने वाली वर्तमान वार्षिक सामूहिक विकिरण डोज़ लगभग 50–60 man Sv होती है।

नाभिकीय रिएक्टरों में इस्तेमाल किये गये ईंधन का पुनर्संसाधन किया जा सकता है जिससे उसमें मौजूद यूरेनियम एवं प्लूटोनियम की पुनःप्राप्ति हो सके। इस्तेमाल किये हुए ज्यादातर ईंधन का फिलहाल अस्थायी भंडारों में भंडारण किया जा रहा है। लेकिन अब तक इस्तेमाल किये हुए ईंधन का लगभग एक तिहाई हिस्सा पुनर्संसाधित किया जा चुका है। पुनर्संसाधन के कारण मिलने वाली वार्षिक सामूहिक विकिरण डोज़ का अनुमान 20–30 man Sv किया गया है।

निम्न तथा मध्यम स्तरीय विकिरणधर्मी अपशिष्ट का निपटान फ़िलहाल सतह के निकट स्थापित भण्डारण सुविधाओं में किया जा रहा है जबकि पहले इन्हें कभी-कभी समुद्र में फेंक दिया जाता था। पुनर्संसाधन के कारण उत्पन्न होने वाला उच्च विकिरणधर्मी अपशिष्ट एवं इस्तेमाल किया हुआ ईंधन (अगर उसे पुनर्संसाधित न किया गया हो तो) इन दोनों का फ़िलहाल भंडारण किया जा रहा है लेकिन आखिरकार इनका निपटारा होना आवश्यक है। विकिरणधर्मी अपशिष्ट के सही तरीके से किये गए निपटारे के बाद इस अपशिष्ट से सुदूर भविष्य में भी लोगों को विकिरण डोज़ मिलनी नहीं चाहिए।

कार्यस्थलों में विकिरण डोज़

नाभिकीय उद्योग में, यूरेनियम की जमीन के अंदर स्थित खदानों में रेडॉन का उत्सर्जन व्यावसायिक डोज़ में अत्यधिक योगदान करता है। उन विकिरणधर्मी खनिजों का निष्कर्षण एवं प्रसंस्करण, जिनमें विकिरणधर्मी नाभिकों की उच्च मात्रा में पाये जाने की संभावना हो, एक व्यापक स्तर की गतिविधि होती है। विकिरण उद्योग के कर्मचारियों को मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ प्रतिव्यक्ति जो 1970 के दशक में 4.4 mSv थी, धीरे-धीरे कम हो कर अब 1 mSv हो गयी है। यह मुख्य रूप से, यूरेनियम की खुदाई में उल्लेखनीय गिरावट और साथ ही साथ खनन की तकनीकी एवं वातायन पद्धति में प्रगति की वजह से हो पाया है।


नाभिकीय उद्योग की प्रमुख प्रक्रियाएं
रूपांतरण, संवर्धन एवं परिष्करण यूरेनियम को ईंधन लायक तैयार करता है
UF_6
ईंधन संविरचन में ईंधन छड़ का निर्माण होता है, सामान्यत: यूरेनियम से जो की धातु की नलियों में बंद सिरेमिक गुटिकाओं में रहती है।
अनुसंधान एवं ऊर्जा संयंत्रो, जहां यूरेनियम परमाणु के नाभिक टूटकर (विखंडन) ऊर्जा मुक्त करते हैं जिसका उपयोग जल गर्म करने के लिए होता हैं।
पुनर्प्रसंस्करण द्वारा मुक्तशेष ईंधन के यूरेनियम एवं प्लूटोनियम का रूपांतरण एवं संवर्धन कर ईंधन के रूप में पुन:चक्रण किया जा सकता है।
मिलिंग द्वारा अयस्क से यूरेनियम निकाला जाता है। अवशेष पुच्छन बन जाता है, जिसमें दीर्घ जीवी रेडियोन्यूक्लाइड कम सांद्रण में उपस्थित रहते हैं।
रेडियो सक्रिय उपोत्पाद के कारण ईंधन की दक्षता घट जाती हैं। 12-24 महीनों के बाद मुक्तशेष ईंधन को संयंत्र से हटाया जाता है।
संयंत्रो में उत्पादित रेडियोसमस्थानीकों को अलग किया जा सकता है, जो की औषधी एवं उद्योग में प्रयोग होता है।
निम्न- और मध्यम-स्तरीय अपशिष्ट का निष्पादन मुख्यत: सतही भूमिगत स्थलों पर किया जाता है।
उच्चस्तरीय अपशिष्ट सहित मुक्तशेष ईंधन को वर्तमान में अंतरिम भंडार में रखा गया है, जिसका अतलस्पर्शी भूगर्भीय स्थलों पर अंतिम निष्पादन अभी शेष है।
प्राकृतिक यूरेनियम का निष्कर्षण मुख्यत: खुले गर्त या भूमिगत खनन द्वारा किया जाता है।
अतलस्पर्शी भूगर्भीय निक्षेपागार
सतही भंडार
उथली एवं मध्यम गहराई

नाभिकीय सुविधाओं में दुर्घटनाएँ

नाभिकीय उद्योग की असैनिक सुविधाओं के सामान्य क्रियान्वयन के दौरान मिलने वाली विकिरण डोज़ बहुत ही कम होती है। तथापि इनमें ऐसी कुछ गंभीर दुर्घटनाएँ हुई हैं जिन्होंने अपनी तरफ लोगों का बहुत बड़े पैमाने पर ध्यान आकर्षित किया है और जिनके परिणामों की समीक्षा UNSCEAR द्वारा की गयी है। ऐसी दुर्घटनाओं के उदाहरणों में, 1958 की तत्कालीन यूगोस्लाविया में स्थित विंका अनुसंधान सुविधा में हुई दुर्घटना, 1979 की अमेरिका की थ्री माइल आइलैंड नाभिकीय विद्युत-संयंत्र में हुई दुर्घटना एवं 1999 की जापान के टोकाई-मुरा ईंधन रूपांतर सुविधा में हुई दुर्घटना शामिल है।

1945 से 2007 के दौरान, नाभिकीय सुविधाओं में घटित गंभीर विकिरण दुर्घटनाओं के परिणामस्वरूप 34 कर्मचारियों की मृत्यु हुई या गहरी चोटें आयी हैं एवं सात दुर्घटनाओं के कारण सुविधाओं के बाहर विकिरणधर्मी पदार्थों का उत्सर्जन हुआ है और जनसंख्या को संसूचन योग्य डोज़ मिली है। गंभीर स्वरूप की दूसरी अन्य दुर्घटनाएँ नाभिकीय अस्त्रों के कार्यक्रमों से संबंधित सुविधाओं में घटी थी। 1986 की चेर्नोबिल एवं 2011 की फुकुशिमा-दाइची दुर्घटनाएँ जिनकी चर्चा आगे की गई है के अतिरिक्त 29 विकिरण संबंधी मौतों एवं 68 विकिरण प्रभावित घायलों की जानकारी उपलब्ध है जिनके लिए चिकित्सीय सहायता की जरूरत पड़ी थी।

चेर्नोबिल दुर्घटना से पहले, असैनिक सुविधा में होने वाली सबसे गंभीर दुर्घटना 28 मार्च 1979 को थ्री माइल आइलैंड नाभिकीय विद्युत् संयंत्र में हुई थी। इसमें घटनाओं की एक श्रृंखला के फलस्वरूप रिएक्टर का सबसे अंदरूनी हिस्सा कोर अंशतः पिघल गया था। इस दुर्घटना के कारण क्षतिग्रस्त रिएक्टर कोर से संरोधन भवन में परमाणु विखंडन प्रक्रिया के उत्पाद एवं विकिरणधर्मी नाभिकों का काफी मात्रा में उत्सर्जन हुआ, लेकिन इसकी तुलना में पर्यावरण में होने वाला उत्सर्जन कम था और उसके फलस्वरूप लोगों को मिलने वाली विकिरण डोज़ भी काफी कम थी।

चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत संयंत्र दुर्घटना

26 अप्रैल 1986 की चेर्नोबिल नाभिकीय विद्युत संयंत्र दुर्घटना, नाभिकीय ऊर्जा के असैनिकी इस्तेमाल के इतिहास की न सिर्फ सबसे बड़ी दुर्घटना थी बल्कि आम लोगों को मिलने वाली विकिरण की मात्रा के सन्दर्भ में भी सबसे गंभीर दुर्घटना थी। इस दुर्घटना से मिलने वाली सामूहिक डोज़ अन्य सभी विकिरण दुर्घटनाओं के कारण मिलने वाली संयुक्त सामूहिक डोज़ से कई गुना अधिक थी।

इसके तात्कालिक दुष्परिणामों के सदमे के कारण दो कर्मचारियों की मृत्यु हो गई एवं 134 लोग तीव्र विकिरण संलक्षणों से प्रभावित हुए, जिनमे से 28 लोगों के लिये यह जानलेवा साबित हुआ। बचे हुए लोगों में त्वचा की क्षति एवं विकिरण से संबंधित मोतियाबिंद यह मुख्य समस्याएं थीं। आपातकालीन कर्मचारियों के अलावा कई लाख लोग दुर्घटना के बाद की मदद कार्रवाइयों में शामिल थे। जिन्हें 1986 एवं 1987 में उच्च मात्रा की डोज़ मिली थी, उनमें ल्यूकेमिया तथा मोतियाबिंद होने की स्पष्ट बढ़ोतरी के अलावा इस समूह में अब तक विकिरण से संबंधित अन्य स्वास्थ्य प्रभावों के बारे में कोई भी सुसंगत प्रमाण नहीं मिले हैं।

इस दुर्घटना के कारण पर्यावरण में जो अनियंत्रित विकिरण उत्सर्जन हुआ वो अब तक दर्ज किये गए किसी भी असैनिक परिचालन से होने वाले विकिरण उत्सर्जन से अधिक था, जिससे वातावरण में लगभग दस दिन तक विकिरणधर्मी पदार्थों का भारी मात्रा में उत्सर्जन हुआ। वह विकिरणधर्मी बादल, जो इस दुर्घटना के कारण तैयार हो गया था, पूरे उत्तरी गोलार्ध पर फ़ैल गया और उससे तत्कालीन सोवियत यूनियन के बड़े भू-भाग तथा यूरोप के अन्य हिस्सों में काफी मात्रा में विकिरणधर्मी पदार्थ जमा हुए; जिसके कारण मौजूदा बेलारूस, रशियन संघराज्य एवं यूक्रेन की जमीन तथा पानी विशेष रूप से संदूषित हो गए, जिसके फलस्वरूप वहाँ की आबादी के कई बड़े हिस्सों को गहरी सामाजिक तथा आर्थिक असुविधाओं का सामना करना पड़ा।

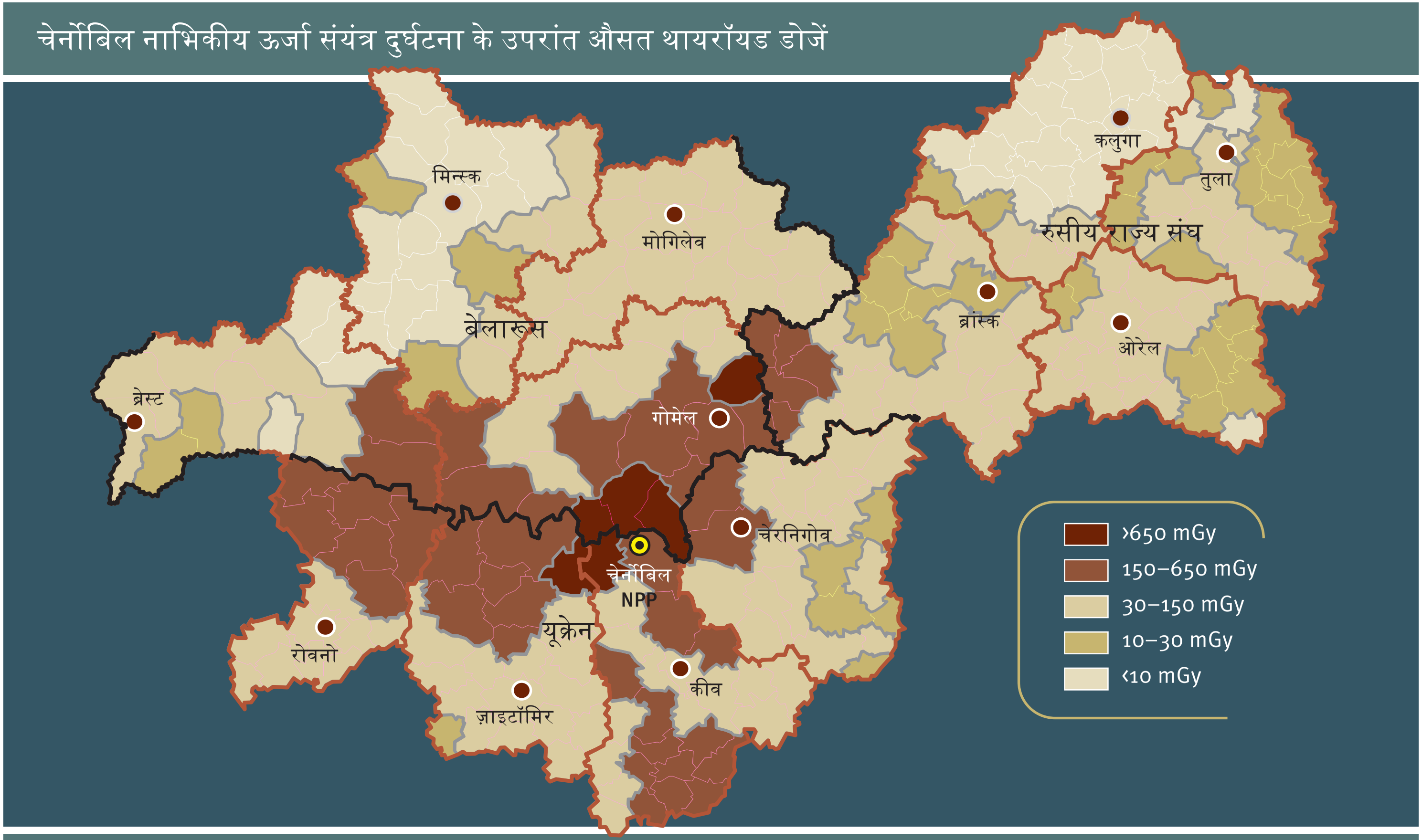
तत्कालीन सोवियत रूस के कुछ हिस्सों में, ताजे दूध में अल्पजीवी विकिरणधर्मी नाभिक आयोडीन-131 (जिसकी अर्धायु आठ दिन की होती है) द्वारा संदूषण तथा तात्कालिक प्रतिबंधात्मक उपयोजनाओं में अभाव के कारण थायरॉइड ग्रंथि को, ख़ास करके बच्चों में, काफी बड़ी मात्रा में डोज़ मिल गयी। सोवियत संघराज्य के बेलारूस, यूक्रेन तथा चार और प्रभावग्रस्त भू-भागों में, 1990 के दशक के शुरूआती समय से, उन लोगों में थायरॉइड कर्करोग के पाए जाने में बढ़ोतरी हुई है जिन्हें 1986 में अपनी शिशु या किशोर अवस्था में विकिरण डोज़ मिली थी। 1991 से 2005 तक की कालावधि में इससे पीड़ित 6000 रोगी दर्ज हुए जिनमें से 15 व्यक्तिओं की मौत हो गयी।

दीर्घ कालावधि में सर्वसामान्य जनसंख्या को भी विकिरण डोज़ मिली जो दोतरफा यानि बाहर से विकिरणधर्मी निक्षेपों के कारण थी तथा अंदर से मुख्य रूप से सीज़ियम-137 (जिसकी अर्धायु 30 वर्ष है) द्वारा संदूषित खाद्य पदार्थों के सेवन के कारण थी। हालांकि इसके परिणामस्वरूप मिलने वाले दीर्घकालीन विकिरण डोज़ की मात्रा तुलना की दृष्टि से कम थी, 1986 से 2005 की कालावधि में, बेलारूस के संदूषित भू-भाग, सोवियत संघराज्य तथा यूक्रेन में औसतन व्यक्तिगत प्रभावी डोज़ 9 mSv थी। इस डोज़ के कारण सामान्य जनसंख्या समूह पर बहुत अधिक प्रतिकूल स्वास्थ्य प्रभावों के होने की गुंजाइश नहीं है। यद्यपि इस दुर्घटना के कारण जो गंभीर कठिनाइयाँ पैदा हुईं उनके फलस्वरूप प्रभावित जन समूहों पर गहरा सामाजिक तथा आर्थिक असर हुआ एवं उन्हें तीव्र सदमा पहुँचा।

UNSCEAR ने इस दुर्घटना के विकिरण-शास्त्रीय परिणामों का अध्ययन अनेक रिपोर्टों में बारीकी से किया है। अंतर्राष्ट्रीय समुदाय ने इस दुर्घटना के सर्वसामान्य तथा विभिन्न विशेष क्षेत्रों में होने वाले परिणामों के परिमाण तथा उनकी विशेषताओं के आंकलन के लिए अभूतपूर्व प्रयास किये हैं ताकि इस दुर्घटना के विकिरण-शास्त्रीय तथा दूसरे परिणामों के बारे में समझ बेहतर हो एवं उनके शमन में मदद मिले।

वर्ष 1986 से किये गये अध्ययनों के सारांश यह दर्शाते हैं कि, वे व्यक्ति जिन्हें आयोडीन-131 की डोज़ तब मिली जब वो बच्चे थे तथा आपातकाल एवं बचाव परिचालन कर्मचारी जिन्हें उच्च विकिरण डोज़ मिली थी, उनमें विकिरण प्रेरित परिणामों का खतरा अधिक था। हालांकि वहाँ के अधिकांश निवासियों को अल्प विकिरण डोज़ ही मिली थी जो वार्षिक प्राकृतिक पृष्ठभौमिक विकिरण के बराबर या उससे कुछ ही गुना अधिक थी।

चेर्नोबिल नाभिकीय ऊर्जा संयंत्र दुर्घटना के उपरांत औसत थायरॉयड डोजें



फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत संयंत्र दुर्घटना

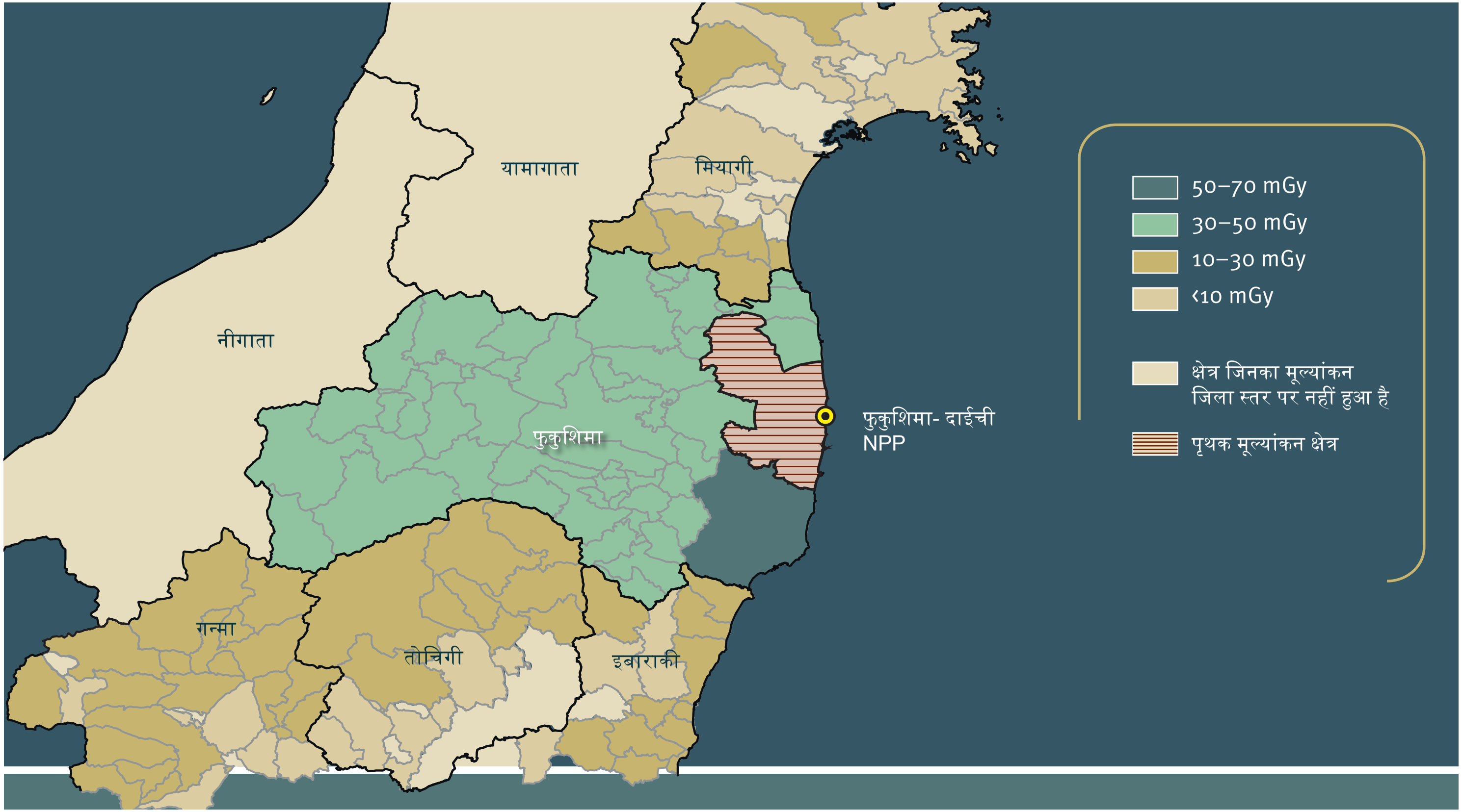
पूर्वी जापान में 11 मार्च 2011 को आये तीव्र भूकंप, जिसकी तीव्रता का परिमाण 9.0 था और उत्तरी जापान के पूर्वी समुद्र तट पर आयी सुनामी के पश्चात फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत संयंत्र गंभीर रूप से क्षतिग्रस्त हुआ और विकिरणधर्मी पदार्थों का पर्यावरण में उत्सर्जन हुआ। 11 से 15 मार्च के दौरान एक एहतियाती उपाय के रूप में, नाभिकीय विद्युत संयंत्र के 20 कि.मी. के क्षेत्र में रहने वाले लगभग 85 000 निवासियों को सुरक्षित स्थान पर ले जाया गया जब कि संयंत्र से 20 से 30 कि.मी. के दायरे में बसे लोगों को, उनके अपने घरों में पनाह दी गई। इसके बाद अप्रैल 2011 में संयंत्र के आगे उत्तर-पूर्व में रहने वाले और 10 000 लोगों को विकिरणधर्मी परमाणु नाभिकों के जमीनी सतह पर बढे हुए स्तर के कारण, निकासी की सलाह दी गयी। इन निकासियों के कारण, दुर्घटना से प्रभावित लोगों को मिलने वाली डोज़, उस मात्रा से जो उन्हें मिल सकती थी, काफी कम हो गयी। लोगों को मिलने वाली विकिरण डोज़ को कम करने के लिए पानी तथा विशिष्ठ खाद्य पदार्थों के सेवन पर कुछ समय के लिए प्रतिबंध लगाए गये। नाभिकीय विद्युत-संयंत्र की इस आपातस्थिति के प्रबंधन के दौरान, परिचालन तथा आपातकालीन प्रतिक्रिया दलों के कुछ कर्मचारियों को डोज़ मिली थी।

UNSCEAR ने विकिरण डोज़ एवं उनसे संबंधित स्वास्थ्य तथा पर्यावरण पर होने वाले प्रभावों के मूल्यांकन का संचालन किया। फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत-संयंत्र दुर्घटना के बाद डेढ़ साल के दौरान परिशमन तथा अन्य गतिविधियों में लगभग 25 000 कर्मचारी शामिल थे। इस कालावधि के लिए इन कर्मचारियों को मिली हुई औसतन प्रभावी डोज़ थी 12 mSv तथापि 6 कर्मचारियों को मिली संचयित कुल डोज़ 250 mSv से अधिक थी; एक कर्मचारी के लिए दर्ज की गई सबसे अधिक कुल डोज़ थी 680 mSv जो मुख्य रूप से अंदरूनी विकिरण (लगभग 90%) से मिली थी। 12 कर्मचारियों की आकलित थायरॉइड डोज़ 2-12 Gy की डोज़ सीमा में थी। इन कर्मचारियों में दुर्घटना से निकलने वाले विकिरण से संबंधित मौतें या अभिलाक्षणिक रोग नजर नहीं आये।

फुकुशिमा प्रांत के खाली कराये गये क्षेत्रों के वयस्क व्यक्तिओं को दुर्घटना के बाद पहले साल में मिली औसतन प्रभावी डोज़ 1 mSv से लगभग 10 mSv की डोज़ सीमा में थी। एक साल के नवजात शिशुओं के लिए आकलित प्रभावी डोज़ इससे लगभग दो गुनी अधिक थी। फुकुशिमा प्रांत के जो क्षेत्र खाली नहीं कराये गये थे तथा उनके पड़ोसी प्रांतों में डोज़ और भी कम थी।

जिन्हें अधिकतम डोज़ मिली है, जो कि मुख्य रूप से आयोडीन-131 के कारण मिली है, उनमें वयस्कों के लिए आकलित औसतन थायरॉइड डोज़ की सीमा 35 mGy तक तथा 1 साल के नवजात शिशुओं के लिए 80 mGy तक रही है। मुख्य रूप से बाह्य प्राकृतिक विकिरण स्रोतों से थायरॉइड को मिलने वाली वार्षिक डोज़ आम तौर पर 1 mGy की कोटि की होती है। UNSCEAR ने इस सैद्धांतिक संभावना को स्थापित किया है कि उन बच्चों के समूह में जिन्हें अधिकतम डोज़ मिली है, थायरॉइड कर्करोग का जोखिम बढ़ सकता है। तथापि वयस्क बच्चों में, थायरॉइड कर्करोग यदा-कदा होने वाला रोग है इसलिये इस समूह में सांख्यिकीय दृष्टि से महत्वपूर्ण प्रभावों की अपेक्षा नहीं है।

फुकुशिमा-दाईची नाभिकीय ऊर्जा केंद्र दुर्घटना के उपरांत शिशुओं को औसत थायरॉयड डोज़



फुकुशिमा-दाइची नाभिकीय विद्युत संयंत्र दुर्घटना की तुलना चेर्नोबिल आपदा से की जाती है, जब कि यह दुर्घटना रिएक्टर के प्रकार, दुर्घटना के घटनाक्रम, उत्सर्जित विकिरणधर्मी नाभिकों के अभिलक्षण, उनका अभिसरण तथा की गई संरक्षात्मक कार्रवाही, इन विभिन्न मायनों में यकीनन अलग थी। इन दोनों दुर्घटनाओं में आयोडीन-131 एवं सीज़ियम-137 का, जो नाभिकीय दुर्घटना के बाद विकिरण डोज़ के मिलने की दृष्टि से दो सबसे महत्वपूर्ण विकिरणधर्मी नाभिक हैं, बड़ी मात्रा में पर्यावरण में उत्सर्जन हुआ। फुकुशिमा-दाइची दुर्घटना के कारण होने वाले आयोडीन-131 एवं सीज़ियम-137 के उत्सर्जन की मात्रा चेर्नोबिल की तुलना में क्रमशः लगभग 10 एवं 20 प्रतिशत जितनी थी।

औद्योगिक तथा अन्य अनुप्रयोग

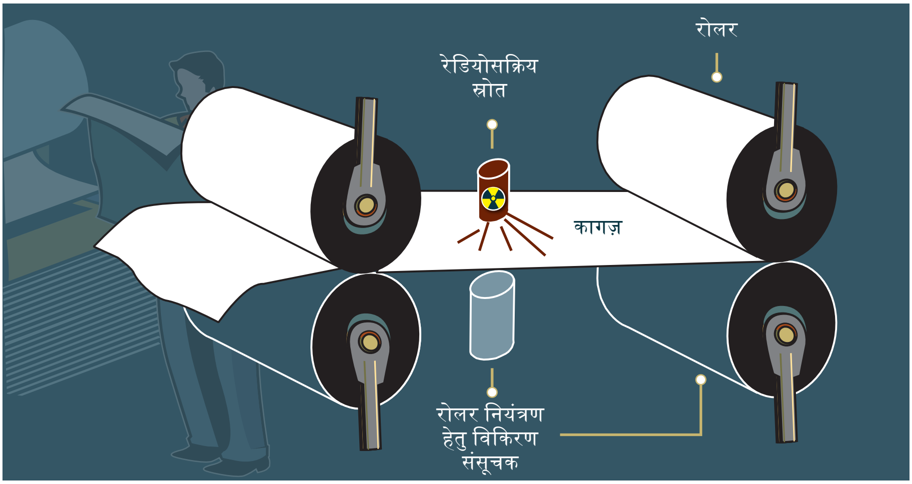
विकिरण स्रोतों का विविध प्रकार के उद्योगों में उपयोग किया जाता है। इनमें औद्योगिक विकिरणन जिसका उपयोग चिकित्सा तथा भेषज उत्पादों के कीटाणु नाशन, खाद्य पदार्थों के परिरक्षण या कीटों के संक्रमण को हटाने के लिए होता है; विकिरण आधारित औद्योगिक चित्रांकन जिसका उपयोग धातुओं के वेल्डिंग किये हुए जोड़ों के दोष परीक्षण के लिए होता है; अल्फ़ा तथा बीटा उत्सर्जक स्रोत जिनका उपयोग उन यौगिकों को चमकीला बनाने के लिए होता है जो बंदूकों में लक्ष्य साधने में मदद करने वाले उपकरणों एवं निकास मार्गदर्शकों में कम रोशनी वाले प्रकाश स्रोतों के तौर पर होता है; विकिरण स्रोत या छोटे आकार के एक्स-किरण स्रोत जो उन कुओं को तैयार करने के दौरान खोदे हुए नलिका कूपों के भूगर्भीय गुणविशेषों के मापन में इस्तेमाल होते है जो कुएं खनिजों, तेल या गैस के भंडारों की खोज में काम आते हैं; विकिरण स्रोत जिनका उपयोग उन उपकरणों में होता है जो परतों की मोटाई, आर्द्रता, पदार्थों के घनत्व एवं स्तर का मापन करते हैं और अन्य सीलबंद विकिरण स्रोत जो अनुसंधान में इस्तेमाल होते हैं, ये सब शामिल हैं।

यद्यपि औद्योगिक एवं चिकित्सीय इस्तेमाल के लिए विकिरणधर्मी नाभिकों का उत्पादन बड़े पैमाने पर होता है तथापि उससे आम लोगों को मिलने वाली विकिरण डोज़ बहुत ही कम मात्रा की होती है। हालांकि दुर्घटनाओं की स्थिति में, सीमित क्षेत्र में संदूषण के कारण, उनसे मिलने वाली विकिरण का स्तर अधिक हो सकता है।

कार्यस्थलों में विकिरण डोज़

विकिरण के औद्योगिक उपयोगों से संबंधित कर्मचारियों की संख्या इक्कीसवी सदी के पहले दशक के पूर्व काल में लगभग 10 लाख थी और उनकी वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ प्रति कर्मचारी 0.3 mSv थी।

विकिरण का उपयोग कर मोटाई मापन उपकरण



प्रकृति में पाए जाने वाले विकिरणधर्मी पदार्थ

दुनिया भर में ऐसी बहुत सारी किस्म की सुविधाएँ मौजूद है, जो नाभिकीय ऊर्जा के उपयोग से संबंधित न होने के बावजूद, अपने औद्योगिक उत्पादों में, उप-उत्पादों में एवं अपशिष्ट में **प्रकृति में पाए जाने वाले विकिरणधर्मी पदार्थों** (NORM) की बढ़ी हुई सांद्रता के कारण आम लोगों को विकिरण डोज़ दे सकती हैं। इन सुविधाओं में सबसे महत्वपूर्ण सुविधा खदानों तथा खनिजों के प्रसंस्करण से संबंधित है।

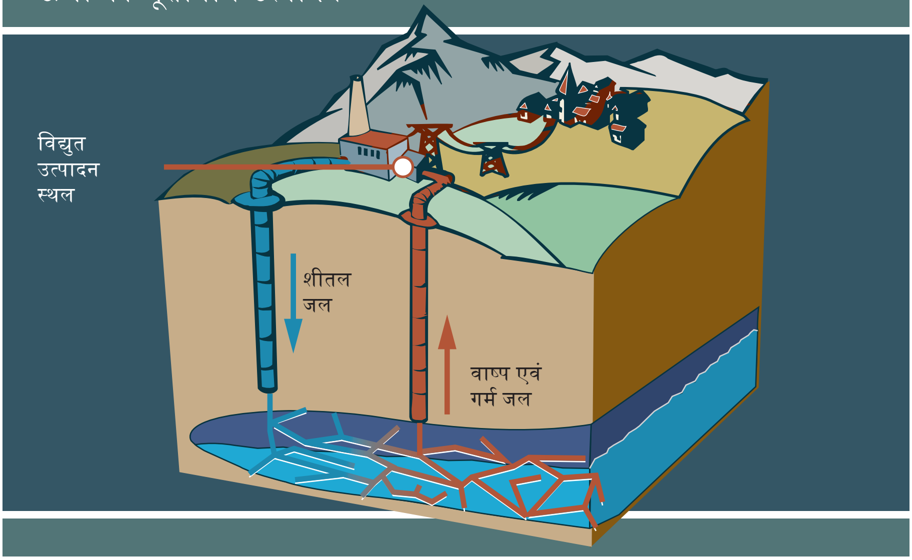
खनिजों के निष्कर्षण एवं प्रसंस्करण से संबंधित गतिविधियों से भी NORM की सांद्रता का स्तर बढ़ सकता है। इन गतिविधियों में यूरेनियम का खनन एवं पिसाई; धातुओं का खनन एवं पिघलना; फॉस्फेट का उत्पादन; कोयले का खनन तथा उसे जलाकर विद्युत उत्पादन; तेल एवं गैस का खनन; रेअर अर्थ एवं टाइटैनियम ऑक्साइड उद्योग; ज़िरकोनियम एवं सिरैमिक उद्योग और वो अनुप्रयोग जिन में NORM (आम तौर पर रेडियम एवं थोरियम के समस्थानिक) का इस्तेमाल होता है, ये सब शामिल हैं।

उदाहरण के तौर पर कोयले में आदिकालीन विकिरणधर्मी नाभिक अल्प मात्रा में मौजूद होते हैं। कोयले के दहन से यह विकिरणधर्मी नाभिक वातावरण में उत्सर्जित हो जाते हैं जहाँ से ये लोगों को विकिरण डोज़ दे सकते हैं। इसका मतलब यह है कि विद्युत ऊर्जा का प्रत्येक गीगा वॉट वर्ष, जिसका उत्पादन दुनिया के कोयला चालित ऊर्जा संयंत्र करते हैं, उससे विश्व की जनसंख्या के सामूहिक डोज़ में 20 man Sv वार्षिक बढ़ोतरी का आकलन किया गया है। इसके अलावा फ्लाई ऐश (जो कि कोयले के जलने के कारण उत्पन्न अपशिष्ट है) जिसका उपयोग गड्ढों को भरने के लिए तथा रास्तों के निर्माण के लिए किया जाता है, लेकिन, इसका इस्तेमाल भवनों के निर्माण में करने से, प्रत्यक्ष विकिरणन तथा रेडॉन के श्वसन इन दोनों तरीकों से विकिरण डोज़ मिलती है। इतना ही नहीं फ्लाई ऐश को किसी स्थान पर इकट्ठा रखने से उस स्थान के आस-पास विकिरण डोज़ का

स्तर बढ़ जाता है।

आम लोगों को विकिरण मिलने का एक और स्रोत है, भूगर्भतापीय ऊर्जा उत्पादन। इसमें जमीन के भीतर स्थित भाप एवं गर्म पानी के भंडारों का इस्तेमाल बिजली उत्पादन या भवनों को गर्म करने के लिए किया जाता है। इस प्रौद्योगिकी के इस्तेमाल के कारण मिलने वाली विकिरण डोज़ के विषय में इटली तथा अमेरिका में किये गए आकलन यह सूचित करते हैं कि इससे सामूहिक डोज़ में होने वाली बढ़ोतरी, कोयला चलित ऊर्जा संयंत्रों द्वारा उत्पादित विद्युत ऊर्जा के प्रति गीगावॉट वर्ष के डोज़ की लगभग दस प्रतिशत होती है। फ़िलहाल भूतापीय ऊर्जा की दुनिया के कुल ऊर्जा उत्पादन में साझेदारी, तुलनात्मक दृष्टि से कम होने के कारण, विकिरण डोज़ में होने वाली बढ़ोतरी भी कम ही है।

ऊर्जा का भूतापीय उत्पादन



अन्य विविध मानवीय क्रियाकलापों के कारण जैसे कि जल उपचार के अपशिष्ट का खेतीबाड़ी में इस्तेमाल के द्वारा भी, लोगों को NORM संबंधित विकिरण डोज़ मिल सकती है। तथापि आम लोगों को मिलने वाली यह डोज़ अत्यन्त ही कम यानि सालाना एक mSv के कुछ हजारवें हिस्से से भी कम कोटि की होती है।

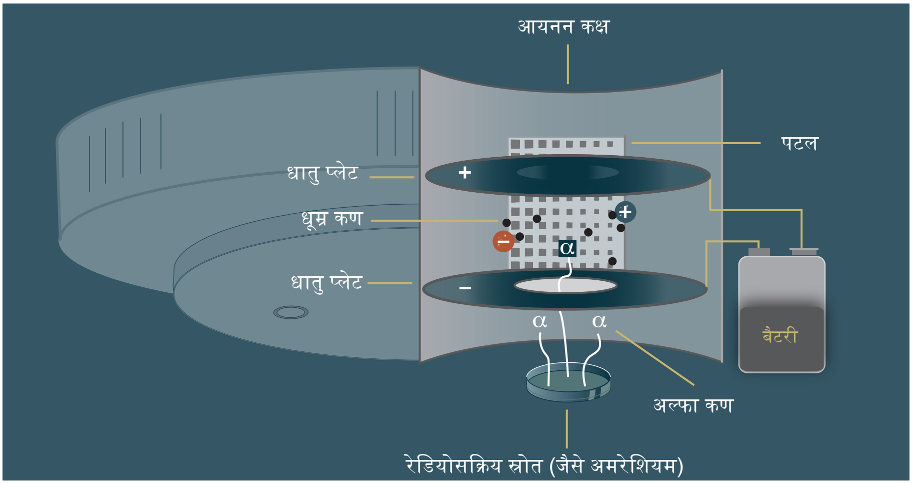
यूरेनियम के संवर्धन का एक उपोत्पाद होता है, अवक्षयित यूरेनियम जो प्राकृतिक यूरेनियम से कम विकिरणधर्मी होता है। कई वर्षों से अवक्षयित यूरेनियम, असैन्य तथा सैन्य कार्यों के लिए इस्तेमाल होता आ रहा है। इसके उच्च घनत्व के कारण इसका इस्तेमाल विकिरण से बचाव के लिए या विमानों में भार संतुलन के लिए किया जाता है। सैन्य कार्यों में (विशेष कर टैंक भेदी अस्त्रों में) इसके इस्तेमाल के कारण अवक्षेपित संदूषण के बारे में आशंका हो गई है। कुछ खास परिस्थितियों जैसे कि दीर्घकालीन हस्तन को छोड़कर अवक्षयित यूरेनियम से मिलने वाली डोज़ बहुत ही कम होती है। सच तो यह है की

इसकी रासायनिक विषाक्तता ही इसका सबसे खतरनाक अवगुण है।

उपभोक्ता उत्पाद

उपभोक्ताओं द्वारा अपने रोजाना इस्तेमाल के लिए ख़रीदे जाने वाले ऐसे बहुत सारे उत्पाद हैं जो सुनियोजित तरीके से मिलाए गए अल्प विकिरण डोज़ देने वाले विकिरणधर्मी परमाणु नाभिकों का उपयोग करते हैं, ताकि उनके रासायनिक तथा विकिरणधर्मी गुणों का फायदा उन उत्पादों को हो सके। ऐतिहासिक दृष्टि से, रेडियम-226 सबसे महत्वपूर्ण विकिरणधर्मी परमाणु नाभिक था जो चमकने वाले उत्पादों में इस्तेमाल किया जाता था। यह इस्तेमाल कई दशकों पहले ख़त्म हो गया जब रेडियम की जगह प्रोमीथियम-147 और हाइड्रोजन-3 (ट्रिशियम) ने ली जिनकी विकिरण-विषाक्तता कम थी। फिर भी उन घड़ियों तथा हाथ-घड़ियों में से जिनमें ट्रिशियम के यौगिक मौजूद थे, ट्रिशियम का कुछ रिसाव संभवतः पाया गया हो जिसका कारण ट्रिशियम की उच्च चलनशीलता है। हालांकि ट्रिशियम बहुत कम ऊर्जा वाले बीटा कणों का उत्सर्जन करता है जो त्वचा को भेद नहीं सकते, इसलिए ट्रिशियम से डोज़ सिर्फ तभी मिलती है जब वो शरीर के अंदर पहुँचता है।

विकिरण के उपयोग से धूम्र संसूचक प्रकार्य



कुछ आधुनिक धूम्र संसूचकों में आयनकारी कोष्ठ होता है जिसमें अमरेशियम-241 की पतली पन्नी होती है जो अल्फ़ा कणों का उत्सर्जन करती है और आयनों की एक स्थिर धारा का निर्माण करती है। परिवेशी वायु को संसूचकों में मुक्त रूप से दाखिल होने दिया जाता है और जब बाहर से धुंआ अंदर आता है तो वह विद्युत धारा में बाधा पहुंचाता है जिससे संकेतक क्रियान्वित हो जाता है और खतरे का संकेत देता है।

धूम्र संसूचकों में जो अमरेशियम स्रोत होता है उसकी विकिरणधर्मिता काफी कम होती है। अमरेशियम का विकिरणधर्मी अपक्षय काफी धीरे होता है और उसकी अर्धायु लगभग 432 साल

होती है। इसका मतलब है कि एक संसूचक दस साल के इस्तेमाल के बाद भी अपनी शुरुआती विकिरणधर्मिता को बनाए रखता है। जब तक अमरेशियम स्रोत संसूचक के अंदर रहता है तब तक उससे मिलने वाली विकिरण न के बराबर होती है। हालांकि संवेदनशील उपकरण से उसका संसूचन हो सकता है लेकिन ऐसे उत्पादों से मिलने वाली विकिरण डोज़ बहुत ही कम होती है। एक व्यक्ति अगर संसूचक से 2 मीटर दूरी पर रोजाना 8 घंटे खड़ा रहता है तो उसे मिलने वाली वार्षिक डोज़ का आकलन 0.0001 mSv से भी कम किया गया है।

औद्योगिक दुर्घटनाएँ

उद्योगों में घटने वाली ऐसी दुर्घटनाओं की संख्या जो विकिरण स्रोतों से संबंध रखती हैं, नाभिकीय विद्युत संयंत्रों में घटने वाली दुर्घटनाओं से ज्यादा ही होती हैं। फिर भी आम तौर पर इनकी तरफ ध्यान ही नहीं जाता बावजूद इसके कि ऐसी दुर्घटनाओं के कारण विकिरणकर्मी तथा सर्वसामान्य जनता दोनों को, काफी बड़ी मात्रा में डोज़ मिल सकती है।

वर्ष 1945 और 2007 के दौरान, उन औद्योगिक संस्थाओं में जहाँ विकिरण स्रोत, त्वरक तथा एक्स-किरण उपकरणों का उपयोग होता हैं, लगभग 80 दुर्घटनाएँ दर्ज की गई हैं। इन दुर्घटनाओं के विवरण में 9 कर्मचारियों की मृत्यु तथा 120 को घायल दर्ज किया गया है। कुछ घायल कर्मचारियों में तीव्र विकिरण संलक्षण विकसित हो गए थे। विकिरण डोज़ मुख्यतः हाथ पर लगी थी और बहुत बार इन्हे काट देना पड़ा था। UNSCEAR इस बात की संभावना व्यक्त करता है कि औद्योगिक संस्थाओं में घटी कुछ दुर्घटनाएं, जिनमें मौत हुई हो और लोग घायल हुए हो, दर्ज नहीं की गई होंगी।

ऐसी दुर्घटनाओं के कारण तथा प्रभाव बहुत सारे हैं तथा उनमें भिन्नता है। यहाँ सिर्फ दो उदाहरण दिए गए हैं। लुसिआना, अमेरिका में, 1978 में एक औद्योगिक रेडियोग्राफर जब एक नाव पर काम कर रहा था, तब संभवतः विकिरणमापी के सुचारू रूप से काम न करने के कारण उसका बांया हाथ इरीडियम-192 (3.7 TBq) स्रोत के विकिरण डोज़ के कारण घायल हुआ। लगभग तीन हफ़्ते के बाद उसके हाथ का रंग लाल हो गया और उसमें सूजन आ गई, उसके बाद त्वचा पर छाले दिखाई दिये जो 5-8 हफ़्तों के बाद ठीक हो गए। लेकिन छह महीने के बाद उसकी तर्जनी उंगली को अंशतः काट देना पड़ा। उसके उपरांत शांघाई चीन की एक औद्योगिक संस्था में 1980 में, अयोग्य विकिरण संरक्षण उपाय कार्यवाही के कारण सात कर्मचारियों को कोबाल्ट-60 स्रोत से विकिरण डोज़ मिली, एक कर्मचारी की, जिसकी अनुमानित विकिरण डोज़ 12 Gy थी, डोज़ मिलने के 25 दिनों के बाद मौत हो गई। दूसरे कर्मचारी की जिसकी अनुमानित विकिरण डोज़ 11 Gy थी, डोज़ मिलने के 90 दिनों के बाद मौत हो गई। अन्य 5 कर्मचारी जिन्हें अनुमानित विकिरण डोज़ 2-5 Gy मिली थी, चिकित्सीय उपचारों के बाद फिर से स्वस्थ हो गए।

परित्यक्त विकिरण स्रोत

वर्ष 1966 से 2000 के दौरान 31 दुर्घटनाएँ उन स्रोतों के कारण घटित हुई जो या तो चुराए गए थे या खो गये थे, या जिन्हें फेंक दिया गया था - इन्हे **अनाथ स्रोत** भी कहते हैं। ऐसी जानकारी मिली है कि यह दुर्घटनाएँ सर्वसाधारण जनता के 42 सदस्यों की मौत का कारण बन चुकी हैं जिनमें बच्चे भी शामिल हैं। इसके अलावा, तीव्र विकिरण संलक्षण, गंभीर स्थानीय घाव, आतंरिक संदूषण या मनोवैज्ञानिक समस्याओं के कारण, सैकड़ो लोगों को चिकित्सीय मदद देना आवश्यक हो गया था। इनमें से छह दुर्घटनाएँ परित्यक्त चिकित्सीय विकिरण उपचार उपकरणों से संबंधित थी।

दुनिया भर में लावारिस या परित्यक्त विकिरण स्रोतों की सही संख्या कितनी है यह ठीक से मालूम नहीं है लेकिन उनकी संख्या हजारों में मानी जा रही है। अमेरिका के परमाणु नियामक आयोग ने यह जानकारी दी है कि अमेरिका की कंपनियों ने 1996 और 2008 के बीच लगभग 1500 विकिरणधर्मी स्रोत खो दिये थे, जिनमें से आधे से ज्यादा स्रोतों की खोज कभी नहीं हो पायी। यूरोपियन संघ के एक अध्ययन में यह आकलन किया गया है कि उसकी सीमा में, प्रतिवर्ष उसके नियामक नियंत्रण से खो जाने वाले स्रोतों की संख्या 70 तक होती है। यद्यपि इन स्रोतों में से अधिकतर द्वारा कोई विशेष विकिरण जोखिम नहीं है, फिर भी लावारिस स्रोतों से होने वाली दुर्घटनाएं गंभीर चिंता का विषय है।

सीलबंद विकिरण स्रोत या उनके बक्से जो किसी कीमती धातु के बने होने के कारण एवं उन पर विकिरण के बारे में चेतावनी की गैरमौजूदगी की वजह से कबाड़ियों को आकर्षित कर सकते हैं। ऐसे बक्सों की बेखबर और निरीह कबाड़ियों या सर्वसाधारण लोगों द्वारा भी की गई छेड़खानी का नतीजा यह होता है कि वो गंभीर रूप से जख्मी हो जाते हैं, या कुछ मामलों में मौत भी हुई है। जैसा कि गोईनिया, ब्राज़ील में 1987 में घटी दुर्घटना में हुआ था। इस वाकये में एक परित्यक्त

दुनिया भर में गंभीर विकिरण दुर्घटनाओं का अनुमान*

दुर्घटना का प्रकार	1945–1965	1966–1986	1987–2007
नाभिकीय उपक्रमों मे दुर्घटनाएँ	19	12	4
औद्योगिक दुर्घटनाएँ	2	50	28
परित्यक्त विकिरण स्रोतों से दुर्घटनाएँ	3	15	16
शैक्षणिक तथा अनुसंधान संस्थाओं में दुर्घटनाएँ	2	16	4
चिकित्सीय क्षेत्र में दुर्घटनाएँ	अज्ञात	18	14

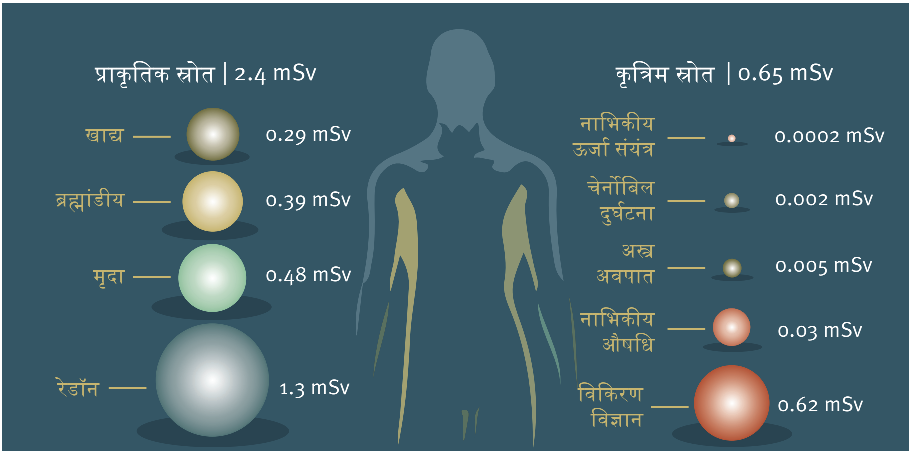
* आधिकारिक तौर पर दर्ज या प्रकाशित दुर्घटनाओं पर आधारित। यह अपेक्षित है कि असूचित दुर्घटनाओं की संख्या, विशेष रूप से चिकित्सीय क्षेत्रों में, काफी बड़ी है।

विकिरण सुदूर उपचार उपकरण जिसमें एक उच्च विकिरणधर्मी (50.9 TBq) सीज़ियम -137 स्रोत लगाया हुआ था, चुरा लिया गया और उसके कवच को तोड़कर स्रोत को खोल दिया गया। अगले दो सप्ताह में घुलनशील सीज़ियम क्लोराइड चूर्ण पूरे कबाड़ख़ाने तथा पास-पड़ोस के घरों में फ़ैल गया। बहुत सारे लोगों में बीमारी के लक्षण एवं त्वचा पर घाव दिखाई दिए और 110 000 लोगों का विकिरण संदूषण मापन हेतु परीक्षण करना पड़ा। जिनमें से बहुत लोगों को सीज़ियम-137 के कारण आतंरिक विकिरण डोज़ मिली थी। इस दुर्घटना के कारण चार लोगों की मौत हो गयी जिनमें एक बच्चा भी शामिल था।

3.3. सर्वसाधारण जनता तथा कर्मचारियों को मिलने वाली औसतन विकिरण मात्रा

आम तौर पर सर्वसाधारण जनता को मिलने वाले कुल विकिरण में प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली डोज़ का योगदान प्रमुख होता है। UNSCEAR ने एक व्यक्ति को मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी विकिरण डोज़ का आकलन किया है जो लगभग 3 mSv के बराबर है। प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली औसतन वार्षिक विकिरण डोज़ 2.4 mSv होती है, जिसका दो तिहाई (2/3) हिस्सा उन विकिरणधर्मी पदार्थों से मिलता है जो उस हवा में मौजूद होते हैं, जिसमें हम साँस लेते हैं, उस अन्न में जिसे हम खाते हैं और उस पानी में जिसे हम पीते हैं। कृत्रिम विकिरण स्रोतों से मिलने वाली विकिरण डोज़ का मुख्य स्रोत चिकित्सीय विकिरण होता है। जिसके अंतर्गत प्रतिव्यक्ति औसत वार्षिक प्रभावी डोज़ 0.62 mSv होती हैं। चिकित्सीय विकिरण डोज़ में क्षेत्र, देश और स्वास्थ्य-सेवा प्रणालियों के हिसाब से भिन्नता होती है। UNSCEAR के आकलन के मुताबिक विकिरण के

विकिरण स्रोतों द्वारा औसत जन उद्भासन*



*प्रतिवर्ष में एक व्यक्ति के प्रभावी डोज़ का अनुमान (विश्व औसत)।

चिकित्सीय अनुप्रयोगों से मिलने वाली औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ औद्योगिक देशों में 1.9 mSv तथा गैर-औद्योगिक देशों में 0.32 mSv पायी गयी है। हालांकि इन आंकड़ों में निश्चित रूप से काफी विविधता हैं (उदाहरण के तौर पर अमेरिका में यह आंकड़ा 3 mSv जबकि केन्या में यह सिर्फ 0.05 mSv है)।

1990 के दशक तक कर्मचारियों को मिलने वाली विकिरण डोज़ के विषय में पूरा ध्यान कृत्रिम स्रोतों पर ही एकत्रित किया जाता था। लेकिन हाल ही में इस बात का पता चला है कि बड़ी संख्या में ऐसे कर्मचारी हैं जो मुख्य रूप से खनन उद्योगों से सम्बंधित हैं, जिन्हें प्राकृतिक स्रोतों से विकिरण डोज़ मिलती है। खनन क्षेत्र के कुछ व्यवसाय ऐसे हैं जिनमें विकिरण डोज़ मिलने का मुख्य कारण

रेडॉनयुक्त वायु का श्वसन है। जबकि यूरेनियम की भूमिगत खदानों में रेडॉनयुक्त वायु का बाहर निकलना, नाभिकीय उद्योग से संबंधित लोगों में व्यावसायिक विकिरण डोज़ की काफी मात्रा में बढ़ोतरी करता है। फिर भी नाभिकीय उद्योग के कर्मचारी को मिलने वाली वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ जो 1970 के दशक में 4.4 mSv थी आज घटकर लगभग 1 mSv रह गई है। हालांकि कोयले के खदान के कर्मचारी को मिलने वाली वार्षिक औसतन प्रभावी डोज़ अभी भी 2.4 mSv तथा दूसरी अन्य खदानों के कर्मचारियों के लिए यह लगभग 3 mSv है।

मौजूदा अनुमान के अनुसार दुनिया भर में विकिरण परीक्षण किये जाने वाले कर्मचारियों की संख्या 230 लाख है और उनमें से 100 लाख कर्मचारियों को कृत्रिम विकिरण स्रोतों से डोज़ मिलती है। उन कर्मचारियों में से, जिन्हें कृत्रिम विकिरण स्रोतों से डोज़ मिलती है तीन चौथाई कर्मचारी चिकित्सीय-क्षेत्र में काम करते हैं और उन्हें 0.5 mSv जितनी वार्षिक प्रभावी डोज़ प्रति व्यक्ति मिलती है। प्रति व्यक्ति औसतन वार्षिक प्रभावी डोज़ के रुझानों का मूल्यांकन यह दर्शाता है कि प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली विकिरण की मात्रा बढ़ रही है, जिसका कारण है खनन उद्योग; और कृत्रिम स्रोतों से मिलने वाली विकिरण डोज़ कम हो रही है, जिसका कारण है विकिरण संरक्षण विधियों का सफलता पूर्वक क्रियान्वयन।

कर्मचारियों को मिलने वाली वैश्विक विकिरण मात्रा के रुझान (mSv)*

स्रोत	1970	1980	1990	2000
प्राकृतिक				
हवाई जहाजकर्मी	—	3.0	3.0	3.0
कोयला खदान	—	0.9	0.7	2.4
अन्य खदानें**	—	1.0	2.7	3.0
विविध	—	6.0	4.8	4.8
कुल	—	1.7	1.8	2.9
कृत्रिम				
चिकित्सीय उपयोग	0.8	0.6	0.3	0.5
नाभिकीय उद्योग	4.4	3.7	1.8	1.0
अन्य उद्योग	1.6	1.4	0.5	0.3
विविध	1.1	0.6	0.2	0.1
कुल	1.7	1.4	0.6	0.5

*एक वर्ष में प्रति कर्मचारी औसतन प्रभावी विकिरण मात्रा का अनुमान।

** यूरेनियम की खदानें नाभिकीय उद्योगों में शामिल है।

UNSCEAR के प्रकाशन

अपनी स्थापना के समय से UNSCEAR ने 25 से अधिक महत्वपूर्ण रिपोर्ट और 100 से अधिक वैज्ञानिक/पूरक अंशों को प्रकाशित किया है, जो परमाणु अस्त्रों के परीक्षणों से, परमाणु विद्युत संयंत्रों से, विकिरण के चिकित्सीय उपयोगों से, व्यावसायिक विकिरण स्रोतों से, तथा प्राकृतिक स्रोतों से मिलने वाली विकिरण डोज़ के जाँच पड़ताल के आधिकारिक मूल्यांकनों के विश्वसनीय मुख्य स्रोतों के रूप में जाने जाते हैं। इसके अलावा UNSCEAR विकिरण प्रेरित कर्करोग एवं आनुवंशिक रोगों के विस्तृत अध्ययनों का मूल्यांकन भी करता है और विकिरण दुर्घटनाओं के स्वास्थ्य एवं पर्यावरण पर होने वाले प्रभावों का निर्धारण भी करता है। UNSCEAR की रिपोर्टों एवं उसके वैज्ञानिक पूरक अंशों को संयुक्त राष्ट्र संघ के विक्रय प्रकाशनों के रूप में (unp.un.org) और उनकी इलेक्ट्रॉनिक प्रतिलिपियों को (unscear.org), संयुक्त राष्ट्र संघ के सदस्य देशों के वैज्ञानिक समुदायों तथा सर्वसामान्य जनता को उनकी जानकारी के लिए निःशुल्क दिया जाता है ताकि उसके निष्कर्षों को इन सबके फायदे के लिए उन तक पहुँचाया जा सके।

आपकी राय तथा टिप्पणियों का हम स्वागत करते हैं जिनका इंतजार इस पते पर रहेगा:

UNSCEAR सचिवालय
विएना अंतर्राष्ट्रीय केंद्र
P.O. Box 500
1400 विएना, ऑस्ट्रिया
E-mail: unscear@unscear.org

वर्ष 1955 में, आयनकारी विकिरण के स्तर और उनके प्रभावों के विषय में जानकारी को इकट्ठा करने तथा उसका मूल्यांकन करने के लिए संयुक्त राष्ट्र आम सभा ने परमाण्विक विकिरण के प्रभावों के विषय में संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति (UNSCEAR) का गठन किया।

ऐसा, आयनकारी विकिरणों के मनुष्य के स्वास्थ्य तथा पर्यावरण पर होने वाले प्रभावों के बारे में चिंता के कारण किया गया क्योंकि उस समय नाभिकीय अस्त्रों के वातावरण में किए गए परीक्षणों से निकलने वाला विकिरण हवा, पानी तथा अन्न के माध्यम से लोगों तक पहुँच रहा था। UNSCEAR की पहली रिपोर्ट ने वह वैज्ञानिक आधार प्रदान किया जिस पर 1963 में आंशिक परीक्षण प्रतिबंध संधि पर समझौता हुआ था, जिसमे परमाणु अस्त्रों के वातावरण में किए जाने वाले परीक्षणों पर रोक लगने पर विचार किया गया।

इस प्रकाशन में विकिरण के स्तर और उनके प्रभावों के विषय में प्राप्त नवीनतम जानकारी को वस्तुनिष्ठ तरीके से इस प्रकार से प्रस्तुत करने की कोशिश की गयी है जो सर्वसामान्य पाठकों को सुगम और सुलभ हो। यह प्रकाशन UNSCEAR के वैज्ञानिक रिपोर्टों पर आधारित है जिनका उपयोग इस प्रकाशन हेतु जानकारी के प्रमुख स्रोत के रूप में किया गया है।

UNEP