UNIVERSAL
LIBRARY
OU_186410
UNIVERSAL
LIBRARY

OSMANIA UNIVERSITY LIBRARY

Call No. H539 | S22X Accession No. G.H. 2575

Author संसार चन्द्र

Title ... किरण | 1959

This book should be returned on or before the date last marked below.

एक्स-किरण

लोकोदय विज्ञान-माला

एक्स-किरण

[एक्स-किरणों के आविष्कार, स्वभाव और उपयोग की रोचक कहानी]

संसारचन्द्र

राजकमल

राजकमल प्रकाशन

दिल्ली बम्बई इलाहाबाद पटना मद्रास

युनेस्को के सहयोग से प्रकाशित
प्रथम संस्करण, मार्च १९५९

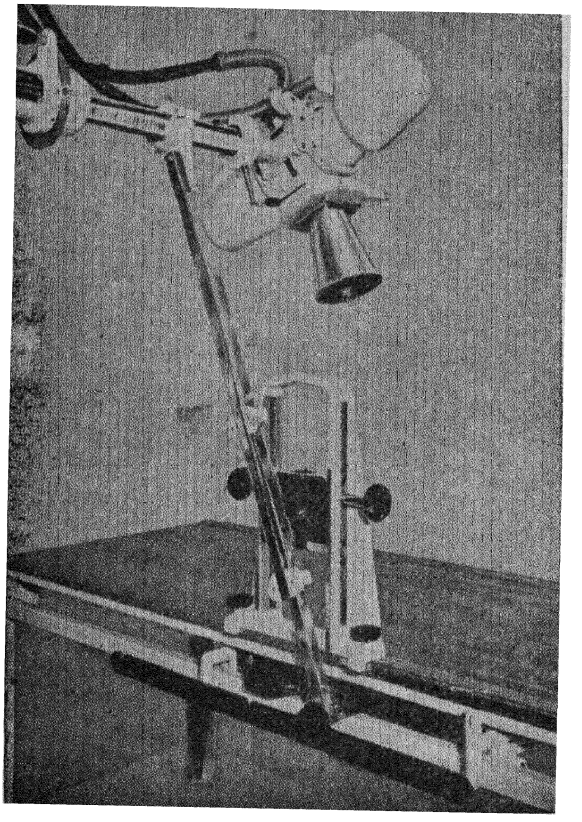
मूल्य दो रुपया

राजकमल प्रकाशन प्राइवेट लिमिटेड, दिल्ली द्वारा प्रकाशित एवं
दि इलाहाबाद ब्लाक वर्क्स प्राइवेट लिमिटेड, इलाहाबाद में मुद्रित

इस पुस्तक-माला का मूल उद्देश्य पाठकों को विज्ञान और वैज्ञानिक प्रगति के विभिन्न अंग-उपांगों की सरल और सुबोध शैली में जानकारी देना है। विज्ञान की विभिन्न शाखाओं पर अलग-अलग पुस्तकें प्रकाशित की जा रही हैं।

क्रम

१.	एक्स-किरणों का जन्म	... ...	६
२.	विद्युत्-चुम्बकीय विकिरण	... ...	१५
३.	परमाणु और इलेक्ट्रोन	... ...	२४
४.	एक्स-किरणों की प्रकृति और एक्स-किरण यन्त्र	...	२६
५.	निदान और चिकित्सा में प्रयोग	... ...	३६
६.	औद्योगिक तथा अन्य उपयोग	... ...	४६



एक्स-किरणों की खोज, उनका ज्ञान और उपयोग मनुष्य के हाथ में बड़ा ही सक्षम अस्त्र है। इसके द्वारा मनुष्य प्रकृति के ढके-मुँदे रहस्यों को ही नहीं खोलता, विकृतियों का पता भी लगाता और प्राकृतिक परिवर्तनों में गति भी लाता है। मानव-कल्याण के जितने आविष्कार-अनुसन्धान इस युग में हुए हैं, एक्स-किरणों का स्थान उनमें सर्वोपरि है।

१. एक्स-किरणों का जन्म

एक्स-किरणों (एक्स-रेज़) के नाम से विज्ञान और चिकित्सा-शास्त्र के विद्यार्थियों के अलावा वे लोग भी परिचित होंगे जिन्हें डाक्टरों के कहने के अनुसार अपनी छाती अथवा दिल का, किसी हड्डी के टूटने या शरीर के अन्दर के कैंसर या पथरी जैसी किसी अन्य बीमारी का एक्स-रेज़ परीक्षण करवाना पड़ा हो। बहुत बड़े-बड़े कैमरों के सामने बीमार को खड़ा करते या लिटा देते हैं। कैमरे-जैसे इस यंत्र में से कुछ ऐसी अदृश्य किरणें निकलती हैं जो मनुष्य के रग और पुट्ठों को भेदती हुई पीछे रखी प्लेटों पर अक्स छोड़ जाती हैं। यह अक्स अथवा प्रतिच्छाया रेडियोग्राफ कहलाती है।

इन अदृश्य किरणों को एक्स-रेज़ अथवा एक्स-किरणें कहते हैं। आमतौर पर इन किरणों को पारदर्शी किरणें कहकर पुकारा जाता है। लेकिन असल में ये किरणें पारदर्शी नहीं होतीं। अपने गुण-धर्म की बदौलत १२ इंच तक मोटी लोहे की दीवार जैसी बाधाओं का भी भेदन करने के कारण इन्हें पारदर्शी कहा जाने लगा है। ये किरणें क्या हैं और प्रकाश की अन्य किरणों की तरह गत्ते या धातुओं के मोटे पत्तर भी इनकी राह क्यों नहीं रोक पाते इसके बारे में हम आगे विस्तार में पढ़ेंगे।

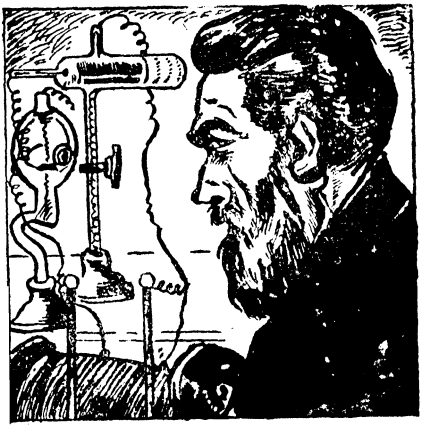
एक्स-किरणों के आविष्कार की कहानी विद्युत् के गुण,

धर्म और स्वभाव के ज्ञान के विकास के साथ जुड़ी हुई है। १९वीं सदी में विद्युत् का आविष्कार और प्रयोग शुरू हो चुका था। इसकी सहायता से कल-कारखाने चलाये जा रहे थे, और घरों को रोशन भी किया जा रहा था। इसे लेकर वैज्ञानिक तरह-तरह के प्रयोग भी कर रहे थे, यद्यपि तब तक वे इसके गुण, धर्म और स्वभाव को ठीक तरह से पहचान नहीं पाये थे।

ज्यादातर लोग इस बात को जानते हैं कि विद्युत् की दो धाराएँ होती हैं—एक धारा को ऋणात्मक (नेगेटिव) कहते हैं तथा दूसरी को धनात्मक (पॉज़िटिव)। १९वीं सदी के वैज्ञानिकों ने अपने विभिन्न प्रयोगों के समय देखा कि काँच की किसी ऐसी नली में, जिसमें एक तरफ धनाग्र (एनोड) तथा दूसरी तरफ ऋणाग्र (कैथोड) लगा हो, यदि विद्युत् की धारा प्रवाहित की जाये और उस नली में से धीमे-धीमे निर्वात (वैक्यूम) पम्प द्वारा हवा निकाली जाती रहे तो पहले नली में एक-जैसी गुलाबी रोशनी भर जाती है। हवा के दाब के कम होने के साथ-साथ ऋणाग्र के आसपास का क्षेत्र काला पड़ जाता है। जब निर्वात-पम्प द्वारा हवा और भी निकाल दी जाती है तो ऋणाग्र से धनाग्र की तरफ शक्ति की एक धारा बहने लगती है, जिसका रंग नीला होता है। नीले रंगवाली इस शक्ति-धारा को वैज्ञानिक शब्दावली में ऋणाग्र-किरणें (कैथोड-रेज़) कहते हैं। हवा का दाब जैसे ही खतम होने को होता है इन ऋणाग्र-किरणों का दीखना बन्द हो जाता है, हालाँकि इनका प्रवाह जारी रहता है। प्रवाह जारी रहता है यह हम कैसे जानते हैं? जहाँ ऋणाग्र-किरणें नली के काँच से टकराती हैं, वहाँ काँच एक फीकी हरी रोशनी से प्रदीप्त हो उठता है।

अपने प्रयोगों के दौरान में वैज्ञानिकों ने यह भी पाया कि नली के भीतर की ऋणाग्र-किरणों का चुम्बक के प्रभाव से विक्षेप (डिफ्लेक्शन) किया जा सकता है। इसी से वैज्ञानिक इस नतीजे पर पहुँचे कि ये किरणें प्रकाश की साधारण किरणों से भिन्न हैं। जो विक्षेप दिखायी पड़ा, उससे अनुमान लगाया गया कि असल में विद्युत् विद्युत्-शक्ति लिये हुए छोटे-छोटे कणों का प्रवाह है और ऋणाग्र से निकलने के कारण उनकी विद्युत् ऋणात्मक होनी चाहिए। इन ऋणात्मक विद्युत्धारी कणों को वैज्ञानिकों ने इलेक्ट्रोन नाम दिया।

जर्मनी के रोंटजन नाम के एक वैज्ञानिक भी इस प्रयोग को क्रुक्स नली की सहायता से कर रहे थे। उन्होंने ऋणाग्र



एक्स-किरणों के आविष्कारक
परीक्षण करते हुए विल्हेल्म कोन्राड रोंटजन

तथा धनाग्र के बीच बहती हुई ऋणाग्र-किरणों को धातु की एक पतली पत्ती से रोकने की कोशिश की। लेकिन किरणों के बहाव को पत्ती से रोका न जा सका।

कुछ रासायनिक यौगिक ऐसे होते हैं जो एक विशिष्ट प्रकार की किरणों के पड़ने से चमकने लगते हैं। ऐसा ही एक यौगिक, बैरियम प्लाटिनोसायनाइड, उनके पास पड़ा था। जब वह सहसा प्रदीप्त हो उठा तो रोंटजन ने यही नतीजा निकाला कि ऐसा ऋणाग्र-किरणों की राह में रुकावट पड़ने से जो परावर्तन हुआ है यह प्रतिदीप्ति उसी के कारण होनी चाहिए। अब उन्होंने प्रतिदीप्त होनेवाले रासायनिक यौगिक तथा नली के बीच में पहले गत्ता और बाद में धातु के पत्तर रखकर रुकावट डालनी चाही, लेकिन प्रतिदीप्ति फिर भी कायम रही। जो अदृश्य परावर्तित किरणें नली से बाहर आ रही थीं, उन्होंने गत्ते और धातु के पत्तर की बाधा का भी आसानी से भेदन कर लिया। जब उन्होंने नली तथा दूर रखे हुए एक प्रतिदीप्त होनेवाले यौगिक से लिपे हुए आवरण के बीच अन्य बाधाएँ भी रखीं तो ये किरणें उनका भी भेदन कर के आवरण पर प्रतिच्छाया डालने में समर्थ रहीं। तब वह इस नतीजे पर पहुँचे कि ये किरणें अभी तक जानी गयी सभी किरणों से बिलकुल भिन्न और नये किस्म की हैं और उन्होंने उनको एक्स-किरणों का नाम दिया।

एक्स-किरणों की वास्तविक प्रकृति को जानने में वैज्ञानिकों को लगभग १० वर्ष का समय लग गया। पाया गया कि यदि ऋणाग्र से निकलनेवाली किरणें धातु-निर्मित लक्ष्य से टकरायें तो कहीं अधिक शक्तिशाली एक्स-किरणें पैदा हो जाती हैं। वायु, जो अन्यथा विद्युत् की चालक नहीं है, एक्स-किरणों की शक्ति से विद्युत् का चालन करने लगती है। एक्स-किरणें क्या हैं और क्योंकर पैदा होती हैं, उनके समान गुणधर्मा किरणें और कौन-सी हैं, इन बातों को जानने के लिए

कई देशों के अनेक वैज्ञानिक जुट गये।

रोंटजन तथा अन्य वैज्ञानिकों के परीक्षणों के परिणाम-स्वरूप यह पाया गया कि एक्स-किरणें प्रायः सभी पदार्थों का भेदन कर सकती हैं। उनकी भेदन की शक्ति लकड़ी, अल्यूमीनियम, और सीसे के लिए क्रमशः कम होती जाती है। बैरियम प्लाटिनोसायनाइड जैसे प्रतिदीप्त होनेवाले कई अन्य रासायनिक यौगिकों और तत्वों, जैसे कैल्शियम के यौगिक, यूरेनियम, काँच, खनिज नमक इत्यादि का भी पता चला। यह भी पता चला कि फोटो छापने के कागज और फिल्मों पर भी एक्स-किरणें अपना प्रभाव छोड़ जाती हैं।

एक्स-किरणों के इस आकस्मिक आविष्कार ने न केवल मानव-शरीर के अनेक भीतरी रोगों के निदान तथा चिकित्सा को आसान कर दिया वरन् परमाणु के वास्तविक भेद और उसकी बनावट को जानने का रास्ता भी खोल दिया। पुरातन काल से पूर्व और पश्चिम के वैज्ञानिक संहति (मैटर = जिस पदार्थ से संसार के सब पदार्थ बने हैं) के उस छोटे से कण को परमाणु कहते आ रहे थे, जिसका और विभाजन न किया जा सकता हो। अणु (मौलीक्यूल) और परमाणु (एटम) में स्थूलता के भेद के अतिरिक्त और कोई भेद नहीं माना जाता था। न लोग गर्मी, प्रकाश, चुम्बकीय शक्ति, इन्द्रधनुष के सात रंगों, आकाश में चमकनेवाली बिजली आदि के वैज्ञानिक सत्य को ही जानते थे। प्राचीन युग के वैज्ञानिक तथा दार्शनिक सृष्टि की रचना चार या पाँच तत्वों से मानते थे, जिनके बारे में पता चला है कि वे 'तत्व' ही नहीं हैं। परमाणु का अंग्रेजी नाम 'एटम' है, जो एक यूनानी शब्द से निकला है और जिसका अर्थ 'अकाट्य'

है। हमारे देश में सूरज की किरणों में देख पड़नेवाले धूल के कणों को परमाणु कहा जाता था—जब कि सत्य यह है कि उस धूल के एक कण में भी इतने परमाणु होते हैं जितनी कि इस संसार के कुल मनुष्यों की आबादी !

२. विद्युत्-चुम्बकीय विकिरण

इलेक्ट्रोनों के बारे में परिचय पा लेने के बाद वैज्ञानिक प्राकृतिक रूप में पाये जानेवाले विकिरणों की खोज तथा उनका भेद जानने में लग गये। उन्हें कुछ ऐसे तत्वों का पता था जिनमें से प्रकाश की किरणें स्वतः प्रसारित हुआ करती थीं। ऐसा एक तत्व यूरेनियम था। इसके कुछ रासायनिक यौगिकों से ऐसी चीजें बनायी जाती थीं जो अँधेरे में चमका करती थीं। यूरेनियम के रासायनिक यौगिकों को थोड़ी देर धूप में रखकर लोग उनकी प्रतिदीप्ति देखा करते थे, और यही समझते थे कि यह प्रतिदीप्ति धूप के कारण है।

एक वैज्ञानिक ने यूरेनियम के इस यौगिक को लेकर परीक्षण शुरू किये। उसने इसे धूप में रखकर फिर इस प्रतिदीप्त यौगिक को अच्छी तरह से एक काले कागज़ में लपेटकर फोटोग्राफी की एक प्लेट पर रखा। प्लेट को जब धोया गया तो उसने देखा कि जहाँ-जहाँ यूरेनियम के यौगिकों की पुड़िया रखी गयी थीं वहाँ-वहाँ प्लेट पर धुँधले धब्बे पड़ गये। यौगिक को खासे मोटे काले कागज़ में लपेटकर रखने के बावजूद प्लेट पर ये धब्बे पड़े थे। इसके बाद उसने बिना धूप में रखे ही उसी यौगिक को अँधेरे में फोटोग्राफी की प्लेट पर रखा। धूप में न रखने के कारण यह यौगिक प्रतिदीप्त भी नहीं हो रहा था।

लेकिन प्लेटों पर फिर भी धुँधले धब्बों की छपाई आ ही गयी। इसका अर्थ यह हुआ कि उस यौगिक से जो किरणें निकल रही थीं, वे कागज़ की बाधा को पार करके प्लेट तक पहुँचने की क्षमता रखती थीं। वास्तव में यह यूरेनियम की प्राकृतिक विकिरणशीलता थी, जिसका पूरा-पूरा ज्ञान वैज्ञानिकों को बाद में हुआ।

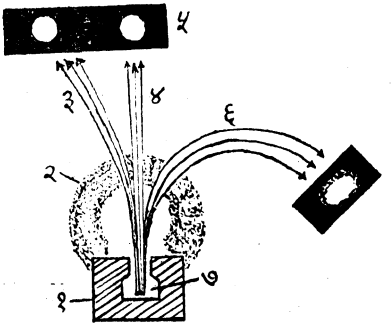
यूरेनियम की विकिरणशील प्रकृति के बारे में वैज्ञानिकों की दिलचस्पी इसके बाद बढ़ी। फ्रांस के प्रसिद्ध वैज्ञानिक पति-

पोलोनियम और रेडियम तत्वों के अन्वेषक
पीअर और मेरी क्यूरी

पत्नी पीअर तथा मेरी क्यूरी ने यूरेनियम के यौगिक के स्थान पर कच्चे यूरेनियम (यूरेनियम ओर) से प्रयोग आरम्भ किये। उन्होंने कच्ची धातु से उसके उस 'जीवित' अंश को अलग करना शुरू किया जो अधिक विकिरणशील था। कच्चे यूरेनियम से वे एक अत्यधिक विकिरणशील धातु को निकाल पाये जिसका नाम उन्होंने पोलोनियम रखा। इसके बाद वे इस धातु से भी अधिक

विकिरणशील तत्व की खोज में लगे रहे और लगभग २८ मन कच्चे यूरेनियम में से वे लगभग ढाई रत्ती वजन के ऐसे हिस्से को अलग करने में सफल हुए जो अँधेरे में लगातार चमकता रहता था और बाह्य वातावरण से जिसका तापमान ५ डिग्री अधिक रहता था। इस तत्व का नाम उन्होंने रेडियम रखा।

रेडियम का पता लगते ही उसके बारे में और अधिक जानकारी प्राप्त करने की उत्सुकता वैज्ञानिकों में पैदा हो गयी। क्योंकि ऐसा 'जीवित' तत्व उनके देखने में पहले नहीं आया था। रेडियम को सीसे के पिंडक में रखा गया और उसकी किरणों को एक बहुत बारीक छेद में से बाहर निकलने दिया गया। विभिन्न परीक्षणों के दौरान में किरणों के नीचे एक चुम्बक रखा गया



१. सीसे का पिंडक २. चुम्बकीय क्षेत्र ३. बीटा-किरणें ४. गामा-किरणें ५. प्रतिदीप्त होनेवाला आवरण ६. अल्फ़ा-किरणें ७. यूरेनियम

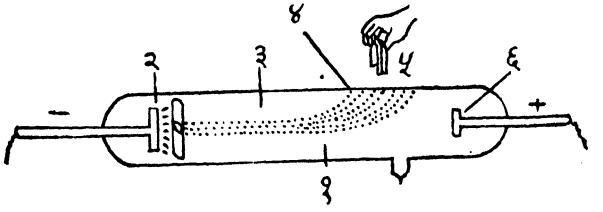
प्राकृतिक विकिरण और उससे पैदा होनेवाली विभिन्न किरणें

ताकि उन पर चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव की जाँच की जा सके। देखा गया कि रेडियम में से निकलनेवाली कुछ किरणें बाईं ओर,

और कुछ दायीं ओर झुक गयीं। तथा कुछ सीधी ही रहीं।

जो किरणें दाईं ओर झुकीं, उन्हें अल्फ़ा-किरणों (अल्फ़ा-रेज़) तथा जो बाईं ओर झुकीं, उन्हें बीटा-किरणों (बीटा-रेज़) का नाम दिया गया। चुम्बकीय शक्ति के प्रभाव के कारण ऋणात्मक विद्युत् शक्ति बाईं ओर झुक जाती है, इसलिए माना गया कि बीटा-किरणों में ऋणात्मक विद्युत् का प्रभाव है। अल्फ़ा-किरणों में धनात्मक विद्युत् का होना साबित हुआ, यद्यपि इनकी प्रकृति की अधिक जानकारी काफी कठिनाइयों के बाद जानी जा सकी। वैज्ञानिकों को अल्फ़ा-किरणों जैसी किसी किरणों से पहले वास्ता नहीं पड़ा था।

अधिक खोज करने से पता चला कि वास्तव में बीटा-किरणें

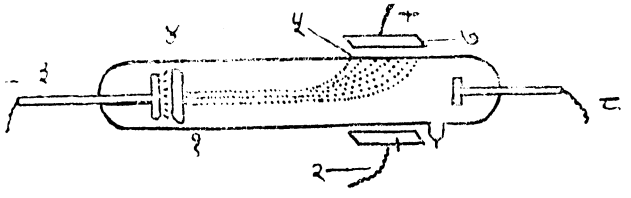


१. ऋणाग्र किरणें २. ऋणाग्र ३. ऋणाग्र-किरणों का दण्ड
४. प्रतिदीप्ति का प्रलेपक किरणों के टकराने पर चमक उठता है
५. चुम्बक ६. धनाग्र

ऋणाग्र-किरणों में चुम्बकीय प्रभाव से वक्रता आ जाती है।

इलेक्ट्रोनों का प्रवाह ही है। ये इलेक्ट्रोन रेडियम के परमाणु से छटककर निकल रहे थे और प्रकाश के वेग से, जो एक सेकण्ड में १,८६,००० मील है, गतिमान हो रहे थे।

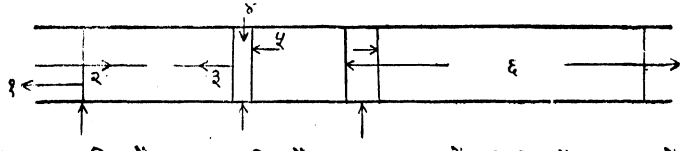
जो किरणें सीधी जा रही थीं, उन्हें भी बड़े प्रयत्नों के बाद जाना जा सका। उनका नाम गामा-किरणें (गामा-रेज़) रखा गया। बाद के परीक्षणों और प्रयोगों से पता चला कि



१. ताँबे की प्लेट २. ऋणात्मक विद्युत्-प्रवाह ३. ऋणाग्र ४. ऋणाग्र ५. प्रतिदीप्ति होनेवाला प्रलेप किरणों के टकराने पर चमक उठता है ६. धनात्मक विद्युत्-प्रवाह ७. ताँबे की प्लेट ८. धनाग्र

ऋणाग्र-किरणों के प्रवाह की दिशा में विद्युत् क्षेत्र के प्रभाव से भी वक्रता आ जाती है। मुड़ जानेवाली किरणें ऋणात्मक हैं, यह इससे भी सिद्ध होता है कि वे धनात्मकविद्युत् लिये हुए ताँबे की प्लेट की ओर मुड़ती हैं। प्रकाश तथा एक्स-किरणों की जो प्रकृति है वही इन किरणों की भी है। इनकी भेदनशीलता की क्षमता एक्स-किरणों से भी अधिक पायी गयी।

रेडियम—जैसी विकिरणशीलता प्रकृति में अन्यत्र भी पायी जाती है। वैज्ञानिक इस नतीजे पर पहुँचे कि विद्युत्-चुम्बकीय विकिरणशीलता का क्षेत्र बहुत बड़ा है। विकिरणशीलता तरंगों द्वारा भी प्रसारित होती है और विकिरणशील कणों के प्रवाह



१. गामा-किरणें २. एक्स-किरणें ३. सूक्ष्म परा-बैंगनी किरणें ४. परा-बैंगनी दीख पड़नेवाला प्रकाश ५. उष्मा की किरणें ६. रेडियो तरंगें; परा-बैंगनी और उष्मा किरणों के बीच जो रोशनी हमें दीखती है उसकी किरणें होती हैं

विद्युत् चुम्बकीय प्रवाहों की रंगावली (स्पेक्ट्रम)

से भी। विकिरणशील तरंगों की किस्में उनके तरंग-दैर्घ्य (वेव लेंग्थ) के छोटा होने अथवा उनकी आवृत्ति (फ्रीक्वेन्सी) बढ़

जाने के अनुक्रम में इस प्रकार होती हैं : (१) रेडियो तरंगें, जिनका तरंग-दैर्ध्य हजारों गज का होता है, प्रयोगशालाओं में कुछ इंचों की दीर्घतावाली रेडियो तरंगें भी पैदा की गयी हैं। (२) प्रकाश के वर्णक्रम (स्पेक्ट्रम) के एक छोर के परे चलनेवाली अवरक्त (इन्फ्रा-रेड) किरणें। यहाँ हम यह जान लें कि प्रकाश भी तरंगों द्वारा प्रसारित होता है और यह सात रंगों से बना है। प्रत्येक रंग का तरंग-दैर्ध्य विभिन्न है। सबसे अधिक तरंग-दैर्ध्य लाल रंग का और सबसे कम बैंगनी रंग का होता है। प्रकाश के सात रंगों के तरंग-दैर्ध्य के अतिरिक्त तरंग-दैर्ध्यों के बारे में हम ऐसा कह सकते हैं कि वे भी कोई ऐसे रंग हैं जो हमें दीख नहीं पड़ते। अवरक्त किरणों को उष्मा की विकिरणशीलता (हीट-रेडिएशन) भी कहते हैं; (३) दृश्य प्रकाश की तरंगें, अर्थात् जो रोशनी हमें दीखती है उसकी किरणें; (४) प्रकाश के वर्णक्रम के दूसरे छोर पर बहनेवाली परा-बैंगनी (अल्ट्रा-वायलेट) किरणें; (५) इनके बाद के क्षेत्र में कुछ ऐसी विकिरणशील तरंगों का पता हाल ही में वैज्ञानिकों को चल रहा है जिसके बारे में परीक्षण-सम्बन्धी अत्यधिक कठिनाइयाँ हैं; इन तरंगों को सब पदार्थ, यहाँ तक कि वायु भी, आत्मसात् कर लेते हैं और परीक्षण केवल सम्पूर्ण रूप से निर्वात परिस्थितियों में ही किया जा सकता है। इन्हें वैज्ञानिक सूक्ष्म परा-बैंगनी (फार अल्ट्रा-वायलेट) किरणें कहकर पुकार रहे हैं; (६) एक्स-किरणें, जिनका तरंग-दैर्ध्य प्रकाश के तरंग-दैर्ध्य का लगभग दस-हजारवाँ हिस्सा होता है; (७) गामा-किरणें, जो रेडियम और इसी के समान विघटनशील तत्वों से प्रसारित होती हैं।

सब प्रकार की इन विकिरणशीलताओं की मूलतः एक ही

प्रकृति होती है। इनकी सीमाएँ विशिष्ट रूप से निर्धारित नहीं हैं और प्रायः एक प्रकार की विद्युत्-चुम्बकीय विकिरणशीलता दूसरी प्रकार की विकिरणशीलता के क्षेत्र में भी पायी जाती है। इनमें भेद, जैसा कि बताया जा चुका है, केवल तरंग-दैर्घ्य का ही है। हजारों गज की रेडियो-तरंगों के मुकाबले में गामा-किरणों का तरंग-दैर्घ्य केवल एक सेंटीमीटर का दस-करोड़वाँ भाग ही होता है।

एक स्थान से दूसरे स्थान पर पहुँचने के लिए इन विद्युत्-चुम्बकीय-विकिरणशील तरंगों को किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं पड़ती। कभी पहले यह विश्वास किया जाता था कि प्रकाश की तरंगें ईथर के माध्यम से उसी प्रकार प्रसारित होती हैं जिस प्रकार ध्वनि-तरंगें वायु के माध्यम से, लेकिन ऐसा नहीं है। ये सब तरंगें शून्य में ही प्रसारित होती हैं। न इन्हें एक स्थान से दूसरे स्थान पर जाते हुए देखा ही जा सकता है। इनके प्रभावों द्वारा ही इन्हें पहचाना जाता है और ये प्रभाव फोटोग्राफी की प्लेटों, हमारी आँखों के रेटिना और आयनीकरण (आयोनाइजेशन = किसी परमाणु से इलेक्ट्रोनों का हटाया या जोड़ा जाना जिससे उसका विद्युत्-सन्तुलन भंग हो जाता है और वहाँ विद्युत् प्रभाव दृष्टि से तटस्थ नहीं रह पाता) के उपादानों में ही देखे जा सकते हैं।

इन विकिरणशील शक्तियों का कणों के रूप में प्रसरण भी देखने में आता है। प्रकाश की तरंगें भी इस प्रकार आचरण करती हैं मानो उनकी शक्ति कणों में (क्वान्टा में) बँधी हो। इन्हें फोटोन कहा जाता है। विकिरणशील तरंगें इन कणों को उनके ध्येय तक पहुँचा देती हैं। विद्युत् के बारे में परीक्षण

करने के बाद वैज्ञानिक इस तथ्य पर पहुँचे हैं कि इसकी शक्ति भी इसके प्रवहमान कणों में ही निहित है।

विकिरणशीलता आखिर होती क्या है? किसी भी स्रोत से किरणों, तरंग-गतियों अथवा कणों के, अर्थात् शक्ति के किसी भी रूप में प्रसरण को विकिरणशीलता कहते हैं। इन सब प्रसरणों को विद्युत्-चुम्बकीय तरंगें भी कहा जाता है। इन सबकी गति का वेग प्रकाश की गति के समान ($२·९९७८ \times १०^{१०}$ सेंटीमीटर, लगभग १,८६,००० मील प्रति सेकण्ड) होता है।

विद्युत्-चुम्बकीय क्षेत्र का यह मौलिक सिद्धान्त है कि जब किसी विद्युत्-धारा के प्रवाह में अचानक तेज़ी आ जाये या कमी हो जाये तो वे विद्युत्-चुम्बकीय तरंगों के रूप में ऊर्जा (इनर्जी) का प्रसरण करने लगती हैं। जब किसी परमाणु के इलेक्ट्रोनों की संख्या व स्थिति में हेर-फेर या घटा-बढ़ी होती है तो परमाणु से विकिरणशील तरंगें प्रवहमान होने लगती हैं और तब तक होती रहती हैं जब तक कि परमाणु के इलेक्ट्रोन अपनी यथापूर्व स्वाभाविक स्थिति व संख्या पर न पहुँच जायें। जब एक तत्व के परमाणु दूसरी किस्म के तत्व के परमाणुओं में अनायास परिवर्तित होने लगते हैं तो परिणामस्वरूप जो शक्ति उपजती है उसे विकिरणशीलता कहते हैं। इस प्रकार के परिवर्तनों का स्वरूप रेडियम या यूरेनियम के तत्वों में देखा जा सकता है, जिनके परमाणु लम्बी विघटनशीलता के बाद सीसे के परमाणुओं में बदल जाते हैं।

परमाणुओं को विकिरणशीलता के प्रसार के लिए, अर्थात् उनके इलेक्ट्रोनों को अपनी कक्षा से तोड़ने के लिए, कुछ साधनों से उत्तेजित किया जा सकता है। जैसे किसी

परमाणु का आयनीकरण उस पर अत्यन्त वेगमय इलेक्ट्रोनों की बौछार करके हो जाता है। एक्स-किरणों की नलियों में इसी साधन का प्रयोग किया जाता है। जिन इलेक्ट्रोनों की बौछार की जाती है, उनकी शक्ति उन इलेक्ट्रोनों से अधिक होनी चाहिए जिन्हें तोड़ना होता है। चाँदी के तत्व के आयनीकरण के लिए २५,६०० वोल्ट की विद्युत्-शक्ति की आवश्यकता होती है। इसी तरह विभिन्न तत्वों के लिए अलग-अलग शक्ति की मात्रा की जरूरत पड़ती है।

जब विकिरणशीलता किसी पदार्थ में से गुज़र जाये तो उस पर कोई प्रभाव नहीं छोड़ती। उसका प्रभाव उन्हीं पदार्थों में देखा जा सकता है जो विकिरणशीलता को जज़्ब करने की ताकत रखते हों।

३. परमाणु और इलेक्ट्रोन

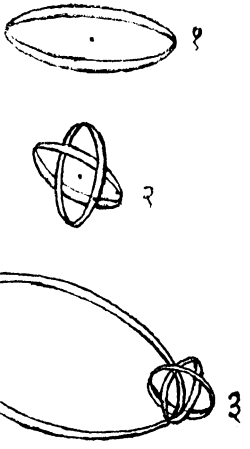
एक्स-किरणों की प्रकृति को समझने के लिए परमाणु के एक अंश—इलेक्ट्रोन—से परिचय पाना आवश्यक है, जो परमाणु के रक्षक खोल की तरह काम करता है। परमाणु के तीन मुख्य अंश होते हैं : केन्द्र (न्यूक्लियस) में प्रोटोन और न्यूट्रोन तथा इन्हें घेरकर विभिन्न कक्षाओं (आर्बिट्स) में चक्कर लगाते हुए इलेक्ट्रोन। प्रोटोन तथा इलेक्ट्रोन विद्युत्-शक्ति के पुंज हैं। प्रोटोन में धनात्मक तथा इलेक्ट्रोन में ऋणात्मक विद्युत् का एक निश्चित मात्रक (यूनिट) रहता है। न्यूट्रोन विद्युत् प्रभाव की दृष्टि से तटस्थ (न्यूट्रल) होता है।

परमाणु तथा इसके तीनों अंशों—प्रोटोन, न्यूट्रोन एवं इलेक्ट्रोन—का आकार कितना छोटा होता है इसका कुछ अनुमान कर लेना आवश्यक है। वैज्ञानिकों ने पता चलाया है कि केन्द्र में धनात्मक शक्तिवाले प्रोटोन का दायरा एक सेंटीमीटर का एक-खरबवाँ ($१०^{१२}$ सेंटीमीटर,–०.००००००००००००१) हिस्सा होता है। संहति का सबसे छोटा भाग होने के कारण परमाणु का वज़न भी होता है जो मुख्यतया केन्द्र के प्रोटोन और न्यूट्रोन की वजह से ही है। न्यूट्रोन का वज़न प्रोटोन की अपेक्षा १८३६वाँ हिस्सा कम होता है। ऋणात्मक विद्युत् के ये कण कल्पनातीत वेग से केन्द्र का

चक्कर लगाते रहते हैं। यदि इतने वेग से ये प्रोटोन के चारों तरफ न घूमते तो उससे स्पर्श करके विद्युत् का विलोप भी कर देते। अपने वेग की अपकेन्द्रीय (सेंट्रीफ्यूगल) शक्ति के कारण ही न्यूट्रोन अपना अलग अस्तित्व बनाये रखते हैं। वैज्ञानिकों का कहना है कि जिस प्रकार सूर्य के चारों तरफ पृथ्वी चक्कर लगाया करती है और परस्पर गुरुत्वाकर्षण के बावजूद भी अपनी अपकेन्द्रीय शक्ति के कारण सूर्य के विशाल अग्निकुण्ड में गिरकर जलने से बची हुई है, उसी सिद्धान्त पर न्यूट्रोन परमाणु के केन्द्र के धनात्मक प्रोटोन के चारों तरफ घूमते रहते हैं। धनात्मक केन्द्र से वे अलग छटक भी नहीं सकते, क्योंकि विद्युत् की ये दो धाराएँ एक-दूसरे को जबर्दस्त आकर्षण से खींचती रहती हैं। धनात्मक और ऋणात्मक विद्युत्-धाराएँ उसी प्रबल वेग से अन्य धनात्मक और ऋणात्मक धाराओं को अपने से दूर भी धकेलती हैं। यदि दो पिनों के सिरे केवल ऋणात्मक विद्युत्-कणों से बने हों और नजदीक ले आये जायें तो वे एक दूसरे को समूची पृथ्वी जितनी जबर्दस्त शक्ति से दूर धकेल देने की क्षमता रखते हैं।

संसार के सब पदार्थ—गैसें, तरल तथा स्थूल पदार्थ-लगभग ९२ विभिन्न तत्वों से बने हैं। इन सब तत्वों का मूल पदार्थ परमाणु है, लेकिन प्रत्येक तत्व के परमाणुओं में प्रोटोनों, न्यूट्रोनों तथा इलेक्ट्रोनों की संख्या अलग-अलग होती है। प्रत्येक तत्व में जितने प्रोटोन होंगे, उतने ही इलेक्ट्रोन भी आवश्यक रूप से विद्यमान रहेंगे यद्यपि न्यूट्रोनों की संख्या प्रोटोनों के बराबर या अधिक हो सकती है। प्रोटोनों तथा न्यूट्रोनों की संख्या पर ही किसी तत्व का वजन आधारित रहता है, क्योंकि

न्यूट्रोनों का वज़न भी प्रोटोनों के बराबर, पर वास्तव में कुछ अधिक ही होता है। हाइड्रोजन प्रकृति का सबसे हल्का तत्व है। इसमें एक प्रोटोन तथा एक इलेक्ट्रोन होता है। हेलियम नाम की गैस में २ प्रोटोन तथा २ इलेक्ट्रोन, लीथियम नाम की धातु में ३ प्रोटोन और ३ इलेक्ट्रोन होते हैं। कार्बन में ६--६, गंधक में १६--१६, लोहे में २६--२६, चाँदी में ४७--



१. हाइड्रोजन २. हेलियम ३. लीथियम

तीन विभिन्न परमाणुओं की बनावट

४७, साने में ७९--७९ तथा यूरेनियम में ९२--९२ प्रोटोन तथा इलेक्ट्रोन होते हैं। न्यूट्रोनों की संख्या इन सब तत्वों में अलग-अलग होती है। लोहे और हीरे जैसे पदार्थों का वज़न, घनत्व और मजबूती इनके परमाणुओं में पाये जानेवाले इलेक्ट्रोनों की संख्या और उनकी अत्यधिक गतिमयता के कारण ही है।

विज्ञान ने संसार में पाये जानेवाले सब तत्वों की क्रम-संख्या निर्धारित कर दी है जिन्हें किसी तत्व का परमाणु

क्रमांक (एटॉमिक नम्बर) कहा जाता है। यह संख्या प्रत्येक तत्व में पाये जानेवाले प्रोटोनों की संख्या के बराबर होती है।

इलेक्ट्रोन किस प्रकार प्रोटोनों के चारों ओर चक्कर लगाते हैं, इस बारे में कई मत हैं। जैसा कि ऊपर कहा गया है कुछ वैज्ञानिकों के अनुसार तो प्रत्येक परमाणु में सौर-मंडल का छोटा रूप ही देखने में आता है। कुछ अन्य वैज्ञानिकों के अनुसार इलेक्ट्रोनों की तरंगें सदा प्रोटोनों के चारों ओर वैसे ही चलायमान रहती हैं जैसे किसी वायलिन के छेड़े गये तारों पर काँपती हुई क्षण-भर को वहीं पर स्थिर जान पड़ने वाली ध्वनि-तरंगें। लेकिन ध्वनि-तरंगों का बहुत ही शीघ्र ह्रास हो जाता है, जब कि अपनी कक्षाओं पर घूमते हुए इलेक्ट्रोनों की शक्ति किंचिन्मात्र भी कम या नष्ट नहीं होती। प्रोटोन तथा इलेक्ट्रोन के बीच के आकाश (स्पेस) में भी ये तरंगें व्याप्त रहती हैं।

सबसे हल्का परमाणु हाइड्रोजन का होता है और सबसे भारी यूरेनियम का। हाइड्रोजन के केन्द्र में जब कि कोई न्यूट्रोन नहीं होता, यूरेनियम के केन्द्र में ९२ प्रोटोनों के साथ १४६ न्यूट्रोन होते हैं। हाइड्रोजन के केन्द्र के चारों ओर जहाँ एक इलेक्ट्रोन चक्कर लगाता है, यूरेनियम के केन्द्र के चारों ओर ९२ इलेक्ट्रोन चक्कर लगाया करते हैं।

इलेक्ट्रोन का पता वैज्ञानिकों को सन् १८९० में लगा और तभी से परमाण्वीय भौतिकी (एटॉमिक फिज़िक्स) की नींव पड़ी। इलेक्ट्रोन का भेद जान लेने पर ही मनुष्य संहति और विद्युत् के पारस्परिक सम्बन्धों को भली-भाँति पहचान सका।

वैज्ञानिकों ने पता चलाया कि यदि किसी भी कारण इलेक्ट्रोन

के रास्ते में कोई रुकावट आ जाये तो वे एक नयी तरह की किरणों को प्रसारित करने लगते हैं, जिन्हें एक्स-किरणें कहा गया। जैसा कि हम पहले बतला आये हैं, किसी प्रकार के भी विद्युत्-प्रवाह के मार्ग में अवरोध आने पर वह प्रकाश की तरह का विकिरण (रेडिएशन) प्रसारित करने लगते हैं, जिसे बाद में विद्युत्-चुम्बकीय विकिरण (इलेक्ट्रोमैग्नेटिक रेडिएशन) के नाम से पुकारा गया।

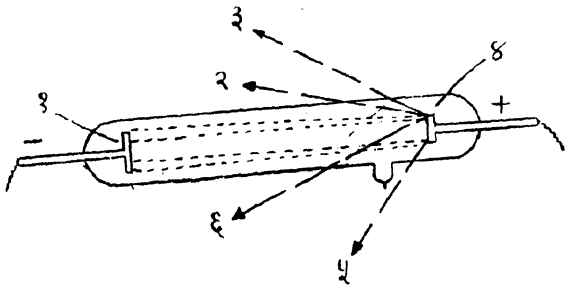
अनेक प्राकृतिक विकिरणशील (रेडियो-ऐक्टिव) तत्वों तथा प्रयोगशालाओं में किये गये परीक्षणों के परिणामस्वरूप वैज्ञानिकों को यह भी मालूम हुआ कि किसी परमाणु के इलेक्ट्रोनों को तोड़ लेना अपेक्षाकृत सरल कार्य है। लेकिन अपनी कक्षा से टूटने पर ही इलेक्ट्रोन विकिरणशील किरणों का प्रसार करने लगते हैं।

४. एक्स-किरणों की प्रकृति और एक्स-किरण यंत्र

विद्युत्-प्रवाह को निर्वात नलियों में से गुजारकर उसके प्रभाव सबसे पहले क्रुक्स की नली (क्रुक्स ट्यूब) में देखे गये। इसके ऋणाग्र में से ऋणात्मक विद्युत् तथा धनाग्र से धनात्मक विद्युत् को जोड़ा जाता था। ऋणाग्र-किरणों का प्रवाह तभी देखने में आता है जब कि नली में वायुमण्डलीय दाब ०.००, ०१३ से ०.००,००,०१३ के बराबर कम हो जाये। ऋणाग्र किरणें मात्र इलेक्ट्रोनों का प्रवाह होती हैं। निर्वात नली में उनका प्रवाह नली की शेष वायु के अणुओं से टकराहट के कारण पैदा हुई नीली रोशनी में दीख पड़ता है। नली से और भी वायु निकाल लिये जाने पर नीली रोशनी का दीखना बन्द हो जाता है, यद्यपि उसका प्रवाह जारी रहता है।

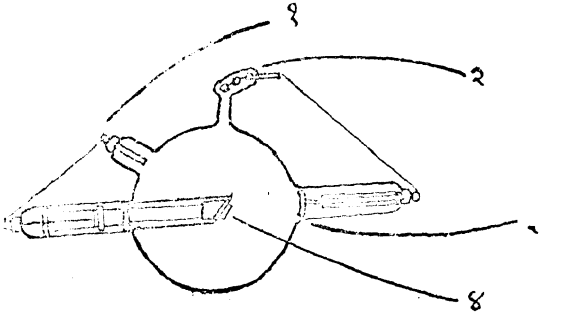
ये ऋणाग्र किरणें जब नली के काँच से टकराती हैं तो वहाँ पर फीकी हरी प्रतिदीप्ति दिखने में आती है। लक्ष्य के अणुओं के आन्दोलित होने पर एक्स-किरणों का जन्म होता है अर्थात् इलेक्ट्रोनों की बौछार जब लक्ष्य के तत्व के परमाणुओं से टकराती है तो ये प्रवाहित होने लगती हैं। लेकिन ऋणाग्र किरणों की उष्मा से काँच पिघलने लगता है, इसलिए बाद में ऋणाग्र-किरणों की बौछार के लक्ष्य धातुओं से बनाये जाने लगे, जो इतनी अधिक उष्मा को सह सकते हैं।

रोंटजन, जिन्होंने एक्स-किरणों को सबसे पहले जाना था, क्रुक्स की नली का ही प्रयोग करते थे। इसके बाद गैस-एक्स-



४. ऋणाग्र २. एक्स-किरणें ३. एक्स-किरणें ४. धातु लक्ष्य धनाग्र ५. एक्स-किरणें ६. एक्स-किरणें

क्रुक्स नली में एक्स-किरणों का जन्म



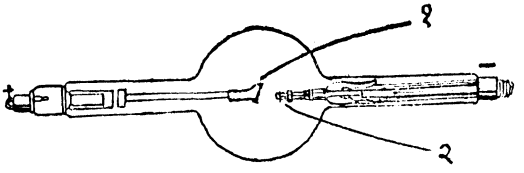
१. सहायक धनाग्र २. रेगुलेटर ३. ऋणाग्र ४. लक्ष्य या धनाग्र

गैस एक्स-किरणों की नली

इसमें अवतल ऋणाग्र से फोकसिंग किया जाता है। लक्ष्य धातु-निर्मित होता है तथा विद्युत्-प्रवाह की सहायता से गैस पैदा करने के लिए रेगुलेटर भी लगा रहता है। अवशेष गैस को निरन्तर जज्ब करने से नली लम्बे प्रयोग के बाद 'कड़ी' हो जाती है।

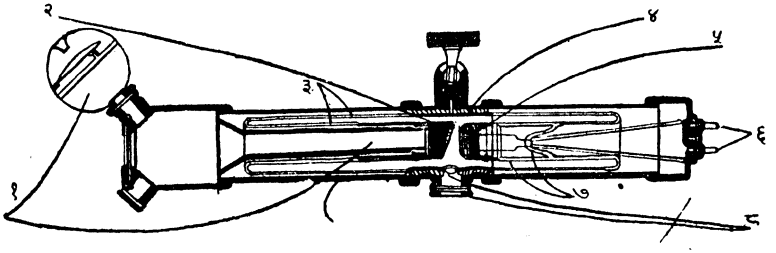
किरणों की नली का निर्माण हुआ, जिसमें अवतल (कोन्केव) ऋणाग्र से ऋणाग्र-किरणें धातु के लक्ष्य पर फेंकी जाती थीं।

सन् १९१३ में कूलिज ने एक विशेष नली का निर्माण किया। कूलिज की एक्स-किरण नली में विद्युत् से गरमाये हुए तापदीप्त (इन्केण्डेसेंट) ऋणाग्र से उस सिद्धान्त के अनुसार इलेक्ट्रोन बहने लगते हैं जैसे उबलते हुए पानी में से भाप। धनाग्र के लक्ष्य को



१. धनाग्र २. ऋणाग्र
कूलिज एक्स-किरण की नली का सरल रूप
इस नली में तापदीप्त ऋणाग्र का प्रयोग किया जाता है।

भी, यदि वह ऐसी धातु से न बना हो जो काफी ताप से पिघलने लगे, इसी प्रकार तापदीप्त होने दिया जाता है। धनाग्र को ठंडा करने के लिए तरह-तरह के साधनों का प्रयोग किया जाता है।



१. ताप को पानी से ठंडा करने के उपकरण २. धनाग्र ३. शीशे के बने खोल ४. सीसे का रक्षक सिलिंडर ५. ऋणाग्र तन्तु ६. धनाग्र तन्तुओं के सिरे ७. शीशे का निर्वात खोल ८. एक्स-किरणों के निकलने की खिड़की
'मेटालिक्स' एक्स-किरण नली

इन नलियों के अन्दर का दाब वायुमण्डल के सामान्य दाब के एक-अरबवें हिस्से तक कम कर दिया जाता है। दाब को इतना कम करने के लिए भी विशेष यंत्रों का आविष्कार हुआ है जिसकी

आवश्यकता इसलिए पड़ी कि नली के अन्दर वायु के कोई ऐसे कण न रहने पायें, जिनसे टकराकर ऋणाग्र-किरणें उनका आयनीकरण करने लगें।

इधर 'मेटालिक्स' एक्स-किरणों की नली का ईजाद हुआ है। इसमें ऋणाग्र तथा धनाग्र का स्थान तथा नली के आवरण में ही एक गोलाकार धातु-निर्मित विभाग को इस प्रकार रखा गया है कि एक्स-किरणें एक विशेष खिड़की से ही बाहर निकल सकती हैं। अन्यथा एक्स-किरणों के विसरण (डिफ्यूज़न) से बचने के लिए अनेक प्रकार के खर्चीले रक्षण-साधन बनाने पड़ते थे। एक्स-किरणें शरीर में घुसकर ऊतकों (टिशूज) के अणुओं का आयनीकरण करके गहरी क्षति पहुँचाने की ताकत रखती हैं।

ऋणाग्र-किरणों की बौछार से उत्तेजित होकर धनाग्र से एक्स-विकिरण केवल रेखाओं के रूप में ही नहीं, वरन् समरूप से फैली हुई एक्स-किरणों की निरन्तर रंगावली (एक्स-रे-स्पेक्ट्रम) के रूप में भी पैदा होती है। इस रगांवली की शक्ति रेखाओं के रूप में निकले हुए एक्स-विकिरण से कहीं अधिक होती है। इस कारण एक्स-किरणों की नलियों से उत्पादित एक्स-किरणों की रंगावली का ही मुख्य महत्व है और चिकित्सा-शास्त्र में निदान और उपचार के लिए इसी रंगावली का अधिक उपयोग होता है।

एक्स-किरणों की रंगावली उन तत्वों के लक्ष्यों से अधिक प्रभावित होती है, जिनका कि परमाणु-क्रमांक बड़ा हो, अर्थात् जिनमें पाये जानेवाले इलेक्ट्रोनों की संख्या अधिक हो। प्रायः टंगस्टन नाम की धातु से एक्स-किरणों की नलियों के धनाग्र-

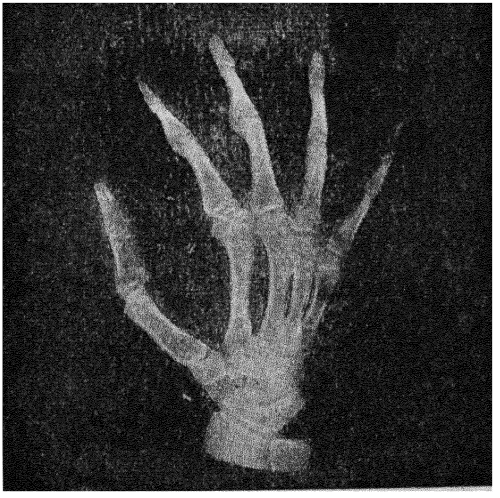
लक्ष्य बनाये जाते हैं क्योंकि टंग्स्टन का परमाणु-क्रमांक काफी अधिक—अर्थात् ७४—होता है।

एक्स-किरणों के उत्पादन के लिए जितनी मात्रा में विद्युत्-धारा का उपयोग होता है, उसका बहुत थोड़ा अंश ही एक्स-किरणों के तरंग-दैर्घ्य में परिवर्तित हो पाता है। टंग्स्टन के लक्ष्य पर एक लाख वोल्ट विद्युत् का प्रयोग होता है, लेकिन इसकी ९९·२ प्रतिशत विद्युत् उष्मा में और केवल ०·८ प्रतिशत एक्स-किरणों की तरंगों में बदलती है। उन एक्स-किरणों को कोमल कहते हैं जिनमें भेदनशीलता की अधिक क्षमता नहीं होती। यह क्षमता विद्युत्-प्रवाह की वृद्धि करके बढ़ायी जा सकती है और तब भेदनशीलता की अधिक क्षमतावाली एक्स-किरणें पैदा होती हैं, जिन्हें कड़ी किरणें कहते हैं। कड़ी एक्स-किरणें ही १२ इंच तक मोटी लोहे की दीवार को भेद सकती हैं।

जैसा कि हम जान चुके हैं, एक्स-किरणों की विकिरण-शीलता की प्रकृति भी प्रकाश की तरंगों के ही समान होती है और यह भी कि इन तरंगों की आवृत्ति अत्यधिक और तरंग-दैर्घ्य बहुत कम होता है। शारीरिक रोगों और विकृतियों के निदान के लिए प्रयोग में आनेवाले एक्स-किरणों के तरंग-दैर्घ्य को ०·२ × १०$^{-८}$ सेंटीमीटर से ०·१ × १०$^{-८}$ सेंटीमीटर ही रखा जाता है। यह गणना इतनी छोटी होती है कि साधारण गिनती के द्वारा इनका समझ पाना मुश्किल ही है। एक्स-किरणों के तरंग-दैर्घ्य का एक मात्रक आंगस्त्रम कहलाता है और उसकी लम्बाई १०$^{-८}$ सेंटीमीटर (अर्थात् सेंटीमीटर का एक-करोड़वाँ हिस्सा) होती है।

कड़ी एक्स-किरणों के उत्पादन के लिए विद्युत् की काफी

वोल्टता (वोल्टेज़) की जरूरत होगी। वोल्टता जितनी बढ़ती जायेगी, एक्स-किरणों की भेदनशीलता भी उसी अनुपात में बढ़ेगी। एक लाख वोल्ट की विद्युत् का प्रवाह होने पर हाथ की भीतरी हड्डियों की हल्की प्रतिच्छाया ही पीछे के प्रतिदीप्ति पट पर पड़ती है।



पूरे हाथ के पंजे का एक्स-किरण चित्र

एक्स-किरणों की नली में वायुमण्डलीय दाब जब काफी कम हो जाता है तो सामान्यतः प्राप्य विद्युत् की वोल्टता से उत्पादित ऋणाग्र-किरणों का उसमें से गुज़रना कठिन हो जाता है। इस दशा में शीतल ऋणाग्र के स्थान पर धातु के तापदीप्त तन्तुओं के प्रयोग की आवश्यकता पड़ी, जैसा कि कूलिज की एक्स-किरणों की नली में किया गया। इस नली में १० लाख वोल्ट तक की विद्युत् का प्रयोग किया जा सकता है।

कोमल एक्स-किरणें १ हजार से २० हजार वोल्ट के विद्युत्

से, अर्ध-कड़ी एक्स-किरणें २० हजार से ५० हजार वोल्ट से तथा कड़ी एक्स-किरणें लाखों की वोल्टता से पैदा की जाती हैं।

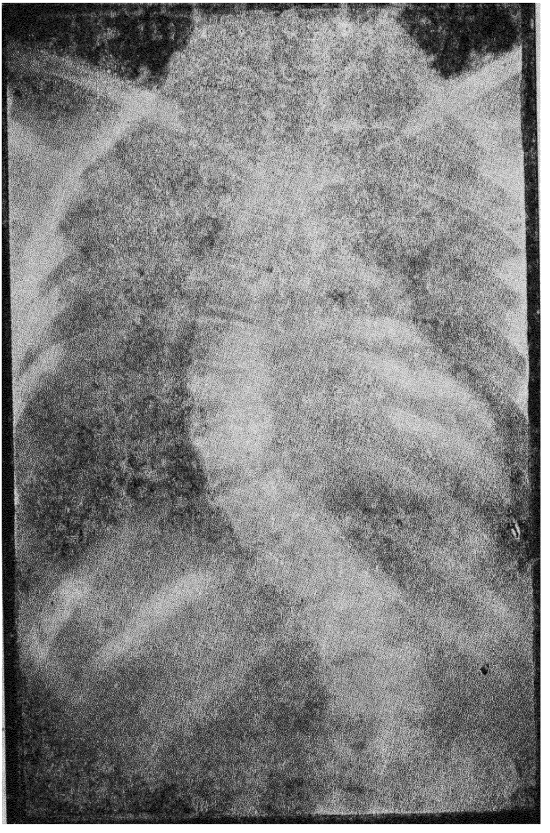
जैसा कि देखा जा चुका है, एक्स-किरणें अपनी आयनीकरण की क्षमता से शरीर के मज्जा और ऊतकों को काफी नुकसान पहुँचा सकती हैं। हजारों वोल्ट के विद्युत् के साथ फोटोन भी निकलते हैं जो ऊतकों की कोषिकाओं को तहस-नहस कर देते हैं। इसलिए एक्स-किरणों के यन्त्रों का प्रयोग किसी अशिक्षित, अर्द्ध-शिक्षित अथवा अनभ्यस्त व्यक्ति के हाथों नहीं होना चाहिए।

आजकल एक्स-किरणों के जो यंत्र बन रहे हैं, उनमें धातु के स्थिर धनाग्रों के स्थान पर घूर्णमान (रोटेटिंग = घूमनेवाले) धनाग्रों का प्रयोग होने लगा है जिन्हें गुटिकाधारों (बाल बेयरिंग्स) पर चढ़ाकर और शीशे के आवरण में ढककर नलियों के साथ रखा जाता है। कभी-कभी धनाग्र-मंडलक (एनोड डिस्क) ताँबे का बनाया जाता है जिसमें टंगस्टन की पट्टिकाएँ जुड़ी रहती हैं और कभी सारा मंडलक ही टंग्स्टन का बनाया जाता है ताकि अत्यधिक उष्मा से भी धनाग्र को क्षति न पहुँचे। धनाग्र को टेढ़ा रखा जाता है अथवा मंडलाकार ताकि इलेक्ट्रोनों की बौछार लक्ष्य के अधिक क्षेत्र पर एक समान पड़ सके।

उपरोक्त विधि से एक्स-किरणों की सहायता द्वारा चित्र खींचने के अतिरिक्त शरीर के अथवा अन्य वस्तुओं के भीतरी भागों और अवयवों की प्रतिदीप्ति प्लेटों पर बिना चित्र खींचे भी देखी जा सकती है। इस ढंग को 'फ्लूरोस्कोपी' कहते हैं। एक्स-किरणें रोगी के शरीर में से होती हुई प्रतिदीप्ति की क्षमतावाले आवरण-पट्ट पर पड़ती हैं। इस आवरण पर पड़ रही

प्रतिच्छाया को स्पष्ट देखा जा सकता है। गत्ते के इन आवरणों पर विकिरणों से प्रतिदीप्त हो जानेवाले यौगिकों का प्रलेप चढ़ा रहता है।

इस तरीके से हम शरीर के भीतर के अवयवों की



टेढ़ी रीढ़ की हड्डी का एक्स-किरण चित्र

गतिविधि की जाँच कर सकते हैं, लेकिन इसमें एक्स-किरण यंत्र को परिचालित करनेवाले तथा रोगी दोनो के लिए विकिरण से क्षति पहुँचने का भय रहता है। फिर, रोगी के

भीतर दिखायी पड़नेवाले अवयवों की गतिविधि का कोई स्थायी लेखा भी नहीं रखा जा सकता। बन्द, अँधेरे कमरे में ही ऐसी प्रतिच्छायाओं को देखना होता है। आजकल 'फ्लूरोस्कोपी' का सर्वाधिक उपयोग शरीर की पाचक-नलियों (एलिमेंट्री ट्रैक्ट) तथा मेरुदण्ड (स्पाइनल कॉर्ड) के परीक्षण में होता है।

जिन फिल्मों पर एक्स-किरणों द्वारा चित्र उतारे जाते हैं, उनके एसिटेटसेल्यूलोज़ मूल के दोनो ओर सिल्वर हेलाइड और गेलाटिन का प्रलेप चढ़ाया जाता है। फिल्म प्लेटों के आवरण (स्क्रीन्स) की गाढ़ी प्रतिच्छाया को जज़्ब करने की ताकत को बढ़ाने के लिए केल्शियम टंग्स्टेट के यौगिक का प्रलेप भी प्रयोग में आता है।

छाती का रेडियोग्राफ (एक्स-किरणों द्वारा लिया गया चित्र) लेने के लिए रोगी को १४" × १७" के आकार की एक्स-किरण फिल्म के सामने खड़ा किया जाता है जो दुहरे आवरण में जड़ी होती है। एक्स-किरणों की नली को इस तरह साधा जाता है कि उसके विकिरण का दण्ड (बीम) रोगी की पीठ में से फिल्म के धरातल की लम्ब (पर्पेंडिक्युलर) दिशा की ओर जाये। एक्स-किरण फेफड़ों, पसलियों और दिल आदि की काफी प्रतिदीप्त छाया फिल्म के सामने के आवरण पर डालती है, फिल्म के प्रलेप के ऊपर के और परले सिरों पर कुछ अक्स डालती हुई फिर फिल्म के पीछे के आवरण पर अच्छी-खासी प्रतिदीप्त छाया डालती है। दोनो प्रतिदीप्त आवरणों से निकलने-वाली रोशनी फिल्म के प्रलेप के दोनो ओर पड़े हुए फोटो-ग्राफीय प्रभावों को खूब गाढ़ा कर देती है। इस प्रकार एक्स-किरणों के चारों बिम्बों से एक-दूसरे के ठीक ऊपर पड़ने के

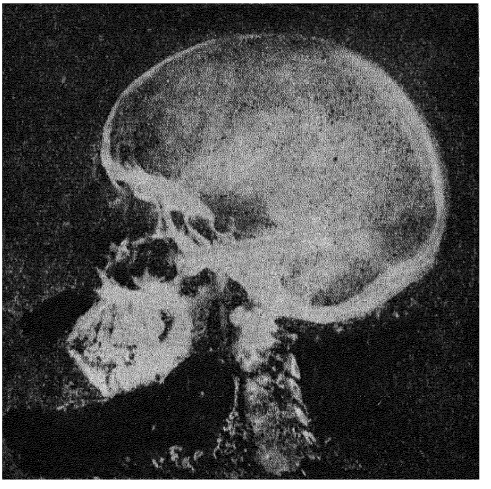
कारण अन्त में एक ही चित्र बनकर तैयार होता है।

रेडियोग्राफ के लिए एक्स-किरणों का विकिरण कितनी देर के लिए किया जाये, इसमें अत्यन्त सावधानी की जरूरत होती है। आजकल की एक्स-किरण मशीनों में उन्हें चालू करने के यांत्रिक उपसाधन जोड़ दिये गये हैं ताकि आवरणों पर ठीक स्तर की प्रतिदीप्ति हो जाने पर विकिरण स्वयमेव बन्द हो जाये।

समान ताप के स्वचालित (आटोमैटिक) जलकुण्डों में फिर फिल्म-स्लेटों को धो लिया जाता है।

५. निदान और चिकित्सा में प्रयोग

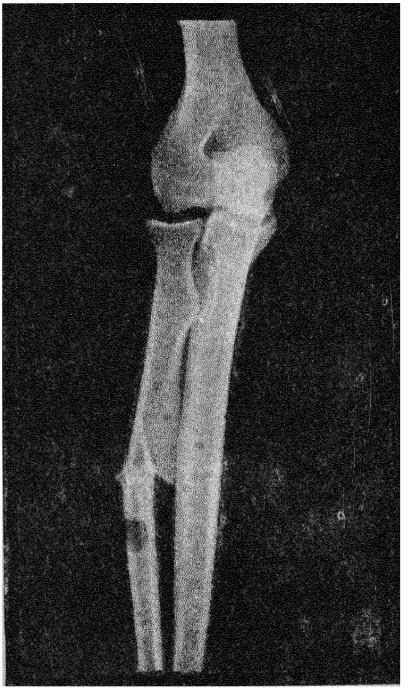
एक्स-किरणों के आविष्कार से पहले शरीर के भीतर की चोटों अथवा रोगों का पता लगाने के लिए चिकित्सक शरीर की सतह को ही टटोला करते थे। जब रोंटजन द्वारा इसके ईजाद की खबर फैली तो एक देश में यह कानून बनाने की कोशिश की गयी कि थियेटरों में उन दूरबीनों का इस्तेमाल न होने दिया



स्त्री के सुन्दर चेहरे का एक्स-किरण चित्र

जाये जिनके शीशे में पारदर्शिता की क्षमता हो। उन दिनों जनता में इन किरणों के बारे में कितना भ्रमपूर्ण मत था, यह इसका प्रमाण है!

आविष्कार के साथ ही मनुष्य के लाभ के लिए एक्स-किरणों की उपयोगिता चिकित्सकों ने समझ ली। हम देख चुके हैं कि छाती के रोगों के निदान के लिए किस प्रकार एक्स-किरण चित्र खींचा जाता है। शरीर के भीतर की किसी हड्डी के टूटने

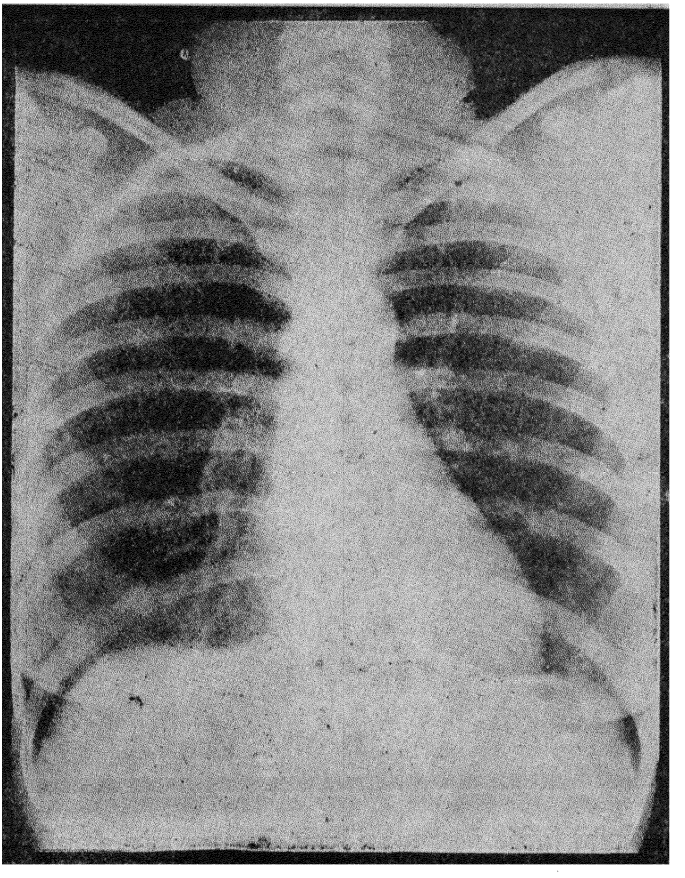


टूटे हुए दाहिने बाजू की हड्डी का
एक्स-किरण चित्र

के ठीक स्थान का पता एक्स-किरणों से लिये गये चित्रों से मिल जाता है। डाक्टर को अस्थिपंजर की वतौरी (ट्यूमर) अथवा अन्य संक्रामक रोगों का भी एक्स-किरणों की सहायता से लिये गये चित्र के द्वारा ज्ञान हो जाता है। आरम्भिक परिस्थितियों में तपेदिक का निश्चित रूप से होना या न होना एक्स-किरणों

के चित्रों से ही नहीं जाना जा सकता; उन चित्रों द्वारा लगाये गये अनुमान को रोगी के अन्य लक्षणों से भी मिलाना आवश्यक होता है। यही बात न्यूमोनिया तथा कैंसर के लिए भी है।

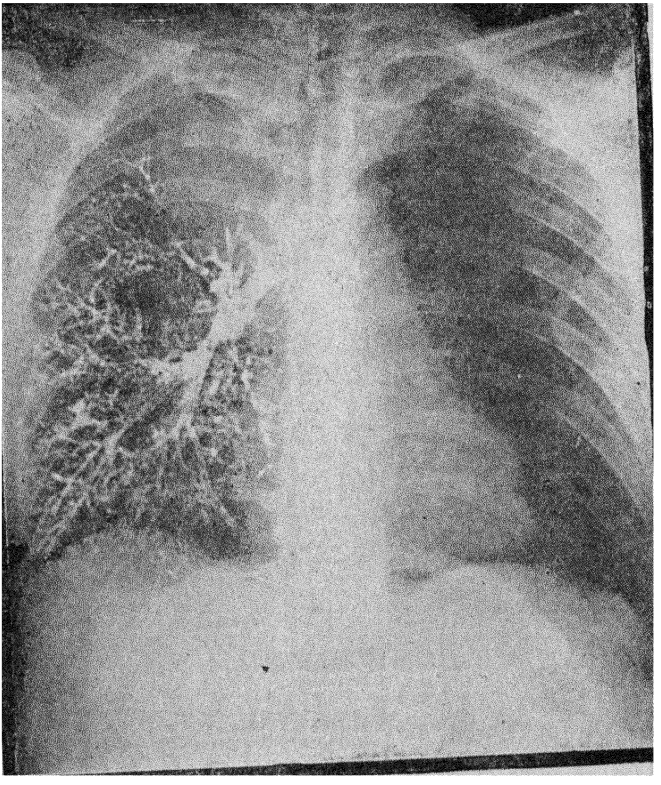
एक्स-किरणों के चित्रों से दिल के आकार और स्थिति



एक्स-किरणों द्वारा ली गयी फेफड़ों की प्रतिच्छाया

का ठीक पता चल जाता है। गहरे आयाम के चित्रों द्वारा (ऐसे एक ही वस्तु के चित्र दो नुकतों से लिये जाते हैं और इन्हें

एक विशेष दूरी पर रखकर एक साथ देखा भी जाता है। तब चित्रित वस्तु की केवल लम्बाई और चौड़ाई ही नहीं, गहराई भी दीख पड़ती है) दिल का एक्स-किरण चित्र खींचने पर देखा जा सकता है कि कारोनरी वाहिकाओं का कैल्शियम के जमने

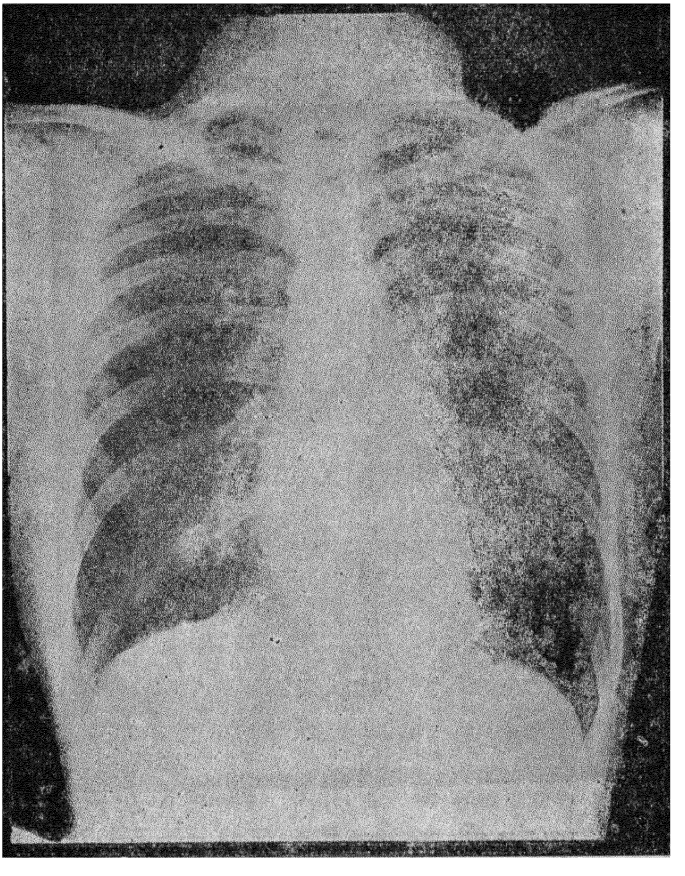


आयोडीन मिश्रित तेल डालकर फेफड़े के अन्दर साँस की नालियों के जाल का एक्स-किरणों द्वारा लिया गया एक चित्र

से कड़ा होना तो शुरू नहीं हो गया है। वक्त पर इलाज करने से आगे चलकर वाहिकाओं में अवरोध आ जाने के कारण हृदय की गति रुक जाने के परिणामस्वरूप अनायास मृत्यु से बचा

जा सकता है।

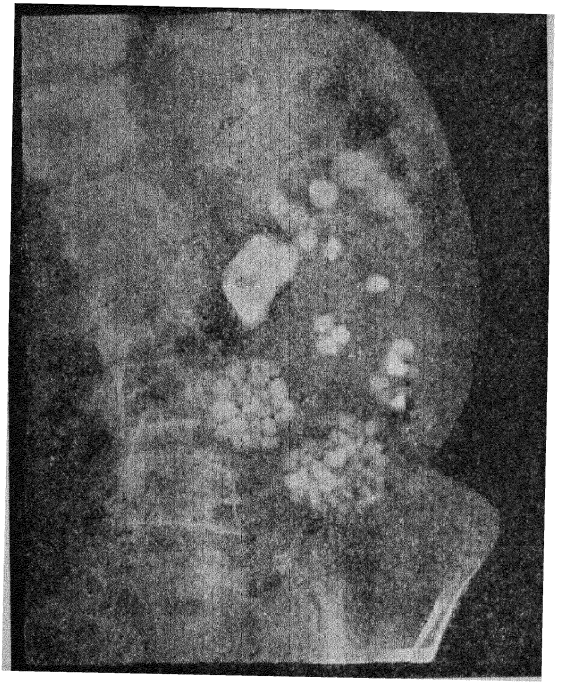
एक्स-किरणों की छाया हड्डियों में पाये जानेवाले कैल्शियम फ़ास्फ़ेट के कारण उभरती है, क्योंकि वे एक्स-किरणों को



मनुष्य-हृदय का एक्स-किरण चित्र

अपेक्षाकृत अधिक जज़्ब कर लेती हैं। फेफड़ों की छाया उनमें भरी हुई वायु के कारण पड़ती है, वायु में एक्स-किरणों को जज़्ब करने की ताकत होती है, लेकिन फुप्फुस के ऊतकों

(पल्मनरी टिशूज़) में ऐसी ताकत कतई नहीं होती। फेफड़ों में वायु न होती तो एक्स-किरणों में उनकी प्रतिच्छाया नहीं दिखायी पड़ती। फेफड़े के एक्स-किरण का चित्र उसमें आयोडीन मिश्रित तेल पहुँचाकर लिया जाता है। दिल की प्रतिच्छाया हवा से भरे फेफड़ों के पृष्ठभूमि में होने के कारण उभर आती है। वृक्क



मूत्र-तंत्र और मूत्राशय में पथरी का एक्स-किरणों द्वारा खींचा गया चित्र

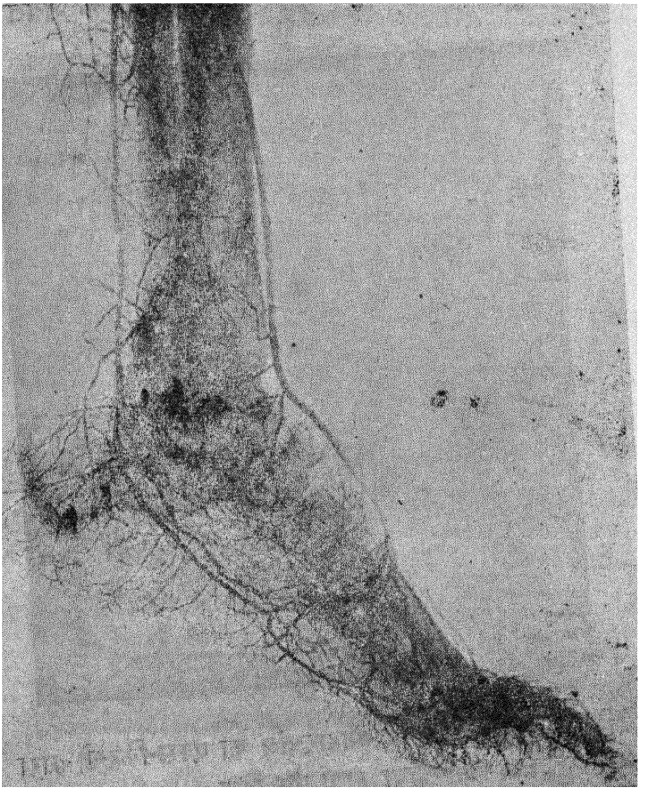
(किडनी), मूत्राशय अथवा पित्ताशय में कहीं भी पथरी आदि हो तो वह एक्स-किरणों द्वारा चित्रों में स्पष्ट दीख पड़ती है। पथरी में ऐसे यौगिक मिले रहते हैं जो विकिरण के लिए अपारदर्शक होते हैं।

शरीर के भीतर की नली-नालों के रोगों या विकृतियों का पता लगाने के लिए ऐसे यौगिकों का इस्तेमाल होने लगा है जो रोगी को खिलाये या पिलाये जा सकें। एक्स-किरणें इन यौगिकों को नहीं भेद सकतीं और अँतड़ियों में उनकी स्थिति से रोगों का निदान किया जाता है। चॉकलेट के शर्बत के साथ

बेरियम भोजन खिलाकर आहार-तंत्र का एक्स-किरणों द्वारा खींचा गया एक चित्र

बेरियम सल्फेट मिलाकर रोगी की ग्रासनली (इसोफैगस) तथा पेट के चित्र लिये जाते हैं। इसी प्रकार मलाशय, वृहदंत्र (कोलन) तथा अंतिम शेषांत (टर्मिनल इलियम) के एक्स-किरण चित्र खींचने के लिए रोगी को बेरियम सल्फेट गोंद के घोल के साथ खिलाया जाता है।

मस्तिष्क के एक्स-किरण चित्र तब तक नहीं लिये जा सकते जब तक उसमें वायु अथवा आक्सीजन का प्रवेश न करवाया जाये। ये चित्र भी तभी मस्तिष्क के रोगों के निदान में सहायक हो सकते हैं जब कि तीन आयामों में खींचे जायें।

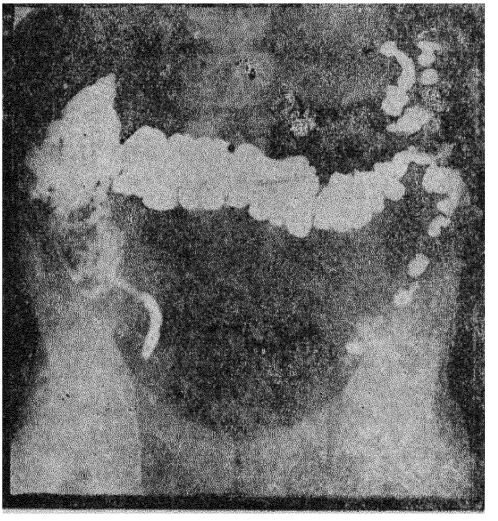


टाँग और पैरों की शिराओं और धमनियों के जाल का एक्स-किरण चित्र। चित्र लेने से पहले थौरोस्ट्राट इन्जेक्शन लगाया गया है, जिसे एक्स-किरणें बेध नहीं सकतीं।

डिम्भवाही नलियों (फैलोपियन ट्यूब) के अवरोधों के, जिससे स्त्रियों को वन्ध्या रोग हो जाता है, गर्भाशय में आयोडीन

मिश्रित तेल डालकर एक्स-किरणों द्वारा चित्र खींचे जाते हैं।

एक्स-किरणों की उपयोगिता उनके द्वारा खींचे गये चित्रों से ही नहीं, वरन् एक्स-किरणों की विकिरणशीलता का प्रयोग भी अनेक रोगों की चिकित्सा में होता है। आरम्भ में एक्स-किरणों का बारम्बार प्रयोग त्वचा में घाव पैदा कर दिया करता



आहार-नाल (ऐलीमेंटरी ट्रैक्ट) का अपारदर्शी भोजन खिलाकर एक्स-किरणों से लिया गया एक और चित्र

था, और ये घाव काफी अरसे के बाद उभरते थे। विकिरण किस प्रकार ऊतकों को क्षति पहुँचाता है, इसके बारे में अभी तक बहुत अधिक नहीं जाना जा सका है।

एक्स-विकिरण का कैंसर के ऊतकों को नष्ट-भ्रष्ट करने में प्रयोग होता है। इस बात का विशेष ध्यान रखने की आवश्यकता होती है कि इन ऊतकों के साथ विकिरण से शरीर

के अन्य स्वस्थ ऊतकों को क्षति न पहुँचने पाये। चिकित्सा-शास्त्र के पास एक्स-किरण के अतिरिक्त कैंसर की रोक-थाम अथवा उसके इलाज के लिए अभी अन्य महत्वपूर्ण साधन नहीं हैं।

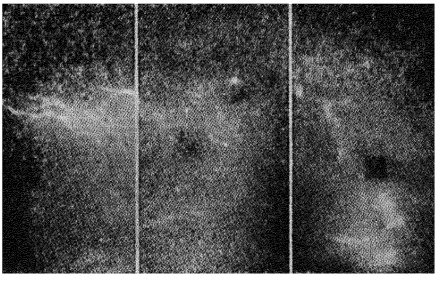
६. औद्योगिक तथा अन्य उपयोग

एक्स-किरणों का प्रयोग मानव शरीर के ही नहीं, औद्योगिक क्षेत्र की ढली हुई धातुओं के भीतर भी झाँकने के लिए होने लगा है। लोहे, अल्यूमीनियम तथा मशीनों के निर्माण में काम आनेवाली सभी अन्य धातुओं पर एक्स-किरणों की बौछार करके उनकी प्रतिच्छाया उतार ली जाती है और देख लिया जाता है कि उनके ढलने में कहीं कोई ऐब या खामी तो नहीं रह गयी है।

औद्योगिक क्षेत्र में एक्स-किरणों की सहायता से खींचे जानेवाले चित्रों के अतिरिक्त इसी प्रकार से बहुत सूक्ष्म चित्र खींचकर उनके विवर्द्धन (एन्लार्जमेंट) करने का तरीका (माइक्रो-रेडियोग्राफी) भी अपनाया जाता है। इसके अतिरिक्त एक्स-किरणों का उपयोग एक अन्य महत्वपूर्ण वैज्ञानिक क्षेत्र—मणिभों का विश्लेषण में-भी होने लगा है।

इंजीनियरिंग के क्षेत्र में एक्स-किरणों के उपयोग ने बहुत सहायता पहुँचाई है। जहाँ धातुओं के बड़े-बड़े पिंडक (ब्लॉक्स) ढालने के बाद उन्हें इमारतों अथवा पुलों में लगाना व जोड़ना हो, वहाँ उनके तन्य-बल (टेन्शन) की भीतरी कमजोरियों को निरन्तर परखने की जरूरत पड़ती है। ढलाई में अनेक कारणों से विकृतियाँ रह सकती हैं अथवा उनके अन्दर अदृश्य दरारें

पड़ जाती हैं। ढली हुई धातुओं की जिस मोटाई को एक्स-किरणें पार कर सकें वहाँ तक उनकी कमजोरियाँ पहले ही जानी जा सकती हैं।



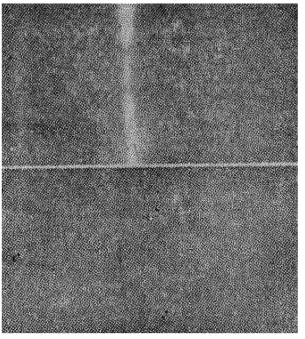
इन एक्स-किरण चित्रों में ढलाई के वक्त पड़ी धातु के भीतर की अदृश्य दरारें दिखलाई पड़ने लगती हैं

धातुओं में पारदर्शिता की शक्ति के लिए एक्स-किरणें उपजाने में विद्युत् की १० लाख से २० लाख तक वोल्टता आवश्यक होती है। इससे भी अधिक विद्युत् की वोल्टता, अर्थात् २ करोड़ तक पैदा करने के लिए, एक विशेष प्रकार के विद्युत्-उत्पादक यंत्र--बीटाट्रोन—का निर्माण किया गया है।

एक्स-किरणों से खींचे गये धातुओं के चित्रों में जहाँ सफेद रेखाएँ अथवा चकत्ते (पैचिज़) दिखलायी पड़ें, वे दोषों के ही चिन्ह होते हैं, अर्थात् वे धातुओं के ऐसे भाग हैं जो अन्य भागों के समांग (होमोजीनस) नहीं होते। इस प्रकार के दोष वायु के रह जाने से, दरार या ढलाई के वक्त कम दाब के कारण रहे पोलेपन के कारण पड़ जाते हैं।

जो धातु-पिण्ड एकसम ढला होता है, उसका एक्स-किरणों द्वारा खींचा गया चित्र एक-समान काला होता है क्योंकि एक्स-

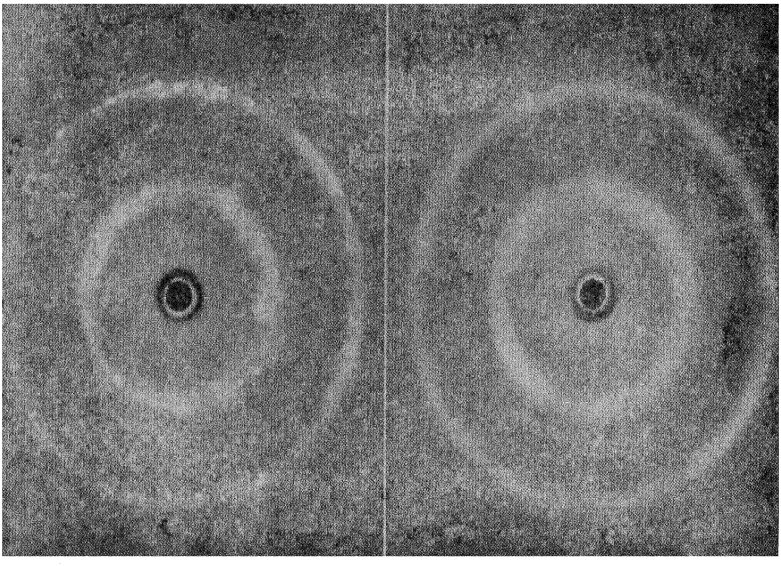
किरणें उसके सब भागों में एक समान जज़्ब हो जाती हैं। तोप-गाड़ियों, गोलों, तेल निकालनेवाले लोहे के भभकों, हवाई



ऊपर के रेडियोग्राफ में एक घटिया वेल्डिंग का नमूना दिखलाया गया है और नीचे के चित्र में बढ़िया वेल्डिंग का।

जहाजों के कल-पुर्जों, रेलगाड़ी के इंजनों के हिस्सों, भाप के भारी दाब के बाइलरों और इस्पात के ऐसे कीमती सिलिण्डरों की ढलाई और घड़ाई के, एक्स-किरण चित्र अक्सर खींचे जाते हैं। द्वितीय महायुद्ध के दिनों में अल्यूमीनियम तथा मैग्नीशियम के मिश्रणों (एलॉयज़) की ढलाई ज्यादातर उनकी मज़बूती के नियमन तथा परीक्षण की वजह से हो पायी थी। यह धातु-मिश्रण वज़न में हल्का होते हुए भी मजबूती में किसी से घटकर नहीं होता।

धातुओं की ढलाई (वेल्डिंग) में एक्स-किरणों का काफी प्रयोग होता है। किसी ढलाई को तोड़े बिना उसके पक्केपन के परीक्षण का तरीका केवल एक्स-किरणों द्वारा खींचे गये चित्रों से ही सम्भव है, फिर वह ढलाई चाहे हवाई जहाज के परों पर अल्यूमीनियम की महीन पट्टियों की हो अथवा भारी-



हवाई जहाजों की मोटरों में प्रयुक्त होनेवाले एल्यूमीनियम मिश्रित दो विभिन्न धातुओं का एक्स-किरण चित्र। दाहिने हाथ के चित्र की ढलाई उत्कृष्ट हुई है और बाएँ की सदोष। जब एक धातु के पतले और मोटे भागों के चित्रों में एक समान रेखांकन बने तो ढलाई एक-समान कही जा सकती है।

भरकम पानी के जहाजों की।

एक्स-किरणों का प्रयोग विभिन्न कल-पुर्जों के संग्रह द्वारा बननेवाले यंत्रों के निरीक्षण में भी होने लगा है। एक्स-किरणों के चित्रों में देख लिया जाता है कि सब कल-पुर्जे यथा-स्थान जोड़े जा चुके हैं या नहीं। हवाई जहाज के कल-पुर्जों, इलेक्ट्रोनीय नलियों आदि के इस प्रकार चित्र खींचकर यदि कोई कल-पुर्जा लगने से रह गया हो तो उस भूल का पता बिना सारे यंत्र को खोले लगा लिया जाता है।

लकड़ी से बने सामान का भी इसी प्रकार निरीक्षण होने

लगा है। लकड़ी में लगे घुन तथा सर्जास (रेजिन) के जमावों आदि के दोषों के ठीक स्थानों का पता एक्स-किरण चित्रों से लग जाता है। मोटर गाड़ियों के टायरों में लगे तन्तुओं (कार्ड्स) तथा रबर के जोड़ों, विद्युत् के चालन को अवरुद्ध करनेवाले सामान (इंसुलेटिंग मैटीरियल) में विद्युत्-चालक अपद्रव्यों के कणों का पता एक्स-किरण के चित्र से तुरन्त लग जाता है। मुहरबन्द सामान वगैरह का निरीक्षण उन्हें खोले बिना देश-विदेश के आयात-कर अधिकारी एक्स-किरणों की सहायता से करने लगे हैं।

नकली और असली मोती की पहचान एक्स-किरण आसानी से कर लेती है। एक्स-किरण के पड़ने पर असली मोती एक दृष्य प्रतिदीप्ति से दमक उठता है। असली मोती में उसके केन्द्र से बाहर को फैलते गोलाकार चक्र दीख पड़ते हैं। असली हीरे एक्स-किरणों के लिए अत्यन्त पारदर्शक होते हैं, नकली काफी कम।

अब तो बहुत वेग से जाती हुई चीजों के चित्र भी एक्स-किरणों से लिये जाने लगे हैं। सेकण्ड के दस-लाखवें हिस्से तक के समय में ये चित्र खींचे जा सकते हैं। इस तात्कालिक (इंस्टेंटेनियस) रेडियोग्राफी का प्रयोग विभिन्न वस्तुओं में से गोली के घुसने और पार होने की रफ़्तार को जाँचने में किया जाता है।

एक्स-किरणों के छोटे और आसानी से उठाये जा सकने-वाले यंत्र इमारतों में बिजली के तारों तथा नल-टोटी लगाने-वालों के काम में भी आने लगे हैं, जिनकी सहायता से वे दीवारों अथवा जमीन में लगे हुए तारों अथवा नलियों के स्थान

को जान लेते हैं। फलों और सब्जियों के डिब्बे बन्द करनेवालों को उनमें पायी जानेवाली विकृतियों का पता एक्स-किरणों की सहायता से लग जाता है।

इस प्रकार एक्स-किरणों का प्रयोग हमारे औद्योगिक जीवन के अनेक पहलुओं में सफलता से हो रहा है। बहुत सूक्ष्म कणों और पदार्थों को, एक्स-किरणों से चित्र खींचकर तथा उनका विवर्द्धन करके, साफ-साफ देखा जा सकता है।

कृषि-विज्ञान में भी एक्स-किरणों की मदद ली जाने लगी है। कृषि-वैज्ञानिक अनेक तरह के पौधों की पुरानी किस्मों को बेहतर किस्मों में बदलने की कोशिश में लगे रहते हैं; पौधों में इस प्रकार के परिवर्तन की गति को एक्स-किरणों की सहायता से तेज किया जा सकता है।

एक्स-किरणों से जो एक अन्य अत्यन्त महत्व का काम लिया गया है, वह मणिभों (क्रिस्टल्स) की गठन और बनावट के विश्लेषण का है। एक्स-किरणें प्रत्येक उस तत्व में से, जिसके कि मणिभ बन सकते हैं, गुजर जाने पर अलग-अलग नमूने बनाती हैं और ये नमूने उस तत्व में पाये जानेवाले अणुओं अथवा परमाणुओं के विशिष्ट विन्यास और व्यवस्था पर आधारित होते हैं। मणिभों की बनावट (स्ट्रक्चर) का निर्माण वस्तुतः किसी तत्व अथवा यौगिक के अणु अथवा परमाणुओं के पिंडकों द्वारा ही होता है। मणिभों के एक्स-किरणों द्वारा चित्र खींचकर १० हजार के ऊपर की एक चित्रावली संग्रहीत कर ली गयी है और इनसे तुलना करके किसी भी अज्ञात मणिभ को, जिसका अलग चित्र खींच लिया गया हो, पहचाना जा सकता है। आरम्भ में एक्स-विकिरण की सहायता से ही परमाणुओं के वास्तविक

भेद को जानने में मदद मिली थी, अब किसी तत्व में परमाणुओं के विन्यास को एक्स-किरणों को मणिभों में से गुजार कर जाना जाता है।

इस प्रकार एक्स-किरणों की खोज और ज्ञान मनुष्य के हाथ में एक ऐसा अस्त्र है, जिससे वह प्रकृति के ढके-मुँदे रहस्यों का उद्घाटन कर सभ्यता के विकास में उनका सफल उपयोग करता जा रहा है।