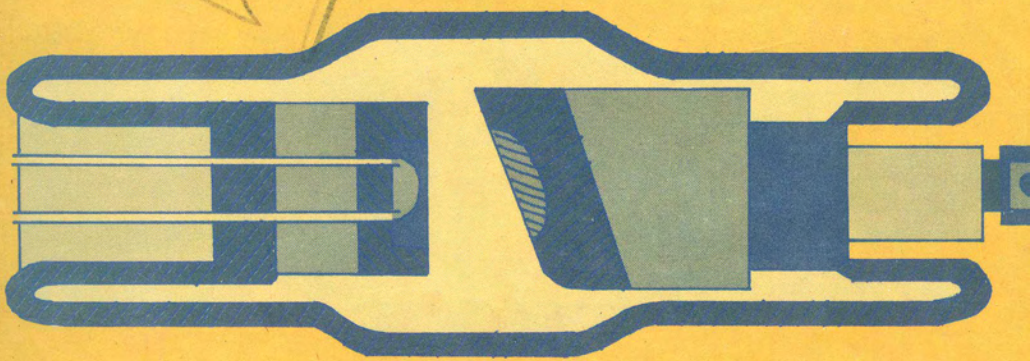
এক্স-রে ও বাংলাদেশে এক্স-রে সম্পাত



৭২২২
৪

ডঃ আবদুল জলিল

BANSDOC Library
Accession No. 148870
Date 10-6-04

প্রথম প্রকাশ
বৈশাখ ১৪০২
এপ্রিল ১৯৯৫

বাএ ৩১০২

মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি
ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগ
ভৌ ও প্র ১৪৩

প্রকাশক
গোলাম মঈনউদ্দিন
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী, ঢাকা-১০০০

মুদ্রাকর
আশফাক-উল-আলম
ব্যবস্থাপক
বাংলা একাডেমী প্রেস, ঢাকা-১০০০

প্রচ্ছদ
ইকবাল আহমেদ তপু

মূল্য
পঁয়তাল্লিশ টাকা মাত্র

X-RAY O BANGLADESHE X-RAY SAMPAT (X-RAY AND X-RAY EXPOSURE IN BANGLADESH) by Dr. Abdul Jalil, Chief Scientific Officer & Head, Health Physics & Radiation Protection Divn., INST., AERE, Savar ; Bangladesh Atomic Energy Commisson, Dhaka. Published by Gholam Moyenuddin, Director, Textbook Division, Bangla Academy, Dhaka, Bangladesh. First edition, April 1995. Price : Taka 45·00 only.

ISBN 984-07-3111-4

উৎসর্গ

রাষ্ট্রভাষা আন্দোলন ও
স্বাধীনতা সংগ্রামের
বীর সৈনিকদের উদ্দেশে

ভূমিকা

এক্স-রের সাথে কম বেশি সকলেই পরিচিত। কারণ কৃষি, চিকিৎসা, শিল্প এবং উন্নয়ন ও গবেষণায় এক্স-রের বহুল প্রয়োগ এখন পৃথিবীর সর্বত্র। এক্স-রে না হলে আজ আর চলাই যায় না। বলা যায়, সভ্যতার অগ্রগতিতে এক্স-রে এক বিরাট অবদান রেখে চলেছে। রোগ নির্ণয় ও নিরাময়ে এক্স-রের জুড়ি মেলা ভার। হাড় ভেঙেছে কি পেট ব্যথা হয়েছে অমনি চিকিৎসকের নির্দেশ এক্স-রে করে নিয়ে আসুন। কৃষি ক্ষেত্রে উন্নততর, উচ্চ ফলনশীল ও রোগবালাই প্রতিরোধকারী বীজ ও চারা উদ্ভাবনে এক্স-রে সম্পাত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। শিল্পক্ষেত্রে উৎপাদিত পণ্যের গুণগত মান নিয়ন্ত্রণ ও যাচাইয়ে এক্স-রে সম্পাতের মাধ্যমে নিংবংসী পরীক্ষা (nondestructive testing) চালানো হয়। ঢালাই, ঝালাই ও জোড়ের (joint) খুঁত, ফাটল, বায়ুকোষ বা ফাঁকাস্থান (void) রয়েছে কিনা তা এক্স-রে রেডিওগ্রাফ নিয়ে নিশ্চিত হওয়া যায়। এমনি হাজারো রকমের প্রয়োগ রয়েছে এক্স-রের এবং এর ব্যবহারও উত্তরোত্তর বেড়ে চলেছে।

এক্স-রে এক ধরনের তেজস্ক্রিয় বিকিরণ—এ কথা আজ সবারই জানা। তেজস্ক্রিয় বিকিরণপাত জীবদেহে নানাপ্রকার ক্ষতিকর প্রভাব বিস্তার করে। একটু সাবধান ও সচেতন হলেই কিন্তু এ ক্ষতিকর প্রভাব এড়িয়ে কল্যাণকর সুবিধাদি ভোগ করা সম্ভব হয়। এজন্য জানা দরকার কিভাবে এক্স-রে সম্পাত ঘটে আর ক্ষতিকর প্রভাব এড়ানোর জন্য কি কি প্রতিরোধক ব্যবস্থা (provisions) থাকা আবশ্যক।

উৎসস্থল বিচারে জীবদেহ প্রধানত দু'ধরনের তেজস্ক্রিয় বিকিরণপাতের সম্মুখীন হয়ে থাকে, যথা :

(১) বাহ্যিক বিকিরণপাত—যে ক্ষেত্রে বিকিরণ উৎসটি দেহের বাইরে বিরাজ করে—যেমন, এক্স-রে, পরিবেশে বিদ্যমান তেজস্ক্রিয় উপাদান, মহাশূন্য থেকে আগত কস্মিক রশ্মি, ইত্যাদি এবং

(২) দেহে বিদ্যমান তেজস্ক্রিয় উপাদান থেকে নির্গত বিকিরণপাত।

জীবদেহে সর্বসাকুল্যে সংঘটিত বিকিরণপাতের সিংহভাগই (প্রায় ৯৮%) আসে চিকিৎসা, শিল্পে নিংবংসী পরীক্ষা (nondestructive testing, NDT), কৃষি এবং গবেষণা ও উন্নয়নে এক্স-রের ব্যবহার থেকে। তাই বিষয়টি বিস্তারিত

আলোচনার দাবি রাখে। এ উদ্দেশ্যেই এক্স-রে কি, এর উপকারিতা তথা নিরাপদ প্রয়োগের জন্য কিভাবে এক্স-রে মেশিন স্থাপন করা দরকার, অপ্রয়োজনীয় এক্স-রেপাত (X-ray exposure) এড়ানোর কৌশলাদি কিরূপ, এক্স-রেপাত মাত্রা সর্বনিম্ন রেখে কাজ করার কি উপায়, এক্স-রে ডিটেকশন, জনস্বাস্থ্য ও পরিবেশকে এক্স-রেপাতের ক্ষতিকর প্রভাব থেকে রক্ষার জন্য গৃহীতব্য ব্যবস্থা ইত্যাদি ও করণীয় বিষয়াদি সম্পর্কে আলোকপাত করা হয়েছে। এছাড়া বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনাসমূহের হাল অবস্থা, এক্স-রেপাতের প্রকৃতি ও পরিস্থিতি এবং তা থেকে উদ্ভূত ঝুঁকির সম্ভাবনা, এ থেকে অপ্রয়োজনীয় এক্স-রেপাতের কি দুর্বিষহ অবস্থা, এক্স-রে মেশিন চালক (operator) ও তার সহযোগীগণ এবং এক্স-রেপাতগ্রাহী ও তাঁদের সহচরগণ কিভাবে অযথা এক্স-রেপাতের শিকার হচ্ছেন ইত্যাদি বিষয় আলোচনা করা হয়েছে। এক্স-রের সঙ্গে সম্পৃক্ত সকলেই এ পুস্তক পাঠে উপকৃত হবেন নিঃসন্দেহে।

পুস্তকটি স্নাতক ও স্নাতকোত্তর শ্রেণির ছাত্রছাত্রীদের পাঠ্য পুস্তক হিসাবে রচিত হলেও সাধারণ পাঠকও এ গ্রন্থ পাঠে উপকৃত হবেন এবং দেশের এক্স-রে-পাতের প্রকৃত অবস্থার বিষয় জেনে সচেতন হবেন ও প্রতিরোধ ব্যবস্থা গড়ে তুলবেন বলে আশা করি। শিক্ষা জীবন শেষে ব্যবহারিক জীবনেও এ বই কাজে আসবে। সচরাচর যেসব সমস্যার সম্মুখীন হতে হয় অধ্যায়ের শেষে এমন সমস্যার গাণিতিক সমাধান দেয়া হয়েছে এবং প্রয়োজনবোধে চিত্র, ছবি ও গ্রাফ দিয়ে বিষয়টি ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

বাংলা ভাষায় এ জাতীয় বই লেখা হয়েছে বলে আমার জানা নেই। ইংরেজি ভাষায় এ বিষয়ের কোনো বই পড়ার সুবিধার্থে গুরুত্বপূর্ণ বিষয় ও পদগুলোর বাংলার সাথে সাথে ইংরেজি প্রতিশব্দ দেয়া হয়েছে। বইটি রচনাকালে আমি অনেক লেখকের লেখা থেকে সাহায্য গ্রহণ করেছি সেজন্য আমি তাঁদের কাছে কৃতজ্ঞ।

বইটির ভবিষ্যৎ উন্নয়নের জন্য যে কোনো গঠনমূলক পরামর্শও সমালোচনা সাদরে গৃহীত হবে।

গ্রন্থকার

BANSDOC Library
Accession No. 16870

সূচিপত্র

প্রথম অধ্যায় ঃ এক্স-রে পরিচিতি

১.১ ভূমিকা ১

১.২ এক্স-রের প্রাথমিক প্রয়োগ ও ক্ষতির আভাস ২

১.৩ এক্স-রের প্রকৃতি ৪

১.৪ এক্স-রে উৎপাদন প্রক্রিয়া ৪

১.৫ এক্স-রে যন্ত্র ৭

১.৬ এক্স-রের গুণ ও তীব্রতা ৮

১.৭ এক্স-রের বৈশিষ্ট্য ও ধর্ম ১২

১.৮ এক্স-রের অপবর্তন ১৪

১.৯ এক্স-রের বর্ণালী ১৮

১.১০ এক্স-রের তীব্রতা হ্রাসকরণ ২২

দ্বিতীয় অধ্যায় ঃ এক্স-রের ব্যবহার ও প্রয়োগ

২.১ ভূমিকা ২৪

২.২ কৃষি ক্ষেত্রে ব্যবহার ২৫

২.৩ চিকিৎসাশাস্ত্রে ব্যবহার ২৬

২.৪ শিল্পক্ষেত্রে প্রয়োগ ২৭

২.৫ গোয়েন্দাগিরি, নিরোধ ও নিরাপত্তায় এক্স-রে ২৯

২.৬ গবেষণা ও উন্নয়ন কর্মকাণ্ডে এক্স-রের ব্যবহার ২৯

তৃতীয় অধ্যায় ঃ এক্স-রেপাত নিয়ন্ত্রণের নীতি ও প্রবিধানমালা

৩.১ ভূমিকা ৩১

৩.২ বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণে আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশনের ডোজ সীমিতকরণ ৩১

৩.৩ এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণার্থে জরিপ নীতিমালা ৩৩

৩.৪ চিকিৎসাশাস্ত্রে এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ ৩৪

BAKSDOC Library Dhaka

৩.৫ শিল্প সংক্রান্ত এক্স-রে বিকিরণলেখ গ্রহণকালে বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ সম্পর্কে গৃহীতব্য ব্যবস্থাদি ৩৬
৩.৬ গবেষণাকালে এক্স-রেপাত থেকে নিরাপত্তা ৩৮
৩.৭ বিকিরণ কর্মীদের নিয়োগপূর্ব স্বাস্থ্য পরীক্ষা ৩৯
৩.৮ বিকিরণ কর্মীদের স্বাস্থ্য পরিচর্যা ও তত্ত্বাবধান ৩৯
৩.৯ দুর্ঘটনাজনিত মারাত্মক বিকিরণপাত সংঘটিত হলে করণীয় ৪০
৩.৯০ নিয়োগকালীন ও নিয়োগান্তে স্বাস্থ্য পরীক্ষা ৪০
৩.১১ প্রত্যেক বিকিরণজীবীর বিকিরণপাতের পূর্ণাঙ্গ বিকিরণ লিপিবদ্ধ করে সংরক্ষণ ৪১
৩.১২ এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত পরিবীক্ষণ ৪২

চতুর্থ অধ্যায় ঃ এক্স-রেপাত থেকে রক্ষা পাওয়ার উপায়

৪.১ এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ ৪৩
৪.২ এক্স-রে যন্ত্র ও এক্স-রেপাত নিয়ন্ত্রণ ৪৩
৪.৩ বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী ৪৪
৪.৪ প্রাথমিক প্রতিরক্ষা বেষ্টনী ৪৮
৪.৫ দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনী ৪৯

পঞ্চম অধ্যায় ঃ বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের অবস্থা

৫.১ ভূমিকা ৫৪
৫.২ বাংলাদেশের এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের প্রথম অনুসন্ধান ৫৪
৫.৩ প্রথম অনুসন্ধানের পর্যাবেক্ষণসমূহ ৫৬
৫.৪ এক্স-রে স্থাপনার উপর পরিচালিত দ্বিতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল ৫৯
৫.৫ এক্স-রে স্থাপনা ও তা থেকে বিকিরণপাতের উপর পরিচালিত তৃতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল ৫৯
৫.৬ এক্স-রে স্থাপনায় তৃতীয় অনুসন্ধানের পর্যাবেক্ষণসমূহ ৬০
৫.৭ অনুসন্ধানে প্রাপ্ত ফলাফল ও পর্যালোচনা ৬১
৫.৮ এক্স-রেপাত নিরোধে গৃহীতব্য কতিপয় সুপারিশ ৬৭

ষষ্ঠ অধ্যায় ঃ এক্স-রে সন্ধান ৬৯

গ্রন্থপঞ্জি ৭১

প্রথম অধ্যায়

এক্স-রে পরিচিতি

১.১ ভূমিকা

জার্মান পদার্থবিদ উইলহেল্ম কনরাড রঞ্জন ১৮৯৫ খ্রিষ্টাব্দে অজানা এক অদৃশ্যমান অতীব প্রবেশক্ষম রশ্মির সন্ধান লাভ করেন। বায়ুশূন্য কাচনলে বৈদ্যুতিক ক্ষরণ (discharge) নিয়ে গবেষণারত অবস্থায় তিনি লক্ষ্য করেন, নলের সন্নিকটে রক্ষিত বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড আচ্ছাদিত পর্দায় উজ্জ্বল আলোর ঝলকানি (glow) প্রতিভাত হয়। ক্ষরণ নল ও উক্ত পর্দার মধ্যবর্তী স্থানে ক্রমান্বয়ে অধিকতর মোটা ধাতবপাত স্থাপন করে তিনি সে আলো ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হতে দেখেন। পরবর্তীকালের পর্যবেক্ষণে স্পষ্ট জানা যায় যে, ক্ষরণ নলের ক্যাথোড থেকে উৎসারিত ক্যাথোড রশ্মি (যা ইলেকট্রনের প্রবাহ) কাচের দেয়ালে আঘাত করার দরুন তা থেকে নির্গত অদৃশ্য বিকিরণ উপরিউক্ত পর্দায় আপতিত হওয়ায় দৃশ্যমান আলো উৎপন্ন হয়েছে। সে আলো প্রতিপ্রভা (fluorescence) নামে পরিচিত।

প্রসঙ্গত প্রতিপ্রভা সম্বন্ধে কিছু কথা বলা প্রয়োজন। উল্লেখ্য, বেরিয়াম সায়ানাইড জাতীয় আরো কিছু পদার্থ রয়েছে যেগুলো আপতিত (incident) বিকিরণের শক্তি শুষে নিয়ে পরবর্তীকালে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির (energy) বিকিরণ, যেমন দৃশ্যমান আলো নির্গত করে থাকে। এ আলোই প্রতিপ্রভা নামে পরিচিত। এক্ষেত্রে তুলনামূলক অধিক শক্তির অদৃশ্য বিকিরণ শুষে নিয়ে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির দৃশ্যমান আলোর বিকিরণ নির্গত হয়। গবেষণায় আরো দেখা যায়, অদৃশ্য এ বিকিরণ শুধু গ্লাস নয়, অনেক অস্বচ্ছ (Opaque) পদার্থকে অবলীলাক্রমে ভেদ করে চলে যেতে পারে। অদৃশ্য এ বিকিরণ ব্যবহার করে মিঃ রঞ্জন বস্তুর অভ্যন্তর ভাগের আলোকচিত্র (photograph) গ্রহণে সক্ষম হন। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, তিনি তাঁর স্ত্রীর কব্জিঅবধি হাতের তালুর ছবি গ্রহণ করেন যাতে হাড়ের পুঙ্খানুপুঙ্খ গঠনসহ জোড়ার (joint) গ্রন্থিও দেদীপ্যমান হয়ে উঠে। অবশ্য রশ্মিটি নরম কোষকলা অবলীলাক্রমে ভেদ করতে সক্ষম হলেও অপেক্ষাকৃত ঘনতর হাড়ে বাধাপ্রাপ্ত হয়। তিনি অজানা এ রশ্মিকে ইংরেজি বর্ণমালার এক্স (X) অক্ষরযোগে এক্স-রে (X-ray) নামে অভিহিত করেন। পরবর্তীকালে আবিষ্কারকের নামানুসারে এ রশ্মিকে রঞ্জনরশ্মি নামেও অভিহিত করা হয়; আর এ ধরনের

৩.৫ শিল্প সংক্রান্ত এক্স-রে বিকিরণলেখ গ্রহণকালে বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ সম্পর্কে গৃহীতব্য ব্যবস্থাদি ৩৬
৩.৬ গবেষণাকালে এক্স-রেপাত থেকে নিরাপত্তা ৩৮
৩.৭ বিকিরণ কর্মীদের নিয়োগপূর্ব স্বাস্থ্য পরীক্ষা ৩৯
৩.৮ বিকিরণ কর্মীদের স্বাস্থ্য পরিচর্যা ও তত্ত্বাবধান ৩৯
৩.৯ দুর্ঘটনাজনিত মারাত্মক বিকিরণপাত সংঘটিত হলে করণীয় ৪০
৩.৯০ নিয়োগকালীন ও নিয়োগান্তে স্বাস্থ্য পরীক্ষা ৪০
৩.১১ প্রত্যেক বিকিরণজীবীর বিকিরণপাতের পূর্ণাঙ্গ বিকিরণ লিপিবদ্ধ করে সংরক্ষণ ৪১
৩.১২ এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত পরিবীক্ষণ ৪২

চতুর্থ অধ্যায় ঃ এক্স-রেপাত থেকে রক্ষা পাওয়ার উপায়

৪.১ এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ ৪৩
৪.২ এক্স-রে যন্ত্র ও এক্স-রেপাত নিয়ন্ত্রণ ৪৩
৪.৩ বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী ৪৪
৪.৪ প্রাথমিক প্রতিরক্ষা বেষ্টনী ৪৮
৪.৫ দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনী ৪৯

পঞ্চম অধ্যায় ঃ বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের অবস্থা

৫.১ ভূমিকা ৫৪
৫.২ বাংলাদেশের এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের প্রথম অনুসন্ধান ৫৪
৫.৩ প্রথম অনুসন্ধানের পর্যাবেক্ষণসমূহ ৫৬
৫.৪ এক্স-রে স্থাপনার উপর পরিচালিত দ্বিতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল ৫৯
৫.৫ এক্স-রে স্থাপনা ও তা থেকে বিকিরণপাতের উপর পরিচালিত তৃতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল ৫৯
৫.৬ এক্স-রে স্থাপনায় তৃতীয় অনুসন্ধানের পর্যাবেক্ষণসমূহ ৬০
৫.৭ অনুসন্ধানে প্রাপ্ত ফলাফল ও পর্যালোচনা ৬১
৫.৮ এক্স-রেপাত নিরোধে গৃহীতব্য কতিপয় সুপারিশ ৬৭

ষষ্ঠ অধ্যায় ঃ এক্স-রে সন্ধান ৬৯

গ্রন্থপঞ্জি ৭১

প্রথম অধ্যায়

এক্স-রে পরিচিতি

১.১ ভূমিকা

জার্মান পদার্থবিদ উইলহেল্ম কনরাড রঞ্জন ১৮৯৫ খ্রিষ্টাব্দে অজানা এক অদৃশ্যমান অতীব প্রবেশক্ষম রশ্মির সন্ধান লাভ করেন। বায়ুশূন্য কাচনলে বৈদ্যুতিক ক্ষরণ (discharge) নিয়ে গবেষণারত অবস্থায় তিনি লক্ষ্য করেন, নলের সন্নিকটে রক্ষিত বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড আচ্ছাদিত পর্দায় উজ্জ্বল আলোর ঝলকানি (glow) প্রতিভাত হয়। ক্ষরণ নল ও উক্ত পর্দার মধ্যবর্তী স্থানে ক্রমান্বয়ে অধিকতর মোটা ধাতবপাত স্থাপন করে তিনি সে আলো ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হতে দেখেন। পরবর্তীকালের পর্যবেক্ষণে স্পষ্ট জানা যায় যে, ক্ষরণ নলের ক্যাথোড থেকে উৎসারিত ক্যাথোড রশ্মি (যা ইলেকট্রনের প্রবাহ) কাচের দেয়ালে আঘাত করার দরুন তা থেকে নির্গত অদৃশ্য বিকিরণ উপরিউক্ত পর্দায় আপতিত হওয়ায় দৃশ্যমান আলো উৎপন্ন হয়েছে। সে আলো প্রতিপ্রভা (fluorescence) নামে পরিচিত।

প্রসঙ্গত প্রতিপ্রভা সম্বন্ধে কিছু কথা বলা প্রয়োজন। উল্লেখ্য, বেরিয়াম সায়ানাইড জাতীয় আরো কিছু পদার্থ রয়েছে যেগুলো আপতিত (incident) বিকিরণের শক্তি শুষে নিয়ে পরবর্তীকালে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির (energy) বিকিরণ, যেমন দৃশ্যমান আলো নির্গত করে থাকে। এ আলোই প্রতিপ্রভা নামে পরিচিত। এক্ষেত্রে তুলনামূলক অধিক শক্তির অদৃশ্য বিকিরণ শুষে নিয়ে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির দৃশ্যমান আলোর বিকিরণ নির্গত হয়। গবেষণায় আরো দেখা যায়, অদৃশ্য এ বিকিরণ শুধু গ্লাস নয়, অনেক অস্বচ্ছ (Opaque) পদার্থকে অবলীলাক্রমে ভেদ করে চলে যেতে পারে। অদৃশ্য এ বিকিরণ ব্যবহার করে মিঃ রঞ্জন বস্তুর অভ্যন্তর ভাগের আলোকচিত্র (photograph) গ্রহণে সক্ষম হন। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, তিনি তাঁর স্ত্রীর কব্জিঅবধি হাতের তালুর ছবি গ্রহণ করেন যাতে হাড়ের পুঙ্খানুপুঙ্খ গঠনসহ জোড়ার (joint) গ্রন্থিও দেদীপ্যমান হয়ে উঠে। অবশ্য রশ্মিটি নরম কোষকলা অবলীলাক্রমে ভেদ করতে সক্ষম হলেও অপেক্ষাকৃত ঘনতর হাড়ে বাধাপ্রাপ্ত হয়। তিনি অজানা এ রশ্মিকে ইংরেজি বর্ণমালার এক্স (X) অক্ষরযোগে এক্স-রে (X-ray) নামে অভিহিত করেন। পরবর্তীকালে আবিষ্কারকের নামানুসারে এ রশ্মিকে রঞ্জনরশ্মি নামেও অভিহিত করা হয়; আর এ ধরনের

তেজস্ক্রিয় রশ্মি ব্যবহার করে গৃহীত অভ্যন্তরীণ চিত্রলেখকে বলা হয় বিকিরণ লেখ (radiograph)।

১.২ এক্স-রের প্রাথমিক প্রয়োগ ও ক্ষতির আভাস

আবিষ্কারের প্রতিবেদনে সংযোজিত মিঃ রঞ্জনের স্ত্রীর হাতের অনামিকায় পরিহিত ধাতব আংটির ছবিটিও অতি স্পষ্ট হয়ে ফুটে উঠেছিল। আর সেটি দেখেই চিকিৎসাবিদসহ অনেকেই কৌতূহলী হয়ে উঠলেন যে, দেহের কঙ্কাল পরীক্ষায় বা নরম কোষকলায় প্রবিষ্ট কঠিন বস্তু---যেমন বুলেটের অবস্থান নিরূপণ বা হাড় ভাঙ্গা, মচকানো ইত্যাদির ধরন জানতে এবং ভাঙ্গা হাড় ঠিকঠাক মতো জোড়া লেগেছে কিনা সে সম্পর্কে নিশ্চিত হওয়ার জন্য এক্স-রে ব্যবহার করা যায় কি-না। কৌতূহলী হয়ে অনেকে নিজের কঙ্কালের ছবি নিতে লাগল। এতে অবশ্য নানাবিধ সামাজিক সমস্যাও দেখা দিল। অনেকেই ব্যাপারটিকে ভালভাবে গ্রহণ করলেন না। কারণ দেহের অনেক অজানা তথ্য ও নানা অদৃশ্য অঙ্গের ছবি প্রকাশ হওয়ার সম্ভাবনা দেখা দিল। অনেকে এক্স-রে নিরোধী গুপ্তবাসের (clothes) ব্যবসায়ে নেমে পড়লো। এ থেকেই স্পষ্ট বুঝা যায় যে আবিষ্কারের অব্যবহিত পরেই এক্স-রের বহুল প্রয়োগ প্রচলিত হয়ে যায় এবং উত্তরোত্তর তা বেড়েই চলতে থাকে এবং এ ধারা অদ্যাবধি অব্যাহত রয়েছে। ভবিষ্যতেও এ ধারা অব্যাহত থাকবে বলে আশা করা যায়।

চিকিৎসকগণ রোগ নির্ণয়ে এক্স-রের বহুল প্রয়োগ শুরু করেন। বিকিরণ বিশেষজ্ঞদের বলা হয় রেডিওলজিস্ট (radiologist)। অতীব দুঃখের সাথে বলতে হয় যে, আবিষ্কারের এক বছরের মধ্যেই খবর ছড়িয়ে পড়ে যে, এক্সরেপাত দেহে বিরূপ প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে; শক্তিধর এক্স-রে আলোক কণিকার (photon) আঘাতে দেহকোষ মারাত্মকভাবে জখম (injured) হয়ে থাকে। ১৯১১ খ্রিষ্টাব্দের মধ্যে এক্স-রেপাতের ফলে সৃষ্ট ৯৪টি টিউমারের ঘটনার প্রতিবেদন ছাপা হয়। অনেকের ত্বকে ক্ষত দেখা দেয়। স্মর্তব্য যে, রেডিওলজিস্টদের অনেকেরই চিকিৎসার অন্যান্য শাখায় চিকিৎসারতদের তুলনায় ৪/৫ বছর আয়ু হ্রাস পায়; অনেকের অতি বিকিরণ পাতের (over exposure) দরুন অকাল মৃত্যু ঘটে। ১.১ চিত্রে জনৈক পথিকৃত পেশাজীবী রেডিওলজিস্টের এক্স-রেপাতের দরুন সৃষ্ট পরিণতি প্রকাশ পেয়েছে। রেডিওগ্রাফ গ্রহণকালে তিনি হাত দিয়ে এক্স-রে ফিল্মটি ধরে রাখতেন। প্রথম অবস্থায় লালিমা দেখা দেয় এবং ১৮৯৯ খ্রিষ্টাব্দে ক্ষত সৃষ্টি হয়। চিকিৎসায় কোনো সুফল না পেয়ে হাতের আঙুল কেটে ফেলা হয়।

কিন্তু দুর্ভাগ্য, কিছুদিন পর কাটা স্থানে আবারো ক্ষত দেখা দেয়। এভাবে প্রায় ৩২/৩৩ বছর চলতে থাকে। অবশেষে ১৯৩৩ সনে সারাদেহে ক্যান্সার ছড়িয়ে পড়ে মৃত্যু ঘটে। এ প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে, অতিরিক্ত এক্স-রেপাতের ফলে যেমন

চিত্র ১.১ : জনৈক পথিকৃত রেডিওলজিস্টের ডান হাত। আহত অবস্থা প্রথমে নজরে আসে ১৮৯৯খ্রিষ্টাব্দে। ১৯৩২ খ্রিষ্টাব্দে হাত কেটে ফেলা হয় এবং সারাদেহে ক্যান্সার ছড়িয়ে পড়ায় ১৯৩৩ খ্রিষ্টাব্দে তাঁর মৃত্যু ঘটে।

ক্যান্সার সৃষ্টি করতে পারে, তেমনি এর যথাযথ প্রয়োগে ক্যান্সার নিরাময়ও হয়। আশেপাশের সুস্থ কোষকলা বাঁচিয়ে সুপরিকল্পিত ও সুনিয়ন্ত্রিতভাবে হিসাবকৃত পরিমাণ এক্স-রেপাতের দ্বারা ক্যান্সারগ্রস্ত কোষকলা বিনাশের মাধ্যমে তা নিরাময়ে এক্স-রের বহুল প্রয়োগ দিন দিন বেড়েই চলেছে।

১.৩ এক্স-রের প্রকৃতি

বেতার তরঙ্গ, মাইক্রোওয়েভ (microwave), দৃশ্যমান আলো ও গামারশ্মির মত এক্স-রেও এক ধরনের বিদ্যুৎ চৌম্বক বিকিরণ। এর যেমন ভর (mass) নেই, তেমনি তড়িৎ আধানও (charge) নেই। শক্তির উপর নির্ভরশীল তরঙ্গদৈর্ঘ্য রয়েছে। গাণিতিক সূত্র অনুসারে এক্স-রের বেলায়

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

এখানে

E = এক্স-রে আলোক কণিকার (Photon) শক্তি

c = আলোর গতি (৩×১০^{৮} মি./সে.)

h = প্ল্যাংকের ধ্রুবক (৬.২৮×১০^{-৩৪} জুল-সে.)

এবং

λ = সংশ্লিষ্ট এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

এক্স-রে ও গামা-রে-এর বৈশিষ্ট্য প্রায় একই; পার্থক্য শুধু উৎপত্তি স্থলের দিক থেকে। গামা-রে পরমাণু-কেন্দ্রীন থেকে উৎসারিত হয় আর এক্স-রে পরমাণুর অভ্যন্তরীণ কক্ষস্থ ইলেকট্রনের কক্ষ (orbit) পরিবর্তনজনিত বা প্রচণ্ড বেগে ধাবমান ইলেকট্রনগুলোর হঠাৎ স্পন্দনের ফলে সৃষ্টি হয়। কোনো সুনির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত গামারশ্মি সুনির্ধারিত বিচ্ছিন্ন (discrete) শক্তির হয়ে থাকে। এর দ্বারা উপাদানকে শনাক্ত করা যায়। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিচারে এক্স-রেকে দুই শ্রেণিতে ভাগ করা যায়। যথা:

(১) বৈশিষ্ট্যমূলক (Characteristics) এক্স-রে

(২) শ্বেত বা অবিচ্ছিন্ন (White or Continuous) এক্স-রে।

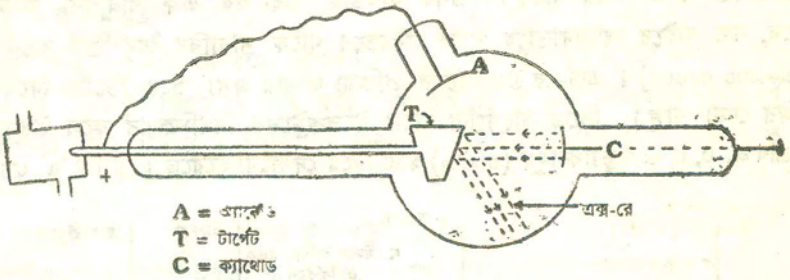
আবার শক্তির মানক্রম বিচারে অবিচ্ছিন্ন এক্স-রে দু'ধরনের। যেমন:

(ক) কোমল (soft) এক্স-রে যা নিম্ন-শক্তির বলে প্রবেশ ক্ষমতা কম

(খ) কঠিন (hard) এক্স-রে যা বেশ শক্তিধর বলে অধিক প্রবেশক্ষম।

১.৪ এক্স-রে উৎপাদন প্রক্রিয়া

এক্স-রে উৎপাদনের সরলীকৃত প্রক্রিয়া ১.২ চিত্রে দেখানো হলো। ক্যাথোড C থেকে আগত ইলেক্ট্রনরশ্মি অ্যানোড A তে স্থাপিত টার্গেট T তে আঘাত হানার ফলে এক্স-রে উৎপন্ন হতে দেখা যাচ্ছে।

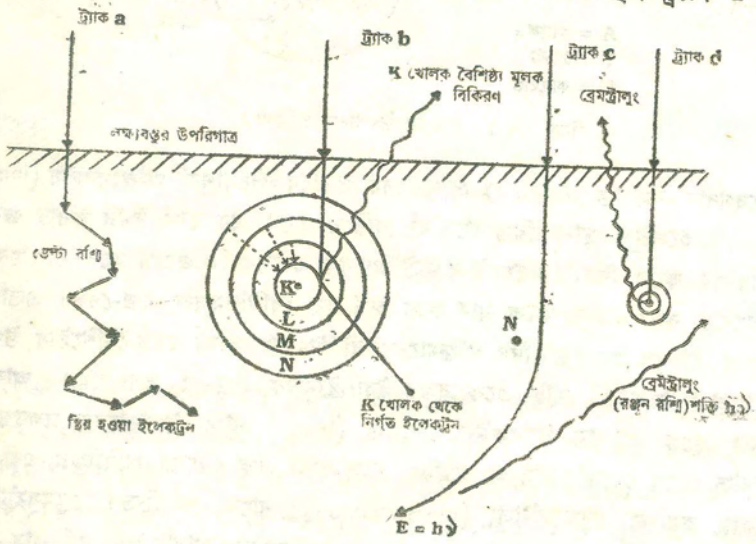


চিত্র ১.২ : এক্স-রে উৎপাদন প্রক্রিয়া।

বেগবান সমাগত (incident) বিকিরণের প্রভাবে পরমাণুর আন্তঃকক্ষীয় (inner orbital) ইলেক্ট্রন স্থানান্তরিত হলে বা বেরিয়ে এলে এর স্থান দখল করার জন্য অপরাপর কক্ষে বিদ্যমান ইলেক্ট্রন ছুটে আসে। এভাবে নিজেদের মধ্যে সাজানো-গুছানোর কাজ চলতে থাকে যার ফলে সৃষ্টি হয় বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রের। এভাবে উৎপন্ন এক্স-রে হয় সুনির্দিষ্ট শক্তিমানের যা উৎপাদনকারী বস্তুর বৈশিষ্ট্যের উপর সর্বাংশে নির্ভরশীল। তাই একে বস্তুর বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে বলা হয়। আবার প্রচণ্ড বেগে ধাবমান ইলেকট্রন জ্যোতি (beam) ভারি উপাদানের লক্ষ্যস্থলে আঘাত হেনে থেমে গেলে বা মন্থরিত হলে অন্য এক ধরনের অবিচ্ছিন্ন এক্স-রে উৎপন্ন হয় যা ব্রেমস্‌স্ট্রালুং (bremsstrahlung) নামে পরিচিত। ব্রেমস্‌স্ট্রালুং জার্মানি শব্দ, এর অর্থ braking radiation. তড়িৎ আধানযুক্ত কণিকার (এ ক্ষেত্রে ইলেকট্রন) হঠাৎ মন্দনের ফলে এ জাতীয় বিকিরণ উৎপন্ন হয়ে থাকে। ধাবমান ইলেকট্রনের সহায়তায় এক্স-রে উৎপাদনের এ প্রক্রিয়াকে আলোক ফোটনের আঘাতে ফটো-ইলেকট্রন উৎপাদন প্রক্রিয়ার বিপরীত (vice versa) প্রক্রিয়া বলা যেতে পারে। এ প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন এক্স-রে ফোটনের সব একই শক্তির (monoenergetic) হয় না, বরঞ্চ সর্বনিম্ন সম্ভাব্য শক্তি থেকে সৃষ্ট ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ শক্তিমান (E_{max}) ক্রমের হয়ে থাকে। অর্থাৎ শক্তিমত্তা হিসেবে এদের বর্ণালী নিরবচ্ছিন্ন (continuous) হয়। প্রায় সব বর্ণের সংমিশ্রণে গঠিত বলে এদেরকে শ্বেত এক্স-রেও বলা হয়। এভাবে উৎপন্ন এক্স-রের বেশির-ভাগই নিম্ন শক্তিমানের হয়ে থাকে।

এক্স-রে যন্ত্রে রয়েছে একটি ইলেকট্রন উৎস যা ঋণতড়িৎদ্বাররূপেও কাজ করে। ইলেকট্রন সবেগে ছুটানোর জন্য রয়েছে উচ্চ বৈদ্যুতিক বিভব ব্যবস্থা এবং উচ্চ গলনাঙ্কের ভারি উপাদানে তৈরি টার্গেট যাতে ইলেকট্রন এসে সজোরে আঘাত হানার ফলে এক্স-রে উৎপন্ন হয়ে থাকে। টার্গেটটি আবার ধনতড়িৎদ্বার

হিসেবেও কাজ করে থাকে। এসব ব্যবস্থাই ভরা হয় এক বায়ুশূন্য কাচ নলে, যার বাইরে আলাদাভাবে পৃথক নিয়ন্ত্রণে থাকে নানাবিধ বৈদ্যুতিক বর্তনী (electric circuit)। এক্স-রে উৎপাদনের প্রক্রিয়া জানার জন্য ১.৩ চিত্রের দিকে নজর দেয়া যাক্। চিত্রে টার্গেটের সাথে ইলেকট্রনের মিথস্ক্রিয়ার ফলে উদ্ভূত প্রভাব a, b, c ও d ট্র্যাকসমূহ (tracks) দ্বারা দিয়ে দেখানো হয়েছে। ট্র্যাক 'a' তে



চিত্র ১.৩: টার্গেটের সাথে ইলেকট্রনের মিথস্ক্রিয়ায় সৃষ্ট বিকিরণ।

দেখা যায় যে, ট্র্যাকের দিক পরিবর্তিত হয়েছে এবং আয়নায়ন ঘটেছে। ট্র্যাক b, c ও d তে এক্স-রে উৎপাদিত হয়েছে। ট্র্যাক b তে K-খোলকের (shell) ইলেকট্রন কক্ষচ্যুতির ফলে অন্যান্য কক্ষের ইলেকট্রনের মধ্যে পুনর্বিন্যাস ঘটেছে এবং সে কারণে এক্স-রেসহ নানা শক্তির বিকিরণ নির্গত হয়েছে যা সংশ্লিষ্ট উপাদানের বৈশিষ্ট্য নির্দেশ করে। এজন্য এদেরকে বলা হয় বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে ও বিকিরণ। ক্ষেত্র বিশেষে ধাবমান ইলেকট্রনটি পরমাণু-কেন্দ্রীনের সন্নিকটে গেলে বা উপরে পড়লে মন্দনের ফলে এক্স-রে সৃষ্টি হয় (চিত্রে ট্র্যাক c ও d)।

উদাহরণ: 10^{-12} মিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এক্স-রে ফোটনের শক্তি কত?

সমাধান: এক্স-রে ফোটনের শক্তি

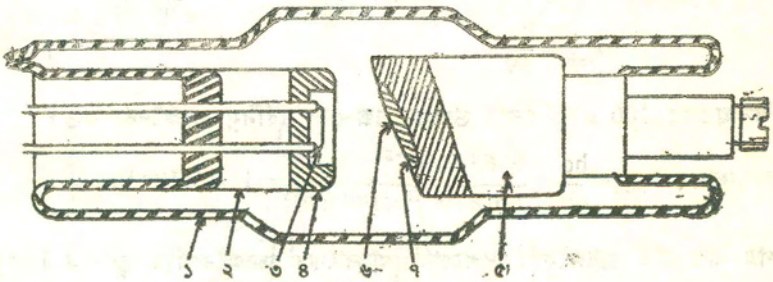
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10^{-12}} \times \frac{1}{1.6\times10^{-19}}eV$$

$$= 124 \text{ keV}$$

১.৫ এক্স-রে যন্ত্র

একটি আধুনিক এক্স-রে যন্ত্রে ইলেকট্রনের উৎস হিসেবে থাকে একখানা ধাতব তার যা ঋণতড়িৎদ্বাররূপেও কাজ করে। এ তার উত্তপ্ত করে ইলেকট্রন উৎসারণ করা হয়; যন্ত্রে রয়েছে একখানা ধনতড়িৎদ্বার যা টার্গেট হিসেবেও কাজ করে (চিত্র ১.৪)।

ঋণতড়িৎদ্বার থেকে নির্গত ইলেকট্রনকে উচ্চ বিভব (voltage) প্রয়োগে ধনতড়িৎদ্বারের দিকে সবেগে ধাবিত করে এতে স্থাপিত উচ্চ গলনাংকের পদার্থের (সচরাচর টাংস্টেন, যার গলনাংক প্রায় ৩,৪০০°C) তৈরি টার্গেটে আঘাত করানো



চিত্র ১.৪ : এক্স-রে মেশিনের প্রয়োজনীয় অংশসমূহ।

হয়। প্রয়োজন অনুসারে ইলেকট্রন রশ্মিকে টার্গেটের উপর একটি সূক্ষ্ম বিন্দু, সরলরেখা অথবা বিস্তৃতভাবে আঘাত করার জন্য নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা থাকে। ইলেকট্রন-গুলো পরমাণু কেন্দ্রীনের (nucleus) বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের সাথে কুলম্ব (Coulomb) বিক্রিয়ায় তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ অর্থাৎ ব্রেমস্ট্রালুং (এক্স-রে) উৎপন্ন করে। বেগবান ইলেকট্রনগুলোর উচ্চ শক্তির অতি ক্ষুদ্র অংশ (০.৫%) মাত্র এক্স-রেতে রূপান্তরিত হয়। অবশিষ্ট শক্তি তাপ উৎপাদনে ব্যয়িত হয় (তাপমাত্রা প্রায় ৩,০০০°C-এ উন্নীত হয়)। ফলে এক্স-রে মেশিন ঠাণ্ডা রাখার জন্য ব্যাপক আয়োজন করতে হয়। কোনো এক্স-রে যন্ত্রে 100kV বিভব প্রয়োগ করলে এবং বিদ্যুৎ প্রবাহ 100mA হলে এর বৈদ্যুতিক ক্ষমতা দাঁড়াবে 10 kW, যার মাত্র 50 Watt এক্স-রে উৎপাদনে ব্যয়িত হবে। টার্গেটকে ঠাণ্ডা রাখার জন্য তামারখণ্ডে স্থাপন করা হয় এবং পানি বা তেল সার্কুলেশনের মাধ্যমে তাপ সরিয়ে নেয়ার ব্যবস্থা করা হয়। টার্গেট থেকে উৎসারিত এক্স-রের সিংহ-

ভাগই যন্ত্রের সীসার আচ্ছাদনীতে (shielding) শোষণ করা হয়, কেবল সংকীর্ণ এক ফুটো দিয়ে অতি সূক্ষ্ম (narrow) জ্যোতিতে এক্স-রে বাইরে আসতে দেওয়া হয়। টার্গেটকে সাধারণত তির্যকভাবে (obliquely) কাটা হয়। এটি অন্য কোনো বস্তুতে আঘাত না করেই ফুটো দিয়ে এক্স-রে বাইরে আসতে পারে। প্রযুক্ত বিভব (kV) ও উৎপন্ন এক্স-রের সর্বোচ্চ কম্পাংকের (ν_{max}) মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে :

$$eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \qquad (১.১)$$

এখানে, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, c = আলোর গতি, λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

$$\therefore \quad \lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \qquad (১.২)$$

উদাহরণ : 100 kV বিভবে উৎপন্ন এক্স-রের সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

সমাধান : $\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.6\times10^{-16}\times100\times10^{3}} = 1.24\times10^{-11}\text{m}$

উৎপন্ন এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় 10^{-4} গুণ ক্ষুদ্রতর।

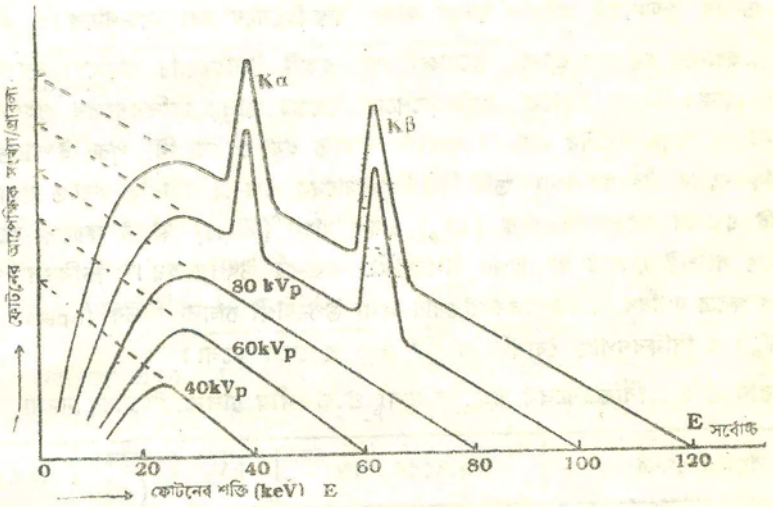
মি. রঞ্জন দেখেন যে, উচ্চ-বায়ুশূন্যতায় (hard vacuum) গভীরে প্রবেশ্য এক্স-রে আর নিম্ন বায়ু শূন্যতায় (soft vacuum) নরম এক্স-রে উৎপন্ন হয়।

এক্স-রে উৎপাদনের পরিমাণ নির্ভর করে (১) ক্যাথোডের তাপমাত্রা, (২) বিভবের বর্গ এবং (৩) টার্গেটের পারমাণবিক সংখ্যার (Z) উপর। এক্স-রের পরিমাণের একক হচ্ছে রঞ্জন (R) যা একক আয়তনের (আদর্শ তাপমাত্রার ও চাপের) বাতাসে 3.3×10^{-10} কুলম্ব ধন অথবা ঋণ-তড়িৎ আধান উৎপন্ন করে থাকে। এটি এক্স-রে পাতের সাবিক প্রভাব নির্দেশ করে।

১.৬ এক্স-রের গুণ (quality) ও তীব্রতা (intensity)

সর্বোচ্চ যে বিশেষ শক্তিতে এক্স-রে উৎপন্ন হয় তাকেই এর গুণ (quality) বা জাত বলে। এ দিয়েই এক্স-রের বৈশিষ্ট্য ও কার্যকারিতা সম্পর্কে ধারণা লাভ করা যায়। এক্স-রে যন্ত্রের ধনতড়িৎদ্বার ও ঋণতড়িৎদ্বারের মধ্যে প্রযুক্ত সর্বোচ্চ বিভবের (peak voltage, যা V_p রূপে প্রকাশ করা হয়) উপর উৎপন্ন এক্স-রের সর্বোচ্চ শক্তি কত হবে তা নির্ভরশীল। যেমন প্রযুক্ত সর্বোচ্চ বিভব 200

KiloVolt (kV) হলে উৎপন্ন এক্স-রের সর্বোচ্চ শক্তি হবে 200 keV বা 200 kV_p রূপে প্রকাশ করা হয়ে থাকে। এ প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে, সর্বোচ্চ শক্তির এক্স-রের পরিমাণ খুবই কম থাকে; বেশিরভাগই নিম্ন শক্তি মানের হয় এবং সর্বনিম্ন ক্রম শক্তি থেকে সর্বোচ্চ শক্তি পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে (চিত্রে ১.৫)। স্বল্প শক্তির এক্স-রের পরিমাণ সর্বাধিক কিন্তু এর বেশিরভাগই গতিপথে বায়ু ও এক্স-রে টিউবের গাঠনিক বস্তুতে শোষিত হয়ে যায়। ১.৫ চিত্রে ৪০, ৬০, ৮০, ১০০ ও ১২০ kV_p-তে উৎপন্ন এক্স-রে শক্তির বর্ণালী দেখানো হয়েছে যা থেকে এক্স-রে উৎপাদনের মূল প্রক্রিয়াসমূহ সহজেই বুঝা যায়। এ চিত্র থেকে কোন শক্তির কতোটি ফোটন উৎপন্ন হচ্ছে তা দেখা যায়। চিত্র থেকে আরও দেখা যায় যে, নিম্ন শক্তির এক্স-রে বর্ধিত ভগ্ন (dotted) রেখা পরিবেশে শোষণের



চিত্র ১.৫: ৪০, ৬০, ৮০, ১০০ ও ১২০ kV_p এক্স-রের বর্ণালী।

ফলে বিলুপ্ত হয়ে গেছে; এতদ্ব্যতীত ২/৩ টি জায়গায় ব্যতিক্রম ছাড়া বর্ণালীটি অবিচ্ছিন্ন রয়েছে। ব্যতিক্রান্ত চূড়াগুলো টার্গেটের বস্তুর বৈশিষ্ট্য নির্দেশক বিকিরণ যা সচরাচর বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে নামেই পরিচিত। কারণ এদের শক্তি সংশ্লিষ্ট বস্তুর পারমাণবিক সংখ্যার উপর নির্ভরশীল বলে এগুলো অনন্য।

এক্স-রের গুণ প্রযুক্ত সর্বোচ্চ বিভব (kV_p) দিয়ে বিবৃত হয়ে থাকে, আর গুণমান দিয়ে আঁচ করা যায় বিশেষ বস্তুগর্ভে এর বিদারণ ক্ষমতা (penetrating power) কত হবে।

কোনো বিশেষ শক্তি (E) বিশিষ্ট এক্স-রের তীব্রতা I (E) হচ্ছে :

$$I(E) = CZ\ (E_{max} - E) \qquad (১.৩)$$

এখানে E_{max} = উৎপন্ন ফোটনের সর্বোচ্চ শক্তি

এবং Z = টার্গেটের বস্তুর পারমাণবিক সংখ্যা

C = ধ্রুবক।

এক্স-রে নিয়ে কাজ করার সময় সংশ্লিষ্ট এক্স-রের কোনো সুনির্দিষ্ট বস্তুতে বিদারণ ক্ষমতা জানা একান্ত আবশ্যক। তাই বিদারণ ক্ষমতা দিয়েই এক্স-রেকে চিহ্নিত করা হয় এবং অর্ধমান স্তর (Half-value Layer, HVL) বের করা হয়ে থাকে। নামকরণ থেকেই এটি স্পষ্ট যে অর্ধমান স্তর হচ্ছে সংশ্লিষ্ট বস্তুর ঐটুকু পুরুত্ব যা এক্স-রে তীব্রতা হ্রাস করে অর্ধেকে নামিয়ে আনতে পারে। সাধারণত অ্যালুমিনিয়াম ও তামার পুরুত্বকেই অর্ধমান স্তরের আদর্শ বস্তু হিসেবে ধরা হয়ে থাকে।

এক্স-রে এর গুণ জানার প্রয়োজনীয়তা একটি উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যাক। যেমন কোনো ব্যক্তিবিশেষের হাতের তালুর বিকিরণলেখ গ্রহণের জন্য যে গুণমানবিশিষ্ট এক্স-রে ব্যবহার করতে হয়, ১ সে. মি. পুরু ইস্পাতের বিকিরণলেখ গ্রহণের জন্য তার দ্বিগুণ গুণমানের এক্স-রে ব্যবহার করতে হবে। তাই এক্স-রে যন্ত্রের বিভবকে (kV_p) এমন মানে (value) স্থাপন করতে হবে যাতে সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্রে প্রয়োগের উপযোগী এক্স-রে উৎপন্ন হয়। চিকিৎসা ও শিল্পক্ষেত্রে যথাযথ বিকিরণলেখ পাওয়ার জন্য উপযোগী চালনা বিভব (operating kV_p) ও বিকিরণপাত বৈশিষ্ট্য সারণি ১-১.এ দেয়া হলো।

সারণি ১.১ : বিকিরণলেখ গ্রহণের জন্য প্রয়োজনীয় চালনা বিভবের নমুনা

প্রয়োগ ক্ষেত্র	অঙ্গবিশেষ / বস্তু	kV_p	দূরত্ব (m)	mAs
চিকিৎসা ক্ষেত্রে রোগ নিরূপণার্থে	আঙ্গুলের হাড়	৪০	১	১০
	মাথার খুলি	৮০	১	১০০
	বুক	৮০	২	১০০
	বস্তিপ্রদেশ	১২০	১	১৫০
শিল্পক্ষেত্রে	৬ মি.মি. পুরু ইস্পাত	১২০	০.৫	১০
	২৫ মি.মি. ,, ,,	১৬০	০.৫	২০০

প্রযুক্ত বিভব (applied voltage) উৎপন্ন এক্স-রের গুণাগুণ (শক্তি) নিয়ন্ত্রণ করে এবং বিকিরণপাত বিদ্যুৎ প্রবাহ ও বিকিরণপাতের সময়ের গুণফলের সমান হয়ে

থাকে; যথা : বিকিরণপাত = বিদ্যুৎ (mAs) × (বিকিরণপাত ঘটনকাল)। যেমন, ১ সেকেণ্ডে ১০ mA বিদ্যুৎ প্রবাহে যে বিকিরণপাত ঘটে, ১০ সেকেণ্ড ধরে ১ mA বিদ্যুৎ প্রবাহেও একই বিকিরণপাত ঘটে থাকে। উল্লেখ্য যে, মিলি অ্যাম্পিয়ারে (mAs) প্রকাশিত এ বিদ্যুৎ প্রবাহ ক্যাথোড থেকে উৎসারিত ইলেকট্রনের সংখ্যার উপর নির্ভরশীল।

এক্স-রে স্থাপনা থেকে সংঘটিত বিকিরণপাতের হার যে কোনো আবদ্ধ (sealed) গামা বিকিরণ উৎসের চেয়ে তুলনামূলকভাবে অনেক উচ্চ। এক্স-রে যন্ত্রের আউটপুটকে (output) সাধারণত ১ mA বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য ১ মি. দূরে সংঘটিত বিশোষিত ডোজরূপে প্রকাশ করা হয় (মিলি গ্রে / মিনিট, mGy / min.), এর কিছু নমুনা ১.২ সারণিতে দেয়া হলো।

সারণি ১.২ ঃ এক্স-রে স্থাপনার আউটপুটের নমুনা

Equipment and filtration	m Gy/min./mA at 1 m
50 kV_p berryllium window tube	100
100 kV_p 3 mm Al (external to tube)	30
200 kV_p 2 mm Cu+1mm Al („ „ „)	20
300 kV_p 3 mm Cu+1mm Al („ „ „)	10
500 kV_p 3 mm Cu+1mm Al („ „ „)	25

১.২ সারণিতে প্রদত্ত বেরিলিয়াম জানালার মাহাত্ম্য এই যে, তুলনামূলক নিম্ন বিভবে উৎপন্ন এক্স-রের শক্তি এত স্বল্প যে, এদের সিংহভাগই কাঁচ নলে শোষিত হয়ে যায় কিন্তু পাতলা বেরিলিয়ামের তৈরি জানালায় শোষণ কম ঘটে।

উল্লেখ্য, এ কথা ইতঃপূর্বেই বলা হয়েছে যে, উৎপন্ন এক্স-রে সম্ভাব্য সর্ব-নিম্ন শক্তি থেকে প্রযুক্ত বিভবের সর্বোচ্চ শক্তিমানে বিস্তৃত হয়ে থাকে। তাই উচ্চতর শক্তি মানের এক্স-রে ব্যবহারের সময় শোষক বা ছাঁকনি ব্যবহার করে সম্ভাব্যসমূহ আপদ ও অপ্রয়োজনীয় বিকিরণপাতজনিত স্বাস্থ্য ঝুঁকি এড়ানোর জন্য নিম্ন শক্তির এক্স-রে শোষণ করে নেয়া হয়। কেননা স্বল্প পরিমাণে উৎপন্ন হলেও উচ্চ শক্তির এক্স-রেই শুধু কাজে লাগে আর নিম্ন শক্তির অবশিষ্ট এক্স-রেই আপদ সংকুল বিধায় নেহায়েতই অবাঞ্ছিত। যেমন, রোগ নির্ণয়ের উদ্দেশ্যে বিকিরণলেখ গ্রহণকালে নিম্ন শক্তির এক্স-রের উপস্থিতি কোনো কাজেই লাগে না। বরঞ্চ দেহে ও চামড়ায় অযথা বিকিরণপাত ঘটায়। তাই অপ্রয়োজনীয়

এক্স-রের শোষণ ঘটিয়ে অথবা বিকিরণপাতের হাত থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য বিভিন্ন পুরুত্বের তামা বা অ্যালুমিনিয়ামের পাত ছাঁকনিরূপে ব্যবহার করা হয়।

১.৭ এক্স-রের বৈশিষ্ট্য ও ধর্ম

আবিষ্কারের অব্যবহিত পরেই গবেষকগণ এক্স-রে নিয়ে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণে উৎসাহী হয়ে উঠেন। ফলে অল্পদিনের মধ্যেই এর বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য স্পষ্টতর হয়ে উঠে। যেমন :

(১) এক্স-রে অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িৎ-চৌম্বক বিকিরণ বৈ আর কিছু নয়। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সচরাচর $১০^{-১০}$ সেন্টিমিটার থেকে $১০^{-৬}$ সেন্টিমিটারের মধ্যে বিস্তৃত।

(২) এ রশ্মি সরলরেখায় গমন করে। আলোর ন্যায় এরও মাধ্যম প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার (interference), অপবর্তন(diffraction), পোলারায়ন(polarization) ইত্যাদি ঘটে।

(৩) এ রশ্মি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (transverse wave)।

(৪) এ রশ্মি অধিক ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন।

এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিচারে এক্স-রে বহুলাংশে পরমাণুর আকার (dimension) সদৃশ। তাই বস্তুর মাধ্যমে যাতায়াতকালে পরমাণু বা এর অভ্যন্তরস্থ মৌলিক কণিকার সাথেই এর মিথস্ক্রিয়ার সম্ভাবনা বেশি। হ্রস্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দরুন বস্তুর অভ্যন্তর এক্স-রের নিকট নেহায়েতই ফাঁকা স্থান, যার ভেতর দিয়ে সহজেই গলিয়ে যেতে পারে। তদুপরি বৈদ্যুতিক আধান না থাকায় তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রে আন্দোলিত না হয়ে সোজা সরল রাস্তায় চলে যেতে পারে। তাই উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাধারী বস্তু যথা সীসা, পারদ, ইস্পাত ইত্যাদি ভারি উপাদানের তৈরি প্রতিবন্ধক দিয়ে এদেরকে ঠেকানোর ব্যবস্থা করা হয়ে থাকে। ভারি উপাদানে ইলেকট্রনের সংখ্যাধিক্য এ কাজে সহায়তা করে।

(৫) এক্স-রে ফটোগ্রাফিক ইমালশনের সাথে বিক্রিয়া করে। এক্স-রের প্রথম সন্ধান লাভ ঘটে ফটোগ্রাফিক ইমালশনের সাথে বিক্রিয়ার কারণে। এক্স-রের আবিষ্কারক মি. রঞ্জনের ফটোগ্রাফির শখ ছিল। একদিন ঘটনাচক্রে তিনি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর চাবির ছড়াটি রেখে প্লেটটি গবেষণার জন্য ব্যবহৃত বৈদ্যুতিক ক্ষরক নলের (discharge tube) পাশেই স্থাপন করেন। পরে বহির্দৃশ্যের ছবি তোলার পর পরিস্ফুটন (develop) করে চাবির ছড়ার ছবি দেখে ভাবনায় পড়ে

যান। এক সময় খেয়াল হলে তিনি ধারণা করেন যে, নিশ্চয়ই ক্যারক নল থেকে অদৃশ্য ও সুপ্রবেশ্য রশ্মি এসে ফটোগ্রাফিক প্লেটে পড়ে থাকবে। তিনি পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে দেখলেন যে তাঁর ধারণা সঠিক। এরপর থেকেই অজানা এ রশ্মিকে তিনি ইংরেজি অক্ষর X-দিয়ে সূচিত করলেন এবং এভাবেই ঘটলো এক্স-রের আবিষ্কার।

(৬) এটি জিঙ্ক সালফাইড ও বেরিয়াম প্লাটিনো সায়ানাইড জাতীয় পদার্থে প্রতিপ্রভা (fluorescence) সৃষ্টি করে।

(৭) ক্যাথোড-রে নলের যে স্থানে ইলেকট্রন আঘাত করে সেখান থেকে এক্স-রে নির্গত হয় এবং বেগবান ইলেকট্রন কোনো কঠিন বস্তুকে আঘাত করলেও এক্স-রে উৎপন্ন হয়।

(৮) এটি বস্তুর সাথে মিথস্ক্রিয়ায় (interaction) পরমাণুর আয়নায়ন বা উত্তেজনা ঘটায়। পরিণামে দেহে নানা রাসায়নিক, ভৌতিক ও জৈবিক পরিবর্তন আনে। এর কোনো কোনোটি শুভ হলেও বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই অশুভ হয়ে থাকে।

(৯) এক্স-রে অদৃশ্য; এটি রেটিনায় দর্শনানুভূতি সৃষ্টি করেন। এক্স-রে পাতে চোখে দৃষ্টিহীনতা ঘটতে পারে।

(১০) এটি আলোকের সমবেগে চলে:

$$C=n\lambda$$

যেখানে C=গতিবেগ (৩×১০^{১০} সে. মি./সেঃ)

λ=তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং

n=কম্পন সংখ্যা।

(১১) ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত (incident) এক্সরে ইলেকট্রন নিঃসৃত করে অর্থাৎ এর আলোক তড়িৎ (Phofo electric) প্রতিক্রিয়া রয়েছে।

(১২) এক্স-রে পাতের ফলে জীবকোষের (germ cell) জীনের (gene) বৈশিষ্ট্য পরিবর্তিত হতে পারে যা পরবর্তী বংশধরের মধ্যে বৈশিষ্ট্যগত পরিবর্তন এনে থাকে। এ পরিবর্তনের ফল অধিকাংশই কিন্তু অকল্যাণকর হয়ে থাকে।

(১৩) আপতিত বিটা-রশ্মির যে শক্তিটুকু এক্স-রেতে রূপান্তরিত হয় তা হচ্ছে:

$$f=3.5\times10^{-4}ZE$$

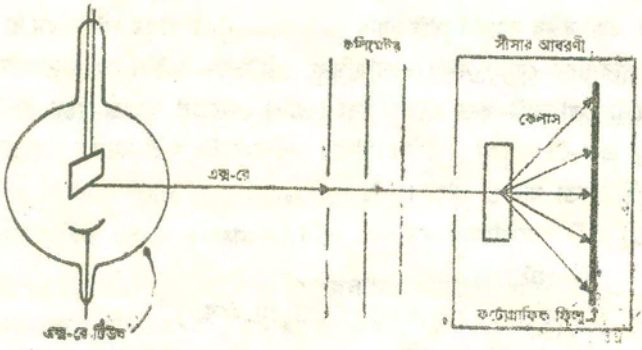
যেখানে, f=এক্স-রেতে রূপান্তরিত শক্তির অংশ (fraction)

Z=টার্গেট পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা, এবং

E=বিটা-রশ্মির সর্বোচ্চ শক্তি।

১.৮ এক্স-রের অপবর্তন (Diffraction)

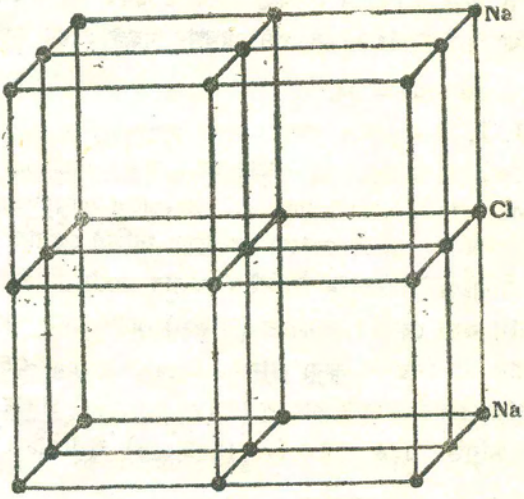
বিজ্ঞানী ভন লাউ (Von Laue) ১৯১২ খিষ্টাব্দে ধারণা করেন যে, এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) কেলাস জাফরিতে (crystal lattice) বিদ্যমান পরমাণুসমূহ যে নিয়মিত সুনির্ধারিত ব্যবধানে অবস্থান করে বহুলাংশে তার কাছাকাছি মাপের হয়ে থাকে। তিনি তাই এক্স-রে অপবর্তন পর্যবেক্ষণের জন্য কেলাসকে ত্রিমাত্রিক অপবর্তন গ্রেটিং (three dimensional diffraction grating) হিসেবে ব্যবহারের প্রস্তাব করেন। তিনি এক সূক্ষ্ম এক্স-রে জ্যোতিকে কেলাসের ভেতর দিয়ে অতিক্রম করিয়ে ফটোগ্রাফিক প্লেটে সৃষ্ট প্রভাব পর্যবেক্ষণ করেন (চিত্র ১.৬)। তিনি ফটোগ্রাফিক প্লেটে একটি গাঢ় বিন্দুকে কেন্দ্র করে চারপাশে বৃত্তাকারে



চিত্র ১.৬ : এক্স-রে-এর ভন লাউ অপবর্তন।

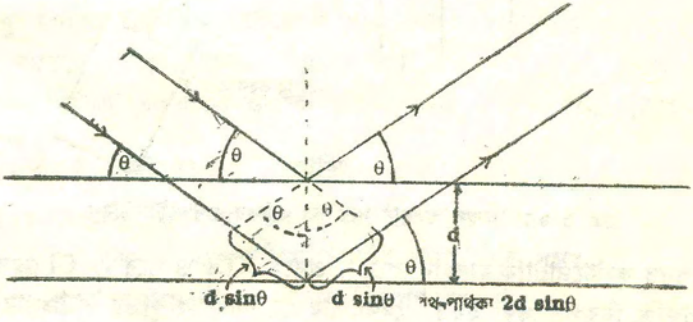
বিন্দুর প্যাটার্ন দেখতে পান। তিনি বিশ্লেষণ করে প্রতিষ্ঠিত করেন যে, এ প্যাটার্নটি সুষম (regular) বিন্যস্ত অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিক্ষেপণকে (scattering) তরঙ্গের অপবর্তনের ফলে উদ্ভূত হয়েছে। তিনি এ পরীক্ষায় স্থির সিদ্ধান্ত লাভ করেন যে, দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে এক্স-রে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ প্রায় দশ সহস্রগুণ ছোট। এর আগে এক্স-রের যে প্রতিফলন, প্রতিসরণ, অপবর্তন এবং পোলারায়ন (polarization) যা দৃশ্যমান আলোর বেলায় ঘটে তা এক্স-রের ক্ষেত্রে প্রমাণ করা সম্ভব হয় নি। তার কারণ, এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অত্যন্ত ক্ষুদ্র। ফলে এক্স-রে আবিষ্কারের সুদীর্ঘ সতের বছর ধরে প্রচুর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেও এক্স-রের সঠিক বৈশিষ্ট্য, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও আচার-আচরণ মানুষের কাছে অজ্ঞাতই রয়ে যায়।

ভন লাউয়ের প্যাটার্ন পাওয়ার জন্য নির্দিষ্ট পরিমাপের এক্স-রে তরঙ্গ ব্যবহার করতে হয়। W.L. Bragg একবর্ণের (monochromatic) এক্স-রের কেলাসে আপতনের মাধ্যমে পদ্ধতিটির সরলীকরণ করেন। সুষম বিন্যস্ত সমদূরে অবস্থিত সারিবদ্ধ সমতলে (চিত্র ১.৭) আপতিত সমবর্ণী এক্স-রে প্রতিটি ধারাবাহিক সমতলে



চিত্র ১.৭ : একটি ঘনক কেলাসের জাফরির (lattice) নমুনা।

(plane) বিক্ষিপ্ত হয়ে একই দশার (phase) দ্বিতীয় পর্যায়িক তরঙ্গগুলোর সাথে পুনঃএকত্র হয়ে শক্তিমান হয়। ফলে একই কোণে (θ) আপতিত রশ্মি গঠনমূলক ব্যতিচার গড়ে তুলে (চিত্র ১. ৭)। এটি যেন অনেকটা সাধারণ দৃশ্যমান আলোকের



চিত্র ১.৮ : ব্র্যাগের সূত্র : কেলাস জাফরিতে এক্স-রের বিচ্ছুরণ।

BANBEDOC Library Dhaka

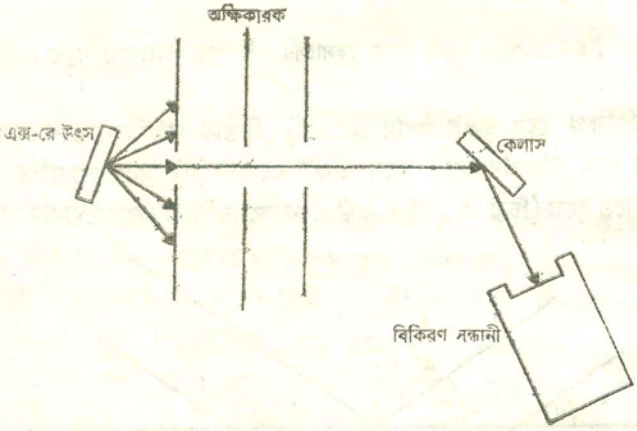
প্রতিফলনের মতোই। তাই এক্স-রের ক্ষেত্রে একে প্রতিফলন বলা হয়। এক্ষেত্রে কেলাস গায়ে না ঘটে অপবর্তন সংঘটিত হয় কেলাসের অভ্যন্তরে। পরপর আনুক্রমিক সমতল থেকে বিকিরণ একই দিকে বিক্ষিপ্ত হলে এবং একই দশায় সংঘটিত হলে এক্স-রের তীব্র প্রাবল্য লাভ ঘটে। ধারাক্রমে অবস্থিত সমতলদ্বয়ের মধ্যে ব্যবধান d হলে θ কোণে বিক্ষিপ্ত তরঙ্গদ্বয় একই দশার হবে যখন তাদের মধ্যে পথ-পার্থক্য তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এর পূর্ণ সংখ্যার সহগ হবে; অর্থাৎ

$$2d \sin\theta = n\lambda,$$

যেখানে $n = 1, 2, 3$ (১.৪)

সমীকরণ (১.৪) কে Bragg's Law বলা হয়। The conditions for n=1, 2, 3 . . . are known as first, second, third . . . . etc. order 'reflections'.

জ্ঞাত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রে কোনো কেলাসের বিভিন্ন কেলাস সমতল (crystal plane) থেকে সংঘটিত প্রতিফলন বৈশিষ্ট্য কেলাস বর্ণালীমিতির (চিত্র ১.৯) সাহায্যে পরিমাপ করে কেলাস জাফরির (lattice) গঠন এবং পরপর ধারাবাহিক জাফরির ব্যবধান d নিরূপণ করা যায়। Crystallography-তে আজও বহুল ব্যবহৃত এ প্রযুক্তি বিজ্ঞানী ডব্লিউ.এল. ব্র্যাগ (W, L. Bragg) প্রথমে উদ্ভাবন করেন এবং তাঁর পুত্র ডব্লিউ. এইচ. ব্র্যাগ (W, H. Bragg) সুপ্রতিষ্ঠিত করেন।



চিত্র ১.৯: একক কেলাস সংঘলিত এক্স-রে স্পেকট্রোমিটার।

এক্স-রে কৃস্টালোগ্রাফি ব্যবহার করে সর্বপ্রথমে KCl ও পরে NaCl কেলাসের গঠন প্রকৃতি নিরূপণ করা হয়। দেখা যায় যে ঘনক আকৃতির এ কেলাসগুলো কোষের কোণায় পালাক্রমে অবস্থিত আয়ন সমন্বয়ে গঠিত (চিত্র ১.৭)। এতদ্বারা

পরস্পর সংলগ্ন আয়নের ব্যবধান d মেপে আপতিত এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্যও নির্ণয় করা যায়। কেলাসের ঘনত্ব (ρ) এবং একক আয়তনে বিদ্যমান পরমাণুর সংখ্যা জানা থাকলে d নিরূপণ করা যায়। অর্থাৎ

$$\rho = \frac{M}{2N_0} \cdot \frac{1}{d^3} \qquad (১.৫)$$

যেখানে M হচ্ছে ভর, $2N_0$ দ্বি-পরমাণু (diatomic) কেলাসের একক আয়তনে বিদ্যমান পরমাণুর সংখ্যা।

উদাহরণ ঃ NaCl কেলাসের জন্য ব্যবধান d কত ?

সমাধান ঃ এক্ষেত্রে NaCl এর ঘনত্ব $\rho = 2{\cdot}17\times10^3$ kg/m^3 এবং আণবিক ওজন $M = (23+35.5) = 58.5$

সুতরাং $$d = \left[\frac{58.5}{2\times6.02\times10^{26}} \times \frac{1}{2.17\times10^3}\right]^{\frac{1}{3}} \text{m}$$

$$= 2{\cdot}82\times10^{-10} \text{ m}$$

পরীক্ষালব্ধ ও হিসাবকৃত এ মানে বেশ মিল রয়েছে।

(১.৪) সমীকরণে পরীক্ষালব্ধ প্রতিফলন কোণের (θ) মান বসিয়ে মিঃ ব্র্যাগ (Bragg) প্যালাডিয়াম থেকে নির্গত এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য পেয়েছেন 0.৫৮৬×১০^{-১০} মিটার। এটিই ছিল এক্স-রে তরঙ্গের প্রথম সঠিক পরিমাপন।

উপরের আলোচনা থেকে স্পষ্টত বুঝা যায় যে, বস্তুর গাঠনিক বৈশিষ্ট্য পরমাণু বিন্যাস ও উপাদান জানার জন্য এক্স-রে অপবর্তন মানুষের হাতে এক শক্তিশালী প্রয়োজনীয় হাতিয়ার। তার প্রধান কারণ $১০^{-১০}$ মিটার এর কাছাকাছি যে কোনো তরঙ্গর্দৈর্ঘ্যের এক্স-রে অতি সহজেই উৎপাদন করা যায়। আর পরমাণুর আয়তন এবং মাত্রাও প্রায় একই মাপের। তাই এক্স-রের বেলায় কেলাসের নিয়মিত পরমাণু বিন্যাস ত্রিমাত্রিক গ্রেটিংরূপে কাজ করে। আপতিত এক্স-রে পরমাণু-গঠিত সমতলে বিক্ষিপ্ত হয়ে ছড়িয়ে পড়ে এবং ব্যতিচারের দরুন আলোর তীব্রতার সর্বোচ্চ (maxima) ও সর্বনিম্ন (minima) অবস্থান গড়ে তোলে।

এক্স-রে অপবর্তন পর্যবেক্ষণের উপকারিতা হচ্ছে :

(১) কেলাসিত পদার্থের গঠন ও বৈশিষ্ট্য জানা যায়।

(২) কেলাসিত ও অকেলাসিত পদার্থের পার্থক্য ধরা সম্ভব।

(৩) পরমাণুর ইলেকট্রনের বিস্তরণ নিরূপণ করা যায়।

(৪) কেলাস এককের দিকস্থিতি (orientation) জানা যায়।

(৫) বহুকোষী বস্তুর বুনট (texture) নিরূপণ করা যায়।

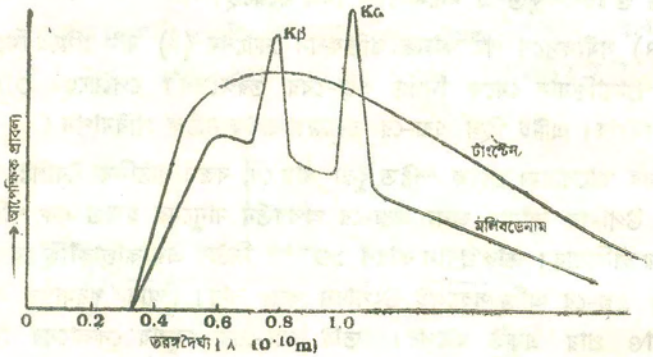
(৬) কেলাসিত দশা শনাক্তকরণের মাধ্যমে সেগুলোর আপেক্ষিক পরিমাণ জানা সম্ভব হয়।

(৭) কঠিন বস্তুর দ্রাব্যতা সীমা মেপে দশাচিত্র নিরূপণে সহায়তা করে।

(৮) বস্তুর গাঠনিক চ্যুতি, বিশৃঙ্খলা, অসম্পূর্ণতা ইত্যাদি পরিমাপ করা যায়।

১.৯ এক্স-রের বর্ণালী (Spectra)

জ্ঞাত মাত্রার ও গঠনের কেলাস সমন্বয়ে তৈরি এক্স-রে বর্ণালীমাপকের (spectrometer) সাহায্যে এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালী পরিমাপ করা যায়। বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উৎপাদিত এক্স-রের তীব্রতা বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্য নকশা (plot) অঙ্কন করলে ১.১০ চিত্রে প্রদর্শিত বিস্তরণ-নমুনা পাওয়া যায়।



চিত্র ১.১০ : এক্স-রে বর্ণালীর নমুনা।

এক্স-রে টিউবে নিম্ন বিভবে অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর বিকিরণ পাওয়া যায়। প্রযুক্ত বিভব (kV) বৃদ্ধির সাথে সাথে চূড়াবিশিষ্ট লাইন বর্ণালী অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর উপর স্থাপিত হয়। এগুলো টার্গেটস্থ উপাদানের বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে যাদেরকে বর্ণনার সুবিধার্থে K, L, M ... আনুক্রমিক এক্স-রে রূপে অভিহিত করা হয়। প্রতিটি অনুক্রমে (series) স্বতন্ত্র লাইন যেমন K_α, K_β ... ইত্যাদিও থাকতে দেখা যায়। এ সকল লাইনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যে টার্গেটের উপাদানের বৈশিষ্ট্যের জন্য তা পূর্বেই বলা হয়েছে।

অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী (Continuous Spectrum)

সর্বনিম্ন কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর এক্স-রে উৎপন্ন হবে তা এক্স-রে টিউবে প্রযুক্ত বিভবের দ্বারাই নিয়ন্ত্রিত হয়ে থাকে। সর্বোচ্চ কম্পাঙ্কের (ν_{max}) উৎপাদিত এক্স-রের ও প্রযুক্ত বিভবের মধ্যে বিদ্যমান সম্পর্ক হচ্ছে :

$$eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \qquad (১.৬)$$

যেখানে, h হচ্ছে প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক
V = প্রযুক্ত বিভব (kV)
λ_{min} = সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য
e = ইলেকট্রনের চার্জ (charge of electron)।

অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর আকৃতি প্রযুক্ত বিভবের উপর নির্ভরশীল, টার্গেটের উপাদানের উপর নয়। বর্ণালীর বক্ররেখার অধীন ক্ষেত্রফল অর্থাৎ উৎপাদিত এক্স-রের মোট শক্তির পরিমাণ হচ্ছে :

$$E_{total} = kZ\,(eV)^2 \qquad (১.৭)$$

যেখানে, Z হচ্ছে টার্গেটস্থ উপাদানের পারমাণবিক সংখ্যা, এবং $k = 0{\cdot}7 \times 10^{-6}$, যখন শক্তি MeV তে প্রকাশিত হয়ে থাকে। ইলেকট্রনের যে শক্তিটুকু এক্স-রেতে রূপান্তরিত হয় তা হচ্ছে :

$$\frac{E_{total}}{eV} = kZ\,(eV) \qquad (১.৮)$$

তাই দেখা যায় 100 kV বিভবের টাংস্টেন ($Z=74$) টার্গেটের এক্স-রে মেশিনে ইলেকট্রনের শক্তির 0.05% শক্তি এক্স-রেতে রূপান্তরিত হয়ে থাকে। ইলেকট্রনের অবশিষ্ট সমুদয় শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হয়ে থাকে।

এক্স-রের রেখা বর্ণালী (X-ray Line Spectra)

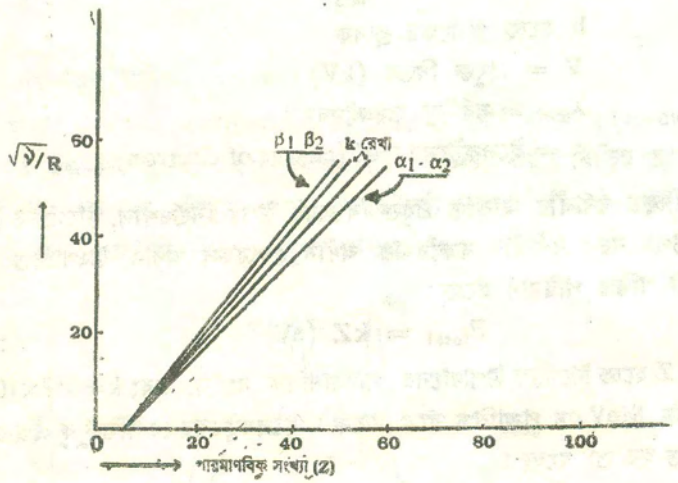
দৃশ্যমান আলোকের রেখা বর্ণালী আর এক্স-রে রেখা বর্ণালীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য পার্থক্য হচ্ছে পর্যায় সারণির (periodic table) কোনো উপাদান ও তার পরবর্তী উপাদান কর্তৃক নির্গত এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অতি নিয়মিত ব্যবধানে সংঘটিত হয়। বিজ্ঞানী মজলী (Moseley, 1913) পারমাণবিক সংখ্যা ও নির্গত এক্স-রে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে একটি গুরুত্বপূর্ণ সম্পর্ক উদ্ভাবন করেন। তিনি বহু সংখ্যক উপাদানের বর্ণালী পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে স্থির সিদ্ধান্তে পৌঁছেন

(চিত্র ১.১১) যে বৈশিষ্ট্যমূলক বর্ণালী রেখার তরঙ্গ সংখ্যার (ν) বর্গমূল টার্গেটের পারমাণবিক সংখ্যার (Z) সমানুপাতিক। মজলী দেখাতে সক্ষম হন যে, K_α বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সমীকরণ হচ্ছে:

$$\bar{\nu} = \frac{3}{4} R_H (Z-1)^2 \qquad (১.৯)$$

যেখানে R_H হচ্ছে রিডবার্গের (Rydberg's) ধ্রুবক,

$R_\alpha = 1.09737 \times 10^7 / m$



চিত্র ১.১১: K_α এবং K_β রেখার জন্য $\sqrt{\upsilon}/R$ ও পারমাণবিক সংখ্যার মধ্যে বিদ্যমান সম্পর্ক।

তিনি অন্যান্য এক্স-রে রেখা বর্ণালীর জন্যও এরূপ সম্পর্ক বের করেন (যেমন $L\alpha$, $L\beta$ lines)। তদুপরি তিনি দেখেন যে, সেকালে জানা উপাদানের পারমাণবিক সংখ্যা ও প্রদত্ত রেখা বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে ধারাবাহিকতায় বেশ বিচ্ছেদ বিরাজমান ছিল। তিনি সিদ্ধান্ত দেন যে, পর্যায় সারণিতে বেশ কিছু বিরল ও বর্ণচোরা উপাদান তখনও অজানা ছিল। পরবর্তী গবেষণায় এ সকল উপাদানের সন্ধান পাওয়া গিয়েছে এবং সেগুলো এক্স-রে বর্ণালীর সাহায্যে শনাক্ত করা হয়েছে। কোনো উপাদানের এক্সরের রেখা-বর্ণালী পরখ করে তিনি পরমাণু-কেন্দ্রীনের বৈদ্যুতিক আধান নিরূপণ করেন। মসৃণ গ্রাফ লাইন পাওয়ার জন্য মজলী প্রমাণ করেন যে, কোবাল্ট নিকেলের চেয়ে কম পারমাণবিক সংখ্যাধারী হওয়া উচিত যদিও কোবাল্টের পারমাণবিক ওজন অধিকতর। এটি এই নির্দেশ করে যে, পারমাণবিক আধান পারমাণবিক ওজনের চেয়ে অধিকতর বুনিয়াদী

রাশি (quantity)। এর কয়েক বছর পর আইসোটোপ (সমস্থানিক) আবিষ্কার তা দৃঢ়ভাবে প্রতিপন্ন করে।

এক্স-রে রেখা বর্ণালীর উৎপত্তি (Origin)

মজলী তাঁর পরীক্ষালব্ধ ফল বোরের (Bohr) পরমাণু মডেলের সাহায্যে ব্যাখ্যার প্রয়াস পান। তার মতে এক্স-রে যন্ত্রের কোনো কোনো বেগবান ইলেকট্রন টার্গেটের পরমাণুস্থ অভ্যন্তরীণ কক্ষের যেমন K, L বা M খোলকের ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষে তাকে বের করে নিয়ে আসে। এজন্য সংশ্লিষ্ট পরমাণুতে উত্তেজনা ভর করে। বেরিয়ে আসা ইলেকট্রনের শূন্যস্থানটি দখল করার জন্য অন্যান্য কক্ষে বিদ্যমান ইলেকট্রনগুলো ছুটে আসে। ফলে তাদের মধ্যে একটা সাজানো-গোছানো ও পুনর্বিন্যাসের জোর তৎপরতা শুরু হয়। এর ফলে ইলেকট্রনে কতিপয় আনুক্রমিক স্থান পরিবর্তন সংঘটনের মাধ্যমে উত্তেজনা প্রশমনের দ্বারা পরমাণুটি কতিপয় শক্তিধর শক্তিগুচ্ছ (quanta যা photon নামেই সমধিক পরিচিত) নির্গমনের মাধ্যমে ground state-এ ফিরে আসে। এগুলোই এক্স-রে রেখা বর্ণালীর উৎপত্তি ঘটায়।

পরমাণুর কক্ষের শক্তিস্তরগুলোতে এক্স-রে বর্ণালীবীক্ষণে ব্যবহৃত প্রতীকীকরণে কোয়ান্টাম সংখ্যা ১,২,৩,৪ কে যথাক্রমে K, L, M, N ... শক্তিস্তররূপে আখ্যায়িত করা হয়। আর যে সকল ইলেকট্রন স্থানান্তরণ এদের উপর শেষ হয় তাদের K, L, M, N ... আনুক্রমিক এক্স-রে রেখা বর্ণালী বলা হয়ে থাকে। বোরের তত্ত্বানুযায়ী n কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি হচ্ছে:

$$E_n = -hc\,R_H\,\frac{Z^2}{n^2} \qquad (১.১০)$$

উদাহরণ ঃ টাংস্টেন টার্গেটের K-খোলকে বিদ্যমান ইলেকট্রনের উত্তেজনন শক্তি কত?

সমাধান:

$$E_K = -hc\,R_H\frac{Z^2}{1^2}$$

$$= \frac{-(6.626\times10^{-34})\,(2.998\times10^{10})\times(1.0969\times10^{7})\times(74)^2}{(1.6\times10^{-19})}$$

$$= -74.6\ \text{keV}$$

নির্গত বিকিরণের শক্তিও এর সমান বা কাছাকাছি হবে যার তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় $১০^{-১০}$ মিটার পর্যায়ের হবে।

আধুনিক পদার্থবিদ্যার উন্নয়নে মজলীর গবেষণা অত্যন্ত গুরুত্ববহ অবদান রেখেছে।

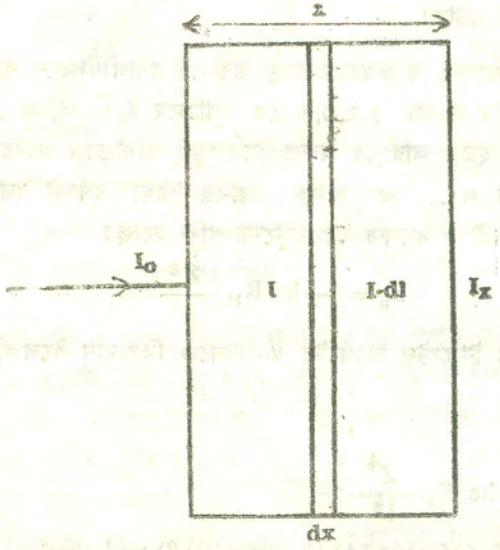
১.১০ এক্স-রের তীব্রতা হ্রাসকরণ (Attenuation)

বস্তুর ভিতর দিয়ে অতিক্রমকালে এক্স-রে জ্যোতি (beam) বিক্ষেপণ (scattering) ও বিশোষণের (absorption) ফলে উত্তরোত্তর হ্রাস বা কৃশ হতে থাকে।

I_0 প্রারম্ভিক তীব্রতার একবর্ণা এক্স-রে জ্যোতি x পুরুত্বের সমসত্ত্ব শোষক মাধ্যমে আপতিত হলে (চিত্র ১.১২) পরিবাহিত (transmitted) জ্যোতির তীব্রতা, I_x হবে:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \qquad (১.১১)$$

যেখানে, μ হচ্ছে রৈখিক বিশোষণ সহগ (linear absorption coefficient)। এটি বিকিরণের শক্তি ও শোষক মাধ্যমের বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভরশীল।

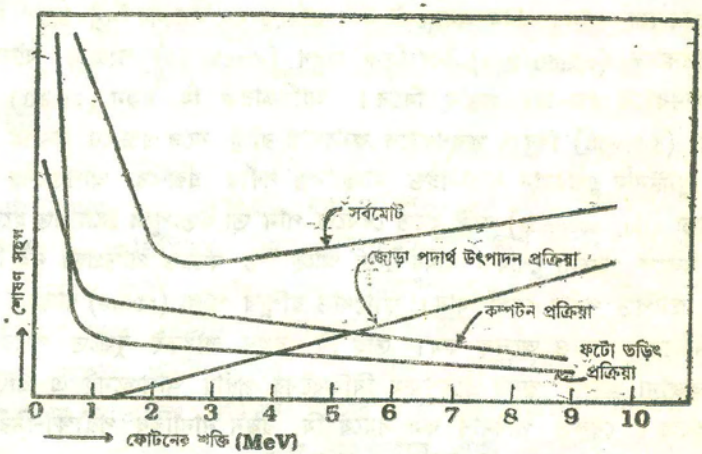


চিত্র ১.১২ : বস্তুফলকে এক্স-রে বিশোষণ।

এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিরাপত্তার জন্য বিকিরণ আচ্ছাদনী প্রণয়নে সমীকরণ ১.১১ অত্যন্ত গুরুত্ববহ।

আলোক-তড়িৎ (Photo-electric), কম্পটন বিক্ষেপণ (Compton scattering) ও জোড়া-পদার্থ উৎপাদন (pair production) প্রক্রিয়ায় এক্স-রে জ্যোতি কৃশ (attenuated) হয়। নিম্ন শক্তির এক্স-রে হ্রাসকরণে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া সবচেয়ে বেশি কার্যকর, মাঝারি শক্তির এক্স-রের ক্ষেত্রে কম্পটন প্রক্রিয়া গুরুত্বপূর্ণ আর 1.02 MeV ও ততোধিক শক্তির এক্স-রের জন্য জোড়া-পদার্থ উৎপাদন প্রক্রিয়ায় এক্স-রে ফোটন শোষিত হয়ে থাকে (চিত্র ১.১৩)। সর্বমোট সহগ উপরি-উক্ত তিন প্রক্রিয়ায় বিশোষণ সহগের যোগফল। অর্থাৎ

$\mu_{total} = \mu_{photoelectric} + \mu_{compton} + \mu_{pair\ production}$, এটি শোষক মাধ্যমে ঘনত্বের উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল।



চিত্র ১.১৩: ফোটন শক্তির সাথে বিশোষণ সহগ পরিবর্তন।

দ্বিতীয় অধ্যায়

এক্স-রের ব্যবহার ও প্রয়োগ

২.১ ভূমিকা

এক্স-রে উদ্ভাবন এবং এক্স-রে নিয়ে নানাবিধ গবেষণা ও পরীক্ষা-নিরীক্ষা পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যার সূচনা ও বিকাশে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রেখেছে। এক্স-রে নিয়ে গবেষণা করতে গিয়েই পদার্থবিদ হেনরী বেকারেল তেজ-স্ক্রিয়তার সন্ধান পান। প্রথম অধ্যায়েই বলা হয়েছে যে, গ্যাসের নিম্ন চাপে বিদ্যুৎ পরিবহণকালে (conduction) বৈদ্যুতিক ক্ষরণ (discharge) সংক্রান্ত ঘটনাবলী পর্যবেক্ষণকালে এক্স-রের সন্ধান মিলে। আবিষ্কারক মি. রঞ্জন (১৮৯৫) উচ্চ বিভবে (Kilovolt) বিদ্যুৎ ক্ষরণকালে ক্যাথোড রশ্মি নলে এক্স-রে উৎপন্ন হয়। তিনি প্লাটিনাম বেরিয়াম সায়ানাইড আচ্ছাদিত পর্দায় এক্স-রে আপতনের ফলে প্রতিপ্রভা (fluorescence) সৃষ্টি হতে দেখতে পান তা ইতঃপূর্বে উল্লেখিত হয়েছে। ক্ষরণ নলকে পাতলা শোষক আবরণীতে আচ্ছাদিত করেও প্রতিপ্রভা দুই মিটার দূরত্বে স্থাপিত পর্দায় দেখা যায়। ক্যাথোড রশ্মির পাল্লা (range) বাতাসে কিন্তু দুই মিটারের চেয়েও অনেক কম। তাই মি. রঞ্জন স্পষ্টতই বুঝতে পারেন যে এক অজানা অদৃশ্য সুদূর প্রবেশক্ষম বিকিরণের পর্দায় আপতনেই এ প্রতিপ্রভা সৃষ্টি হচ্ছে। রেকর্ড পরিমাণ কম সময়ে মি. রঞ্জন নানাবিধ পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে এ অজানা রশ্মির বৈশিষ্ট্য ও ধর্ম উদঘাটন করেন।

এক্স-রে আবিষ্কারের অব্যবহিত পরেই গবেষকগণ এ নিয়ে আরও গবেষণায় মনোযোগী হয়ে পড়েন। ফলে অতি দ্রুত এক্স-রের গুণাগুণ ও বৈশিষ্ট্য জানা যায়। এক্স-রে উৎপাদনের কলাকৌশল ও গুণাগুণ সম্বন্ধে সম্যক ধারণা পাওয়ার পর একে আর গবেষণাগারে আবদ্ধ রাখা যায় নি। চিকিৎসা, কৃষি, শিল্প, গবেষণা ও উন্নয়ন কর্মকাণ্ডে ধীরে ধীরে এর বহুল প্রয়োগ চালু হতে থাকে যা এখনও দিন দিন বেড়েই চলেছে।

বিজ্ঞানী মজলী ১৯১৩ খ্রিষ্টাব্দে এ সত্য প্রতিষ্ঠা করেন যে, প্রতিটি মৌলিক উপাদানই এক বা একাধিক সুনির্দিষ্ট শক্তির বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে নির্গত করে থাকে। এদের শনাক্ত করে সংশ্লিষ্ট উপাদানটি নির্ভুলভাবে চিনে নেয়া

যায়। নির্গত এক্স-রের তীব্রতা মেপে বস্তুতে বিদ্যমান প্রতিটি উপাদানের পরিমাণও সঠিকভাবে জানা যায়। ফলে কোনো বস্তুতে কি কি উপাদান কি পরিমাণে রয়েছে তা জেনে এর গঠন প্রকৃতি ও বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে জানা যায়। এক্স-রের কয়েকটি বাস্তব প্রয়োগের বিষয় নিম্নে আলোচনা করা হলো।

২.২ কৃষিক্ষেত্রে ব্যবহার

কৃষিক্ষেত্রে এক্স-রের ব্যবহার এক গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করছে। এক্স-রে-পাত ঘটিয়ে নানাবিধ শস্য, ফল ও শাকসব্জির বীজে জীনগত পরিবর্তন আনয়নের মাধ্যমে উন্নতজাতের অধিক ফলনশীল, রোগ প্রতিরোধী, দ্রুত বর্ধনশীল, মড়ক-প্রতিরোধী চারা গাছ উদ্ভাবন করা সম্ভব হয়েছে। এক্স-রেপাতে শস্যের পোকামাকড়, ডিম, ছত্রাক, ইত্যাদি ধ্বংস করে শস্য দীর্ঘদিন সংরক্ষণ করা যায়; যেসব স্ত্রী পোকামাকড় একবার যৌনমিলনের পরই মারা যায়, সেসব পুরুষ পোকাদের বন্ধ্যাকরণ, মোড়ক, আধার, ইত্যাদি নির্বীজায়ন (sterilize) করা যায়।

দেহের ৯৬ শতাংশ জুড়ে বিদ্যমান রয়েছে অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, কার্বন ও নাইট্রোজেন, আর সোডিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, ফসফরাস, সালফার, ক্লোরিন, পটাসিয়াম ও ক্যালসিয়াম রয়েছে দেহের ৩.৩% অংশ জুড়ে। এ ছাড়া খুব স্বল্প পরিমাণে রয়েছে লোহা, তামা, সিলিকন, দস্তা, ম্যাঙ্গানিজ, আয়োডিন, কোবাল্ট, নিকেল, সেলিনিয়াম, মলিবডেনাম ইত্যাদি। জীবদেহে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সাহায্য করাই এদের প্রধান কাজ। এদের যে কোনোটির অভাবে জীবকোষের স্বাভাবিক কার্যক্রম ব্যাহত হয় এবং দেহে বিভিন্ন রোগ লক্ষণ প্রকাশ পায়। জীবদেহের সার্বিক উন্নতিকল্পে এসব উপাদান নির্দিষ্ট অনুসরণীয় মাত্রায় থাকা অপরিহার্য। উদ্ভিদের পুষ্টির ক্ষেত্রে অনুসরণীয় উপাদানের মূল উৎস মাটি ও পানি। মাটিতে কোন উপাদান কি অবস্থায় কতো পরিমাণে বিদ্যমান রয়েছে তার উপর নির্ভর করে কি ধরনের উদ্ভিদ ও শাকসবজি সেখানে জন্মানো যাবে। যেমন, দস্তার কমতি আছে এমন মাটিতে ভুট্টার চাষ প্রায় অসম্ভব। সেচ দেয়ার আগেই জানা দরকার পানিতে ক্ষতিকর মাত্রায় সীসা, ক্যাডমিয়াম, পারদ ইত্যাদি বিষাক্ত উপাদান রয়েছে কিনা। আধুনিক এক্স-রেপাত পদ্ধতি এসব তথ্য সঠিকভাবে জানতে সাহায্য করে।

পশুর দেহের পুষ্টি সাধনে অনুসরণীয় উপাদানের ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ। খাদ্যে দস্তার অভাবে গরুর প্রজনন ক্ষমতা হ্রাস পায়; কোবাল্টের অভাবে গরুর পায়ে

(২) সমুদয় বিকিরণপাত যথাসম্ভব নিম্ন মাত্রায় রাখতে হবে (ALARA—as low as reasonably achievable)—এজন্য উদ্ভূত আর্থিক ও সামাজিক ক্ষয়ক্ষতির পরিমাণও উক্ত হিসাবের অন্তর্ভুক্ত থাকবে।

(৩) বিকিরণপাত ডোজ ICRP কর্তৃক সুপারিশকৃত বিকিরণপাত মাত্রার সর্বোচ্চ সীমা (dose limits, সারণি ৩.১) লঙ্ঘন করে যাবে না।

সারণি ৩.১ : ICRP কর্তৃক সুপারিশকৃত সর্বোচ্চ ডোজ সীমা

দেহের অঙ্গ	বিকিরণকর্মী	জনসাধারণ
সারা দেহ সমবিকিরণপাত গ্রস্ত	২০ মিলিসিভার্ট/বছরে	১ মিলিসিভার্ট/বছরে
চোখের লেন্স	১৫০ ,, ,,	১৫ ,, ,,
দেহত্বক	৫০০ ,, ,,	৫০ ,, ,,
হাতে ও পায়ে	,, ,, ,,	—

সারণি ৩.১-এ দেখা যায় বিকিরণকর্মীদের জন্য অনুমোদিত বিকিরণপাত মাত্রা জনসাধারণের তুলনায় ১০ থেকে ২০ গুণ অধিকতর। তাহলে কি তাঁদের বেলায় জনসাধারণের চেয়ে বিকিরণের প্রভাব কম—এ প্রশ্ন জাগা স্বাভাবিক। কিন্তু মোটেই তা নয়। আসল ব্যাপারটা হলো বিকিরণ পেশাজীবীরা বিকিরণ নিরোধ জরিপ বা Surveillance-এর আওতায় থাকেন, তাঁদের স্বাস্থ্য পরীক্ষার (medical check up) ব্যবস্থা করা কর্তৃপক্ষের জন্য বাধ্যবাধকতামূলক। তাই সাথে সাথে প্রতিরোধমূলক চিকিৎসার ব্যবস্থা গ্রহণ করা যায়। তাছাড়া প্রতিটি পেশাতেই কিছু না কিছু ঝুঁকি রয়েছে যা পেশাজীবীরা মেনে নিয়েই কাজ করে থাকেন। সাধারণ জনগোষ্ঠী কিন্তু এসব কোনো ব্যবস্থারই আওতাধীন নয়, সম্ভবও নয়। বিকিরণ নিরাপত্তার মান (standard) উন্নত করার জন্য ICRP বিকিরণপাত গ্রস্তদের প্রধান তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত করেছে। যথা :

(১) পেশাগত দায়িত্ব পালনকালে বিকিরণপাতগ্রস্ত প্রাপ্ত বয়স্ক ব্যক্তি; এদের-কেও আবার তিনটি উপদলে বিভক্ত করা হয়েছে, যথা : (ক) সন্তান-ধারণক্ষম মহিলা বিকিরণকর্মী; (খ) গর্ভবতী মহিলা বিকিরণকর্মী এবং (গ) উপদল (ক) ও (খ)-তে বর্ণিত পেশাজীবীদের ছাড়া অপরাপর প্রাপ্ত বয়স্ক সকল পেশাজীবী।

(২) সাধারণ জনগোষ্ঠী (public at large) যাঁদের মধ্যে রয়েছেন, (ক) ব্যক্তি বিশেষ ও (খ) জনগোষ্ঠীর বিশেষ উপদল; এবং

(৩) চিকিৎসাজনিত বিকিরণপাতগ্রাহী ব্যক্তি। এর আওতায় পড়ে রোগ নির্ণয় ও নিরাময়ের জন্য চিকিৎসা বিশেষজ্ঞের সুপারিশক্রমে যথোপযুক্ত প্রশিক্ষণপ্রাপ্ত ও কারিগরি জ্ঞানসম্পন্ন ব্যক্তি কর্তৃক রোগ নিরাময় বা নিরূপণের জন্য সংঘটিত ইচ্ছাকৃত (deliberate) বিকিরণপাত। এজন্য কোনো বেঁধে দেয়া বিকিরণপাত সীমা নেই। এক্ষেত্রে বিশেষজ্ঞ চিকিৎসক ও কলাকুশলীরাই প্রয়োজনীয় ডোজ সীমা ও বিকিরণপাত পদ্ধতি নিরূপণ করে থাকেন।

গর্ভবতী মহিলাদের বেলায় বিকিরণপাত অন্যান্য বিকিরণকর্মীদের ক্ষেত্রে অনুমোদিত সীমার $\frac{১}{১০}$ অংশের বেশি হবে না।

১৮ বছরের কম বয়সী কাউকে বিকিরণ পেশায় নিয়োজিত করা যাবে না। এক্স-রেপাতকালে এক্স-রেপাত গ্রাহীকে ধরার জন্য পেশাজীবী কাউকেও অনুমোদন করা যাবে না। নেহায়েতই প্রয়োজন হলে অপেশাজীবী কারও সহায়তা নেয়া যেতে পারে। কেননা, তাঁর বিকিরণপাত প্রাপ্তির অনুমোদিত সীমা ছাড়িয়ে যাওয়ার সম্ভাবনা খুবই কম কিন্তু পেশাজীবীরা ত পেশাগত কারণেই জীবনভর কিছু না কিছু বিকিরণপাত পেয়ে থাকেন।

এক্স-রেপাতকালে দেহের সংশ্লিষ্ট অঙ্গ ব্যতীত অন্যান্য অঙ্গে যাতে বিকিরণপাত সংঘটিত না হয় সেজন্য বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীর ব্যবস্থা ও সুষ্ঠু ব্যবহার চাই। এজন্য এক্স-রে জ্যোতির যথাযথ সমাক্ষীকরণ (collimation) ও ক্রমাঙ্কন (calibration) পূর্বেই সম্পন্ন করে নেয়া প্রয়োজন।

৩.৪ এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণার্থে জরিপ নীতিমালা

গবেষণায় জানা যায় যে, মানবদেহে প্রাপ্ত তেজস্ক্রিয় বিকিরণপাতের সিংহ-ভাগই আসে এক্স-রেপাত থেকে। পূর্ববর্তী অধ্যায়ে এক্স-রের ব্যবহার ও প্রয়োজনীয়তা সম্পর্কিত বিবরণে এ সত্য প্রতিভাত হয়েছে। গবেষণায় আরো জানা যায় যে, এক্স-রেপাতের অধিকাংশই অপ্রয়োজনীয়। একটু সচেতন হলেই তা এড়িয়ে যাওয়া সম্ভব। রোগ-নির্ণয়ে ক্ষেত্রবিশেষে প্রয়োজনীয় তথ্য সংগ্রহের জন্য প্রয়োগকৃত ডোজের অনেক কম বিকিরণপাতেই তা পাওয়ার মত উপযোগী প্রকরণাদি ও

কৌশল বর্তমানকালে উদ্ভাবিত হয়েছে। শীকরণপদ্ধতি বিরোধী ঔষধগুলির প্রয়োগ ও ঔষধগুলির মিথস্ক্রিয়া বা ঐ পদ্ধতিকে কার্যকরী করা প্রয়োজন।

(১) ঔষধগুলির প্রাণীদেহে [illegible] প্রয়োগ প্রয়োগের পদ্ধতি বিভিন্ন হয়। বিভিন্ন ঔষধের [illegible]

(২) প্রতিটি ঔষধের [illegible] ঔষধের [illegible] ঔষধের পরিমাণ ও প্রয়োগ [illegible]

(৩) ঔষধগুলির পারস্পরিক [illegible]

(৪) শিরাপথমধ্যে প্রয়োগ [illegible] প্রয়োগের [illegible]

(৫) প্রতিষেধক [illegible]

(৬) [illegible] ঔষধের [illegible] প্রতিষেধক [illegible] ঔষধের [illegible] কি না।

(৭) প্রতিষেধক ও [illegible] ঔষধের পরিমাণ [illegible] কার্যকর হয়েছে।

(৮) প্রয়োগের [illegible] কখন [illegible] ও কিরূপ প্রতিক্রিয়া করা হবে ঐ ব্যবস্থা [illegible]

(৯) বিষক্রিয়ার ফলে [illegible] ব্যবস্থা [illegible]

(১০) প্রতিষেধক ঔষধের প্রয়োগবিধি [illegible] ফল ও [illegible]

সাধারণভাবে [illegible] একাধিক ঔষধের প্রয়োগ একত্রে বা ক্রমান্বয়ে একাধিক ঔষধের প্রয়োগকালে বিষক্রিয়ার [illegible] উন্নয়ন প্রভৃতি ক্ষেত্রে প্রয়োগের বিষয়ে [illegible]

৩.৪ চিকিৎসাগারে এন্ড্রা-রোগীর নিয়ন্ত্রণ ও নিয়ন্ত্রণ

চিকিৎসাগারে এন্ড্রা-রোগের প্রয়োগ শুরু হয় এন্ড্রা-রোগের আবির্ভাবের অব্যবহিত পর থেকেই যা ইতঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে। আধুনিক চিকিৎসা ব্যবস্থায় এন্ড্রা-রোগ

ব্যবহার ক্রমাগত বেড়েই চলেছে। তাই এক্স-রে যন্ত্রের স্থাপনাও এখন বড় বড় শহর থেকে ছোট ছোট শহরে বিস্তার লাভ করছে। কিন্তু ব্যাপকভাবে এক্স-রের ব্যবহার পরিবেশ ও জনজীবনের জন্য যে কত বড় ঝুঁকি বয়ে আনছে তা এ বিষয়ে বিশেষজ্ঞগণই ভালো জানেন। সাধারণ লোক এ ব্যাপারে সম্পূর্ণ অনবহিত বা বলা চলে তারা অচেতন ও প্রতিবাদহীন।

৩.৪.১ এক্স-রে মেশিন চালক ও সহযোগী পেশাজীবীদের এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণে অনুসৃতব্য নীতিমালা ঃ সচরাচর দেখা যায় এক্স-রে মেশিন চালক ও সহযোগীরা এক্স-রে মেশিন নিয়ে কাজ করতে করতে এতোটা অভ্যস্ত হয়ে পড়েন এবং পরিবেশ ও যন্ত্রের সাথে পরিচয় এমন এক পর্যায়ে চলে যায় যে, তাঁদের কাছে এক্স-রেপাত সম্পর্কিত সব কাজই সহজ ও নিরাপদ মনে হতে থাকে। নিয়মনীতি যথাযথ না পালনে বা একটু হেরফেরের জন্য যে মারাত্মক কিছু ঘটে যেতে পারে তা খেয়ালে থাকে না। বিকিরণপাতের ব্যাপারে এ ধরনের অনবধানতা খুবই ক্ষতিকর হতে পারে। কারণ স্বল্প বিকিরণপাতের তাৎক্ষণিক প্রভাব সহজে বোধগম্য বা লক্ষণীয় না হলেও বিলম্বিত প্রভাব যখন প্রকাশ পায় তখন আর করণীয় কিছুই থাকে না, রোগভোগ আর অকাল মৃত্যু অবশ্যম্ভাবী হয়ে পড়ে। তাই বিকিরণ পেশাজীবীদের নিরাপত্তার জন্য কিছু মূলনীতি স্থির করা হয়েছে। এগুলো তালিকার লিখে রেখে প্রতিটি ধাপে যথাযথভাবে পালিত হচ্ছে কিনা তা নিশ্চিত করা হলে দুর্ঘটনা বা অতিবিকিরণপাত (over exposure) ঘটার আশঙ্কা থাকবে না। এ ব্যাপারে যেসব সতর্কতামূলক ব্যবস্থা অনুসরণীয় তা হচ্ছে নিম্নরূপ।

(১) এক্স-রে মেশিনের কার্য পদ্ধতি, ব্যবহার বিধি তথা চালনা পদ্ধতি ও এক্স-রেপাতজনিত স্বাস্থ্যঝুঁকির বিষয়ে মেশিন চালক (operator) ও ব্যবহারকারী সংশ্লিষ্ট সকলের পর্যাপ্ত প্রশিক্ষণ গ্রহণ করতে হবে।

(২) এক্স-রে মেশিন চালক ও সংশ্লিষ্ট সকলে পর্যাপ্ত বিকিরণরোধী বস্ত্রর তৈরি বুথে (booth) বা পর্দার আড়ালে আশ্রয় নিয়ে পেশাগত কাজ সম্পন্ন করবেন। মেশিন চালু অবস্থায় অরক্ষিত জায়গায় যাবেন না।

(৩) বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী এবং সমাক্ষীকরণ যন্ত্র (collimator) লাগিয়ে জ্যোতির আকার প্রয়োজনীয় সর্বনিম্ন পর্যায়ে সীমিত করতে হবে যাতে এক্স-রে-পাত গ্রহণের অঙ্গ ব্যতীত অপরাপর অঙ্গে সরাসরি জ্যোতি না পড়ে এবং বিক্ষিপ্ত বিকিরণপাতও ন্যূনতম পর্যায়ে থাকে।

BANSDOC Library
Accession No. 12470

(৪) ছাঁকনির মাধ্যমে অপ্রয়োজনীয় নিম্ন শক্তির বিকিরণ শুষে সরিয়ে ফেলতে হবে।

(৫) স্বয়ংক্রিয় দৃশ্যমান আলো ও শ্রবণযোগ্য ধ্বনি সংবলিত সতর্কতা সংকেত চালু থাকতে হবে।

(৬) ব্যক্তি ও এলাকার বিকিরণপাত পরিবীক্ষণের মাধ্যমে সময় সময় বিকিরণ নিরোধ ব্যবস্থার যথোপযুক্ততা ও কার্যকারিতা যাচাই করা আবশ্যক।

(৭) বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী সংবলিত আলাদা কক্ষে এক্স-রে যন্ত্র চালনা করা, কক্ষের বাইরে আন্তঃতালাবদ্ধ নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা এমন হওয়া দরকার যে, কোনো কারণে দরজা খোলার সাথে সাথে মেশিন অকার্যকর হয়ে পড়বে এবং এক্স-রে উৎপাদন বন্ধ হয়ে যাবে।

(৮) এক্স-রেপাত চলাকালে এক্স-রেপাত গ্রাহী ব্যক্তি ছাড়া অন্য কেউ এক্স-রে কক্ষে ঢোকা বা অবস্থান করা সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

(৯) চালক, সেবিকা বা অন্যান্য সহযোগীদের গায়ে বিকিরণরোধী আচ্ছাদন (অ্যাপ্রোন), হাতে গ্লোভস (gloves) এবং চোখে গগল্‌স্ ঠিকঠাক মত পরিধান করতে হবে এবং এমন জায়গায় অবস্থান নেয়া দরকার যাতে সরাসরি জ্যোতি দেহে আঘাত হানতে না পারে।

(১০) এক্স-রে মেশিন কমিশন (commission) করার আগে দেয়াল ও অন্যান্য বেষ্টনী ভেদ করে বা দরজা জানালা ইত্যাদির খোলা জায়গা দিয়ে এক্স-রে বাইরে চলে যাচ্ছে কিনা এ বিষয়ে পূর্ণাঙ্গ বিকিরণ জরিপ চালাতে হবে। তার আগে অবশ্যই নিশ্চিত হতে হবে যে এক্স-রে মেশিন যথাযথ নিরাপত্তা ও নিয়ন্ত্রণ বিধি অনুসরণ করে বসানো হয়েছে, জ্যোতি ক্রমাঙ্কন ও প্রমিতকরণ করা হয়েছে। যে কোনো গাঠনিক পরিবর্তন বা স্থানান্তরণের বেলায়ও পুনঃপূর্ণাঙ্গ জরিপ আবশ্যক।

এক্স-রেপাতকালে বিকিরণ নিরোধে গৃহীতব্য রীতিনীতি ব্যবহারের উদ্দেশ্য কতকাংশে স্থানিক অবস্থা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। চিকিৎসাজনিত প্রয়োগও এর কোনো ব্যতিক্রম নয়।

৩.৫ শিল্পসংক্রান্ত এক্স-রে বিকিরণলেখ গ্রহণকালে বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ সম্পর্কে গৃহীতব্য ব্যবস্থাদি

শিল্পক্ষেত্রে উৎপাদিত পণ্যের গুণগত মান যাচাই ও পরীক্ষা, পণ্যের নির্ভর-যোগ্যতা নিরূপণ, পণ্যের মান নিয়ন্ত্রণ এবং গবেষণা ও উন্নয়নে এক্স-রের বহুল

প্রয়োগ প্রচলিত রয়েছে। এ দিয়ে ক্রেতা সাধারণের আস্থা অর্জন করে লাভবান হচ্ছেন শিল্পপতিগণ। শিল্পক্ষেত্রে নিধ্বংসী পরখ (nondestructive testing) উৎপাদনের (product) গুণগত মান বজায় রেখে নির্ভরযোগ্যতার প্রমাণ দেয় এবং বাজার দখলে সহায়তা করে। তাই ক্ষেত্রবিশেষে বিকিরণলেখ গ্রহণ করে গুণগত মান নিশ্চিত করা উৎপাদন প্রক্রিয়ার অবিচ্ছেদ্য অংশে পরিণত হয়েছে। এসব ক্ষেত্রে আবদ্ধ বিকিরণ উৎস (sealed radioactive source) যথাযথ নিরাপত্তা সংবলিত বিকিরণ আচ্ছাদনীতে পুরে ব্যবহার করা হয়।

শিল্পস্থলে এক্স-রের সাহায্যে বিকিরণলেখ গ্রহণকালে গৃহীতব্য বিকিরণ নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ পদ্ধতিগুলো হচ্ছে :

(১) বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনী সংবলিত আবদ্ধ জায়গায় বিকিরণ লেখের কাজ করতে হবে, যেখানে সাধারণের যাতায়াত থাকবে না।

(২) নিয়ন্ত্রণ প্যানেল তথা চালনা ব্যবস্থা বিকিরণ উৎপাদী যন্ত্রের যে বেষ্টনী (কক্ষ) তার বাইরে স্থাপিত হবে; অর্থাৎ দূর নিয়ন্ত্রণ (remote) ব্যবস্থা এমন কৌশলে থাকতে হবে যাতে যন্ত্রের ঘেরাওয়ের প্রবেশপথ খুলে গেলেই এক্স-রে মেশিন অকার্যকর হয়ে যায়।

(৩) দুর্ঘটনা বা ভুলক্রমে কেউ ঘেরাওয়ের ভেতরে মেশিন কক্ষে আটকা পড়লে সাহায্য চাওয়ার জন্য বাইরের সাথে যোগাযোগের ব্যবস্থা, যেমন মাইক্রোফোন, ফোন, ইত্যাদি থাকা আবশ্যক; এমন অবস্থায় নিরাপদ স্থানে বেরিয়ে আসার পথ বা মেশিন অকেজো করার ব্যবস্থা বা আশ্রয় নেয়ার মত বিকিরণরোধী নিরাপদ এলাকাও থাকা দরকার।

(৪) মেশিন চালনার প্রাক্কালে শ্রবণযোগ্য ও দর্শনীয় উভয় ধরনের সতর্কতা সংকেত চালু করা দরকার যাতে সকলে সতর্ক হয়ে যেতে পারে। বিশেষ বেষ্টনীর ব্যবস্থা করা না গেলে নিরাপদ দূরত্বে দড়ি টেনে বা অন্য কোনো ব্যবস্থা নিয়ে জায়গাটিকে ঘেরাও দিয়ে আলাদা করে ফেলতে হবে যাতে অনভিপ্রেত কেউ ভেতরে ঢুকে পড়তে না পারে।

স্মর্তব্য যে, পারিপার্শ্বিক বস্তুতে প্রতিহত হয়ে প্রাথমিক জ্যোতি বিক্ষিপ্ত হয়ে থাকে। এর ফলে অনেক সময় উচ্চ মাত্রায় বিকিরণপাত ঘটে। কাজেই আশেপাশে অবস্থানকারীরা যাতে অযথা বিকিরণপাতের শিকার না হয় সে বিষয়ে যথাযথ ব্যবস্থা নিতে হবে।

৩.৬ গবেষণাকালে এক্স-রেপাত থেকে নিরাপত্তা

গবেষক ও প্রযুক্তিবিদদের হাতে এক্স-রে আজ এক মোক্ষম হাতিয়ার। একে ব্যবহার করে বিজ্ঞান ও প্রযুক্তির নানা শাখায় প্রচুর গবেষণা ও উন্নয়ন চলছে। এসবের মধ্যে প্রধান দুটি শাখা হচ্ছে কেলাসবিদ্যা (Crystallography) ও এক্স-রে বর্ণালীমিতি (X-ray Spectrometry)।

পরমাণুর সুনির্দিষ্ট ও সুবিন্যস্ত সমন্বয়ে গঠিত হয় এক ধরনের কেলাস। এক ধরনের কেলাসের সাথে অন্য ধরনের কেলাসের মিল থাকে না। প্রত্যেকেরই রয়েছে গাঠনিক স্বাতন্ত্র্য। এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরমাণুর আকারের সাথে অনেকটা তুল্য। তাই বিভিন্ন ধরনের কেলাস এক্স-রেপাতে নিজ গঠন প্রকৃতি অনুযায়ী পরমাণু দারিতে বিক্ষেপণ ঘটিয়ে সুনির্দিষ্ট অপবর্তন (diffraction) প্যাটার্ন সৃষ্টি করে তা দিয়ে সংশ্লিষ্ট কেলাসটির গাঠনিক বৈশিষ্ট্য ও পরিচয় শনাক্ত করা যায়। কেলাসবিদ্যায় স্বল্প প্রস্থচ্ছেদের শক্তিশালী এক্স-রে জ্যোতি প্রয়োগ করা হয় বলে এতে বিকিরণপাতজনিত স্বাস্থ্য ঝুঁকি অনেক বেশি।

এক্স-রে বর্ণালীমিতি বস্তুতে এক্স-রেপাত ঘটিয়ে তা থেকে উৎসারিত দ্বিতীয় পর্যায়িক এক্স-রের (Secondary X-ray) বর্ণালী বিশ্লেষণের (Spectrum analysis) দিয়ে বস্তুগত উপাদান এবং তাদের পরিমাণ ও বৈশিষ্ট্য তথা বস্তুটির গাঠনিক বৈশিষ্ট্য জেনে নেয়া যায়। এটি এক্স-রে বিশ্লেষণ পদ্ধতি নামে খ্যাত এবং অত্যন্ত নির্ভরশীল ও নির্ভুল তথ্য দানে সক্ষম।

উপরিউক্ত কাজগুলো থেকে বিকিরণপাত এড়ানোর উপায় হচ্ছে :

(১) এক্স-রে উৎপাদী যন্ত্রটি পর্যাপ্ত বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী দ্বারা বেষ্টনীর অভ্যন্তরে স্থাপন করতে হবে। বেষ্টনীর অভ্যন্তরে প্রবেশ করার দরকার হলে দরজা খোলার সাথে সাথে যন্ত্রটি যাতে শক্তিবর্জিত (de-energized) হয়ে পড়ে যন্ত্রটির নির্মাণ কাঠামোতে সে ব্যবস্থা সংযোজিত থাকা আবশ্যক। সেই সাথে এমন সব আয়োজন থাকা দরকার যাতে দেহের কোনো অংশ কোনোক্রমেই সরাসরি জ্যোতিতে না আসে।

(২) কোলেমেটর বা ছিদ্র সমাক্ষীকরণ (collimating) ব্যবস্থা থাকলে পর্যাপ্ত আচ্ছাদনীর প্রয়োজনে প্রয়োজনীয় জ্যোতিকে সম্পূর্ণরূপে অন্তরীণ করে রাখতে হবে।

(৩) মেশিনকে শক্তিধর (energize) করার সাথে সাথে স্বয়ংক্রিয় দৃশ্যমান এবং শ্রবণক্ষম সংকেতদানের ব্যবস্থাও কার্যকর হবে সংকেত দিতে থাকবে এমন ব্যবস্থা থাকা প্রয়োজন। এক্স-রের প্রশিক্ষণ ও শিক্ষাদান ক্ষেত্রেও অনুরূপ সতর্ক ব্যবস্থা থাকা প্রয়োজন।

৩.৭ বিকিরণ কর্মীদের নিয়োগপূর্ব স্বাস্থ্য পরীক্ষা (Medical Check-up)

বার্ষিক বিকিরণপাত অনুমোদিত ডোজ সীমার তিন-দশমাংশ ($\frac{৩}{১০}$) ছাড়িয়ে গেলে সে স্থানে কর্মী নিয়োগের প্রাক্কালে সংশ্লিষ্ট ব্যক্তির স্বাস্থ্য পরীক্ষা করতে হবে এবং তা রেকর্ড করে সংরক্ষণ করতে হবে। এর উপকারিতা অনেক। কখনো অতি-বিকিরণপাত ঘটে গেলে বা বার্ষিক বিকিরণপাতের ধরন বা সে কারণে রোগ লক্ষণ দেখা দিচ্ছে কিনা উক্ত রেকর্ড থেকে সে বিষয়ে নিশ্চিত হওয়া যায়। স্বাস্থ্য পরীক্ষা রেকর্ডে যা যা থাকবে তা হচ্ছে:

(১) সংশ্লিষ্ট কর্মীর ইতোমধ্যে যে সব চিকিৎসা হয়েছে তার পূর্ণাঙ্গ বিবরণ।

(২) চিকিৎসাগত (Clinical) ও রোগবিদ্যাগত পরীক্ষাগার (Pathological Laboratory) উপাত্ত ও ফলাফল, যথা: রক্ত, প্রস্রাব ও ফুসফুসের স্বাভাবিকতা সংক্রান্ত তথ্য।

(৩) পারিবারিক স্বাস্থ্যগত পূর্ণাঙ্গ বিবরণ।

(৪) অতীতে পেশাগত বা চিকিৎসাজনিত বিকিরণপাতের বিবরণ।

(৫) কাজে যোগদানকালে বা তার পূর্বে রক্তসংক্রান্ত, দেহত্বক ও ফুসফুসের রোগের ইতিহাস।

(৬) মানসিক বৈকল্য ঘটে থাকলে তার পূর্ণাঙ্গ বিবরণ।

(৭) নিউট্রন বিকিরণপাতের আশঙ্কা থাকলে চোখের লেন্সের স্বাভাবিকতা পরীক্ষা ইত্যাদি। নিউট্রনপাতে চোখের লেন্সের স্বচ্ছতা নষ্ট হয় এবং চোখে ছানি পড়ে। সেজন্য এ ব্যবস্থা গ্রহণ করা আবশ্যক।

৩.৮ বিকিরণ কর্মীদের স্বাস্থ্য পরিচর্যা ও তত্ত্বাবধান (Medical Surveillance)

কোনো বিকিরণ কর্মীর দেহে অতি বিকিরণপাত ঘটলে বা ঘটেছে বলে আশঙ্কা করা হলে সাথে সাথেই তা ডাক্তারী পরীক্ষা করতে হবে এবং তার পূর্বের স্বাস্থ্য পরীক্ষার সাথে মিলিয়ে দেখতে হবে কি ধরনের কতটুকু বিকিরণপাত ঘটেছে এবং তদানুযায়ী চিকিৎসা ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে। এছাড়া বছরে অন্তত একবার পূর্ণাঙ্গ ডাক্তারী পরীক্ষা করাতে হবে। এর প্রধান উদ্দেশ্য হচ্ছে:

(১) বিকিরণ কর্মীদের স্বাস্থ্য ও বিকিরণপাতগত অবস্থা নিরূপণ;

(২) কাজের পরিস্থিতি ও পরিবেশ ব্যক্তি বিশেষের উপর স্বাস্থ্যহানিকর প্রভাব ফেলেছে কি না তা নির্ণয়;

DHAKA LIBRARY

(৩) দুর্ঘটনাজনিত বিকিরণপাত বা পেশাজনিত অসুখ-বিসুখের কারণ অনুসন্ধানের জন্য প্রাথমিক উপাত্ত সংগ্রহ ও ভবিষ্যতের জন্য সংরক্ষণ। এবং

(৪) প্রাসঙ্গিক তথ্য।

চিকিৎসাগত নিরীক্ষণ কার্যক্রমে যা যা থাকবে তা নিম্নরূপ:

(১) চিকিৎসাগত ও বিকিরণ-বিষবিজ্ঞানজনিত (Radiotoxicological) পরীক্ষার তফসিল (schedule)।

(২) সংশ্লিষ্ট ব্যক্তির বিকিরণ সংবলিত বিশেষ কাজ করার শারীরিক ও মানসিক সুস্থতা রয়েছে কি না তা পরীক্ষার বিষয়াদি স্থিরীকরণ।

(৩) সচরাচর সংঘটিত বিকিরণপাতজনিত দুর্ঘটনা বা তেজস্ক্রিয়তা দূষণ মোকাবিলার উপযোগী প্রাথমিক চিকিৎসাদানের সরঞ্জামাদির জোগান এবং যথাযথ চিকিৎসাগত রেকর্ড সংরক্ষণের ব্যবস্থা।

(৪) স্বাস্থ্য রক্ষা ও নিরাপত্তার এবং এতদসংক্রান্ত কাজে সহযোগিতাদানের উপর প্রতিষ্ঠানের কর্মীদের প্রশিক্ষণদান।

৩.৯ দুর্ঘটনাজনিত মারাত্মক বিকিরণপাত সংঘটিত হলে করণীয়

(১) পূর্ণাঙ্গ স্বাস্থ্য পরীক্ষা;

(২) স্বাস্থ্য পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ থেকে প্রাপ্ত ডোজ সম্পর্কে তথ্য গ্রহণ;

(৩) তাৎক্ষণিকভাবে রক্ত পরীক্ষা যা ৬ থেকে ১২ ঘণ্টা অন্তর অন্তর চালিয়ে যেতে হবে;

(৪) ক্রোমোজোমাল ডাইসেনট্রিক এবারেশনস (Chromosomal dicentric aberrations) গণনার দ্বারা সারা দেহে প্রাপ্ত বিকিরণপাত ডোজ নিরূপণ;

(৫) তীব্র বিকিরণপাতের ফলে প্রাথমিক পর্যায়ে সৃষ্ট দৈহিক ত্রুটিসমূহের জরুরী চিকিৎসা করা;

(৬) বিকিরণপাত গ্রস্তকে জাতীয় অথবা আঞ্চলিক স্বাস্থ্যকেন্দ্রে বিশেষ চিকিৎসার জন্য স্থানান্তর করা (নির্বীজায়িত অবস্থান কক্ষ ও ক্ষতিগ্রস্থ অস্থিমজ্জা সরিয়ে সুস্থ অস্থিমজ্জা প্রোথিত করার দরকার হতে পারে)। বিকিরণপাতজনিত দুর্ঘটনার পর চিকিৎসাজনিত বা স্বাস্থ্যগত সমস্যা না থাকলে বিকিরণপাত, স্বাস্থ্য, বয়স ও বিশেষ কর্মদক্ষতা বিবেচনায় যোগ্য হলে সংশ্লিষ্ট কর্মী দৈনন্দিন বিকিরণ কাজ চালিয়ে যেতে পারেন।

৩.১০ নিয়োগকালীন ও নিয়োগান্তে স্বাস্থ্য পরীক্ষা

নির্দিষ্ট সময়ান্তর স্বাস্থ্য পরীক্ষায় চিকিৎসককে বিষবিজ্ঞান-সংক্রান্ত বিশ্লেষণ (Toxicological analysis), সারাদেহ বা অঙ্গবিশেষের তেজস্ক্রিয় ভার (radioactive

burden) এবং বাহ্যিক এবং অভ্যন্তরীণ বিকিরণ ডোজের পরিমাণ সংক্রান্ত উপাত্ত সরবরাহ করতে হবে। বিকিরণ ঝুঁকি রয়েছে এমন কাজে নিয়োজিত প্রত্যেক কর্মীকে নির্দিষ্ট সময়ান্তরে মেডিকেল পরীক্ষার সম্মুখীন হতে হবে। সংশ্লিষ্ট কর্মীর স্বাভাবিক স্বাস্থ্য ও কাজের ধরণের উপর নির্ভর করে কতোবার স্বাস্থ্য পরীক্ষা করতে হবে তা স্থির করতে হবে।

যদি কোনো কর্মীর চাকরিকালে অতি-বিকিরণপাত ঘটে তাহলে চাকরির শেষেও তাঁর স্বাস্থ্য পরীক্ষা চালিয়ে যেতে হবে।

দুর্ঘটনার কারণে কেবল অতি-বিকিরণপাতের ক্ষেত্রেই নয় বিকিরণপাত ডোজ বার্ষিক ডোজ সীমার দ্বিগুণ হলেই সংশ্লিষ্ট ব্যক্তিকে ভারপ্রাপ্ত চিকিৎসকের কাছে পাঠাতে হবে এবং প্রয়োজনবোধে বিশেষজ্ঞ চিকিৎসকের কাছে পাঠিয়ে বিশেষ চিকিৎসাধীনে রাখতে হবে।

৩.১১ প্রত্যেক বিকিরণজীবীর বিকিরণপাতের পূর্ণাঙ্গ বিবরণ লিপিবদ্ধ করে সংরক্ষণ (Record Keeping)

প্রত্যেক বিকিরণজীবীর ব্যক্তিগত বিকিরণপাত ও চিকিৎসা বিবরণী পৃথক পৃথকভাবে নির্ধারিত নথিতে সংরক্ষণ করা দরকার। প্রয়োজনবোধে তা থেকে ব্যক্তিবিশেষের চিকিৎসাগত ও বিকিরণপাত সংক্রান্ত তথ্য জানা যাবে। বিবরণীতে দুর্ঘটনাজনিত বিকিরণপাতের সবিস্তার বর্ণনা থাকবে। আরো থাকবে দৈহিক ও আঙ্গিক তেজস্ক্রিয়-উপাদানের বোঝা ও প্রাপ্ত বিকিরণপাতের সাময়িক মূল্যায়নের বিবরণী। জাতীয়ভাবে স্থিরীকৃত পদ্ধতিতে এ সব বিবরণী সংরক্ষণ করা দরকার, কেননা তাঁরা এক কর্মস্থল থেকে অন্যত্র বদলি হলে, বা পেশাগত পরিবর্তনে যেন বিভ্রান্তি সৃষ্টি না হয় সেজন্য যথোপযুক্ত চিকিৎসা কর্তৃপক্ষ কর্তৃক প্রণীত নিয়ম বিধি অনুযায়ী তৈরি ছকে বিবরণ লিপিবদ্ধ হওয়া উচিত। এসব বিবরণ অন্যূন ৩০ বছর ধরে সংরক্ষণ করা দরকার।

বিকিরণজীবীদের বিকিরণপাত নিরোধে প্রধান সমস্যা হচ্ছে সময়ের সাথে কর্মস্থলের আশেপাশের এলাকা ও মেশিনের সাথে ভালো পরিচিতি, জানাশোনা ও ঘনিষ্ঠতা জন্মায়। ফলে এক্স-রে মেশিন থেকে বিকিরণ ঝুঁকির প্রতি সতর্কতা সবসময় এক পর্যায়ের থাকে না। তাছাড়া কোনো কোনো বিকিরণ স্থাপনায় এলাকাগত বিকিরণ জরিপ ও পর্যানুসরণের কোনো ব্যবস্থাই থাকে না। ফলে চালক একথা প্রায় ভুলেই যান যে তিনি উচ্চ বিকিরণ ক্ষেত্রে কার্যরত। অনেক

সময় অপেক্ষাকৃত হ্রস্বতর পদ্ধতিতে কাজ করার ঝোঁকও পেয়ে বসে। এর বিহিত করা যেতে পারে একাধিক মেশিন চালক ও সহকারী নিয়োগ করে। তাতে একে অপরের ভুল শোধরানোর সুযোগ ঘটবে এবং কাজের চাপ কমলে তাড়াহুড়া করার তেমন প্রয়োজন হবে না।

৩.১২ এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত পরিবীক্ষণ (Monitoring)

এক্স-রে মেশিন বসানোর (Commissioning) পদ্ধতির অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ অংশ পূর্ণাঙ্গ বিকিরণ জরিপ। বিকিরণ আচ্ছাদনীর সম্ভাব্য দুর্বল অংশ যেমন জোড়া, (Joints), জানালা ছিদ্রপথ, দরজা, সেবাদানের জন্য ছিদ্রপথ, গর্ত, ইত্যাদি দিয়ে সম্ভাব্য বিকিরণপাতের প্রতি বিশেষ লক্ষ্য রাখা দরকার। সর্বোচ্চ বিভব ও বিদ্যুতে স্বাভাবিক চালু অবস্থায় বিকিরণ জরিপ করা আবশ্যক। যেমন কোনো এক্স-রে মেশিন আনুভূমিক অবস্থায় চালনার জন্য স্থাপিত হয়েছে, এমতাবস্থায় একে উপর বা নিচের দিকে করে পরিচালনা করলে সে অবস্থায় ছাদের উপরে বা নিম্ন তলায় বিকিরণপাত গ্রহণযোগ্য সীমায় থাকবে কিনা তা যাচাই করা দরকার। সন্নিহিত এলাকায় উচ্চ বিকিরণপাতের সম্ভাবনা থাকলে তা অনুমোদিত মাত্রায় হ্রাস করার ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে; অন্তত উদ্ভূত পরিস্থিতির জন্য সতর্কতা অবলম্বন করতে হবে। এজন্য এমন যান্ত্রিক ব্যবস্থা সংযোজন করা যায় যাতে নির্ধারিত সীমার অধিক বিভবে মেশিন চালানো না যায়, বা অতিরিক্ত বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী জুড়ে দিয়ে সতর্কতা সংকেতসহ এলাকায় বিকিরণপাত পরিবীক্ষণ যন্ত্রপাতি স্থাপন করা যায়। মেশিন স্থাপনার প্রাককলনেই এসব ব্যবস্থার কথা ভাবতে হবে। তবুও সরাসরি বিকিরণপাত পরিমাপ করে নিরাপত্তার নিশ্চয়তা বিধান করা অবশ্য কর্তব্য। নির্ধারিত সময়ান্তরে বিকিরণ জরিপও সম্পন্ন করতে হবে।

বিকিরণপাত পরিবীক্ষণে নিয়োজিত যন্ত্রপাতির সাড়া (response) বিকিরণের শক্তির উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল, একথা বিশেষ বিবেচনায় রাখতে হবে। অন্যথায় মহাবিপদ ঘটে যাওয়ার সম্ভাবনা থেকে যাবে।

এক্স-রে মেশিন চালক এবং অন্য যারা কাছাকাছি এলাকায় কর্মরত, তাদের বিকিরণপাতগ্রস্ততার পরিমাণের বিচারেই নির্ণীত হয় স্থাপনাটি কত নিরাপদ। বিকিরণপাত সাধারণত ফিল্ম ব্যাজ বা টিএলডি (TLD) ব্যবহার করে নিরূপণ করা হয়। নিরাপত্তার মান যাচাইয়ের প্রয়োজনে ফিল্ম ব্যাজ বা টিএলডি কিছু কিছু অবস্থানে রেখে দিয়ে রুটিনমাফিক এলাকাগত বিকিরণপাতের ধারণা লাভ করা যেতে পারে।

চতুর্থ অধ্যায়

এক্স-রেপাত থেকে রক্ষা পাওয়ার উপায়

৪.১ এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণ

উৎপত্তির (Genesis) বিচারে বিকিরণের উৎসকে দুটি প্রধান ভাগে ভাগ করা যায়; যথা: (১) প্রাকৃতিক বিকিরণ উৎস, যাদের প্রকৃতিতে পাওয়া যায় এবং বিশ্বজগৎ সৃষ্টির আদি থেকেই বিরাজমান রয়েছে, যেমন ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম, পটাশিয়াম-৪০, ইত্যাদি এবং (২) কৃত্রিম বা মনুষ্য সৃষ্ট বিকিরণ উৎস, যেমন এক্স-রে মেশিন, ত্বরণ যন্ত্র, পরমাণু চুল্লি ইত্যাদি। উল্লেখ্য যে, যেভাবেই উৎপত্তি হোক, বস্তু ও জীবদেহে বিকিরণের মিথষ্ক্রিয়া (interaction) ও প্রভাব কিন্তু এক এবং অভিন্ন। এতদ্‌সত্ত্বেও বিকিরণ নিরোধ ও নিরাপত্তার ক্ষেত্রে কৃত্রিম উৎস থেকে উৎসারিত বিকিরণপাতের বেলায় বাড়তি সুবিধাটুকু এই যে, কৃত্রিম উৎসগুলো যেহেতু মানুষেরই তৈরি, সেহেতু মানুষ এ সম্বন্ধে সম্পূর্ণ ওয়াকিবহাল, এসবের ধরন ধারণ, পরিমাণ, বৈশিষ্ট্য সবই মানুষের ভালোভাবে জানা। ইচ্ছা করলেই মানুষ উৎপাদন নিয়ন্ত্রণ করতে পারে, প্রয়োজন-বোধে বন্ধও করে দিতে পারে যা নৈসর্গিক বিকিরণ উৎসের বেলায় মোটেও প্রযোজ্য নয়। এক্স-রে যেহেতু মনুষ্যনির্মিত তাই এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণেও বাড়তি সুবিধা রয়েছে। এজন্য বিধিবদ্ধ নিয়মনীতিও ইতোমধ্যে স্থির করা হয়েছে। প্রয়োজন শুধু সচেতনতা, ধরাবাঁধা এসব নিয়ম-নীতি মেনে এক্স-রে মেশিন স্থাপন করা ও এক্স-রেপাত ঘটানো। এক্স-রেপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণে গৃহীতব্য ব্যবস্থাদি আলোচনার পূর্বে জানা দরকার কিভাবে এক্স-রেপাত ঘটে আর তাতে কি কি বিষয় সংশ্লিষ্ট রয়েছে।

এক্স-রে উৎপাদিত হয় এক্স-রে যন্ত্রে কিন্তু এক্স-রেপাতগ্রস্ত হয় এক্স-রে মেশিন চালক, এক্স-রেপাতগ্রাহী ব্যক্তি, আশেপাশে উপস্থিত ব্যক্তিবর্গ ও বিরাজমান বস্তু তথা পরিবেশ। তাই প্রথমেই আসে এক্স-রে উৎসের নিয়ন্ত্রণ ও বিকিরণ নিরোধের কথা, অতঃপর আসে অন্যান্য এক্স-রেপাতগ্রস্তদের বিষয়।

৪.২ এক্স-রে যন্ত্র ও এক্স-রেপাত নিয়ন্ত্রণ

রেডিও আইসোটোপের ন্যায় এক্স-রে যন্ত্র থেকে সর্বদাই বিকিরণ নির্গত হয় না। ইচ্ছামত চাবি ঘুরিয়ে এক্স-রে উৎপাদন শুরু বা বন্ধ করা যায়। এক্স-রে

যন্ত্র থেকে উৎসারিত বিকিরণপাতের চার আলফা স্বল্পমানের তেজস্ক্রিয় আইসো-টোপ উৎস থেকে উৎসারিত বিকিরণপাতের হারের চেয়ে সচরাচর অনেক বেশি হয়ে থাকে। এক্স-রে যন্ত্রকে এমনভাবে স্থাপন ও চালনা করা আবশ্যক যাতে বিকিরণপাতগ্রাহী ব্যক্তি ব্যতীত অপর কেউই সরাসরি এক্স-রে রশ্মির সংস্পর্শে না আসে বা দুর্ঘটনাক্রমেও বিকিরণপাতগ্রস্ত না হয়। এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণ-পাতরোধে মূলত তিনটি প্রধান উপায় রয়েছে। যথা :

(১) বিকিরণপাত কাল (exposure time) নিয়ন্ত্রণ করা,

(২) এক্স-রে যন্ত্র থেকে যথাসম্ভব দূরে অবস্থান নেয়া ;

(৩) বিকিরণরোধী আচ্ছাদন (shielding) দিয়ে ঢেকে নেয়া।

৪.২.১ বিকিরণপাতকাল নিয়ন্ত্রণের মাধ্যমে বিকিরণপাত নিরোধ : বিকি-রণপাত নিয়ন্ত্রণে বিকিরণপাতকাল এক অতীব গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। কোনো বিকিরণ এলাকায় কর্মরত ব্যক্তিবিশেষ কর্তৃক প্রাপ্ত পুঞ্জীভূত বিকিরণ-পাত সে ক্ষেত্রে বিদ্যমান বিকিরণপাতের হার ও অবস্থানকালের গুণফলের সমান হয়ে থাকে। তাই বিকিরণ এলাকায় অবস্থানকাল নিয়ন্ত্রণ করে বিকিরণপাতও নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

৪.২.২ দূরত্ব নিয়ন্ত্রণ করে বিকিরণপাত নিরোধ : চলতি পথে বিদ্যমান বস্তুসমূহ শোষণ, বিক্ষেপণ (scattering), বিচ্যুতি (deviation), ইত্যাদি কারণে দূরত্ব অতিক্রমণের সাথে সাথে বিকিরণের তীব্রতা দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে হ্রাস পায়। যেমন, দূরত্ব ২ গুণ বাড়লে বিকিরণের তীব্রতা হ্রাস ঘটে ৪ গুণ; ৩ গুণ বাড়লে হ্রাস ঘটে ৯ গুণ, আর ৪ গুণ বাড়লে হ্রাস ঘটে ১৬ গুণ, ইত্যাদি। তাই স্পষ্টতই দেখা যায় বিকিরণ উৎস থেকে প্রয়োজনীয় দূরত্বে অবস্থান নিয়ে সহজেই বিকিরণপাত রোধ করা যায়।

৪.৩ বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী (Shielding)

কোনো কোনো ক্ষেত্রে উল্লিখিত পদ্ধতিদ্বয় প্রয়োগ করেও বিকিরণপাত অনু-মোদিত মাত্রায় নামিয়ে আনা সম্ভব হয় না। তা ছাড়া অনেক সময় অনুমো-দিত স্বল্পকালে বা প্রয়োজনীয় দূরত্বে অবস্থান নিয়ে কাজ সুষ্ঠুভাবে সম্পাদন করা যায় না। ইতোমধ্যেই আলোচিত হয়েছে যে বিকিরণ বস্তুর মাধ্যমে শোষিত, বিক্ষেপিত বা বিচ্যুত হয়ে থাকে। এই ভারি বস্তুর উপযুক্ত পুরুত্বের আচ্ছাদনী বিকিরণের তীব্রতাকে হ্রাস করে অনুমোদিত পর্যায়ে নামিয়ে আনে। বিকিরণের শক্তির উপর নির্ভর করে কোন উপাদানের কতটা পুরু আচ্ছাদনী দরকার।

সচরাচর উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাধারী (high atomic number) ভারি উপাদান যেমন, সীসা, পারদ, নিদাগ (stainless) ইস্পাত, কংক্রিট ইত্যাদি আচ্ছাদনী বস্তু-রূপে সর্বাধিক কার্যকর। এক্স-রেপাত নিরোধের জন্য দুই জায়গায় আচ্ছাদনী দিতে হয়। যথা :

(১) এক্স-রে উৎপাদনী যন্ত্রটিকে আচ্ছাদিত করা, ও

(২) স্থাপনা তথা গাঠনিক (structural) আচ্ছাদন ব্যবহার করা।

প্রথমোক্ত ধরনের আচ্ছাদনটি এক্স-রে নির্মাতা এক্স-রে মেশিনের সাথেই সর-বরাহ করে থাকে। এটি এক্স-রে মেশিনের সাথেই তৈরি হয় যাতে এক্স-রে মেশিনটি পুরে রাখা হয়। সীসার তৈরি এ আচ্ছাদন সরাসরি বিকিরণ বিম-এর দিক ছাড়া অন্য সব দিক থেকেই এক্স-রে রশ্মিকে বাইরে আসতে বাধা দেয়। তবুও কিছু বিকিরণ ফাঁকা বা ছিদ্র জায়গা দিয়ে আসা অসম্ভব নয়। তাই আরো সাবধানতা অবলম্বন করা দরকার।

রোগ নির্ণয় ও নিরাময়—উভয়বিধ উদ্দেশ্যেই এক্স-রে ব্যবহৃত হয়। অবশ্য এ উদ্দেশ্যে সম্পূর্ণ দুটি ভিন্ন ধরনের এক্স-রে যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। উল্লিখিত দু'ধরনের এক্স-রে যন্ত্রের জন্য নিম্নে বর্ণিত দু'ধরনের বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

রোগ-নির্ণয়ে ব্যবহৃত এক্স-রে মেশিনের বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীর নির্মাণ এমন হওয়া দরকার যাতে সর্বোচ্চ বিভবে (voltage) অবিরাম চালালেও টার্গেট থেকে ১ মিটার দূরত্বে সংঘটিত বিকিরণপাত মাত্রা ঘণ্টায় ১০০ মিলি রঞ্জন (30×10^{-6} C/kg) ছাড়িয়ে না যায়। একইরূপে একই চালনাবস্থায় রোগ নিরাময়ে ব্যবহৃত এক্স-রে মেশিনের ক্ষেত্রেও টার্গেট থেকে ১ মিটার দূরে সংঘটিত বিকিরণপাত যাতে ঘণ্টাপ্রতি 1R ($3,000\times10^{-6}$ C/kg) ছাড়িয়ে না যায় সে ব্যবস্থা রাখতে হবে।

গাঠনিক তথা স্থাপনাগত বিকিরণ নিরোধী আচ্ছাদনীর প্রধান কাজ প্রয়োজনীয় রশ্মি মেশিনের বিকিরণ নিরোধী আচ্ছাদনী গলিয়ে আসা বিকিরণ ও বিক্ষিপ্ত বিকিরণ থেকে উদ্ভূত বিকিরণপাত এবং তা থেকে রক্ষা করা। এজন্য এক্স-রে টিউব এবং যে ব্যক্তি বা বস্তু বিকিরণপাতগ্রস্ত হবে তার অবস্থান এলাকাকে ঘিরেই গড়ে তোলা হয় গাঠনিক তথা স্থাপনাগত বিকিরণ নিরোধী আচ্ছাদনী। এ ধরনের আচ্ছাদনীর গঠন পরিস্থিতি ও পরিবেশ ভেদে ভিন্ন ভিন্ন ধরনের হয়ে থাকে। যেমন ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জীব বা উদ্ভিদকে বিকিরণপাতগ্রস্ত (irradiate) করার জন্য সীসার পাত দিয়ে মোড়ানো বাক্সে পুরে নেয়া হয়। রোগ

নিরাময় ও নিরূপণের জন্য ব্যবহৃত এক্স-রে মেশিনকে বিকিরণরোধী আচ্ছাদনে ঘেরা কক্ষে স্থাপন করা হয় যা ভেদ করে এক্স-রে রশ্মি সচরাচর বাইরে আসতে পারে না। তাই গাঠনিক বা স্থাপনাগত বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী এমনভাবে তৈরি করা হয় যাতে উচ্চ বিকিরণ তীব্রতা স্পন্দন এলাকার বাইরের অবস্থান স্থলের লোকজন গলিয়ে আসা বিকিরণে বিকিরণপাতগ্রস্ত না হয়।

কোনো বিশেষ এক্স-রে স্থাপনার জন্য প্রয়োজনীয় গাঠনিক বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীর ধরন কেমন হবে তা নিচের বিষয়গুলোর মাধ্যমে নিরূপণ করা হয়ে থাকে।

১। এক্স-রে মেশিনের সর্বোচ্চ চালনা কিলো-বিভব, (Peak Kilo-Voltage, KVP)।

২। এক্স-রে মেশিনের সর্বোচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহ (মিলিঅ্যাম্পিয়ারে, mA)।

৩। এক্স-রে মেশিনটি ব্যবহারের পরিমাণ, অর্থাৎ কর্ম পরিধি (work load, W)।

৪। ব্যবহার গুণনীয়ক (Use factor, U), যা কর্ম পরিধির ঐ খণ্ডাংশকালকে বুঝায় যতক্ষণ পর্যন্ত কার্যকর রশ্মি লক্ষ্যস্থল বরাবরে স্থির (pointed) করা থাকে।

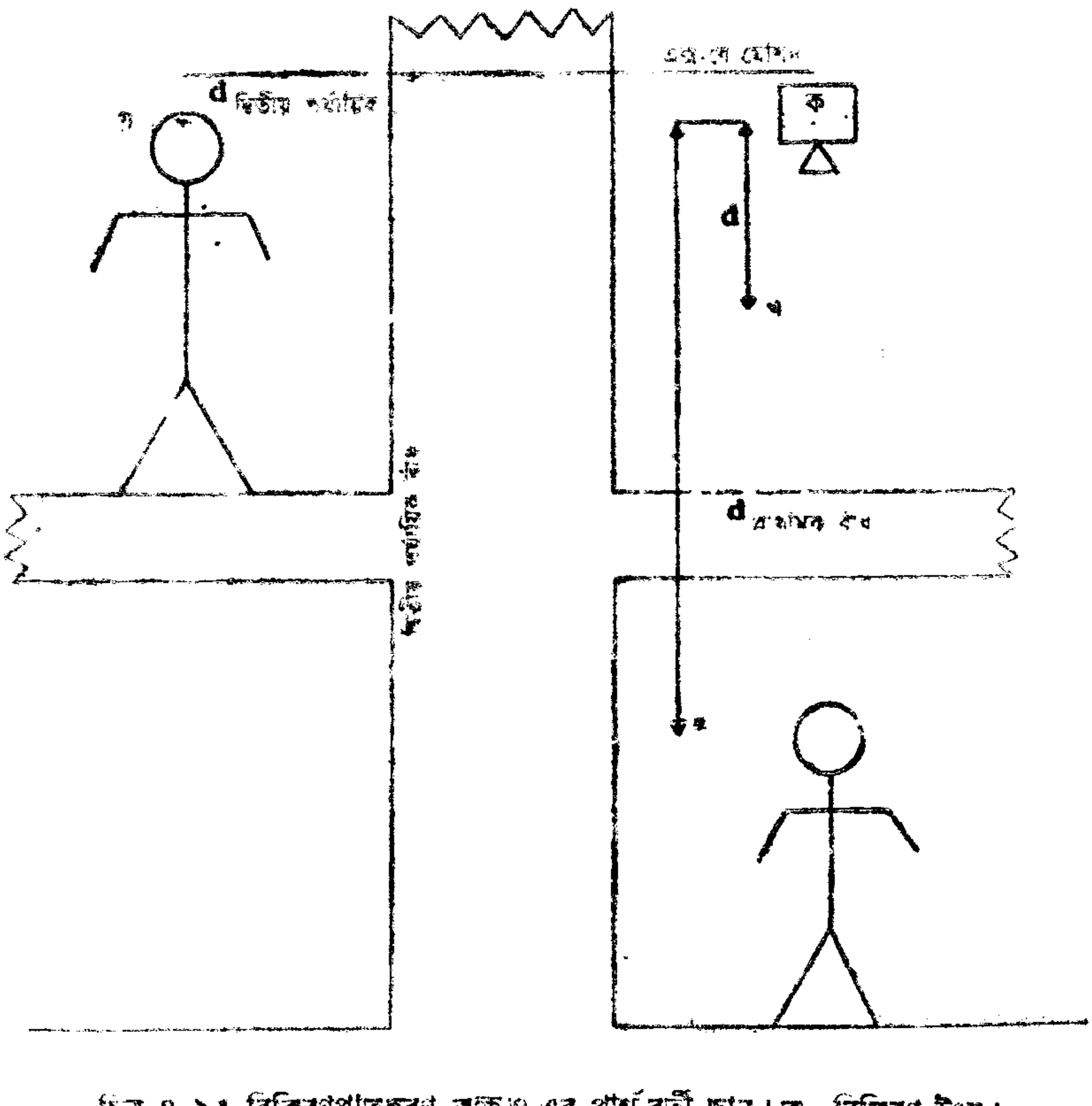
৫। অবস্থান গুণনীয়ক (Occupancy factor, T), কার্যবোঝাকে যা দিয়ে গুণ করে সংশ্লিষ্ট এলাকায় অবস্থানের পরিমাণ বা ধরনের উপযোগী সংশোধনী আনা যায়। অবস্থান সংক্রান্ত পর্যাপ্ত উপাত্ত পাওয়া না গেলে ৪.১ সারণিতে প্রদত্ত মানসমূহ (values) বিকিরণ আচ্ছাদনী প্রণয়নের দিক নির্দেশনারূপে প্রয়োগ করা যায়।

সারণি ৪.১ : অবস্থান গুণনীয়ক (Occupancy factor, T)

পূর্ণ অবস্থানকাল, T = 1	নিয়ন্ত্রিত এলাকা, ওয়ার্ড (ward), work room, dark room, বারান্দা, প্রতীক্ষাগার, বিশ্রামাগার, ইত্যাদি স্থান।
আংশিক অবস্থান T = 1/4	ডেস্ক পড়ে না এমন সংকীর্ণ বারান্দা, কদাচিৎ ব্যবহৃত বিশ্রামাগার, ইত্যাকার স্থান।
কাজ উপলক্ষে সাময়িক অবস্থান T = 1/16	সিঁড়িপথ, স্বয়ংক্রিয় লিফ্‌ট, পথচারী, যানবাহন, ইত্যাদির উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত বাইরের পথ, পেশা-জীবীরা ব্যবহার করে না এমন শৌচাগার, ইত্যাদি স্থান।

(৬) রোগীকে ধরে রাখার জন্য কেউ থাকতে পারবে না।

এক্স-রের রেখা জ্যোতি থেকে রক্ষা পেতে হলে গৃহীতব্য ভৌতিক ব্যবস্থাদির কতিপয় চিত্র ৪.১-এ প্রদর্শিত হলো। বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনাধীন এক্স-রে জেনারেটর 'ক' থেকে উৎপন্ন লাইনবদ্ধ এক্স-রে জ্যোতি রেখা, বিকিরণ-পাতগ্রাহী



চিত্র ৪.১: বিকিরণপাতকরণ কক্ষ ও এর পার্শ্ববর্তী স্থান। ক. বিকিরণ উৎস; ম, বিকিরণপাতগ্রাহীর অবস্থান; 'খ ও গ' চিহ্নিত স্থানে লোকজন অবস্থান নিতে পারে।

'খ' এর দিকে তাক করা হয়। 'খ' কিংবা 'গ' অবস্থানে পৌঁছার আগেই এক্স-রে জ্যোতিকে প্রাথমিক বা দ্বিতীয় পর্যায়িক বাধার (barrier) সাহায্যে হ্রাস ঘটিয়ে অনুমোদিত মাত্রায় আনা হয়ে থাকে।

৪.৪ প্রাথমিক প্রতিরক্ষা বেষ্টনী (Primary Protective Barrier)

এক্স-রে যন্ত্রের টার্গেট থেকে d মিটার দূরত্বে সর্বোচ্চ বিকিরণপাতের হার

$$\dot{X}_m = \frac{P}{T} \text{ R/week} \qquad (৪.১)$$

যেখানে P = সপ্তাহে অনুমোদিত সর্বোচ্চ বিকিরণপাত (যা নিয়ন্ত্রিত এলাকার বেলায় 0.1 R/week এবং অনিয়ন্ত্রিত এলাকার ক্ষেত্রে 0.001R/week)

T = অবস্থান গুণনীয়ক।

দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্রানুসারে উপরিউক্ত বিকিরণ ক্ষেত্রের দরুন ১ মিটার দূরত্বে বিকিরণ পাতের হার :

$$\dot{X}_1 = d^2 . \dot{X}_m = \frac{d^2 P}{T} \text{ R/week}$$

যা সপ্তাহে WU mA-minute কার্য বোঝার দরুন সংঘটিত হয়। অনুপাত নিলে পাওয়া যায় :

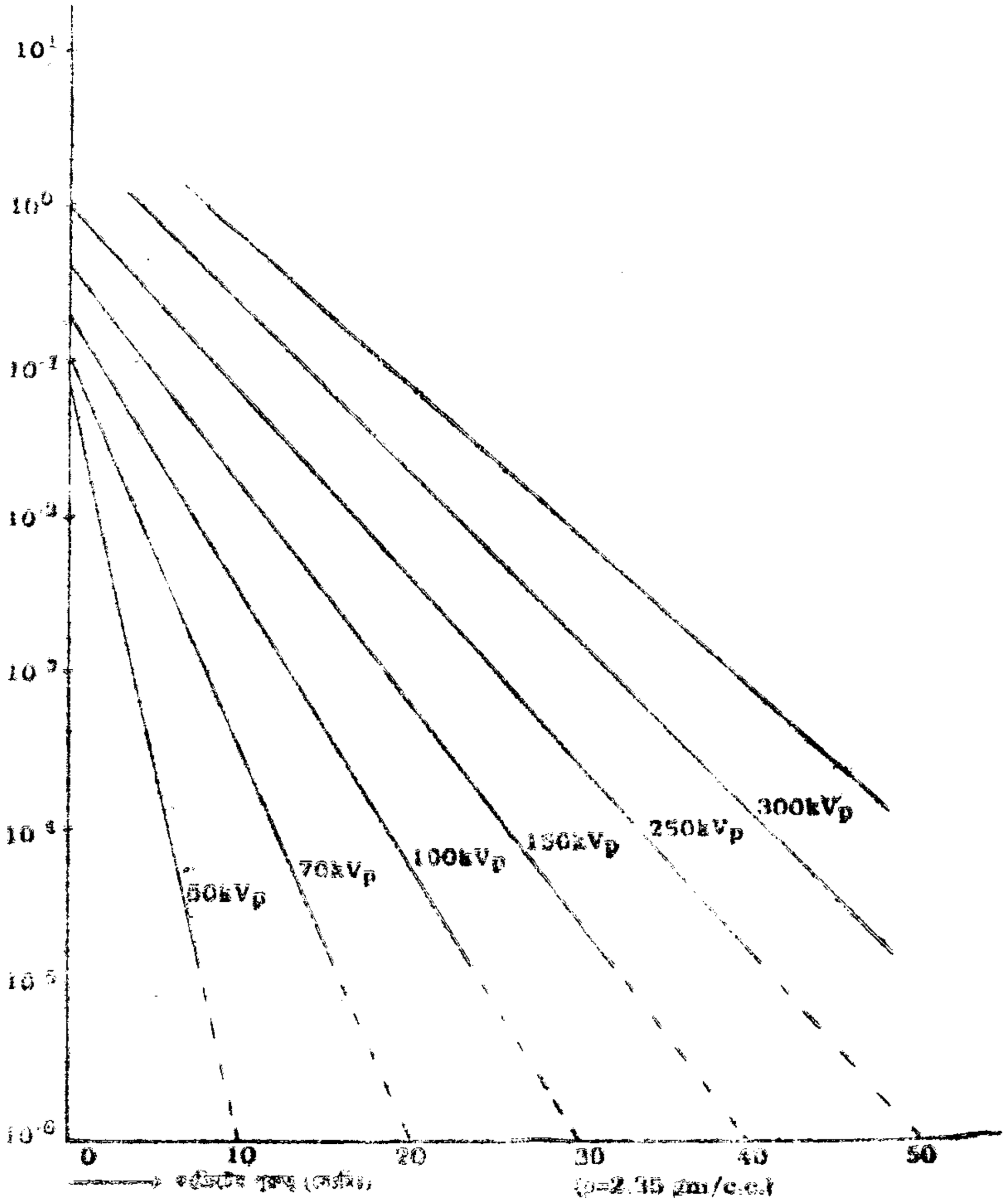
$$K = \frac{\dot{X}_1}{WU} = \frac{Pd^2}{WUT} \frac{\text{R/mA-minutes}}{\text{week}} \text{ at 1 meter.} \qquad (৪.২)$$

উদাহরণ

250 KV_p বিভবে রোগ নিরাময়ে ব্যবহৃত যন্ত্রের কর্মপরিধি সপ্তাহে 28,800 mA-min নিয়ন্ত্রিত এলাকা এক্স-রে যন্ত্রের টার্গেট থেকে ৩ মিটার দূরত্বে অবস্থান গুণনীয়ক (occupancy factor) 1 এবং ব্যবহার গুণনীয়ক (use factor) $\frac{1}{2}$ হলে, নিয়ন্ত্রিত এলাকায় নিরাপত্তার জন্য কত পুরুত্বের কংক্রিট আচ্ছাদনী দরকার ?

সমাধান : নিয়ন্ত্রিত এলাকার জন্য সপ্তাহে সর্বোচ্চ অনুমোদিত বিকিরণপাত P = 0.1R।

$$\text{কাজেই } K = \frac{d^2 \times P}{WUT} = \frac{(3)^2 \times 0.1R}{28,800 \times 0.5 \times 1} = 6.25 \times 10^{-5} \frac{\text{R-m}^2}{\text{mA-min}}$$



চিত্র ৪.২ : বিভিন্ন বিভব মানে উৎপাদিত এক্স-রে রশ্মির কংক্রিট দিয়ে হ্রাসকরণ (attenuation)।

৪.২ চিত্র থেকে প্রয়োজনীয় কংক্রিটের পুরুত্ব ৩৯ সে.মি. পাওয়া যায়। (স্ট্যাণ্ডার্ড রেডিওলজিক্যাল হ্যাণ্ড বুক দ্রষ্টব্য।)

৪.৫ দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনী (Secondary Protective Barrier)

ইতস্তত বিক্ষিপ্ত ও বেষ্টনী গলিয়ে আসা এক্স-রের মাধ্যমে উদ্ভূত এক্স-রেপাত থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনী গড়ে তোলা হয়। বিক্ষিপ্ত এক্স-রের দরুন এক্স-রেপাত, $X_{scattered}$ হচ্ছে :

$$X_{scat.} = \frac{aX\dot{X}_u}{(d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \times t \qquad (৪.৩)$$

যেখানে,

a = বিক্ষিপ্ত ও আপতিত (incident) এক্স-রের মধ্যে বিদ্যমান অনুপাত।

$\dot{X}_u$ = বিক্ষেপকারীর উপর আপতিত বিকিরণপাতের হার।

$d_{sec.}$ = বিক্ষেপক ও সংশ্লিষ্ট পয়েন্টের মধ্যে বিদ্যমান দূরত্ব।

F = বিক্ষেপক ক্ষেত্রের আকার (scattering field size, cm^2),

এবং t = বিকিরণপাত ঘটনকাল।

এক মিলি অ্যাম্পিয়ার (1 mA) বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন লক্ষ্যবস্তু থেকে ১ মিটার দূরত্বে এক্স-রেপাতের হার $\dot{X}_n$ হলে, সাপ্তাহিক বিকিরণপাত হচ্ছে P

$$\therefore \quad F = B_{sx} \times X_S = \frac{B_{sx} \times a \times \dot{X} \times I \times t}{(d_{scat})^2 \times (d_{sec})^2} \times \frac{F}{400} \qquad (৪.৪)$$

যেখানে,

B_{Sx} = বেষ্টনীতে বিক্ষিপ্ত বিকিরণের হ্রাসকৃত গুণনীয়ক (attenuated factor)

I = t সেকেণ্ডব্যাপী প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ

d_{Scat} = লক্ষ্যবস্তু থেকে বিক্ষেপকের দূরত্ব

যেহেতু $I_t = WT$ এবং বিক্ষিপ্ত বিকিরণের বেলায় u = I,

$$\therefore \quad K = B_{sx} \times X_n = \frac{P}{aWT} \times (d_{scat})^2 \times (d_{sec})^2 \times \frac{400}{F} \qquad (৪.৫)$$

দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনী প্রণয়নকালে নিম্নোক্ত সরলীকরণ ও রক্ষণশীল অনুমান ধরা হয়।

(১) 500 kV বা এর নিচের শক্তির এক্স-রের বেলায় বিক্ষিপ্ত বিকিরণের শক্তি প্রয়োজনীয় জ্যোতির সমান ধরা হয়।

(২) 500 kV বা তদূর্ধ্বের বিভবে সৃষ্ট এক্স-রে জ্যোতির শক্তি বিক্ষেপণান্তে 500 kVতে নেমে আসে এবং বিক্ষেপক থেকে ১ মিটার দূরত্বে বিদ্যমান বিকিরণপাতের 0.১% হয়।

উপরিউক্ত সরলীকৃত অনুমানের কারণ 500 kV বা তার কম শক্তির আলোক কণিকাগুলো (Photons) বিক্ষেপণ মিথষ্ক্রিয়ায় তদূর্ধ্ব শক্তিধারীদের তুলনায় অপেক্ষাকৃত কম শক্তি হারায়। কিন্তু বিভবমান বৃদ্ধির সাথে সাথে এক্স-রে মেশিনের আউটপুট বেড়ে যায়। এ কারণে K_{ux} এর মান বিভব মানের উপর নির্ভরশীল

হয়ে f ফ্যাক্টরে হ্রাস পায়। সমীকরণ (৪.৫) তখন ১ মি. দূরত্বের ক্ষেত্রে রূপ নেয়:

$$K_{ux}=\frac{P\times(d_{test})^2\times(d_{sec})^2\times 400}{a\times W\times T\times F\times f}\ R/mA\text{-}min\ per\ week \qquad (8.6)$$

যেখানে f এর মান হচ্ছে:

kV	f
500 or less	1
1,000	20
2,000	300

একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি নিম্নে ব্যাখ্যা করা হলো।

উদাহরণ

(ক) রোগ নিরাময়ে ব্যবহৃত একখানা 250 kV_p এক্স-রে মেশিনের বিক্ষিপ্ত বিকিরণ থেকে বিকিরণ অনিয়ন্ত্রিত এলাকায় বিকিরণপাত বন্ধ করার জন্য কত পুরুত্বের বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী দরকার? সাপ্তাহিক কর্মপরিধি = 35,560 mA-min টার্গেট থেকে দেহত্বকের দূরত্ব ৫০ সে. মি সর্বোচ্চ চিকিৎসা ক্ষেত্র (treatment field) = 20 cm×20 cm, রোগী থেকে অনিয়ন্ত্রিত এলাকার দূরত্ব ৪ মি. এবং অবস্থান (occupancy) = 1

সমাধান: এক্ষেত্রে এলাকাটি অনিয়ন্ত্রিত যার জন্য সাপ্তাহিক সর্বোচ্চ বিকিরণ-পাত হচ্ছে 0.01R; এজন্য যে সমীকরণ রয়েছে তা হচ্ছে:

$$K=B_{sx}\ X_n=\frac{P}{aWT}\times(d_{scat})^2\times(d_{sec})^2\times\frac{400}{F}$$

প্রদত্ত মানসমূহ, $d_{sec}=4m$, $a=0\cdot0019$ (স্ট্যাণ্ডার্ড চার্ট থেকে প্রাপ্ত)। $W=35,560$ mA-min, $T=1$, $F=400\,cm^2$, $f=1$ উপরিউক্ত সমীকরণে বসিয়ে Kux এর মান পাওয়া যায়, আর 8.২ চিত্র থেকে পাওয়া যায় প্রয়োজনীয় কংক্রিটের পুরুত্ব।

এখন,

$$K_{ux}=\frac{0.01\times(0.5)^2\times4^2\times400}{0.0019\times35,560\times400\times1}=5.92\times10^{-4}$$

250 kV_p এর জন্য অঙ্কিত রেখা (চিত্র ৪.২) থেকে কংক্রিটের প্রয়োজনীয় পুরুত্ব ৩০ সে.মি. পাওয়া গেল। বেষ্টনী গলিয়ে আসা এক্স-রে টিউবের বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীতে পরিস্রুত (filtered) হওয়ায় একবর্ণী (monochromatic) হয়ে পড়ে; ফলস্বরূপ অর্ধমান স্তর (half-value layer) টিউবে প্রযুক্ত বিভবের উপরই নির্ভরশীল হয়ে পড়ে। এ কথা জানা আছে যে, রোগ নিরূপণে নিয়োজিত এক্স-রে মেশিনের বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী গলিয়ে আসা বিকিরণ থেকে উদ্ভূত বিকিরণপাত ১ মি. দূরত্বে ঘণ্টা প্রতি সর্বোচ্চ 0.1R এ সীমিত থাকে। সপ্তাহে t মিনিটকাল ধরে চললে d মিটার দূরত্বে গলিয়ে আসা বিকিরণপাত হচ্ছে:

$$X_{Leakage} = \frac{0.1}{d^2} \times \frac{t}{60} \qquad (৪.৭)$$

সাধারণত প্রণয়নকালে কর্মপরিধি WUT = 1, এবং u=1 ধরা হয়ে থাকে। সুতরাং সমীকরণ (৪.৭) দাঁড়ায়

$$X_L = \frac{0.1}{d^2} \times \frac{WT}{60I} \qquad (৪.৮)$$

সপ্তাহে সর্বোচ্চ বিকিরণপাত P হলে এবং গলিয়ে আসা বিকিরণ থেকে বিকিরণপাত B_{LX} গুণ হ্রাস করতে হলে, প্রয়োজনীয় বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীর পুরুত্ব হবে,

$$P = B_{LX}\, X_L = B_{LX} \cdot \frac{WT}{d^2 \times 60I}$$

$$\therefore \quad B_{LX} = \frac{P\, d^2\, 60I}{WT} \qquad (৪.৯)$$

রোগ নিরাময়ে (radiotherapy) ব্যবহৃত এক্স-রে মেশিনের বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনী গলিয়ে আসা অনুমোদিত বিকিরণপাত মাত্রা 1 R। সেক্ষেত্রে সমীকরণ (৪.৯) দাঁড়ায়,

$$B_{LX} = \frac{d^2 \times P \times 60I}{WT} \qquad (৪.১০)$$

500 kV এর অধিক বিভবে উৎপাদিত এক্স-রের বেলায় tube housing বিকিরণ নিরাপত্তা বেষ্টনী গলিয়ে আসা বিকিরণকে এক মিটার দূরত্বে এর তীব্রতার 0.১% এ হ্রাস ঘটায়।

সুতরাং $$B_{LX} = \frac{1{,}000P\, d^2}{\dot{X}_n . WT}$$

যেখানে, $\dot{X}_n$ = আদর্শ বিকিরণপাত হার (normalized exposure rate)। কাঙ্ক্ষিত মাত্রায় হ্রাস ঘটানোর জন্য প্রয়োজনীয় অর্ধমান স্তর হিসাবের জন্য সম্পর্ক

$B_{Lx} = \frac{1}{2^n}$ ব্যবহৃত হয়; যেখানে $n \rightarrow$ সূচকমান।

উদাহরণ

৫১ পৃষ্ঠায় উদাহরণ (ক) তে এক্সরে মেশিনের জন্য দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনীর পুরুত্ব কত? বিদ্যুৎ প্রবাহ $I = 20$ mA.

সমাধান

এক্ষেত্রে $B_{Lx} = \frac{d^2 \times P \times 60N}{WT} = \frac{4^2 \times 0.01 \times 60 \times 20}{35,500 \times 1} = 5.4 \times 10^{-3}$

5.4×10^{-3} পর্যায়ে হ্রাসকরণের জন্য যে কতিপয় অর্ধমান স্তর দরকার তা হচ্ছে,

$$5.4 \times 10^{-3} = \frac{1}{2^n}\ ;\ n = 7.53$$

স্ট্যাণ্ডার্ড চার্ট থেকে দেখা যায় 250 kV_p এক্স-রের ক্ষেত্রে ২.৮ সে.মি. পুরুত্বের কংক্রিটের বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনী প্রতি অর্ধমান হ্রাসের জন্য দরকার। তাই গলিয়ে আসা বিকিরণ থেকে বাঁচার জন্য কংক্রিট আচ্ছাদনীর প্রয়োজনীয় পুরুত্ব হচ্ছে,

$$7.53\ H.V.L \times 2.83\ cm/H.V.L. = 21.1cm$$

বিক্ষিপ্ত বিকিরণের বেলায় বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনীর পুরুত্ব হিসাব করা হয়েছে ৩০ সে.মি. (উদাহরণ 'ক' এর সমাধান)। অতএব দেখা যায় বিক্ষিপ্ত বিকিরণের জন্য প্রয়োজনীয় আচ্ছাদনীর পুরুত্ব ও গলিয়ে আসা বিকিরণ থেকে নিরাপত্তা আচ্ছাদনীর মধ্যে পার্থক্য হচ্ছে ৩০—২১·১ = ৮·৯ সে.মি।

এখন স্ট্যাণ্ডার্ড চার্ট থেকে দেখা যায় 250kV বিভবের এক্স-রের বেলায় এক-দশমাংশ-মান-স্তর (H.V.L হচ্ছে তীব্রতাকে এক-দশমাংশে হ্রাস ঘটায়) ৯.৪ সে.মি. পুরু কংক্রিট। বিক্ষিপ্ত বিকিরণ ও গলিয়ে আসা বিকিরণ নিরোধের জন্য প্রয়োজনীয় পুরুত্বের পার্থক্য যেহেতু এক-দশমাংশ মানের কম, তাই দ্বিতীয় নিরাপত্তামূলক বেষ্টনীর চূড়ান্ত পুরুত্ব অধিকতর পুরুত্বধারী আচ্ছাদনীর চেয়ে এক অর্ধমান স্তর অধিক হবে, অর্থাৎ ৩০ সে.মি. + ২.৮ সে.মি. = ৩২.৮ সে.মি.।

উপরিউক্ত আলোচনা থেকে স্পষ্টতই বুঝা যায় যে, এক্স-রে যন্ত্র ও এর স্থাপনাস্থলে বিকিরণপাত নিরোধকল্পে বিকিরণ নিরোধ আচ্ছাদনের ধরন-ধারণ কেমন হওয়া দরকার এবং বিকিরণপাতকাল ও দূরত্ব বা বিকিরণ নিরাপত্তায় কি ভূমিকা পালন করে থাকে।

পঞ্চম অধ্যায়

বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের অবস্থা
(X-ray Exposure in Bangladesh)

৫.১ ভূমিকা

বর্তমান সভ্যতায় এক্স-রের অবদান অপরিসীম। বিশ্ব জুড়ে বিভিন্ন কাজে এক্স-রের বহুল প্রয়োগ প্রচলিত। মনুষ্য-সৃষ্ট তেজস্ক্রিয় বিকিরণের মধ্যে এক্স-রের ব্যবহার সর্বাধিক একথা বলাই বাহুল্য। মনুষ্য-সৃষ্ট তেজস্ক্রিয়তা থেকে উদ্ভূত বিকিরণপাতের শতকরা প্রায় ৮০ ভাগই আসে এক্স-রে থেকে। বাংলাদেশে অদ্যাবধি এক্স-রে ছাড়া অন্যান্য কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার ব্যবহার নেহায়েতই সীমিত। অনুমান করা হয় বাংলাদেশে সংঘটিত তেজস্ক্রিয় বিকিরণপাতের শতকরা ৯৫ ভাগই হয় চিকিৎসাজনিত এক্স-রেপাতের দরুন। অবশিষ্ট আসে পারমাণবিক চিকিৎসা, আইসোটোপ উৎপাদন, শিল্পকারখানা এবং গবেষণা ও উন্নয়নে তেজস্ক্রিয় বিকিরণের প্রয়োগ থেকে।

পৃথিবীর উন্নত দেশসমূহে যেমন এক্স-রেপাত নিয়ে অনেক অনুসন্ধান চালানো হয়েছে বহু অনুন্নত দেশেও উল্লেখযোগ্য পরিমাণ অনুসন্ধান চালিয়ে এর অপব্যবহার রোধ করে নিরাপদ চালনার জন্য বিধি নির্ধারণ করা হয়েছে। জানা মতে এক্ষেত্রে বাংলাদেশে এ যাবৎ মাত্র তিনটি অনুসন্ধান অত্যন্ত সীমিত আকারে চালানো হয়েছে। তিনটি অনুসন্ধানই চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রে মেশিনের অবস্থা সম্পর্কিত। এসব অনুসন্ধানের ভিত্তিতে বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা ও চিকিৎসা ক্ষেত্রে এক্স-রেপাতের অবস্থা সম্পর্কে সংক্ষেপে বর্ণনা করা হলো।

৫.২ বাংলাদেশের এক্স-রে স্থাপনা ও এক্স-রেপাতের প্রথম অনুসন্ধান

প্রথম অনুসন্ধানটি পরিচালনা করেন ডঃ সৈয়দ রেজা হোসেন, সৈয়দ আবু মোঃ আবদুল্লাহ প্রমুখ। আন্তর্জাতিক পরমাণু সংস্থার সাথে বাংলাদেশ পরমাণু শক্তি কমিশনের চুক্তি অনুযায়ী উক্ত অনুসন্ধানের কাজ সম্পন্ন হয় ১৯৮২ সালে। (Final Report, Research contract No. IAEA/BAEC/2000, AECD/HP/10, December 1982, Atomic Energy centre, Dhaka.) অনুসন্ধানের শিরোনাম ছিল "Assessment of occupational exposure and provision of recommendations and guidance

on measures for the radiological protection of occupationally exposed persons in Bangladesh", উক্ত অনুসন্ধানে বাংলাদেশের কিছুসংখ্যক হাসপাতাল ও ক্লিনিকের এক্স-রে স্থাপনা ও তার আশেপাশের জায়গায় সংঘটিত এক্স-রেপাতের প্রকৃতি ও তা থেকে উদ্ভূত ডোজ (dose, যার ব্যাখ্যা হচ্ছে— দেহে সংঘটিত বিকিরণপাত দেহে শোষিত হয়ে যে প্রভাব ফেলে তার পরিমাপ) এবং অবাঞ্ছিত বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণের জন্য প্রাপ্ত সুযোগ-সুবিধার (যেমন, সীসার তৈরি অ্যাপ্রোন, দস্তানা, চশমা, ইত্যাদি) যোগান (provision) ও গৃহীত ব্যবস্থাদির উপর জরিপ চালানো হয়। অনুসন্ধানের তথ্যাদি সংগ্রহের জন্য রেডিওলজি ও ফ্লোরোস্কোপি (fluoroscopy), বিষয়দ্বয়ের জন্য আলাদা আলাদা দু'প্রস্ত প্রশ্নমালা তৈরি করে সরবরাহ করা হয়। অনুসন্ধানে প্রাপ্ত ফলাফল অত্যন্ত ভয়াবহ ও হতাশাব্যঞ্জক। এক্স-রেপাত পরিবীক্ষণের ব্যবস্থা দূরে থাক প্রশিক্ষণপ্রাপ্ত এক্স-রে মেশিন চালকেরও সন্ধান পাওয়া যায় নি কোনো কোনো এক্স-রে স্থাপনায়। এক্স-রে মেশিন চালকের বিকিরণ নিরাপত্তা বুথ, রোগী ও তার সহচরদের প্রতীক্ষাগার, প্রবেশপথ, বারান্দা, মেশিন কক্ষের জায়গায় জায়গায় বিদ্যমান বিকিরণপাতের প্রকৃতি, এক্স-রে মেশিনের স্থাপনাস্থল, চালনা বিভব, বিদ্যুৎ প্রবাহ, বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী ইত্যাদি জরিপ করা হয়। পূর্বে জেলা সদর এবং সরকারি হাসপাতালেই শুধু এক্স-রে মেশিন ছিল, গ্রামে গঞ্জে ছিল না। বেসরকারি স্থাপনা ছিল না বললেই চলে। তখন সারা বাংলাদেশে ১৪টি থেরাপি (therapy) এক্স-রে মেশিনসহ মোট মাত্র ৩১১টি এক্স-রে স্থাপনা ছিল। সারণি ৫.১-এ এদের অবস্থান ও ঠিকানা দেয়া হলো।

সারণি ৫.১ ঃ ১৯৭৭-৮২ সালের হিসাবে বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা

জেলা	সরকারি	বেসরকারি	সামরিক	মোট
যশোর	৬	২	৪	১২
কুষ্টিয়া	৪	৪	-	৮
সিলেট	১১	৫	-	১৬
ময়মনসিংহ	১২	৩	-	১৫
কুমিল্লা	৯	৫	২	১৬
টাংগাইল	১	৫	-	৬
জামালপুর	৩	—	-	৩
খুলনা	১১	৮	-	১৯
রংপুর	২০	৬	-	২৬

দিনাজপুর	৩	৫	১	৯
বগুড়া	৩	৭	–	১০
রাজশাহী	২২	৬	–	২৮
পাবনা	৮	১	–	৯
ফরিদপুর	৫	২	–	৭
বরিশাল	৫	৩	–	৮
চট্টগ্রাম	১৫	৯	৪	২৮
পার্বত্য চট্টগ্রাম	২	১	–	৩
নোয়াখালী	৩	১	–	৪
ঢাকা	৪৫	৩০	৮	৮৩
বান্দরবন	১	—	–	১
সর্বমোট	১৮৯	১০৩	১৯	৩১১

৫.৩ প্রথম অনুসন্ধানের পর্যবেক্ষণসমূহ

সুদীর্ঘ পাঁচ বছর ধরে পরিচালিত (১৯৭৭-৮২) এ অনুসন্ধানে মোট ৩১১টি স্থাপনার মধ্যে (সারণি ৫.১) ২১৩টি এক্স-রে স্থাপনায় নানা ধরনের জরিপ চালানো হয়। জরিপে বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণে সচরাচর ব্যবহৃত সরঞ্জামাদির প্রাপ্যতা, এক্স-রে মেশিন স্থাপনাকক্ষের দরজা, জানালা ও দেয়ালের নির্মাণ পদ্ধতি, গাঠনিক বস্তু, পুরুত্ব, বিকিরণ সতর্কতা নির্দেশক (indicator) যেমন লালবাতি, শব্দ সংকেত (alarm) ইত্যাদি রয়েছে কিনা জরিপ করা হয়। দেখা যায় শতকরা ৭০ ভাগ স্থাপনায় বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী সংবলিত নিয়ন্ত্রণ/চালনা বুথ নেই, যেগুলোতে আছে সেগুলোর অধিকাংশ যথাযথ নয়। যেগুলো সঠিক আছে সেগুলোও বিকিরণ-কর্মীদের অজ্ঞতার কারণে যথাযথ ব্যবহৃত হচ্ছে না। অধিকাংশ এক্স-রে স্থাপনাতেই বিকিরণরোধী উপকরণ ও সরঞ্জামাদি যেমন সীসার (lead) তৈরি দস্তানা (hand gloves), চোখ রক্ষার উপযোগী গগ্‌লস, জননকোষ ও অন্যান্য গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গ এক্স-রেপাতকালে প্রতিরোধক আচ্ছাদনী (Shielding) পাওয়া যায় নি। যেসব এক্স-রে স্থাপনায় চালকের জন্য বিকিরণ নিরোধী অ্যাপ্রোন ছিল না তার পরিমাণ ৩০%; ৭০% স্থাপনায় তা থাকলেও যথাযথ ব্যবহারবিধি ও গুরুত্ব না জানার কারণে সুষ্ঠুভাবে এর ব্যবহার হচ্ছে না। এ প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে, চালকসহ সহযোগী আর যাঁরা আছেন তাঁদের কারও বিকিরণের ক্ষতিকর প্রভাব তথা নিরোধ এবং এক্স-রে মেশিন নিরাপদ পদ্ধতিতে চালানোর বিষয়ে তেমন কোনো

প্রশিক্ষণ নেই। তাই তাঁরা অধিকাংশ সময়ই অ্যাপ্রোনও সঠিকভাবে ব্যবহার করেন না। বেশ কিছু এক্স-রে যন্ত্রে (৪২%) জ্যোতি সমাক্ষীকারক (Collimator) ও শাটার (shutter) মেলেনি।

অনেক এক্স-রে মেশিনের চালনা বিভব (kV) ও বিদ্যুৎ (mA) মিটারের নির্দেশক কাঁটা ঠিকমত কাজ না করায় চালক অনুমানে এক্স-রেপাত ঘটান। কোনো এক্স-রে যন্ত্রই ক্রমাঙ্কিত কিংবা যথাযথরূপে পাওয়া যায় নি। ফলে রোগীরা হয় প্রয়োজনের কম অথবা বেশি এক্স-রেপাত গ্রস্ত হচ্ছে। ফলে বেশিরভাগ ক্ষেত্রে অজান্তেই হিতে বিপরীত ঘটে যাচ্ছে, কেউ কিছু বুঝতেও পারছে না। ক্ষেত্রবিশেষে অতি বিকিরণপাতে রোগীর সুস্থ কোষকলা পুড়ে গেছে এমনটিও ঘটতে দেখা গেছে; রোগী বা তাঁর নিকটজনেরা কিছুই জানতে পারে নি।

অধিকাংশ এক্স-রে মেশিন কক্ষই বিকিরণ নিরোধ উপযোগী করে পরিকল্পনা করা হয় নি। যেগুলো হয়েছে সেগুলোও কাঙ্ক্ষিত স্ট্যাণ্ডার্ডের গাঠনিক বৈশিষ্ট্য সম্পন্ন করে তৈরি করা হয় নি। ক্ষেত্রবিশেষে দেখা গেছে দরজা জানালা সাধারণ কাঠ ও কাচের তৈরি। ফলে প্রায় ক্ষেত্রেই অনেকটা অপ্রতিহতভাবে এক্স-রে কক্ষের বাইরে চলে যাচ্ছে। এমনও দেখা গেছে প্রাথমিক এক্স-রে জ্যোতি (primary beam) ফুটপাত, দরজা, জানালা বা এমন দেয়ালের দিকে তাক করা আছে যে জ্যোতি অনেকটা অপ্রতিহতভাবেই বাইরে চলে গিয়ে জনস্বাস্থ্য তথা পরিবেশের প্রতি হুমকি হয়ে দাঁড়াচ্ছে। বায়ু চলাচল (ventilation), শীতলীকরণ ও অন্ধকার কক্ষ (যেখানে এক্স-রেপাতগ্রস্ত ফিল্ম প্রস্ফুটন (development) ও নতুন ফিল্ম মজুদ করা হয়) স্থাপন ব্যবস্থা মোটেই সন্তোষজনক নয়।

এক্স-রে পাতগ্রাহী ও পেশাজীবীদের সংকট অঙ্গ (critical organ, যে অঙ্গ অত্যন্ত বিকিরণ সংবেদী) যেমন জননকোষ (gonad), চোখ, থাইরয়েড গ্রন্থি (thyroid gland) ইত্যাদির নিরাপত্তার জন্য কোনো ব্যবস্থা, যেমন বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী কোথাও পাওয়া যায় নি। কোথাও কোথাও বিকিরণপাতজনিত সতর্কতা নির্দেশক সংকেত যথা, লালবাতি, সাইরেন, বিকিরণস্থল নির্দেশক চিহ্ন (emblem), ইত্যাকার সতর্কতামূলক কোনো আয়োজনই পাওয়া যায় নি। এক্স-রে মেশিন চালু অবস্থায় এক্স-রেপাত গ্রহণের জন্য অপেক্ষমান ব্যক্তি ও তাদের সহচরগণের এক্স-রে কক্ষে ভিড় করে থাকতে বা বারান্দা ও অন্যান্য বিকিরণ এলাকায় ইতস্তত ঘুরে বেড়াতে দেখা গেছে।

বিকিরণকর্মীদের বিকিরণপাত পরিবীক্ষণের (monitoring) জন্য বিকিরণ মনিটর যথা, ফিল্মব্যাজ, TLD বা অন্য কোনো কৌশলের (device) ব্যবহার নেই;

অনেকে এ ব্যাপারে একেবারেই অবহিত নন। যাদের ব্যবস্থা আছে তারাও অজ্ঞতার কারণে ঠিকমত দেহে ধারণ না করে হেলায় যত্রতত্র ফেলে রাখে। অনেকের ভ্রান্ত ধারণা বিকিরণ মনিটরের কাজ বিকিরণপাত নিরোধ করা। সরকারি-বেসরকারি কোনো এক্স-রে স্থাপনাতেই বিকিরণ নিরোধের জন্য পরামর্শক (consultant) বা বিকিরণ নিরোধ কর্মকর্তা নেই। এক সরকারি এক্স-রে স্থাপনায় কর্মরত ব্যক্তির বেলায় ৩ মাসে 2500 mR বিকিরণপাত রেকর্ড করা হয়েছে যা অত্যন্ত উঁচুমাত্রার অতিবিকিরণপাক (overexposure) এবং বার্ষিক সর্বোচ্চ অনুমোদিত ডোজের চেয়েও বহুগুণ বেশি এবং অনেক বেশি ঝুঁকিপূর্ণ।

উক্ত জরিপে জানা যায় যে, অধিকাংশ এক্স-রে মেশিনই প্রায় সময় চালু থাকে। কোনো কোনো মেশিনে সপ্তাহে অন্যূন ২০০০ এরও বেশি এক্স-রেপাত ঘটানো হয়ে থাকে। অনেক এক্স-রে স্থাপনাতেই পরিষ্কার ফিল্ম যথাযথভাবে মজুদ ও সংরক্ষণের ব্যবস্থা নিতান্তই অপ্রতুল। অনেক সময় সারাদিনের জন্য প্রয়োজনীয় ফিল্ম একবারে লোড করে এক্স-রে কক্ষে এনে রাখা হয় এবং একের পর এক ব্যবহার করে এক্স-রেপাত ঘটানো হয়। ফলে লোড করা ফিল্মগুলো সত্যিকার এক্স-রে-পাতের আগেই বিক্ষিপ্ত বিকিরণের দরুন বিকিরণপাত পেয়ে থাকে এবং ঘোলাটে (foggy) হয়ে যায়।

সাধারণত বিকিরণ প্রতিষ্ঠান নির্মাণের নীল নকশা প্রণয়নকালেই কর্মপরিধি (work load), অবস্থান গুণনীয়ক (Occupancy factor) ও ব্যবহার গুণনীয়ক (use factor) জেনে নিয়ে বিকিরণরোধী বেষ্টনী বা আচ্ছাদনী কেমন হবে তা নিরূপণ করে এক্স-রে স্থাপনা নির্মাণ করা উচিত। কিন্তু বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই তা করা হয় নি। কার্যক্ষেত্রে দেখা গেছে, বেশিরভাগ এক্স-রে কক্ষই (৮০%) ৭.৬ সে.মি. থেকে ২৫.৪ সে. মি পুরুত্বের সাধারণ ইট দিয়ে দেয়াল তৈরি এবং গাঁথুনি সিমেন্টের যা গলিয়ে সহজেই বিকিরণ বেরিয়ে যায়। বিধি মোতাবেক দেয়াল কংক্রিটের তৈরি হওয়া দরকার। অধিকাংশ এক্স-রে কক্ষের আকারও ৪ মি. × ৪ মি. এর কম। হিসাব অনুযায়ী সপ্তাহে ৪০ কর্ম ঘণ্টা কার্যরত ৩০০ kV বিভবমানে (kV) চালু 15 mA বিদ্যুৎ প্রবাহী এক্স-রে মেশিনের জন্য ৪ মিটার দূরত্বে বিকিরণ নিরাপত্তার জন্য ৩৬.৬ সে. মি. পুরুত্বের কংক্রিট নির্মিত দেয়াল থাকা দরকার। সরাসরি জ্যোতির বিকিরণপাত পাওয়া গেছে ক্ষেত্র বিশেষে 11 mR থেকে 417 mR পর্যন্ত। এটি তুলনামূলকভাবে অত্যন্ত উঁচু পর্যায়ের ও অস্বাভাবিক ঝুঁকিপূর্ণ সন্দেহ নেই। এর মান 10 mR বা তার কিছু বেশি হলেই ভালো হয় এবং তাই গ্রহণযোগ্য।

দেড় যুগ আগে পরিচালিত এ অনুসন্ধানটি যখন চালানো হয় তখনকার তুলনায় বর্তমানে চালু মেশিনের সংখ্যা বহু গুণে বেশি। এখন সকল থানা সদর এমন কি কোনো কোনো ইউনিয়নেও সরকারি ও বেসরকারি পর্যায়ে এক্স-রে মেশিন স্থাপিত হয়েছে। ১৯৮৯ সাল স্বাস্থ্য প্রকল্প, মহাখালী, ঢাকা পরিচালিত বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনা অনুসন্ধানের প্রতিবেদনে সরকারি পর্যায়েই 800 এক্স-রে স্থাপনার উল্লেখ রয়েছে। বেসরকারি পর্যায়েও সমসংখ্যক এক্স-রে স্থাপনা রয়েছে বলে অনুমান করা হয়। বর্তমানে পৃথিবীর নানাদেশের তৈরি (জাপান, চীন, যুক্তরাষ্ট্র, জার্মানি, হল্যাণ্ড, হাঙ্গেরি, প্রভৃতি) নানা বিভবমান (kV) ও বিদ্যুতের (mA) এক্স-রে যন্ত্র চালু রয়েছে। তুলনামূলকভাবে দীর্ঘক্ষণ ধরে এক্স-রেপাত ঘটাতে হয় এমন স্বল্প বিভবের ও উচচ বিদ্যুৎপ্রবাহের এক্স-রে মেশিন আজকাল আবাসিক এলাকায়, ব্যস্ত বিপনি কেন্দ্র, জনসমাগম ঘটে এমন জায়গায় স্থাপিত হতে দেখা যায়। বেসরকারি খাতে নিয়ন্ত্রনহীনভাবে বহু এক্স-রে মেশিন চলছে তার খবরাখবর পত্র পত্রিকায়ও দেখা যায়।

৫.৪ এক্স-রে স্থাপনার উপর পরিচালিত দ্বিতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল

বাংলাদেশে অত্যন্ত সীমিত পর্যায়ের দ্বিতীয় অনুসন্ধানটি চালান জনাব ডাঃ ইয়াকুব আলী শরীফ। Bangladesh Medical Journal, vol. 13, No. 2–3, 1984 এ প্রকাশিত Private X-Ray Clinic শীর্ষক অনুসন্ধানী প্রতিবেদনে উল্লেখ করা হয় যে, বেসরকারি পর্যায়ে বিপনি কেন্দ্রসহ অনেক গণজমায়েতের স্থানে স্বল্প বিভব (kV) ও উচচ তড়িৎপ্রবাহী (mA) এক্স-রে মেশিন স্থাপিত হয়েছে। চীনসহ নানা দেশ থেকে আমদানিকৃত এসব যন্ত্রের কথা যথাযথ কর্তৃপক্ষও জানেন কিনা সন্দেহ। নিম্ন বিভব ও বিদ্যুতে চালনার ফলে বেশ দীর্ঘক্ষণ ধরে এক্স-রেপাত ঘটাতে হয়, যার ফলে অ-বিকিরণপাত ঘটে থাকে। যথাযথ বিকিরণনিরোধ বিধি মেনে এসব যন্ত্র বসানো হয় নি বলে পরিবেশ দূষণ ও গণবিকিরণপাতের উৎস হয়ে দাঁড়িয়েছে।

৫.৫ এক্স-রে স্থাপনা ও তা থেকে বিকিরণপাতের উপর পরিচালিত তৃতীয় অনুসন্ধানের ফলাফল

বাংলাদেশে এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণ নিরোধ ও নিরাপত্তায় গৃহীত ব্যবস্থাদি, গঠন প্রকৃতি, প্রাপ্ত সরঞ্জামাদি, এক্স-রেপাতের ধরন-ধারণ, স্থাপনার আশেপাশে বিকিরণপাতগত অবস্থা ইত্যাদি সংবলিত তৃতীয় অনুসন্ধানটি হয়েছে গ্রন্থকারের

পরিচালনায় ১৯৯৩ সাল ('A Study on assessment of radiation exposure in and around the X-ray installation in some clinics and hospitals' A dissertation by Dr. S.k. Mitra M.B. B.S, D.I.H in the Faculty of Institute of Post Graduate Medicine and Research (IPGMR) Dhaka University, 1993. অনুসন্ধানটিতে কুমিল্লা ও চাঁদপুর জেলার এক্স-রে স্থাপনাসমূহে জরিপ চালানো হয়। এজন্য প্রশ্নমালা (questionaire) ও Check list তৈরি করা হয় এবং এক্স-রে মেশিন চালকদের সাক্ষাৎকারেরও ব্যবস্থা রাখা হয়।

অনুসন্ধানে জানা যায়, বেসরকারি স্থাপনাসমূহের রেজিস্ট্রেশন বা কর্তৃপক্ষীয় অনুমোদন বলতে কিছু নেই। জরিপকৃত বেসরকারি স্থাপনায় শতকরা ৯৫.৫ ভাগে বিকিরণরোধী আচ্ছাদনী সংবলিত বুথ (booth) ছিল না এবং চালকদের শতকরা ৮১ জনের কোনো প্রশিক্ষণই নেই। এ অনুসন্ধানের পর্যবেক্ষণ ও ফলাফল নিম্নে সংক্ষেপে বিবৃত হলো।

৫.৬ এক্স-রে স্থাপনায় তৃতীয় অনুসন্ধানের পর্যবেক্ষণসমূহ (Observations)

তৃতীয় অনুসন্ধানে এক্স-রে মেশিন চালকদের আনুষ্ঠানিক শিক্ষা, বিষয় ও পেশাগত প্রশিক্ষণ, চাকুরিকাল, বিকিরণজনিত স্বাস্থ্যঝুঁকি ও বিকিরণ নিরোধ সংক্রান্ত জ্ঞানের মাত্রা জরিপ করা হয় এবং পর্যবেক্ষণ করা হয় এক্স-রে মেশিনের বৈশিষ্ট্য, নির্মাতা দেশ; tube current (mA), সমাক্ষীকরণ (collimation), ক্রমাঙ্কন (calibration), প্রমিতকরণ (standardization), দূরনিয়ন্ত্রণ (remote control) ব্যবস্থা, বিকিরণ নিরোধী আচ্ছাদনী সংবলিত বুথ, সীসার তৈরি অ্যাপ্রোন, দস্তানা (gloves) ও গগ্‌ল্‌স রয়েছে কিনা। স্থাপনাটিতে পর্যাপ্ত বায়ু চলাচল (ventilation), শীতলীকরণ ব্যবস্থাদি রয়েছে কিনা তাও লক্ষ্য করা হয়। পর্যবেক্ষণ করা হয় এক্স-রে মেশিন কক্ষের আকার-আকৃতি, দেয়ালের গাঠনিক বস্তু, প্রকৃতি ও পুরুত্ব, ব্যবহার ও অবস্থানকালের মাত্রা; সেখানে লোকজনের যাতায়াত ও সাবধানতা সংকেতের ব্যবহার বিষয়েও তথ্য সংগৃহীত হয়। এক্স-রেপাতগ্রাহীদের সংকট অঙ্গ নিরাপত্তা আবরণী, চালকদের ব্যক্তিগত বিকিরণপাত পরিবীক্ষণের ব্যবস্থা যেমন film badge, TLD, স্বাস্থ্য পরীক্ষার আয়োজন ইত্যাদি রয়েছে কিনা সে বিষয়ে জরিপ চালানো হয়। এক্স-রে মেশিন কক্ষের স্থানে স্থানে এবং বাইরে এর সংলগ্ন এলাকায় বিশেষ বিশেষ স্থানে মেশিন চালু ও বন্ধ উভয় অবস্থায় বিদ্যমান বিকিরণপাত মাত্রা পরিমাপ ও রেকর্ড করা হয়।

৫.৭ অনুসন্ধানে প্রাপ্ত ফলাফল ও পর্যালোচনা

এ অনুসন্ধানে দেখা গেছে যে, ১৮ বছরের কম বয়সী কেউ এক্স-রে মেশিন চালনা বা আনুষঙ্গিক কাজে নিয়োজিত নেই। সরকারি এক্স-রে স্থাপনায় নিয়োজিত চালকদের শিক্ষাগত যোগ্যতা বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই (৭৬.৬২%) উচচ মাধ্যমিক পর্যায়ের। বেসরকারি ক্ষেত্রে বেশিরভাগই মাধ্যমিক পর্যায়ের, তবে সংখ্যায় কম হলেও এর নিচেও ২/৪ জনকে পাওয়া গেছে। সরকারি এক্স-রে স্থাপনার অধিকাংশ চালকই (৮১%) প্রশিক্ষণ প্রাপ্ত কিন্তু বেসরকারিতে প্রশিক্ষণপ্রাপ্ত নেই বললেই চলে। তবে, প্রশিক্ষণপ্রাপ্ত অনেকের ক্ষেত্রে নামমাত্র প্রশিক্ষণ পাওয়া যায়। মেশিন চালানোর যথাযথ পদ্ধতি ও এক্স-রেপাত তথা বিকিরণ নিরোধের উপর কার্যকর প্রশিক্ষণ প্রাপ্ত কাউকে পাওয়া যায়নি। বিকিরণ নিরোধে সচেতনতা বৃদ্ধি ও অপ্রয়োজনীয় এক্স-রেপাত এড়ানোর জন্য আনুষ্ঠানিক শিক্ষা ও যথাযথ প্রশিক্ষণ কেবল অপরিহার্য নয়, পূর্বশর্তও বটে। তাই কর্তৃপক্ষের এদিকে সজাগ দৃষ্টি থাকা দরকার। এক্স-রে পেশাজীবীদের অনেকেই বলতে পারেন নি এক্স-রে কি এবং এক্স-রেপাতে দেহে কি প্রভাব সংঘটিত হয়। বিকিরণপাত নিরোধের বিষয়ে তাঁরা মোটেই ওয়াকেফহাল নন। যাঁরা কিছুটা বা জানেন তাও যথাযথ পালন করেন না এবং প্রয়োগে সচেষ্ট নন। জরিপকৃত যন্ত্রগুলোর উল্লেখযোগ্য সংখ্যক (৪০.৪২%) চীনদেশে নির্মিত। জাপান, ভারত, ইংল্যাণ্ড, জার্মানি, হাঙ্গেরি, হল্যাণ্ড ও ইউরোপের অন্যান্য দেশের তৈরি এক্স-রে মেশিনও রয়েছে।

তুলনামূলকভাবে দামে সস্তা বলে বেসরকারি স্থাপনার এক্স-রে মেশিনের বেশির-ভাগই চীনের তৈরি এবং নিম্ন বিভব (kV) ও বিদ্যুতের (mA); 100 mA,-এর নিচে ক্ষেত্র বিশেষে 15 mA বিদ্যুতেরও নিচে। 100 mA-এর নিচের তড়িৎ প্রবাহের এক্স-রে মেশিন রোগ নিরূপণের (diagnosis) জন্য ব্যবহার করা সঠিক নয়। কারণ, দীর্ঘক্ষণ ধরে এক্স-রেপাত প্রয়োগের দরুন অতি-বিকিরণপাত তথা অপ্রয়োজনীয় বিকিরণপাত ঘটে। তাই পৃথিবীর অন্যান্য দেশে এধরনের মেশিন ব্যব্যহার আইনত নিষিদ্ধ।

সরকারি এক্স-রে স্থাপনায় অধিকাংশ এক্স-রে মেশিনের (৫২%) বিভবমান (kV_p) পাওয়া যায় ১০০—১২৫ kV_p; ৪০% যন্ত্রে সমাক্ষীকরণ কার্যকর ছিল না। অনাকাঙ্ক্ষিত অঙ্গেও অপ্রয়োজনীয় এক্স-রেপাত এড়ানোর জন্য জ্যোতি সমাক্ষীকরণ অতীব জরুরি। ব্যক্তিমালিকানাধীন অধিকাংশ (৯৫%) এক্স-রে স্থাপনায় চালকের নিরাপত্তার উপযোগী বিকিরণরোধী আচ্ছাদনীবিশিষ্ট চালনা বুথ ছিল না। প্রায় ক্ষেত্রেই (৯৪.৬%) শীতলীকরণ ও বায়ু চলাচলের সুব্যবস্থা নেই।

জরিপের অন্তর্ভুক্ত সরকারি স্থাপনার ৮৭.৫% এর ক্ষেত্রে এক্স-রে মেশিন কক্ষের আকার ৪ মি. × ৪ মি., কিন্তু ব্যক্তিমালিকানাধীন ৫২.৪% স্থাপনার কক্ষের আকার এর চেয়ে অনেক কম দেখা যায়। ব্যক্তিমালিকানাধীন ৯৫.২৪% স্থাপনার দেয়াল ছিল সাধারণ ইট ও প্লাস্টার সমন্বয়ে নির্মিত, পুরুত্ব সর্বোচ্চ ৪০ সে.মি.। এমনকি হার্ডবোর্ডের ঘের দেয়া এক্স-রে কক্ষেরও সন্ধান মিলেছে। কি ভয়াবহ ব্যাপার এক্স-রেপাতগ্রাহীসহ আশপাশে অবস্থানকারী কত লোক যে নিজেরই অজান্তে এক্স-রেপাতগ্রস্ত হয়ে চলেছে। এক্স-রে স্থাপনার দেয়ালের গাঠনিক বস্তু ও পুরুত্ব এক্স-রেপাত নিরোধে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ০.১০ মিটার পুরু কংক্রিট আর ০.০৫ মিটার পুরুত্বের প্লাস্টার মোট মিলিয়ে ০.০৫ মিটার পুরুত্বের দেয়াল নির্মাণে খরচ তেমন পড়ে না কিন্তু এক্স-রের বেড়া হিসেবে বেশ কার্যকর।

অনুসন্ধানে দেখা গেছে, এক্স-রে স্থাপনার সরাসরি নিচ তলায় বা উপরতলায় বিপনি বিতান রয়েছে যেখানে সারাদিন বেচাকেনা চলে, অহরহ লোকজন আনাগোনা করে; এক্স-রে জ্যোতি ছাদ ভেদ করে সরাসরি চলে আসছে। এটি খুবই বিপদজনক ব্যাপার। প্রায় সকল স্থাপনায় সীসার নির্মিত অ্যাপ্রোন পাওয়া গেলেও দস্তানা বা গগ্‌লস পাওয়া যায় নি।

বেসরকারি বা সরকারি কোনো এক্স-রে স্থাপনাতেই বিকিরণ জরিপ মিটার বা সতর্কতা সংকেতসূচক লালবাতি বা অন্য কোনো কৌশল (device) পাওয়া যায় নি। পেশাজীবীদের ব্যক্তিগত বিকিরণপাত পরীক্ষণের জন্য ফিল্ম ব্যাজ, TLD বা অন্য কোনো পদ্ধতির আয়োজন কোথায়ও ছিল না। এক্স-রে মেশিন কার্যকর বা বন্ধ তা নিশ্চিত হতে হলে বিকিরণ জরিপ যন্ত্র একান্তই আবশ্যকীয়। কেননা, এমনও ঘটতে দেখা গেছে যে বৈদ্যুতিক মিটার বা কন্ট্রোল সুইচ ইত্যাদি ঠিকমত কাজ করে না। ফলে এক্স-রে মেশিন ঠিকমত on/off হয় না। হয়ত এমনও হতে পারে যে সুইচ অকেজো থাকায় এক্স-রে মেশিন বন্ধ না হয়ে এক্স-রে উৎপাদন করেই চলেছে। একমাত্র সচল বিকিরণ জরিপ মিটারই তা নিশ্চিত করতে পারে। আশঙ্কা হয় এমন কত অঘটনই না ঘটে চলেছে এবং ক্ষতিগ্রস্ত হচ্ছে নিরীহ জনগোষ্ঠী।

রোগ নির্ণয়ে বুকের এক্স-রে লেখ গ্রহণে সরকারি এক্স-রে স্থাপনায় সচরাচর 100 kV_p বিভব ব্যবহৃত হতে দেখা গেছে, কিন্তু বেসরকারি এক্স-রে স্থাপনায় আরো অনেক কম বিভব (kV) ব্যবহৃত হয়েছে। সকল ক্ষেত্রেই বিকিরণপাতকাল (exposure time) ০.২ সেকেণ্ড থেকে ০.৫ সেকেণ্ড ছিল। বিকিরণপাত নিরাপত্তার

জন্য এ বিকিরণপাতকাল 0.০৫ সেকেণ্ড বা তার চেয়ে সামান্য কম-বেশি হওয়া উচিত।

অত্যন্ত আশংকার সাথে লক্ষ্য করা গেছে যে, কোনো কোনো ক্ষেত্রে এক্স-রেপাতগ্রস্ত ব্যক্তির ডোজ ২০ মিলিসিভার্ট ছাড়িয়ে গেছে যা বার্ষিক সর্বোচ্চ অনুমোদিত ডোজ সীমার চেয়ে বহুগুণে বেশি। এক্স-রেপাতগ্রাহী ব্যক্তি ও তার সহচরদেরকে অন্যান্যের এক্স-রেপাতকালে ভিড় করে মজা দেখতে এবং নিজের এক্স-রেপাতের জন্য এক্স-রে কক্ষে অবস্থান করতে দেখা গেছে। অনেককে বারান্দায় বা এক্স-রে কক্ষের সংলগ্ন এলাকায় ঘোরাফেরা করতে দেখা গেছে। বিকিরণপাত নিরোধ আইন অনুযায়ী এক্স-রেপাতগ্রাহী ব্যক্তি ও চালক ছাড়া অন্য কারও এক্স-রে কক্ষে অবস্থান করা নিষিদ্ধ।

প্রথম অনুসন্ধানের ন্যায় এ অনুসন্ধানেও দেখা গেছে যে, এক্স-রেপাতগ্রাহীর ক্রান্তি (critical) অঙ্গ যেমন জননকোষ, থাইরয়েড গ্রন্থি ও চক্ষু এক্স-রেপাত মুক্ত রাখার আয়োজন কোনো স্থাপনাতেই ছিল না, অথচ তা একান্তই অপরিহার্য। বেসরকারি এক্স-রে স্থাপনায় কর্মরত ৩ জনের দেহে এক্স-রেপাতের দরুন বিরূপ প্রভাব পড়েছে বলে প্রতীয়মান হয়েছে। তারমধ্যে একজনের দৃষ্টিশক্তি হ্রাস ঘটেছে এবং অপর দুজনের হাতের চামড়া খসখসে হয়ে পড়েছে। এসব এক্স-রেপাতজনিত কিনা তা নিশ্চিত হওয়ার জন্য আরো ব্যাপক পর্যবেক্ষণের প্রয়োজন রয়েছে। কারও কারও স্ত্রী মৃত বাচ্চা প্রসব করেছেন, একজনের মানসিক প্রতিবন্ধী শিশু রয়েছে।

কোনো এক্স-রে স্থাপনাতেই পরিষ্কার এক্স-রে ফিল্ম মজুদ করার মত বিকিরণ-রোধী আচ্ছাদনযুক্ত ভাণ্ডার বা ডার্করুম (dark room) নেই। এক্স-রে কক্ষের পাশেই রয়েছে ডার্করুম বা এক্স-রে কক্ষেই কোনো বাক্সে রক্ষিত থাকতে দেখা গেছে পরিষ্কার এক্স-রে ফিল্ম যা এক্স-রেপাতের আগেই বিক্ষিপ্ত এক্স-রে আপতনের (incidence) ফলে এক্সরেপাতগ্রস্ত হয়ে পড়তে পারে।

কোনো এক্স-রে স্থাপনাতেই বিকিরণ নিরোধ পরামর্শক বা বিকিরণ নিরোধ কর্মকর্তা (radiation safety officer) ছিল না। বিকিরণজীবীদের স্বাস্থ্য পরীক্ষা ও বিকিরণপাতের প্রভাব জানার জন্য বার্ষিক রক্ত ও প্রস্রাব পরীক্ষার কোনো ব্যবস্থা নেই। এমনকি কাজে যোগ দেয়ার প্রাক্কালেও স্বাস্থ্য পরীক্ষা এবং রক্ত ও প্রস্রাব পরীক্ষা করানো হয় নি।

দেখা গেছে যে, কোনো কোনো এক্স-রে স্থাপনায় প্রাথমিক এক্স-রে জ্যোতি প্রধান প্রবেশ পথের দিকে, কোথাও বা প্রতীক্ষাগারের দিকে, কোথাও বা

পার্শ্ববর্তী বাসগৃহ, অফিস কক্ষ বা রাস্তার দিকে এমনভাবে তাক করে মেশিন বসানো হয়েছে যে জ্যোতি প্রায় অপ্রতিহতভাবেই চলে গিয়ে অযথা বিকিরণপাত ও পরিবেশ দূষণ ঘটিয়ে চলেছে। একটু সচেতন হলেই এসব বন্ধ করা যায়। নিম্ন বিভব ও ৮ mA বিদ্যুতে চালিত এক মেশিনে এক্স-রেপাতগ্রস্ত জনৈক ব্যক্তিকে ২০০ মিলিসিভার্ট ডোজ দিতে দেখা গেছে। এটি সাধারণের চেয়ে প্রায় ২০ গুণ বেশি। জরিপকৃত এক্স-রে স্থাপনায় ও এর আশেপাশে বিদ্যমান বিকিরণপাত মাত্রা সারণি ৫.২ ও ৫.৩-এ দেখানো হলো। এ অনুসন্ধান থেকে এ সত্য স্পষ্ট যে, এক্স-রে স্থাপনা নির্মাণে ও এক্স-রে মেশিন স্থাপনকালে (commissioning) বিকিরণ নিরাপত্তার কথা আদৌ বিবেচনায় আনা হয় নি। অদ্যাবধি অযথা বিকিরণপাত নিরোধ এবং পেশাজীবীদের নিরাপত্তার জন্য কোনো উদ্যোগ আয়োজন নেই। জনগোষ্ঠী অথবা এক্স-রেপাতের শিকার হচ্ছে এবং পরিবেশে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ দূষণ ঘটিয়ে চলেছে। নৈরাজ্যকর এ অবস্থার সমাধানে আশু উদ্যোগ গ্রহণ করা প্রয়োজন। এজন্য বৃহত্তর জনগোষ্ঠীকে এক্স-রেপাতের ক্ষতিকর প্রভাবের বিষয়ে সচেতন করে তোলা দরকার। জনগণ সচেতন ও প্রতিবাদী হলে যেখানে সেখানে এক্স-রে মেশিন বসিয়ে ব্যবসা বন্ধ করে দিতে পারে। ফলে বিকিরণজনিত পরিবেশ দূষণ রহিত হওয়ার উজ্জ্বল সম্ভাবনা দেখা দেবে। আশার কথা এই যে, গণপ্রজাতন্ত্রী বাংলাদেশ সরকার দেশের জনগোষ্ঠীর বৃহত্তর স্বার্থে "বিকিরণ নিরোধ ও পারমাণবিক নিরাপত্তা" আইন-জারি করেছেন। এক্স-রে স্থাপনায় বিকিরণপাত নিরোধও এ আইনের আওতায় পড়ে। বাংলাদেশ পরমাণু শক্তি কমিশনকে আইনটি যথাবিহিত কার্যকর করার দায়িত্ব দেয়া হয়েছে। এ বিষয়ে কাজও এগিয়ে চলেছে। আশা করা যায় জনগণের সহযোগিতায় এ আইন কার্যকর করে বিকিরণের যদৃচ্ছ ব্যবহারজনিত ক্ষতি থেকে দেশকে রক্ষা করা যাবে। এজন্য বৃহত্তর জনগোষ্ঠীসহ সংশ্লিষ্ট সকলের সচেতনতা ও সহযোগিতা দরকার।

সারণি ৫.২ঃ উল্লেখযোগ্য স্থানসমূহে ডোজ বিতরণ (বেসরকারি এক্স-রে স্থাপনায়)

(Dose Distribution at various position of interest. (Private X-ray installations)

Sl. No.	Name of clinic/ Hospital	kV_p	mA	Second	FSD (cm.)	Patient (msV/h)	Operator (mrem/h)	Corridor (mrem/h)	Entrance Door (mrem/h)	Doctor (mrem/h)	Patient waiting (mrem/h)	Dark Room (mrem/n)	Outside wall (mrem/h)	Background Radiation (mrem/h)
1.	Islam X-ray, Comi	50	15	.5	135	5	.08	.03	.06	.03	.03	.08	.06	.03
2.	Janata x-ray Comi	45	15	.8	135	5 usV/h	.08	.04	.05	–	.05	.08	.06	.03
3.	Medi Complex ,,	40	15	.5	150	100 ,,	.04	.03	.04	.025	.04	.03	.05	.03
4.	C. D. Path ,,	55	30	.02	90	500 ,,	.05	.03	.04	.03	.03	.04	.05	.025
5.	Super x-ray ,,	50	100	.08	150	5 msV/h	.045	.02	.08	-	.08	.04	.05	.03
6.	Comilla x-ray ,,	50	15	.5	150	1 ,,	.05	.035	.045	.04	.04	.05	.05	.03
7.	Gomoti x-ray ,,	60	30	.04	165	1 ,,	.05	.03	.045	.035	.025	.04	.05	.025
8.	Diabetic centre ,,	50	65	.05	165	1 ,,	.04	.03	.03	.08	.035	.03	.06	.025
9.	City x-ray ,,	40	50	.04	180	5 ,,	.04	.03	.08	.03	.08	.04	.065	.03
10.	Crescent Hosp. ,,	50	15	.8	180	500 usV/h	.04	.03	.03	.03	.025	.05	.025	.025
11.	Comilla private ,,	52	15	.5	180	5 msV/h	.05	.04	.03	.025	.025	.05	.085	.025
12.	Dr. Azad x-ray Comi	65	10	.6	180	50 usV/h	.06	.03	.04	.04	.025	.05	.05	.03
13.	Companiganj x-ray ,,	65	35	.5	135	10 msV/h	.06	.035	.06	.03	.035	.05	.045	.03
14.	Nirmal x-ray ,,	55	15	.8	165	5 ,,	.05	.03	.05	--	.035	.035	.08	.03
15.	Sheba x-ray ,,	60	30	.5	135	5 ,,	.08	.035	.06	--	.04	.05	.06	.03
16.	Rangpur x-ray ,,	50	15	.5	135	5 ,,	.06	.055	.06	.04	.04	.04	.06	.025
17.	Riadh x-ray, Chandpur	55	30	.5	140	1 ,,	.05	.04	.05	.045	.065	.05	.065	.03
18.	Chandpur x-ray ,,	60	40	.3	165	5 ,,	.05	.03	.05	.045	.045	.05	.065	.03
19.	Hetaishi x-ray ,,	50	30	.5	180	20 ,,	.055	.03	.05	.045	.04	.05	.06	.03
20.	Dr. R. Ahmed x-ray ,,	60	15	.8	150	200 ,,	.05	.03	.07	.04	.06	.095	.06	.025
21.	Madina x-ray ,,	65	30	.5	165	200 usV/h	.05	.04	.05	—	.045	.05	.08	.04

Library
1.8.75

সারণি ৫ ৩ঃ বিভিন্ন প্রয়োজনীয় স্থানে ডোজ বিতরণ (সরকারি এক্স-রে স্থাপনায়)

(Dose Distribution at various position of interest. (Government X-ray installations)

Sl. No.	Name of Clinic/ Hospital	KV$_p$	mA	Second	FSD (cm)	Patient (msV/h)	Operator (mrem/h)	Control (mrem/h)	Entrance Door (mrem/h)	Door (mrem/h)	Patient waiting (mrem/h)	Dark Room (mrem/h)	Outside wall (mrem/h)	Background Radiation
1.	Laksham T. H. C. Com.	60	16	.3	105	2 msV/h	.05	03	04	.03	.03	.05	.05	.025
2.	Debidwer T. H. C. ,,	65	15	3	150	3 ,,	05	.03	.03	.03	.03	.04	.065	03
3.	Muradnagar THC. ,,	70	5	.4	150	1 ,,	.07	03	03	.03	.04	.04	.04	.03
4.	Homna THC. ,,	66	10	.04	120	5 ,,	06	.04	.04	–	.04	.04	.05	.04
5.	Chandina THC. ,,	50	50	02	120	3 ,,	.03	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025
6.	Gouripur THC. ,,	55	50	.3	150	20 ,,	.04	.03	.03	–	.03	.04	.05	.03
7.	Choudagram THC. ,,	60	16	.2	120	3 ,,	.04	.03	.03	–	.04	.04	.05	.025
8.	Barura THC. ,,	50	60	.3	150	10 ,,	.06	.03	.04	.05	.04	.06	.045	.03
9.	General Hosp. ,,	55	250	03	105	2 ,,	.03	03	.05	.045	.04	.03	.045	.03
		60	12	.5	150	50 usV/h	.02	.03	.04	.04	.035	.032	.045	.02
		70	200	.05	180	3 msV/h	.02	.035	.04	.03	.035	.035	.045	.02
		70	200	.03	180	20 ,,	.03	.03	.03	.03	.03	.035	.04	.025
10.	250 beded Hosp. ,,	55	50	.3	180	5 ,,	.05	.03	.03	.04	.04	.04	.04	.03
		70	200	.05	180	20 ,,	.03	.03	.03	.03	.03	.035	.04	.03
11.	Faridganj THC. Chand.	65	20	.3	150	100 ,,	.05	.03	.03	.025	05	.025	.05	.025
12.	Kachua THC. ,,	60	20	.3	120	5 ,,	.05	03	.045	–	.045	.045	.05	.03
13.	Matlab THC. ,,	60	15	.6	150	2 ,,	.08	.04	.06	.04	.04	.04	.05	.04
14.	Gen. Hosp. ,,	60	60	.2	120	2 ,,	.04	04	.04	04	.04	.04	.05	.03
		60	60	.2	120	500 usV/h	.04	.04	.04	.04	.04	.045	.045	.025
15.	TB Clinic, Com.	50	100	.08	150	2 msV/h	.06	.03	.035	.025	.04	.05	.05	.025
16.	TB Clinic, Chand.	65	12	.3	150	500 usV/h	.04	.03	.05	.04	.035	.04	.045	.025

৫.৮ এক্স-রেপাত নিরোধে গৃহীতব্য কতিপয় সুপারিশ

অপ্রয়োজনীয় এক্স-রেপাত এড়ানোর এবং এক্স-রেপাত থেকে যাতে সর্বব্যাপী মঙ্গললাভ ঘটে সেজন্য কতিপয় দিক নির্দেশনা হচ্ছে নিম্নরূপ:

(১) একান্ত আবশ্যকীয় না হলে এক্স-রেপাত ঘটানো উচিত নয়।

(২) এক্স-রেপাত ঘটানোর আগে যথোপযুক্ত বিশেষজ্ঞের অনুমোদন নিতে হবে। লাভ-ক্ষতি বিবেচনায় লাভের পাল্লা ভারি হলেই এক্স-রেপাত ঘটানো যাবে।

(৩) এক্স-রে মেশিন যথাযথভাবে স্থাপন (set up), ক্রমাঙ্কন ও প্রমিতকরণ (standardization) নিশ্চিত করতে হবে।

(৪) গর্ভবতী মহিলা ও শিশুদের এক্স-রেপাতকালে অধিক সাবধানতা অবলম্বন করতে হবে। নেহায়েত জীবন রক্ষার ক্ষেত্রেই শুধু বিষয়টি বিবেচ্য।

(৫) ঘন ঘন এক্স-রেপাত ঘটানো উচিত নয়।

(৬) এক্স-রে মেশিনকে নির্দিষ্ট সময়ান্তরে পরীক্ষা করে নিশ্চিত হতে হবে যে ক্রমাঙ্কন, সমাক্ষীকরণ, বিভব ও বিদ্যুৎমান ঠিক আছে কিনা।

(৭) বিকিরণরোধী আচ্ছাদন যেমন সীসার তৈরি অ্যাপ্রোন, দস্তানা, গগ্‌ল্‌স্ এবং ক্রান্তি অঙ্গ যথা জননকোষ, থাইরয়েড গ্রন্থি, ইত্যাদির নিরাপত্তার ব্যবস্থা থাকতে হবে।

(৮) সাধারণ কাজে ব্যবহৃত এক্স-রে যন্ত্র দাঁতের এক্স-রেপাতে বা শিল্পখাতে ব্যবহৃত স্বল্প বিভব ও বিদ্যুতের (mA) বহনযোগ্য এক্স-রে যন্ত্র রোগ নির্ণয়ে এক্স-রে লেখ গ্রহণ বা রোগ নিরাময়ের জন্য এক্স-রেপাতে ব্যবহার করা উচিত নয়।

(৯) এক্স-রে কক্ষের পরিকল্পনা (planning) ও নির্মাণে সুনির্দিষ্ট আকার (size), বিকিরণরোধী আবরণী, অবস্থানকাল, ব্যবহার ইত্যাদি বিবেচনায় রেখে কাজ করতে হবে।

(১০) বাণিজ্যিক উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত সমুদয় এক্স-রে যন্ত্র নিবন্ধিকৃত (registered) হতে হবে। এদের স্থাপনা, বিকিরণপাত মাত্রা, জরিপ, ক্রমাঙ্কন ও প্রমিতকরণ যথাযথভাবে করা হয়েছে কি-না তা যথাযথ কর্তৃপক্ষ কর্তৃক পরিদর্শন ও নিরীক্ষণান্তে যথাযথ বলে সনদপ্রাপ্তির পরই কেবল কাজ চালিয়ে যাওয়ার অনুমতি মিলবে। চালু অবস্থায় ও নির্দিষ্ট সময়ান্তর পরিদর্শন ও নিরীক্ষণাধীন রাখতে হবে।

(১১) পেশাজীবিগণ ব্যক্তিগত বিকিরণপাত পরিবীক্ষণের উপযোগী বিকিরণ ডিটেক্টর যেমন ফিল্ম ব্যাজ, TLD ইত্যাদি কাজ করার সময় দেহে লাগিয়ে রাখবেন; তেমনি নির্দিষ্ট সময়ান্তর প্রাপ্ত বিকিরণপাতের পরিমাণ নিরূপণ করে ফলাফল সংরক্ষণ করতে হবে অন্যূন ৩০ বছর পর্যন্ত।

(১২) এক্স-রেপাত চলাকালে অনাকাঙ্ক্ষিত কেউ এক্স-রে কক্ষে প্রবেশ বা আশেপাশে ঘোরাফেরা করতে পারবে না।

ষষ্ঠ অধ্যায়

এক্স-রে সন্ধান
(X-ray Detection)

এক্স-রে সন্ধানের (detection) নানাবিধ পদ্ধতি রয়েছে। 'তেজস্ক্রিয়তা ও তেজস্ক্রিয় বিকিরণ' গ্রন্থে এক্স-রে সন্ধান সম্পর্কে বিস্তৃত আলোচনা করা হয়েছে। এখানে পদ্ধতিগুলোর কয়েকটি অতি সংক্ষেপে বিবৃত হলো।

এক্স-রে সন্ধানের জন্য প্রধানত দুটি পদ্ধতি ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। এদের প্রথমটিতে এক্স-রে কর্তৃক ফটোগ্রাফিক ইমালশনে (photographic emulsion) উদ্ভূত আলোক রাসায়নিক (photo-chemical) ছাপকে (impression) ব্যবহার করা হয়। এক্স-রে পাতের মাত্রা অনুযায়ী ফটোগ্রাফিক ফিল্মের উপর কৃষ্ণতা (blackening) ভর করে, যা পরিমাপ করে এক্স-রে পাতের পরিমাণ সম্পর্কে ধারণা লাভ করা যায়। এ পদ্ধতিতে পূর্বেই জ্ঞাত (known) এক্স-রেপাত ঘটিয়ে তা থেকে উদ্ভূত কৃষ্ণতা আলোক কৌশল (optical technique) নিরূপণ করা হয়। এভাবে ক্রমাঙ্কনের (calibration) সহায়তায় যে কোনো অজানা এক্স-রেপাতের পরিমাণ নিরূপণ করা যায়। স্মর্তব্য যে আবিষ্কারক মিঃ রঞ্জন এ পদ্ধতিতেই এক্স-রের সন্ধান লাভ করেন।

এক্স-রে সন্ধানের অপর পদ্ধতিটিতে এক্স-রেপাতের দরুন মাধ্যমের আয়নী-ভবন (ionization) বা উৎসারিত প্রতিপ্রভার (fluorescence) সাহায্য নেয়া হয়। এ বৈশিষ্ট্যদ্বয় কাজে লাগিয়ে যেসব সন্ধায়ী কাজ করে তাদের ইলেকট্রনিক সন্ধায়ী বলে।

এক্স-রে সন্ধানের জন্য নানা ধরনের ইলেকট্রনিক সন্ধায়ী রয়েছে। তন্মধ্যে সহজ, সরল ও সর্বজনীন (vesratile) ব্যবহারের উপযোগী হচ্ছে গ্যাসীয় সন্ধায়ী, যেমন আয়নায়ন চেম্বার (ionization chamber), সমানুপাতিক কাউণ্টার, গাইগার কাউন্টার, ইত্যাদি। গ্যাসীয় সন্ধায়ীতে থাকে একটি প্রকোষ্ঠ (chamber) যাতে এক বা একাধিক গ্যাস মিশ্রণ সুবিধাজনক চাপে ভরা হয়। এক্স-রেপাতের ফলে আয়নায়ন ঘটে যা উচচ বিভবে রক্ষিত ধনতড়িৎদ্বার ও ঋণতড়িৎদ্বারে সংগৃহীত হওয়ার ফলে বৈদ্যুতিক স্পন্দনের (electrical pulse) সৃষ্টি হয়। এ দ্বারা এক্স-রে সন্ধান তথা পরিমাপনের কাজ সম্পন্ন করা হয়। নিম্ন শক্তির

এক্স-রে সন্ধানে ও বর্ণালীবীক্ষণের জন্য সমানুপাতিক সন্ধায়ী বেশ উপযোগী। উচচ শক্তির এক্স-রে সন্ধানে গাইগার কাউন্টারই সুবিধাজনক।

এক্স-রেপাতের দরুন কোনো কোনো বস্তু থেকে নির্গত স্বতপ্রভার উপর ভিত্তি করে গড়ে উঠেছে সিন্টিলেশন সন্ধায়ী (scintillation detectors)। এর মধ্যে সক্রিয়কৃত (activated) NaI (Tl), কেলাস (crystal), ZnS, CsI(Tl), CaF2, LiI(Eu), CsI(Na), ইত্যাদির নাম বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। এক্স-রেপাত এসব পদার্থে আলোক ঝলক (scintillation) সৃষ্টি করে যা তাদের সাথে ঘনসন্নিবেশে রক্ষিত ফটোক্যাথোডে (photo-cathode) পড়ে ইলেকট্রন নির্গত করে। এভাবে নির্গত ইলেকট্রনের ফটোমালটিপ্লায়ার (photomultiplier) নলে স্থাপিত উত্তরোত্তর বর্ধিত বিভবে রক্ষিত ডাইনোডের (dynode) সাহায্যে ক্রমশ বৃদ্ধির দ্বারা উচচ-মানের বৈদ্যুতিক স্পন্দন সৃজনের মাধ্যমে এক্স-রে শনাক্তকরণ ও পরিমাপনের কাজ সম্পন্ন করা হয়। মাঝারি ও উচচ শক্তির এক্স-রে সন্ধানে এসব সন্ধায়ী বেশ উপযোগী ও বহুল ব্যবহৃত হয়ে আসছে।

বিংশ শতাব্দীর ষাটের দশকে অর্ধপরিবাহী (semi-conductor) সন্ধায়ী উদ্ভাবনের সাথে সাথে এক্স-রে সন্ধানে এক যুগান্তকারী পরিবর্তনের সূচনা হয়। এদের মধ্যে প্রধান হচ্ছে Si(Li), Ge (Li), Hp(Ge), ইত্যাদি। নিম্ন শক্তির এক্স-রে সন্ধানে Si (Li) সন্ধানীর জুড়ি মেলা ভার।

সমানুপাতিক কাউন্টার, সিন্টিলেশন কাউন্টার ও অর্ধপরিবাহী সন্ধানীর প্রত্যেকেই প্রতিটি আপতিত (incident) শোষিত বিকিরণপাতের জন্য আলাদা আলাদা বৈদ্যুতিক স্পন্দনের জন্ম দেয় যাদের গণনা করে বিকিরণপাতের সংখ্যা ও বৈশিষ্ট্য নিরূপণ করা যায়। এতদ্ব্যতীত সন্ধায়ীর সৃষ্ট বৈদ্যুতিক স্পন্দনের তীব্রতা ও উচচতা বিশ্লেষণ (pulse height analysis) ইলেকট্রনিক কৌশল (device) দ্বারা সম্পাদন করে শক্তির মানক্রম অনুসারে বাছাইয়ের মাধ্যমে বর্ণালী বিস্তরণ (spectral distribution) গঠন করা যায়। বিকিরণপাতকে সম্যক উপলব্ধি করতে বর্ণালী বিস্তরণ অত্যন্ত কার্যকর পদ্ধতি। এটি এক্স-রে অপবর্তন বর্ণালী-মিতিতে (diffraction spectrometry) প্রয়োগ করা হয়ে থাকে।

গ্রন্থপঞ্জি

1. ***An Introtuction to Radiation protection.*** Alam Martin and Samuel-A. Harbison, 2nd Edition, Chapman and Hall, London, New York.

2. ***The Stucture of Matter, An Introduction to Atomic Nuclear end Particle Physics.*** R. M. Turnbull, Blackie, Glasgow and London.

3. ***Introduction to Health Physics***. H. Cember, 2nd Edition, Revised and Enlarged Pergamon Press, New York.

4. ***The Physics of Radiology*** E. Johns, H. Cunningham, John Wiley and Sons, New York.

5. ***The Encyclopedia of Science and Technology***. Mc Graw Hill.

6. ***Radiation Detection and Measurements.*** G. F. Knoll, John Wiley and Sons, New York.

7. ***The Theory and Practice of Scintillation Counting***. J.B. Birks, Pergamon Press Oxford.

8. ***Design and Development of a Wholebody Radioactivity Monitor for Radiation Protection and Metabolic Studies***. A. Jalil, Ph. D. BUET (1989), Dhaka.

যা হয়, ক্রোমিয়াম ঘাটতিতে গরুর দেহে গ্লুকোজ ধারণ ক্ষমতা হ্রাস পেয়ে স্বাস্থ্যহানি ঘটে। তাই পশুর খাদ্য বিশ্লেষণ করে জানা উচিত যে পুষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় উপাদান যথাযথ মাত্রায় বিদ্যমান রয়েছে কি না। আর এসব কাজে এক্স-রে বিশ্লেষণ পদ্ধতি প্রভূত সহায়ক ভূমিকা রাখতে পারে। সম্প্রতি এক্স-রের সাহায্যে অভ্যন্তরীণ বিকিরণলেখ গ্রহণের মাধ্যমে নানাবিধ অর্থকরী ফলের অভ্যন্তরস্থ ছিদ্রবহুল কোষকলা (spongy tissue), পোকায় ধরা ও অন্যান্য ত্রুটি-বিচ্যুতি শনাক্তকরণ ও গুণমান যাচাইয়ের ব্যবস্থা চালু করা হয়েছে। উন্নত দেশসমূহে, এমনকি প্রতিবেশী দেশ ভারতেও এ পদ্ধতির প্রচলন ঘটেছে (BARC News letter, No. 115, September, 1993 এর প্রথম দিকের পৃষ্ঠা-গুলোতেই রয়েছে এর সচিত্র প্রতিবেদন)। বাইরে থেকে দেখে ফলের অভ্যন্তরের ছিদ্রময় কোষকলা, পোকামাকড় ও অন্যান্য ত্রুটি-বিচ্যুতি বুঝার অন্য কোনো উপায় নেই। ফলে বিদেশের বাজারে দেশের ফলের চাহিদা হ্রাস পায় এবং রপ্তানি বাণিজ্য ক্ষতিগ্রস্ত হয়। তাই এক্স-রেপাতের সাহায্যে রেডিওগ্রাফ নিয়ে রেডিওচিত্র যাচাইয়ের মাধ্যমে ক্ষতিগ্রস্ত ফল আলাদা করে নিয়ে পৃথিবীর বিভিন্ন দেশে এ সমস্যার সমাধানের কাজ চলছে।

২.৩ চিকিৎসাশাস্ত্রে ব্যবহার

চিকিৎসাশাস্ত্রে এক্স-রের বহুল প্রয়োগ প্রচলিত রয়েছে দীর্ঘদিন থেকে। এতদ্‌সত্ত্বেও দিন দিন এর নতুন নতুন প্রয়োগের প্রসার ঘটে চলেছে। ইতঃপূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে আবিষ্কারের অব্যবহিত পরেই উপলব্ধি করা গিয়েছে যে, চিকিৎসা-শাস্ত্রে এর বহুল ব্যবহারের প্রচুর সম্ভাবনা রয়েছে। চিকিৎসাশাস্ত্রে রোগ নিরূপণে বা নিরাময়ে, উভয়ক্ষেত্রে এর বহুল প্রয়োগের কারণে শহর-গ্রামের শিক্ষিত-অশিক্ষিত সকলেই এক্স-রে শব্দটির সাথে সুপরিচিত। দেহে এক্সরেপাত ঘটিয়ে বিকিরণলেখ গ্রহণ করা হয় অর্থাৎ ফটোগ্রাফিক ইমালশন আচ্ছাদিত সেলুলোজ প্লেটে ব্যক্তি বিশেষের সংশ্লিষ্ট অঙ্গে এক্স-রেপাত ঘটিয়ে অভ্যন্তরীণ বিকিরণলেখ গ্রহণ করা হয়। এক্স-রের সাদাটে অংশগুলো হচ্ছে অপেক্ষাকৃত ঘনতর (denser) অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের—যাদের মধ্যে এক্স-রের শোষণ ও বিক্ষেপণের দরুণ অপেক্ষাকৃত কম পরিমাণের এক্স-রে বিকিরণ গিয়ে এক্স-রে প্লেটে পড়ে; আর কালো অংশগুলো হচ্ছে অপেক্ষাকৃত হাল্কা অঙ্গের, যেমন নরম কোষ-কলা, যাতে অপেক্ষাকৃত কম শোষণ ও বিক্ষেপণের দরুন অনেকটা অপ্রতিহত বিকিরণ প্লেটে গিয়ে পড়েছে। অতঃপর প্লেটটি রাসায়নিক দ্রবণে রেখে প্রক্রিয়াজাত

করে আলোকিত পর্দার উপর এটি স্থাপন করে দেখে ডাক্তার রোগ নির্ণয় করে থাকেন।

অস্ত্রোপচারের আগে অস্ত্রোপচারের সঠিক স্থান নির্ধারণ ও মূল্যায়নের জন্য বিকিরণলেখ নেয়া হয়। স্থানচ্যুত, ভাঙ্গা বা ফেটে যাওয়া হাড়, দেহাভ্যন্তরে প্রবিষ্ট শক্ত বস্তু যেমন বুলেট, দেহাভ্যন্তরস্থ ক্ষতের অবস্থান ও স্বরূপ, হাড় ঠিকমত জায়গায় বসেছে কিনা, জোড়া লেগেছে কিনা ইত্যাদি সম্পর্কে সম্যক ধারণা লাভের জন্য এক্স-রেপাত ঘটিয়ে বিকিরণলেখ নেয়া হয়। আলসার, ক্যান্সার, টিউমার, যক্ষ্মা ইত্যাদি রোগ নির্ণয় ও এগুলোর ব্যাপ্তি জানার জন্য এক্স-রে-পাতের সাহায্য নেয়া হয়। পরিপাক (digestive) নালী দিয়ে খাদ্য বস্তুর গতিবিধি অনুসরণ, দাঁতের গোড়ার আলসার নির্ণয় ইত্যাদি কাজেও এক্স-রেপাতের সাহায্য নিতে হয়।

উপরি-উক্ত প্রয়োগসমূহে এক্স-রে কর্তৃক ফটোগ্রাফিক ইমালশানে প্রভাব বা ছাপ ফেলার ক্ষমতাকেই কাজে লাগানো হয়ে থাকে।

এক্স-রে দেহকোষে বিরূপ প্রভাবও ফেলে থাকে। এর কারণে সামান্য চুল পড়া থেকে ঘাতক ব্যাধি ক্যান্সারেরও উৎপত্তি হতে পারে। পক্ষান্তরে, এক্স-রে ক্যান্সার-সহ অন্যান্য রোগ নিরাময়েও গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে থাকে। এক্স-রে রোগ জীবাণু ধ্বংস করে এবং পরিমিত ও যথাযথ শক্তির এক্স-রেপাত ঘটিয়ে ক্যান্সারগ্রস্ত দেহকোষগুলোর বিনাশ করা যায়। এতে ক্যান্সার বৃদ্ধি রোধ করে প্রকারান্তরে আয়ু বাড়ানো যায়। বর্তমানে ক্যান্সার সংক্রমণ রোধেও এক্সরে ব্যবহৃত হচ্ছে। অর্থাৎ রোগ নির্ণয় ও নিরাময় তথা সুস্বাস্থ্য অর্জনে এক্স-রে এক গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করছে।

২.৪ শিল্পক্ষেত্রে প্রয়োগ

প্রতিটি উপাদানই স্ব স্ব বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রে নির্গত করে থাকে যা দিয়ে সহজেই তাকে পৃথক পৃথকভাবে চেনা যায়। তাই যে কোনো উৎপাদিত পণ্যে কোন উপাদান কি পরিমাণে বিদ্যমান রয়েছে তা এক্স-রে প্রতিপ্রভা দিয়ে জানা যায়। ফলে উৎপাদিত বস্তুর গুণমান কি এবং এটি কতোটা শক্ত-পোক্ত হয়েছে তা নিরূপণ করা যায়। এ দিয়ে বস্তুতে বিদ্যমান বিভিন্ন উপাদানের পরিমাণ নির্ণয়ের মাধ্যমে আসল-নকল যাচাই করা সম্ভব হয়। মেশিনপত্র, যন্ত্রাংশ, বয়লার, ভার-উত্তোলক (crane), ইঞ্জিন ইত্যাদি এবং ঢালাই, ঝালাই জোড়, ওয়েল্ডিং (welding), কাস্টিং (castings) ইত্যাদিতে ফাটল, ফুটাফাটা, বায়ুকোষ (air bubble), ফাঁকাস্থান (void)

বুদ্‌বুদ ইত্যাদি রয়েছে কিনা, বস্তু বা দ্রব্যটি না ভেঙ্গেই এক্স-রে দিয়ে অভ্যন্তরীণ বিকিরণলেখ গ্রহণের মাধ্যমে পরখ করা যায়। এ থেকেই কোনো যন্ত্রপাতি কতো চাপ, তাপ ও পীড়ন (stress) সহ্য করতে পারবে, কতো ওজন বহন বা উত্তোলন করতে পারবে ইত্যাদি জানা যায়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, কোনো আকাশযানের কোনো যন্ত্রাংশে যদি বায়ুকোষ বা বুদবুদ থাকে তবে ঊর্ধ্বাকাশে যেখানে বায়ুচাপ প্রায় নেই বললেই চলে সেখানে এটি প্রসারিত হয়ে দুর্ঘটনা ঘটাতে পারে। একইভাবে গ্যাস বা পানি সরবরাহের পাইপের জোড়ার ফাটল, শূন্যস্থান বা বায়ুকোষ থাকলে উচ্চচাপে সরবরাহ চলাকালে তা বিযুক্ত হয়ে গিয়ে সমূহ দুর্ঘটনা ঘটাতে পারে।

শিল্পে উৎপাদিত পণ্যের পুরুত্ব, ঘনত্ব ও সমসত্ত্বের (uniformity) হেরফের, টিউবে বা ড্রামে ভর্তি তরল পদার্থের উপরিতলের অবস্থান কোথায়, বস্তুতে মেশানো খাদ (impurity) নিরূপণে এক্স-রে বিকিরণলেখের বিকল্প নেই। কেলাসের বৈশিষ্ট্য, গঠন, উপাদানাদি, ত্রুটিবিচ্যুতি, প্রভৃতি জানার জন্য নতুন গবেষণা শাখা X-ray Crystallography সৃষ্টি হয়েছে যা দিয়ে মণিকাররা আসল-নকল যাচাই করে থাকেন। বাণিজ্যিকভাবে উৎপাদিত পণ্য যেমন-টারবাইন ব্লেড, ট্রানজিস্টর, ক্যাবল ইত্যাদির গুণমান নিয়ন্ত্রণের জন্য এবং তাৎক্ষণিকভাবে এদের অভ্যন্তরভাগ দেখার জন্য শিল্পগত প্রতিপ্রভার (industrial fluorescenc) ব্যাপক ব্যবহার চালু রয়েছে।

টফি, লজেন্স, কেক ইত্যাদি খাদ্য তৈরির পর কোনো অবাঞ্ছিত দ্রব্য এসবের সাথে মিশে বিষাক্ত করে ফেলেছে কিনা পরখ করার জন্য এক্স-রের সাহায্য নেয়া হয়। কাজেই দেখা যাচ্ছে এক্স-রে উৎপাদিত দ্রব্যের যথাযথ গুণগতমান নিশ্চিত করে নির্ভরযোগ্যতা বাড়িয়ে দেয়, অনেক ধরনের অচিন্তনীয় আপদ থেকে রক্ষা করে এবং ব্যবসায়ের সুনাম রক্ষা করে। চলন্ত জিনিসের অভ্যন্তরীণ কৃত-কৌশল (mechanism) ও দেহের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র ও পাতলা অঙ্গপ্রত্যঙ্গ দেখার জন্য ভিডিকন টিউবে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

শিলা, পাথর, চুনাপাথর, খনিজ আকর, খনিজ পদার্থ ও অন্যান্য মূল্যবান বস্তুর কাঠামো, গঠন বৈশিষ্ট্য, ও প্রকৃতি এক্স-রের সাহায্যে অতি সহজেই জানা যায়; অনেক সময় মূল্যবান খনিজ পদার্থ বস্তুতে এত কম থাকে যে রাসায়নিক পদ্ধতিতে বিশ্লেষণ করা যায় না অথচ এক্স-রে দিয়ে তা সহজেই শনাক্ত করা যায়।

২.৫ গোয়েন্দাগিরি, নিরোধ ও নিরাপত্তায় এক্স-রে

বর্তমানকালে বড় বড় বিমান বন্দর, জাহাজ ঘাটি, গুরুত্বপূর্ণ সমাবেশ ও পোতের আরোহণ স্থলে সন্ত্রাসী তৎপরতারোধ ও নিরাপত্তার জন্য যাত্রী ও তাঁদের মালামালের সাথে আগ্নেয়াস্ত্র বা বিস্ফোরক দ্রব্য আছে কিনা তা পরীক্ষা করার জন্য এক্স-রের ব্যবহার বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এমনকি এ উদ্দেশ্যে বহনযোগ্য এক্স-রে মেশিনও তৈরি হয়েছে। বাক্স-পেটরা, হাতব্যাগ, সবকিছুর নিরাপত্তা পরখের জন্য Conveyor belt-এ রেখে লোকজনকে চৌকাঠের আকৃতির দরজা দিয়ে অতিক্রম করানো হয়ে থাকে। এ ছাড়া কেউ সোনা, রূপা, মুক্তা ইত্যাদি মূল্যবান ধাতু দেহের মধ্যে বহন করে থাকলে এক্স-রেপাত দিয়ে তা জানা যায়। কাস্টম কর্মীরা চোরাচালানের মালামাল খুঁজতে এবং কাঠের বাক্সে বা ধাতবপাত্রে নিষিদ্ধ পণ্য থাকলে সেসবের মধ্য দিয়ে এক্স-রেপাত ঘটিয়ে সঠিক তথ্য জানতে পারেন।

২.৬ গবেষণা ও উন্নয়ন কর্মকাণ্ডে এক্স-রের ব্যবহার

এক্স-রে গবেষকদের এক মোক্ষম অস্ত্রবিশেষ। তাই গবেষণা ও উন্নয়ন কর্মকাণ্ডে এক্স-রে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। এক্স-রেপাত ঘটিয়ে নবলব্ধ ও নব উৎপাদিত বস্তু বা দ্রব্যের (product) গঠন প্রকৃতি, টেকসইয়ের গুণাবলি এবং কোনো বিশেষ কাজের জন্য যথোপযুক্ত কিনা তা গবেষকগণ জেনে নিচ্ছেন। যেমন একটি ক্রেন (crane) কতটা নির্ভরশীল এবং ঐ ক্রেন দিয়ে কতটুকু ভারোত্তোলন করা সম্ভব হবে তা এক্স-রেপাতের মাধ্যমে বিকিরণলেখ নিয়ে দেখা যায়। কেলাসের গঠন ও পরমাণু বিন্যাস এবং বিবিধ গবেষণায় এক্স-রের বহুল ব্যবহার প্রচলিত রয়েছে। কেলাসে এক্স-রের অপবর্তন পদ্ধতি পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে এসব করা হয়ে থাকে। বিজ্ঞানের এ শাখাটি এক্স-রে কেলাসলেখ (crystallography) নামে সমধিক পরিচিত। প্রত্নতাত্ত্বিক বস্তুর শনাক্তকরণ ও গঠন বৈশিষ্ট্য নিরূপণে এক্স-রে বর্ণালীমিতির সাহায্য নেয়া হয়ে থাকে। নানা ধরনের জটিল আমিষ, DNA, enzyme ইত্যাদির গঠন ও প্রস্তুত প্রণালী জানার জন্য এক্স-রে-পাতের সহায়তা নিতে হয়।

এক্স-রের প্রয়োজনীয়তা ও উপকারিতা যেমন অপরিসীম, তেমনি এর অপ-প্রয়োগ, যথেচ্ছ ব্যবহার এবং অপরিমিত প্রয়োগের দরুন ক্ষতির পরিমাণও কম নয়। কারণ, এক্স-রেপাত জীবদেহে বিরূপ প্রভাব ফেলে! এক্স-রেপাতের পরিমাণের

উপর সামান্য চুল পড়া থেকে চামড়া ঝলসে যাওয়া সম্ভব। এছাড়া মারাত্মক চর্মরোগ এমন কি ক্যান্সারও হতে পারে। তাই অতিরিক্ত এক্স-রেপাত তথা বিকিরণপাত পরিহার করার জন্য বিভিন্ন আন্তর্জাতিক সংস্থা যেমন আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশন (International Commission on Radiological Protection, ICRP); আন্তর্জাতিক শ্রম সংস্থা (ILO); বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) ইত্যাদি এক্স-রে যন্ত্র স্থাপনা, এক্স-রেপাতের সংগঠন ও এক্স-রেপাতের ডোজ সীমা বেঁধে দিয়েছে এবং এ যন্ত্র চালনার বিধিবদ্ধ রীতিনীতির সুপারিশমালা প্রণয়ন করেছে। পরবর্তী অধ্যায়ে এ বিষয়ে আলোচনা করা হলো।

তৃতীয় অধ্যায়

এক্স-রেপাত নিয়ন্ত্রণের নীতি ও প্রবিধানমালা

৩.১ ভূমিকা

এক্স-রেপাত জীবদেহে বিরূপ প্রভাব ফেলে। এ বিষয়ে অনেক প্রামাণিক দলিল রয়েছে। তাই জীবদেহে এক্স-রের মিথস্ক্রিয়া (interaction) নিয়ে বিস্তর পরীক্ষা-নিরীক্ষা ও গবেষণা হয়েছে, এমন অনেক তথ্য সংগৃহীত হয়েছে যা থেকে দেহে বিকিরণের বিক্রিয়া পদ্ধতি ও ক্ষতিসাধনজনিত রোগলক্ষণসমূহ সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান লাভ ঘটেছে। ফলে জনমনে সচেতনতা জন্মেছে, এক্স-রের নিরাপদ ব্যবহারের পদ্ধতি ও প্রবিধানমালা তৈরি হয়েছে। এ ব্যাপারে বিভিন্ন আন্তর্জাতিক সংস্থা যেমন 'আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশন (International Commission on Radiological Protection, ICRP). আন্তর্জাতিক শ্রম সংস্থা (International Labour Organization, ILO) ও বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (World Health Organization. WHO) বেশ সহায়ক ভূমিকা গ্রহণ করেছে। সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছে আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশন (ICRP)। সংস্থাটি বিকিরণকর্মী ও জনসাধারণের জন্য বিকিরণপাত মাত্রা সীমিতকরণসহ (dose limitation) বিকিরণপাত সম্পাদনের পূর্বশর্ত সংবলিত মূল নীতিমালা প্রণয়ন করেছে এবং প্রত্যেক দেশে এ উদ্দেশ্যে গঠিত সংস্থাকে আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশনের (ICRP) মূলনীতি অনুসরণে সংশ্লিষ্ট দেশের উপযোগী প্রবিধানমালা তৈরি ও কার্যকর করার সুপারিশ করেছে। তদানুযায়ী বিকিরণ স্থাপনা (radiation installation) নির্মাণ করে বিকিরণপাত সংঘটিত করলে জীবদ্দশায় স্বাস্থ্য ঝুঁকির তেমন কোনো সম্ভাবনা থাকবে না।

৩.২ বিকিরণপাত নিরোধ ও নিয়ন্ত্রণে আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশনের ডোজ সীমিতকরণ

নিরাপত্তার প্রয়োজনে আন্তর্জাতিক বিকিরণ নিরোধ কমিশন বিকিরণপাত সম্পাদনের পূর্বশর্ত সংবলিত নিম্নোক্ত তিনটি মূলনীতি অনুসরণের সুপারিশ করেছে।

(১) কোনো বিকিরণপাত ঘটানো যাবে না—যদি তা থেকে আহৃত কল্যাণ উক্ত বিকিরণপাত থেকে উদ্ভূত সমুদয় ঝুঁকির চেয়ে বেশি না হয়।