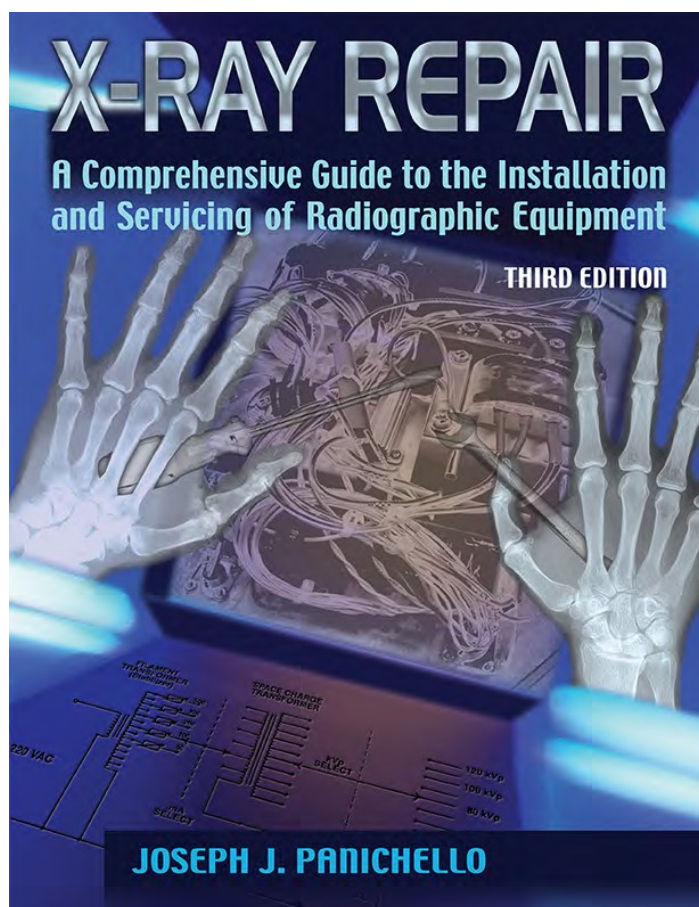


اصول عملکرد و تعمیرات تجهیزات رادیوگرافی (X-Ray)

ویرایش سوم



Josef J. Panchello

مولف: جوزف جی پانچلو

مترجم: مهندس بهزاد نادرخانی



نشر علمی صالحین

نام کتاب: اصول عملکرد و تعمیرات تجهیزات رادیوگرافی (X-Ray) ویرایش سوم

مؤلف: جوزف جی پانچلو Josef J. Panchello

مترجم: مهندس بهزاد نادرخانی

ویراستار: مهندس علیرضا صالحین

سال چاپ: ۱۴۰۴

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۲۵۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۸۹۵۵۳-۳-۹

حق چاپ برای نشر علمی صالحین محفوظ می‌باشد

نشانی مرکز پخش: تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول واحد ۴۱۹

تلفن: ۰۹۱۲۴۸۸۶۴۹۸ - ۸۸۲۸۳۶۹۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴ - ۰۹۱۲۵۰۱۰۰۳۰

میثاق نامه حقوقی مالکیت فکری و شرایط بهره‌برداری انتشارات علمی صالحین (حق نشر (Copyright) ۱۴۰۴ ©)

ماده ۱: تعاریف و دامنه شمول اثر

۱-۱. تعریف اثر: این اثر شامل، اما نه محدود به، کلیه متون، نگاره‌ها، تصاویر، نمودارها، جداول، داده‌نماها (اینفوگرافیک)، طرح جلد، صفحه‌آرایی (Layout)، تایپوگرافی، کدهای منبع (در نسخه‌های دیجیتال)، فراداده‌ها (Metadata) و ساختار سازماندهی محتوا می‌باشد.

۲-۱. دامنه حقوق: کلیه حقوق مادی (Economic Rights) ناشی از پدیدآوردن این اثر، شامل حق تکثیر، نشر، پخش، عرضه، اجرا، ترجمه، اقتباس و بهره‌برداری در هر فرمت (چاپی، صوتی، تصویری، الکترونیکی) و در هر بستر (فیزیکی، سایبری، متاورس) که اکنون موجود است یا در آینده ابداع گردد، به موجب قراردادهای معتبر قانونی، به صورت انحصاری، مطلق و غیرقابل رجوع به «انتشارات علمی صالحین» (که از این پس «ناشر» نامیده می‌شود) تعلق دارد.

۳-۱. حقوق معنوی: حقوق معنوی اثر، طبق ماده ۴ «قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸»، برای پدیدآورندگان محفوظ است؛ لکن حق انحصاری صیانت از این حقوق و پیگرد قانونی هرگونه تحریف، تغییر یا آسیب به تمامیت اثر، به ناشر تفویض گردیده است.

ماده ۲: ماهیت حقوقی تملک و بهره‌برداری

۱-۲. تفکیک مالکیت (در نسخ چاپی): خرید نسخه فیزیکی این اثر، صرفاً موجب انتقال مالکیت بر «عین کالا» (صفحات و جلد) مطابق با عقد بیع در قانون مدنی می‌گردد. این خرید، هیچ‌گونه حقی نسبت به مالکیت محتوا، حق تکثیر، یا بهره‌برداری تجاری از آن برای خریدار ایجاد نمی‌نماید. قاعده «استفاده منصفانه» یا «مالکیت نسخه» مجوزی برای اسکن، فتوکپی یا تبدیل نسخه فیزیکی به دیجیتال نیست.

۲-۲. پروانه بهره‌برداری (در نسخ دیجیتال): دریافت، دانلود یا دسترسی به نسخه الکترونیکی این اثر، به منزله «بیع» نیست؛ بلکه اعطای یک «پروانه بهره‌برداری» (License Agreement) با ویژگی‌های زیر است:

الف) شخصی: فقط مختص شخصی است که هزینه را پرداخت کرده یا حساب کاربری به نام اوست.

ب) محدود: محدود به مطالعه و استفاده متعارف.

ج) غیرانحصاری و غیرقابل انتقال: کاربر حق فروش، اجاره، هدیه واگذاری لایسنس یا اشتراک‌گذاری حساب کاربری خود با اشخاص ثالث را ندارد.

ماده ۳: ممنوعیت‌های صریح و نقض کپی‌رایت

هرگونه فعل یا ترک فعلی که منجر به نقض حقوق انحصاری ناشر گردد، مستند به مواد ۲۳، ۲۴ و ۲۵ «قانون حمایت حقوق مؤلفان» و مواد ۶۱، ۷۴ و ۷۵ «قانون تجارت الکترونیکی»، جرم تلقی شده و علاوه بر جبران کامل خسارات وارده (اعم از مادی و معنوی و افت منافع)، موجب پیگرد کیفری (حبس و جزای نقدی) خواهد بود. مصادیق نقض شامل موارد زیر است (حصری نیست):

۱-۳. بازتولید غیرمجاز: هرگونه عکس‌برداری، اسکن، فتوکپی، ضبط صوتی (روخوانی متن)، بازنویسی دستی یا تایپی و ذخیره‌سازی در پایگاه‌های داده.

۲-۳. توزیع شبکه: بارگذاری (Upload) اثر در وبسایت‌ها، فضای ابری (Cloud)، شبکه‌های اجتماعی (تلگرام، اینستاگرام و...)، سامانه‌های اشتراک فایل (Torrent/P2P) و اینترنت‌های سازمانی.

۳-۳. آثار اشتقاقی و تبدیلی: هرگونه ترجمه، تلخیص، خلاصه‌نویسی، تبدیل به نمایشنامه، فیلم‌نامه، محتوای آموزشی ویدیویی، یا تولید آثار جدید بر پایه این اثر بدون مجوز کتبی ناشر.

۴-۳. بهره‌برداری تجاری ثانویه: فروش مجدد نسخه‌های دیجیتال، اجاره دادن نسخه‌های چاپی در مقیاس تجاری (غیر از کتابخانه‌های عمومی دارای مجوز)، یا استفاده از اثر در بسته‌های آموزشی انتفاعی.

ماده ۴: هوش مصنوعی، داده‌کاوی و فناوری‌های نوین

با توجه به پیشرفت فناوری، موارد زیر صراحتاً ممنوع اعلام می‌گردد و نقض آن به منزله سرقت محتوای علمی/ادبی تلقی می‌شود:

- ۱-۴. داده‌کاوی (Text & Data Mining): هرگونه استخراج ماشینی متن، تحلیل خودکار داده‌ها، خزش (Crawling) و اسکرپینگ (Scraping) محتوای اثر.
- ۲-۴. تغذیه هوش مصنوعی: استفاده از تمام یا بخشی از این اثر به‌عنوان «داده ورودی» (Input Data)، «داده آموزشی» (Training Set) یا جهت «تنظیم دقیق» (Fine-tuning) هرگونه سامانه هوش مصنوعی، مدل‌های زبانی بزرگ (LLMs)، هوش مصنوعی مولد (Generative AI) و الگوریتم‌های یادگیری ماشین.

ماده ۵: استثنائات قانونی

صرفاً استفاده‌هایی که مشمول ماده ۷ «قانون حمایت حقوق مؤلفان» باشد مجاز است: نقل قول مستقیم یا غیرمستقیم از بخش‌های مختصر اثر، منحصرأ برای اهداف نقد، تحلیل، آموزش و پژوهش علمی. شرط الزامی: در تمامی موارد فوق، ذکر کامل منبع (عنوان اثر، نام مؤلف، نام ناشر) الزامی است. عدم ذکر منبع، حتی در استفاده جزئی، سرقت علمی (Plagiarism) محسوب می‌شود.

ماده ۶: تدابیر فنی حفاظتی (DRM) و مهندسی معکوس

در صورتی که اثر (فیزیکی یا دیجیتال) حاوی قفل‌های نرم‌افزاری واترمارک (Watermark)، هولوگرام یا هرگونه تدابیر حفاظتی فنی باشد:

هرگونه اقدام جهت خنثی‌سازی، شکستن قفل، کرک کردن (Crack)، مهندسی معکوس، دی‌کامپایل (Decompile) یا دور زدن این تدابیر، طبق مواد ۷۱ تا ۷۳ قانون تجارت الکترونیکی و مواد ۲۵ تا ۲۷ قانون جرایم رایانه‌ای، جرم مستقل محسوب شده و مستوجب مجازات حبس و جریمه سنگین است.

ماده ۷: سلب مسئولیت (Disclaimer) و حدود ضمانت

۱-۷. ماهیت محتوا: ناشر و پدیدآورندگان نهایت تلاش خود را برای صحت و دقت محتوا به کار بسته‌اند، اما هیچ‌گونه ضمانتی (صریح یا ضمنی) مبنی بر بی‌عیب بودن، به‌روز بودن، یا تناسب محتوا برای یک هدف خاص (Fitness for a Particular Purpose) ارائه نمی‌دهند.

۲-۷. محدودیت مسئولیت: مسئولیت هرگونه استفاده از اطلاعات، دستورالعمل‌ها یا داده‌های موجود در این اثر و عواقب ناشی از آن (اعم از خسارات مستقیم، غیرمستقیم، تبعی، جانی یا مالی) تماماً بر عهده کاربر است. سقف مسئولیت مالی ناشر در برابر کاربر در هر شرایطی، محدود به «مبلغ پرداختی برای خرید اثر» خواهد بود.

ماده ۸: حل اختلاف و قانون حاکم

این توافق‌نامه تابع قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران است. در صورت بروز هرگونه اختلاف، ناشر حق دارد حسب صلاحیت خود، موضوع را از طریق مراجع قضایی صالح در شهر تهران (یا محل اقامتگاه قانونی ناشر) یا از طریق داوری پیگیری نماید. کاربر با تهیه این اثر، صلاحیت محلی دادگاه‌های تهران را پذیرفته و حق اعتراض به صلاحیت را از خود سلب می‌نماید.

ماده ۹: ضمانت اجرا و جبران خسارت

کاربر متعهد می‌گردد در صورت نقض هر یک از مفاد این توافق‌نامه، کلیه خسارات وارده به ناشر (شامل زیان‌های مالی، از دست رفتن سود، لطمه به شهرت تجاری) و تمامی هزینه‌های دادرسی و حق‌الوکاله وکیل انتخابی ناشر را بدون هیچ‌گونه قید و شرطی جبران نماید.

تقدیم نامه

برای دخترم، نفس

نوشتن تلاشی است برای جاودانگی، اما جاودانگی حقیقی من در چشمان توست.

این سطور را به تو پیشکش می‌کنم؛ که زیباترین فصل کتاب زندگی ام هستی.

امیدوارم روزی که این کتاب را می‌خوانی، بدانی که هر واژه‌اش با عشق به تو نگاشته شده است.

مهندس بهزاد نادرخانی، پاییز ۱۴۰۴

فهرست مطالب

پیشگفتار

قوانین و تعاریف کلی خدمات اشعه ایکس

فصل اول: کشف اشعه ایکس

فصل دوم: مبانی تولید اشعه ایکس

فصل سوم: سیستم اشعه ایکس

فصل چهارم: اتاق رادیوگرافی عمومی

فصل پنجم: کیفیت تصویر

فصل ششم: ایمنی در سرویس دهی به تجهیزات اشعه ایکس

فصل هفتم: نصب تجهیزات رادیوگرافی

فصل هشتم: تعمیر و نگهداری پیشگیرانه (PM)

فصل نهم: عیب یابی و تعمیر تجهیزات رادیوگرافی

فصل دهم: یونیت اشعه ایکس پرتابل

فصل یازدهم: توموگرافی (تصویر برداری مقطعی)

فصل دوازدهم: ماموگرافی

فصل سیزدهم: ایجاد و حفظ روابط خوب با مشتری

پیوست الف (A) میزان فیلترهای آلومینیومی برای حذف فوتون های ضعیف

پیوست ب (B) نمودارهای نمونه درجه بندی لامپ اشعه ایکس

پیوست ج (C) زاویه اتصال کابل ولتاژ بالا (های ولتاژ) به محفظه لامپ اشعه ایکس

پیوست د (D) پوشش میدان اشعه ایکس برای زوایای مختلف هدف

پیوست ر (E) امپدانس های رایج سیم پیچ استاتور لامپ اشعه ایکس

پیوست و F ابزارها و تجهیزات آزمایشی

پیوست ز (G) زوایای توموگرافی در مقابل ضخامت برش

واژه نامه تخصصی انگلیسی به فارسی

پیشگفتار

هدف از نگارش و گردآوری کتاب پیش رو ارائه راهنمای جامع تعمیرات تجهیزات اشعه ایکس هست که تمام تلاش من و همکارانم نگارش کتابی روان و قابل درک برای مهندسان و علاقمندان به حوزه تعمیرات تجهیزات اشعه ایکس هست.

در این کتاب مروری بر ساختار کلی سیستمهای اشعه ایکس داریم و در نهایت تعمیر و نگهداری سیستمهای نوین این رشته که تصویربرداری دیجیتال (DR) هستند ارائه میشود چرا که فناوری رادیوگرافی کامپیوتری (CR) جای خود را به سیستمهای دیجیتال داده.

در سیستمهای دیجیتال همچنان ژنراتور اشعه ایکس، پایه نگهدارنده لوله، میز رادیوگرافی و پایه دیواری هنوز برای به دست آوردن تصویر اشعه ایکس مورد نیاز هستند. با تصویربرداری دیجیتال، بیشتر تغییرات مربوط به ضبط تصویر و پردازش پس از آن است.

تغییر دیگری که بطور کلی در حوزه مراقبتهای بهداشتی رخ داده، مربوط به جمعیت سالخورده است که نحوه آزمایش، تشخیص و درمان بیماران را تغییر داده است. به جای سفر به بیمارستان، بیماران میتوانند مسافتهای کوتاهتری را به مراکز پزشکی کوچکتر برای معاینات خود طی کنند. همچنین میتوانند به مراکز مراقبت فوری که در محدوده محل سکونت آنها قرار دارند، مراجعه کنند. این روند تقاضا واحدهای اشعه ایکس کوچک اما پرقدرت را افزایش داده است تا معاینات در این مراکز کوچکتر انجام شود. از طرف دیگر بسیاری از بیماران مسنتر یا بیماران دارای معلولیت نمیتوانند برای معاینات خود از خانه خارج شوند. این بیماران «غیرمتحرک» باید در خانههای شخصی خود یا در خانههای سالمندان معاینه شوند. که در پاسخ به این نیاز، صنعت اشعه ایکس سیار به یک صنعت رو به رشد تبدیل شده است. دستگاههای اشعه ایکس سیار بصورت سبک و جمعوجور طراحی شده اند. این واحدها با یک گیرنده دیجیتال جفت میشوند، و تصاویری با کیفیت بالا برای بسیاری از معایناتی که معمولاً در بیمارستانها و کلینیکها انجام میشوند، تولید میکنند. و تصاویری که در خانه به دست میآید بلافاصله به سرورهای امن منتقل میشود و از آنجا رادیولوژیستها میتوانند آنها را برای تفسیر و تشخیص مشاهده کنند. این فناوری با سرعت برق آسا، در حال گسترش است. که در فصل مربوط به واحدهای اشعه ایکس سیار به توضیح آن پرداخته ام تا آخرین روندها در خدمات اشعه ایکس سیار را شامل شود.

هدف من از نگارش کتاب «تعمیر تجهیزات اشعه ایکس» آمادهسازی تکنسین ها و مهندسانی بوده است که مایل هستند وارد حرفه خدمات تعمیر اشعه ایکس بشوند. در این کتاب بر تجهیزات فعلی مورد استفاده تمرکز کرده ام و آخرین پیشرفتهای تصویربرداری دیجیتال را پوشش داده ام. در این کتاب روشهای کلی عیبیابی برای تجهیزات دیجیتال را ارائه کرده ام. و با بیش از ۲۵ سال تجربه در طراحی، ساخت و تعمیر دستگاههای صنعتی، شاهد انواع مختلفی از خرابیهای تجهیزات بوده ام که در این کتاب به شما تقدیم کرده ام.

امیدوارم این کتاب راهگشای فرزندان این خاک پرگوهر برای تسهیل در امر تعمیرات دستگاههای مذکور باشد. در نگارش و گردآوری این کتاب عزیزان زیادی صمیمانه مرا یاری کرده اند که جا دارد از ایشان تشکر و قدردانی کنم، دانشمند عالیقدر جناب مهندس علیرضا صالحین که قطعاً بدون وجود و رهنمودهای ایشان انجام این مهم محقق نمیشد و همسر و مادر عزیزم که واژه "همیشه پشت یک مرد موفق یک زن مدبر بوده" را به معنای واقعی کلمه

ثابت کردند و در نهایت این کتاب تقدیم میشود به دختر عزیزم "نفس" که انگیزه و شوق بی پایان من در عرصه علم اندوزی و آموزش بوده است.

مهندس بهزاد نادرخانی، پاییز ۱۴۰۴

قوانین و تعاریف کلی خدمات اشعه ایکس

این کتاب به عنوان یک راهنمای مرجع برای مهندسان خدمات میدانی هنگام سرویس دهی به تجهیزات رادیوگرافی طراحی شده است. همچنین برای آماده سازی دانشجوی خدمات اشعه ایکس برای تمام وظایف خاصی که برای نگهداری ایمن و صحیح تجهیزات رادیوگرافی لازم است، نوشته شده است. هدف، ارائه روش های استاندارد سرویس دهی است.

برای موفقیت در این حرفه، مهندس باید همیشه هنگام سرویس دهی به تجهیزات رادیوگرافی به «قوانین» زیر پایبند باشد.

نکته: در طول نگارش کتاب بیشترین المانی که در مورد آن بحث میشود لامپ یا لوله اشعه ایکس هست که هر دو اینها یکی هستند و در بعضی متن ها از واژه لوله و بعضی دیگر از لامپ استفاده کرده ام که هیچ تفاوتی با هم ندارند.

قوانین

۱. اگر تجهیزات رادیوگرافی به درستی نصب شوند و کلیه استانداردهای فنی رعایت شود ، عملکرد بهینه و قابل اعتمادتری خواهند داشت. و مسلماً وقتی خرابی رخ می دهد، تعمیر آن آسان تر خواهد بود.
۲. اگر نگهداری به درستی و در فواصل منظم انجام شود، نرخ خرابی تجهیزات کاهش می یابد و تجهیزات فراتر از عمر پیش بینی شده خود به خوبی عمل خواهند کرد.
۳. هنگام سرویس دهی به تجهیزات، اگر مشکلی به درستی تشخیص داده شود و به طور صحیح تعمیر شود و پس از تعمیر به طور کامل آزمایش شود، از بروز تمام یا بسیاری از حوادث و خسارات جلوگیری میشود پس عجله و به اتمام رساندن سریع کار چیزی جز خرابی بیشتر و بعضاً فاجعه در پی نخواهد داشت. در بسیاری یا کلیه موارد درخواست تعمیر ، کارفرما اصرار شدید به راه اندازی هرچه سریعتر دستگاه دارد که یک مهندس با تجربه به هیچ وجه نباید تحت تاثیر چنین اصرارهایی قرار بگیرد. به حدی که اگر کارفرما نمیتواند صبر کند کار را قبول نکنید چرا که مسئولیت کلیه عواقب احتمالی بر عهده شما خواهد بود. پس از تست های مکرر و مختلف و بررسی کلیه بخشهای سیستم حتی بخشهایی که به ظاهر سالم هستند هرگز غافل نشوید.
۴. تمرکز بالا هنگام کار ، تجهیزات تست استاندارد و با کیفیت البته کامل و خلوت کردن فضای پیرامون محل دستگاه نقش بسیار بالایی در ارائه خدمات بهتر به مشتری دارد.

فصل اول: کشف اشعه ایکس

استفاده از اشعه ایکس امروزه آنقدر رایج است که تصور اینکه بسیاری از صنایع، به‌ویژه حرفه پزشکی، بدون استفاده روزانه از آن چگونه می‌توانستند عمل کنند، دشوار است. در واقع، بیشتر مردم در طول زندگی خود با اشعه ایکس تماس داشته‌اند و از اهمیت آن آگاه هستند. پزشکان، مهندسان سازه، دانشمندان پژوهشی و مأموران امنیت فرودگاه همگی به طور روزمره از اشعه ایکس در حرفه‌های خود استفاده می‌کنند. به سختی می‌توان ادعا کرد که کشف اشعه ایکس یکی از مهم‌ترین اکتشافات زمان ما نبوده است. بشر قطعاً از استفاده از آن بهره‌مند شده است.

با توجه به استفاده گسترده از اشعه ایکس، تصور اینکه این اشعه‌ها کمی بیش از یک قرن پیش کشف شده‌اند، دشوار است. و اگرچه از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های زیادی در طراحی تجهیزات رادیوگرافی صورت گرفته، بیشتر دستگاه‌هایی که امروزه در رادیوگرافی عمومی استفاده می‌شوند، بسیار شبیه به واحدهای اولیه هستند. مهندس خدمات می‌تواند با یادگیری چگونگی کشف اولیه اشعه ایکس و دنبال کردن توسعه لوله خلأ اشعه ایکس و سیستم رادیوگرافی، درک بسیار بهتری از نظریه عمومی اشعه ایکس به دست آورد.

کشف اشعه ایکس، مانند بسیاری از اکتشافات مهم دیگر، به طور تصادفی رخ داد، در حالی که دانشمندان با لوله‌های خلأ شیشه‌ای آزمایش می‌کردند. این لوله‌های خلأ از شیشه نازک ساخته شده بودند که شامل دو الکترود فلزی بودند. آنها به طور نسبی توسط یک پمپ جیوه تخلیه می‌شدند و سپس با گازی خاص پر می‌شدند تا جلوه بصری ایجاد کنند. وقتی تخلیه ولتاژ بالا از یک کوپل القایی به لوله خلأ اعمال می‌شد، جریان‌های نورانی زیبایی بین دو الکترود لوله تولید می‌شد. این جریان‌های نور در آن زمان بیشتر برای دانشمندان منبع شگفتی و کنجکاوی بودند. پس از آزمایش‌های بیشتر با لوله‌های خلأ بهبودیافته، دانشمندان شروع به یادگیری بیشتر درباره جریان‌های نور کردند. آنها متوجه شدند که جریان نور از الکترود منفی «کاتد» در داخل لوله شروع می‌شود و به الکترود مثبت «آند» جریان می‌یابد. علاوه بر این، با افزایش سطح خلأ لوله، رنگ و ویژگی‌های جریان‌ها نیز تغییر می‌کرد تا اینکه در نهایت نامرئی می‌شدند.

این «پرتوها» در سال ۱۸۷۸ توسط ویلیام کروکس به عنوان پرتوهای کاتدی نام‌گذاری شدند، کسی که اولین بار خواص جهت‌دار آنها را هنگام آزمایش با لوله‌های خلأ مشاهده کرد.

کروکس در آزمایش‌های خود که در تاریکی انجام می‌داد، متوجه شد که پرتوهای کاتدی به صورت درخشش آبی‌رنگ در خارج از لوله شیشه‌ای ظاهر می‌شوند. او بعداً لوله‌های شیشه‌ای را اصلاح کرد و پنجره‌ای آلومینیومی در لوله قرار داد تا پرتوهای کاتدی راحت‌تر عبور کنند. این لوله‌های اصلاح‌شده سپس به نام لوله‌های کروکس شناخته شدند و به طور معمول برای آزمایش استفاده می‌شدند.

پرتوهای کاتدی به راحتی از پنجره آلومینیومی لوله عبور می‌کردند و اثرات درخشانی روی مواد فسفری ایجاد می‌کردند. آنها همچنین روی صفحات عکاسی تأثیر می‌گذاشتند. اما این پرتوها انرژی بسیار کمی داشتند و در نتیجه، تنها در چند سانتی‌متر هوا جذب می‌شدند. متأسفانه، کروکس متوجه نشده بود که آنچه در واقع مشاهده می‌کند، اشعه ایکس با انرژی پایین است.

هفته سال بعد، دانشمندان هنوز با لوله‌های کروکس آزمایش می‌کردند. فیلیپ لنارد نشان داد که پرتوهای کاتدی در نقطه‌ای که از پنجره آلومینیومی خارج می‌شدند، در همه جهت‌ها پراکنده می‌شدند. او همچنین تصاویری سایه‌مانند به نام «سایاگراف» روی صفحات عکاسی ساخت. پس از انجام آزمایش‌های متعدد، او به این نتیجه رسید که جزء ناشناخته دیگری در پرتوهای کاتدی وجود دارد.

کسی که در کشف «اشعه ایکس» به نتایج کاربردی رسید، فیزیکدان آلمانی به نام ویلهلم کُنراد رونتگن بود. رونتگن در سال ۱۸۴۵ در آلمان متولد شد. تا سن ۲۴ سالگی، او چندین مقاله علمی درباره خواص گازها منتشر کرده بود. و در طول حرفه خود به عنوان استاد و دانشمند، بیش از ۴۰ مقاله درباره پدیده‌های علمی منتشر کرد.

با این حال، تا ژوئن ۱۸۹۴، در سن ۴۹ سالگی، رونتگن شروع به آزمایش با لوله‌های خلأ نکرد. رونتگن آزمایش‌های خود را با لوله‌های کروکس آغاز کرد و چندین مشاهده مهم انجام داد. او متوجه شد که وقتی لوله‌ها به شدت تخلیه می‌شدند، نتایج بهتری به دست می‌آمد و اغلب روزها صرف تخلیه یک لوله برای آزمایش‌هایش می‌کرد. همچنین احساس می‌کرد که اگر جریان بیشتری به لوله‌ها اعمال شود، تولید پرتوهای کاتدی افزایش می‌یابد. او در طول آزمایش‌هایش بسیاری از لوله‌ها را خراب کرد و به این نتیجه رسید که باید از لوله‌هایی با دیواره ضخیم‌تر استفاده کند. در حالی که در پاییز ۱۸۹۴ با لوله‌های اصلاح‌شده آزمایش می‌کرد، متوجه درخشش ضعیفی در اتاق شد که دقیقاً هم زمان با تخلیه لوله کروکس بود. برای اطمینان از اینکه نور از لوله یا کوئل القایی نمی‌آید، لوله کروکس را کاملاً با مقوا پوشاند تا هیچ نوری خارج نشود. او همچنین کوئل القایی را کاملاً پوشاند تا هر نوری که از جرقه‌های داخل دستگاه ایجاد می‌شود، حذف شود. و باز هم درخشش نور را در اتاق تاریک مشاهده کرد.

منبع درخشش، صفحه‌ای از جنس ماده عکاسی (باریوم پلاتینوسیانید) بود که چند ده سانتی متر دورتر از لوله قرار داشت. نوعی انرژی نامرئی و ناشناخته‌ای از لوله خلأ منتشر می‌شد و در سراسر اتاق حرکت می‌کرد و صفحه عکاسی را تحریک می‌کرد. این مشاهده بسیار مهم بود، زیرا پرتوهای کاتدی هیچگاه بیشتر از چند سانتی متر دیده نمی‌شدند. رونتگن نزدیک به یک سال با این «نوع جدید پرتو» آزمایش کرد قبل از اینکه یافته‌هایش را منتشر کند. در ۸ نوامبر ۱۸۹۵، در سن ۵۰ سالگی، مقاله خود به نام «اولین ارتباط» را ارائه داد و کشف خود را اعلام کرد.

او این پرتوهای مرموز را «اشعه ایکس» نامید و از حرف «X» (نماد ریاضی) برای نشان دادن اشعه «ناشناخته» استفاده کرد. و همراه با مقاله‌اش، چندین عکس جذاب که با استفاده از اشعه ایکس گرفته بود، ارائه داد. این عکس‌های اشعه ایکس شامل یک قطب‌نما فلزی، جعبه‌ای حاوی وزنه‌های علمی، تفنگ ساچمه‌ای دو لول و انواع مختلف فلزات بود.

از میان تمام عکس‌های منتشرشده، عکسی که بلافاصله توجه رسانه‌ها و عموم را جلب کرد، عکس اشعه ایکس از دست برتا رونتگن، همسرش، بود. این عکس معروف که تمام استخوان‌های دست او از جمله دو حلقه در انگشتش را نشان می‌داد، مسیر پزشکی را برای همیشه تغییر داد.

در واقع، اشعه ایکس رونتگن سریع‌ترین کشف در حال گسترش در تمام دوران بود. در عرض چند ماه از کشف، پزشکان به طور رایج از اشعه ایکس برای تشخیص شکستگی استخوان‌ها و پیدا کردن گلوله‌ها در زخم‌های ناشی از شلیک استفاده می‌کردند. اشعه ایکس آنقدر موفق بود که بسیاری از دانشمندان بیش‌ازحد مشتاق پیش‌بینی کردند که استفاده از اشعه ایکس نیاز به تشریح زنده را کاملاً از بین خواهد برد. در می ۱۸۹۶، اولین مجلات کاملاً اختصاص داده شده به عکس‌های اشعه ایکس در ایالات متحده ظاهر شدند. و تا ژانویه ۱۸۹۷، بسیاری از بیمارستان‌ها دارای بخش‌های اشعه ایکس بودند.

در آلمان، اولین دستگاه‌های اشعه ایکس از فوریه ۱۸۹۶ در حال تولید بودند. این دستگاه‌های اولیه به زمان نوردهی طولانی ۴ تا ۲۰ دقیقه بسته به ناحیه‌ای که تابش می‌شد نیاز داشتند و در نتیجه، نیاز به کاهش زمان تابش بود. که در همین راستا کشف شد که اگر صفحه فلورسنت در دو طرف فیلم رادیوگرافی قرار گیرد، زمان نوردهی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این یافته به استفاده گسترده از صفحه‌های تقویت‌کننده در کاست‌های فیلم منجر شد.

به دلیل تقاضای زیاد برای تجهیزات اشعه ایکس، شرکت‌های تولیدی در سراسر جهان شروع به تولید دستگاه‌های اشعه ایکس کردند. رونتگن هرگز برای دستگاه اشعه ایکس خود درخواست حق امتیاز نکرد زیرا احساس می‌کرد کشفش برای منفعت عمومی است و نه برای سود شخصی خودش. در نتیجه، یک سیستم کامل اشعه ایکس را می‌شد با کمتر از ۱۵۰ دلار خرید. یک دستگاه اشعه ایکس قابل حمل، کامل با کوئل، کندانسور، دو مجموعه لوله، باتری و یک جعبه حمل زیبا، با قیمت حدود ۱۵ دلار قابل خرید بود. لوله‌های اشعه ایکس را می‌شد با کمتر از ۴ دلار برای هر کدام خرید.

شیفتگی عمومی به اشعه ایکس و اثرات آن بسیار زیاد بود. همه می‌خواستند خودشان اثرات اشعه ایکس را ببینند و استخوان‌های خود را تماشا کنند.

در نمایشگاه الکتریکی نیویورک در می ۱۸۹۶، توماس ادیسون اولین فلوروسکوپ را به جهان نشان داد. با فلوروسکوپ، امکان مشاهده ساختارهای داخلی بدن را به طور مستقیم روی صفحه فلورسنت در زمان واقعی میسر میشد و نیاز به انتظار معمول برای توسعه صفحات عکاسی را از بین برد. فرد کافی بود دستش را مستقیم در پرتو اشعه ایکس قرار دهد و استخوان‌های انگشتانش را تماشا کند، که دیدنش بسیار هیجان‌انگیز (و سرگرم‌کننده) بود. محبوبیت عظیم فلوروسکوپ به استفاده گسترده عمومی از اشعه ایکس کمک کرد.

رونتگن این استفاده سطحی از اختراعش را تأیید نمی‌کرد زیرا می‌دانست اثرات تابش اشعه ایکس هنوز به طور کامل بررسی نشده است. در واقع، هر وقت با اشعه ایکس کار می‌کرد، خودش را با سپر سربی از قرار گرفتن مستقیم در معرض پرتوها محافظت می‌کرد. مطمئناً، مدت کوتاهی پس از کشف او، اخباری از آسیب‌های مرتبط با تابش اشعه ایکس منتشر شد. از جمله آسیب‌های گزارش شده، سوختگی، ریزش مو و تورم بافت تابش شده بود. بیشتر آسیب‌ها را پزشکان و نمایش‌دهندگان تجهیزات اشعه ایکس متحمل شدند.

کلارنس مدیسون دالی، شیشه‌گر و دستیار قدیمی ادیسون، به طور مرتب فلوروسکوپ را به عموم نمایش می‌داد. او بعداً از سوختگی‌های ناشی از قرار گرفتن مداوم در معرض اشعه ایکس درگذشت و اولین قربانی ناشی از قرار گرفتن در معرض تابش شد. تا اکتبر ۱۹۵۹، تعداد ۳۵۹ مرگ به قرار گرفتن بیش از حد در معرض تابش نسبت داده شد.

دانشمندان اولیه که اشعه ایکس را بررسی کردند، آگاه بودند که بافت تحت تأثیر تابش قرار می‌گیرد یا تغییر می‌کند و به عموم درباره خطرات احتمالی برای بافت هشدار دادند. این ویژگی ثانویه تابش، که می‌توانست بافت را نابود کند، در نهایت دانشمندان را به کاوش در زمینه پرتودرمانی سوق داد.

دستگاه‌های اشعه ایکس به طور رایج در زمان جنگ استفاده می‌شدند و به طور قابل توجهی تعداد مرگ‌ومیر ناشی از جراحات جنگی را کاهش دادند. علاوه بر این، بسیاری از بهبودها در تکنیک‌های اشعه ایکس به دلیل یافته‌های نظامی به دست آمد. جراحان متوجه شدند که هرچه لوله اشعه ایکس به بیمار نزدیک‌تر باشد، احتمال سوختگی تابشی بیمار بیشتر می‌شود. به همین دلیل، حداقل فاصله ۲۵ سانتی متر (بین لوله اشعه ایکس و بیمار) تعیین شد. همچنین، حداکثر زمان نوردهی ۳۰ دقیقه برای همه بیماران تعیین شد.

تغییرات قابل توجهی در طراحی لوله اشعه ایکس پس از آن انجام شد. رونتگن اولین لوله اشعه ایکس متمرکز را در فوریه ۱۸۹۶ طراحی کرد. توماس ادیسون روشی ارائه کرد که با خنک کردن لوله اشعه ایکس با غوطه‌ور کردن آن در روغن، اشعه ایکس با نفوذ بهتری تولید بشود. همچنین، امکان اعمال ولتاژهای بالاتر در حالی که لوله‌ها در روغن غوطه‌ور بودند، میسر شد. و بسیاری از اختراعات نیکولا تسلا، از جمله ولتاژ بالای کوئل‌های القایی، به تولید اشعه ایکس با کیفیت بهتر کمک شایانی کرد.

در اوایل قرن بیستم میلادی، لوله‌های اشعه ایکس به شباهت لوله‌های امروزی نزدیک شد. در سال ۱۹۱۳، ویلیام دی کولیدج از شرکت جنرال الکتریک لوله کاتد داغ (لوله ترمیونیک) را توسعه داد تا میزان جریان لوله را کنترل کند. کولیدج همچنین از تنگستن در ساخت آن استفاده کرد تا پایداری بیشتری به لوله بدهد. لودویگ زندر، که سال‌ها دستیار رونتگن بود، لوله اشعه ایکس با سپر فلزی را اختراع کرد تا پزشکان و تکنسین‌ها را از تابش پراکنده محافظت کند. و شرکت فیلیپس هلند در نهایت این طراحی را بهبود داد و «لوله متالیکس» را توسعه داد که از محفظه فلزی برای احاطه کردن لوله خلأ شیشه‌ای استفاده می‌کرد.

در ۱۰ دسامبر ۱۹۰۱، ویلهلم کندر رونتگن جایزه نوبل فیزیک را برای کارش با تابش اشعه ایکس دریافت کرد. او بقیه عمرش را صرف کاوش در خواص فیزیکی ماده کرد و حتی پس از بازنشستگی‌اش در اکتبر ۱۹۱۹، در سن ۷۵ سالگی، به آزمایش‌های علمی با کریستال‌ها ادامه داد. او در ۱۰ فوریه ۱۹۲۳ درگذشت. از حدود سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۵۰ به عنوان «عصر طلایی رادیولوژی» در نظر گرفته می‌شود. در این زمان، لوله‌های اشعه ایکس و همه دستگاه‌های دیگر اشعه ایکس در طراحی به وضعیت امروزی خود پیشرفت کردند. پیشرفت‌های عمده شامل:

- (۱) لوله کاتد داغ (۱۹۱۳) برای کنترل جریان لوله.
- (۲) اولین واحد اشعه ایکس قابل حمل ضدشوک (۱۹۱۹)، که از اولین کابل‌های ولتاژ بالا ضدشوک استفاده کرد.
- (۳) شبکه ارتعاشی ضد پراکندگی (۱۹۲۳)، که پراکندگی تابش را به شدت کاهش داد که موجب بالابردن قابل توجه وضوح تصویر شد.
- (۴) یکسوساز ولتاژ بالا (۱۹۱۰)، که با اعمال جریان DC به لوله اشعه ایکس خروجی تابش را دو برابر کرد.
- (۵) لوله آند چرخان غوطه‌ور در روغن (۱۹۳۹)، که خروجی لوله اشعه ایکس را به شدت افزایش داد.
- (۶) میز یا تخت با امکان تغییر زاویه شیب که این امکان را برای رادیولوژیست‌ها فراهم میکرد تا بیمار را در زوایای مختلف قرار بدهند تا تصاویر بهتر و دقیق تری بدست بیاورند.
- (۷) صفحه‌های تشدید و تقویت کننده (۱۹۱۲)، که زمان نوردهی مورد نیاز را به طور قابل توجهی کاهش داد و منجر به طولانی‌تر شدن عمر لوله اشعه ایکس و تابش اشعه کمتری به بیمار شد. این صفحات داخل کاست های اشعه ایکس استفاده میشوند و از موادی مانند فسفر ساخته میشوند که هنگام برخورد اشعه به این صفحات نور مرئی تولید میکنند. این نور به فیلم عکاسی حساسیت بیشتری دارد که موجب ثبت سریعتر تصویر میشود. بسیاری از موارد ذکر شده هنوز در اتاق‌های رادیوگرافی امروزی بدون تغییر قابل توجهی در طراحی اصلی یافت می‌شوند.
- اتاق رادیوگرافی عمومی بیش از ۱۰۰ سال است که وجود دارد و در آینده نیز همچنان شیوه غالب برای تصویربرداری تشخیصی خواهد بود. اگرچه پیشرفت‌ها در سایر روش‌های تصویربرداری پزشکی (مانند سی تی یا ام آر آی) روش‌های جایگزینی برای مشاهده ساختارهای داخلی بدن انسان به پزشکان ارائه داده‌اند، مطالعات رادیوگرافی عمومی همچنان ابزار تشخیصی اصلی باقی مانده‌اند.