



## طراحی محتوای آموزشی با موضوع کشف پرتو ایکس و توسعه روشهای طیف سنجی پرتو ایکس با نگاه خودآموز و تاریخی

علیرضا کرمی گزافی<sup>۱\*</sup>، فرشته سادات سیاچی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>واگروه شیمی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

### چکیده

این پژوهش با هدف طراحی محتوا درباره تاریخچهی کشف پرتو ایکس و توسعه روشهای طیفسنجی انجام شده است. روش پژوهش کاربردی-توصیفی و از نظر روش گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای و ابزار آن فیش‌های کاغذی بوده است. به طور کلی می‌توان گفت در قرن ۱۹ دانشمندان بسیاری به مطالعه عبور الکتروسیسته از جامدات، مایعات، گازها و خلاء علاقه‌مند شده بودند که در حاشیه این پژوهش‌ها پرتو کاتدی کشف شد. پس از آن آزمایشات بسیاری برای بررسی ماهیت این پرتوها صورت گرفت و هنگامی که در سال ۱۸۹۵ برد این پرتوها در هوا بررسی می‌شد بصورت تصادفی پرتو ایکس کشف شد. پزشکان از ماهیت پرتو ایکس شگفت زده شدند و از آن برای بررسی بدن انسان و تشخیص و درمان بیماری‌ها و فیزیكدان‌ها از آن برای بررسی ساختار بلورها و اتم‌ها استفاده کردند. در سال ۱۸۹۶ با ساخت آشکارساز برای این پرتوها، توانستند شدت پرتوها را اندازه‌گیری کنند. در سال‌های ۱۹۰۹-۱۹۰۵ پرتوهای ایکس مشخصه اتم، کشف و مطالعه شدند. پس از آن طی آزمایشاتی ماهیت الکترومغناطیسی آن‌ها اثبات شد. در سال ۱۹۱۳ این پرتوها به‌عنوان روشی استاندارد در شناسایی بلورها مورد استفاده قرار گرفتند. در دهه ۱۹۲۰ طیف‌سنجی-های جدیدی برای اندازه‌گیری و تشخیص ساختار ماده بوجود آمدند و در سال ۱۹۵۶ با طیف‌سنجی پرتو ایکس ساختار مارپیچی رشته‌های DNA در سلول‌ها کشف شدند.

**کلیدواژه‌ها:** محتوای آموزشی، کشف پرتو ایکس، پرتو کاتدی، روننگن، طیف سنجی پراش.

\* نویسنده مسئول: (✉ [arkaramigazafi@gmail.com](mailto:arkaramigazafi@gmail.com))

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

## مقدمه

این پژوهش با هدف طراحی محتوای آموزشی خودخوان برای موضوع تاریخچه کشف پرتو ایکس طراحی شده است بنابراین ابتدا اهمیت محتوای آموزشی و معیارهای محتوای مناسب به صورت خلاصه بیان می‌شود. با توجه به اینکه کشف پرتو ایکس از دستاوردهای جانبی و تصادفی پژوهشهای مطالعاتی در مورد ماهیت پرتو کاتدی است تاریخچه کشف پرتو کاتدی و مطالعات مهم آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

اصطلاح "طراحی" به برنامه، ساختار و راهبردهای آموزشی مورد استفاده یا طراحی شده برای تولید تجربیات یادگیری اشاره دارد که منجر به دستیابی به اهداف یادگیری از پیش تعیین شده می‌شوند. طراحی آموزشی در ابتدا به عنوان یک مفهوم در ذهن طراح وجود دارد و پس از نوشتن یا توسعه واحدها، شکل محسوس یا عینی به آن داده می‌شود (تامپسون، ۲۰۰۳).

محتوا یکی از عناصر عمده‌ای است که یادگیری موردنظر، از طریق آن تحقق می‌یابد. انتخاب و سازماندهی محتوا همیشه مورد توجه صاحب‌نظران حوزه برنامه ریزی درسی بوده است. اهمیت محتوا از این جهت است که می‌تواند خلاصه‌ای از حقایق، مفاهیم، تعمیم‌ها، اصول و نظریه‌های مشابه دانش در رشته مورد نظر باشد. به طور کلی برای محتوا تعاریف متعددی آمده است که با توجه به مجموع تعاریف، می‌توان ویژگی‌های زیر را برای محتوا برشمرد:

- ✓ محتوا را می‌توان شامل کلیه مطالب، مفاهیم و اطلاعات مربوط به یک درس مورد نظر دانست
- ✓ محتوا چیزی است که قرار است آموزش داده شود و یا آنچه که می‌خواهیم یاد گرفته شود
- ✓ محتوا را می‌توان دانش، مهارت، گرایش‌ها و ارزشیابی‌هایی توصیف کرد که باید یاد گرفته شود (ملکی، ۱۳۸۴، ص. ۱۲۳).

## معیارهای انتخاب محتوا

- ✓ اهمیت: محتوای انتخاب شده باید از درجه بالای اهمیت برخوردار باشد. آراء، مفاهیم، اصول و تعمیم‌های اساسی باید به منظور تحقق هدف‌های برنامه درسی در محتوا طرح شوند. همچنین محتوا باید باعث رشد توانایی‌ها، مهارت‌ها و گرایش‌های یادگیرنده شود.
- ✓ اعتبار: انفجار اطلاعات در عصر حاضر باعث شده است که محتوا خیلی سریع صحت و اعتبار خود را از دست بدهد. باید مفاهیم، اصول و تعمیم‌هایی که از نظر علمی

صحیح و معتبر هستند، انتخاب شده و سپس به طور مرتب اعتبار محتوا مورد بررسی و باز بینی قرار گیرد.

- ✓ **علاقه:** برنامه ریزان درسی باید علایق فراگیران را در انتخاب محتوا مدنظر داشته باشند، تا از یک سو موجب رغبت آنان به تحصیل شده و از سوی دیگر بتوانند به کمک علایق فراگیران اهداف درسی را بهتر و راحت تر محقق سازند.
- ✓ **سودمندی:** سودمندی به کاربرد مفید محتوا مربوط می شود. این که چه چیزی سودمند دانسته شود، به دیدگاه فلسفی و طرح برنامه درسی مربوط می شود.
- ✓ **قابلیت یادگیری:** به سازماندهی مناسب و توالی محتوا مربوط است؛ یعنی گاهی محتوای انتخاب شده به علت عدم تناسب با ویژگی ها و تجربیات فراگیر مشکل است و گاهی به علت سازماندهی نامناسب محتوا، یادگیری موثر انجام نمی پذیرد. لذا، از هر دو بعد باید هماهنگی و تناسب را حفظ کرد (ملکی، ۱۳۸۴، ص. ۱۵۲).

#### اصول سازماندهی محتوا

۱. **اصل مداومت یا پیوستگی:** منظور از مداومت یا پیوستگی، تکرار عناصر اصلی برنامه درسی از لحاظ عمودی است. در سازماندهی محتوای برنامه درسی باید توجه داشت که فرصت تمرین و پرورش یک مهارت در طول سال های تحصیلی به طور دائم و به دفعات متعدد در اختیار یادگیرنده قرار داده شود تا یادگیری با عمق بیشتری صورت پذیرد. مداومت یا استمرار ممکن است، عمودی یا افقی باشد.
۲. **اصل وسعت:** وسعت به معنی شامل بودن محتوا است. برخی از هدفها علاوه بر اهداف خاصی که مربوط به یک ماده درسی می شود، ماهیت فراتر از مواد درسی دارند؛ به این اهداف باید از طریق همه دروس توجه شود. پرورش تفکر انتقادی یکی از این نوع هدفها است که به تنهایی به یک ماده درسی خاصی مربوط نمی شود. محتوا به عنوان وسیله دستیابی به اهداف آموزشی باید از وسعت لازم برخوردار باشد و با اهداف اساسی سنخیت داشته باشد.
۳. **اصل تعادل:** فراگیران نیازهای متفاوتی دارند که معلول ویژگی های فردی و مربوط به عضویت آن ها در جامعه است. در هر مرحله از رشد برای فراگیران دو نیاز مطرح است: یکی نیازهای فردی که به چگونگی رشد فرد مربوط می شود و دیگری نیازهای مشترک که اغلب اجتماعی است. محتوا باید بتواند تعادلی بین دو نیاز برقرار نماید. اگر این تعادل به وجود نیاید رشد حقیقی، تحقق نمی یابد و ممکن است تعلیم و تربیت فرد را با مشکل مواجه کند.

۴. **اصل توالی یا ترتیب:** توالی پاسخ به این سوال اساسی است که تجربیات یادگیری تعیین شده با چه نظم مرتب شود. توالی منطقی می‌تواند به سه حالت از ساده به پیچیده، از عینی به ذهنی و رعایت ساختار دیسیپلینها سازماندهی شود در صورتی که توالی به عنوان یک معیار و ملاک، اهمیت این مطلب را موقعی مورد تأکید قرار می‌دهد که هر تجربه و فعالیتی براساس فعالیت قبلی پیش برود. این اصل مؤید آن است که مطالب درسی باید به گونه‌ای سازماندهی شوند که هر تجربه یادگیری باتوجه به سلسله مراتب یادگیری، ضمن آنکه بر یادگیری‌های قبلی استوار است، خود نیز مبنا و اساس یادگیری‌های بعدی قرارگیرد.

۵. **وحدت یا یکپارچگی:** اصل وحدت اشاره به همبستگی مفاهیم، نگرش‌ها در راستای اهداف معین دارد. هراندازه، وحدت در سازماندهی محتوا بیشتر باشد، به همان اندازه محتوا معنادار خواهد بود و هرقدر پراکندگی و تجزیه در محتوا وجود داشته باشد، به همان اندازه اختلال در یادگیری به وجود خواهد آمد. می‌توان گفت وحدت عبارت است از ارتباط افقی تجربیات یادگیری. هنگامی که فردی قادر است آنچه را در یک کلاس فراگرفته به یادگیری در کلاس دیگر ارتباط دهد، وحدت به وجود آمده است (ملکی، ۱۳۸۴. ص. ۱۵۲).

### پیشینه پژوهش

جمالی زواره و همکاران، پژوهشی تحت عنوان "تبیین معیارهای محتوایی تالیف و تدوین کتابهای درسی دانشگاهی رشته علوم تربیتی، مشاوره و روانشناسی" با هدف تبیین معیارهای تالیف و تدوین کتابهای درسی رشته‌های علوم تربیتی و روان شناسی از نظر محتوایی انجام داده اند. روش این پژوهش توصیفی پیمایشی است و جامعه آماری آن صاحب نظران برنامه درسی و مولفان کتابهای درسی اند که با آنان به طور نیمه سازمان یافته مصاحبه شده است؛ بخش دیگر این جامعه، دانشجویان کارشناسی ارشد رشته های علوم تربیتی، مشاوره و روان شناسی و دانشجویان سال آخر کارشناسی این رشته ها در دانشگاه اصفهان سال تحصیلی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ هستند که به سوالات پرسش نامه پاسخ داده اند. جمع دانشجویان سال آخر کارشناسی ۲۲۶ نفر و دانشجویان کارشناسی ارشد ۱۹۰ نفر است. براساس فرمول حجم نمونه و براساس نمونه گیری طبقه ای متناسب با حجم، ۲۲۵ نفر انتخاب و پرسشنامه بین آنان توزیع شد. نتایج حاصل از مصاحبه نشان می دهد توجه به دانش قبلی، به روز بودن (از نظر علمی)، مستند بودن، کاربردی بودن محتوای انتخاب شده، مغایرت نداشتن با ارزشها، مبانی فرهنگی و نیازهای جامعه از جمله مواردی است که مصاحبه شوندگان در بخش محتوایی به

آنها اشاره کرده اند. نتایج پرسشنامه نشان داد که از نظر دانشجویان باید به ویژگیهای محتوایی کتابهای درسی مطلوب بیش از حد متوسط توجه داشت (جمالی زواره و دیگران، ۱۳۸۸، ص. ۳۱). رضی، در مقاله ای تحت عنوان "شاخصهای ارزیابی و نقد کتابهای درسی دانشگاهی" مهمترین شاخصهای کتاب درسی را این گونه بیان می کند:

- شکل ظاهری (تناسب حجم کتاب، تناسب حجم صفحات هر فصل با فصل های دیگر، کیفیت حروف نگاری، صفحه آرایی، صحافی، نوع کاغذ و جلد)
- محتوا (روزآمدی، جامعیت، مرتبط بودن مطالب کتاب با سایر دروس وابسته، طرح سوال های جدید، ظرفیت مطالب کتاب در برقراری ارتباط با یادگیرنده و اثرگذاری بر او)
- ساختار (طبقه بندی فصل های کتاب براساس نظام منطقی، بیان اهداف کل کتاب یا هر فصل، ارائه مقدمه، جمع بندی مباحث و نتیجه گیری، پرسش و فعالیت هایی برای یادگیری و فهم بهتر موضوع، استفاده از تصاویر، اشکال، جدول ها و نمودارها متناسب با موضوع، فهرست منابع یا کتاب شناسی، فهرست جدول ها و نمودارها و فهرست اصطلاحات دشوار)
- زبان (استفاده به جا از علایم سجاوندی، استفاده از جملات کوتاه و پرهیز از کاربرد زیاد جمله های مرکب، استفاده از بندهای کوتاه، پرهیز از به کارگیری واژگان و تعبیرات مهجور، استفاده از جملات مثبت به جای جملات منفی، به کارگیری کمتر جملات معترضه، پرهیز از سره نویسی، پرهیز از گرتنه برداری های نادرست از زبان بیگانه، آوردن معادل های لاتین اسامی و اصطلاحات خارجی در زیرنویس یا پی نوشت و رعایت قواعد نگارشی و کیفیت ساختار دستوری متن)
- روش (تناسب روش تحقیق با موضوع کتاب و رعایت بی طرفی علمی در بررسی ها و داوری های کتاب) (رضی، ۱۳۸۸، ص. ۲۱).

### روش پژوهش

این پژوهش با هدف تهیه یک محتوای آموزشی خودخوان در مبحث تاریخچه کشف پرتو ایکس و توسعه روش های طیف سنجی پرتو ایکس صورت پذیرفته است که از نظر روش توصیفی-تحلیلی کتابخانه ای و ابزار آن فیش های کاغذی با ابعاد ۱۵×۲۱ سانتی متر است. برای این کار ابتدا هدف کلی آموزشی به اهداف جزئی زیر تقسیم شد: مطالعه پرتو کاتدی و بررسی ماهیت آن، کشف پرتو ایکس توسط رونتگن، رابطه بین عدد اتمی و فرکانس پرتو ایکس نشر شده، رابطه بین فاصله اتم های بلور با

طول موج پرتو ایکس. سپس برای هر هدف جزئی، اهداف رفتاری تدوین شد و برای این اهداف رفتاری، محتوای مناسب از طریق ترجمه متون علمی جمع آوری و مورد نقد و تحلیل واقع شد و پس از تحلیل و تکمیل اطلاعات، محتواها اولویت بندی شده و براساس سختی و آسانی، پیش نیازی، محتوای نهایی نگارش و تدوین شد. این محتواها بر اساس شاخص‌های کتاب‌های خودآموز سری "آموزش شیمی تجزیه به روش آزاد" تنظیم و طراحی شده است. بعضی از این شاخص‌ها عبارتند از: بیان اهداف آموزشی کلی و جزئی، استفاده از متن ساده، جملات روشن و کوتاه، استفاده از اشکال و جداول مناسب و... نتایج این پژوهش با عنوان طراحی محتوای آموزشی برای مبحث تاریخچه کشف پرتو ایکس و توسعه روشهای طیف سنجی پرتو ایکس ارائه شده است.

### نتایج (محتوای طراحی شده)

حدود ۶۰۰ سال پیش از میلاد، تالس<sup>۱</sup> فیلسوف یونانی نشان داد که هرگاه کهربا را با پارچه پشمی مالش دهند، اجسام سبک مانند کاه را به خود جذب می‌کند. نام الکتریسیته (نیروی کهربایی) از واژه یونانی elektron به معنای کهربا گرفته شده است. او نشان داد که فلزات الکتریسته ساکن را از خود عبور می‌دهند و رساناهای جامد معرفی شدند (بیگری، ۲۰۰۷، ص. ۲). پس از آن مایکل فارادی در سال ۱۸۳۳ که معتقد بود الکتریسیته یک لرزش یا نیرویی است که به نوعی در نتیجه تنش‌های ایجاد شده در رسانا منتقل می‌شود با عبور جریان الکتریسیته از یک محلول و الکترولیز آن، نشان داد که عبور الکتریسیته از طریق یک محیط مایع رسانا باعث جدا شدن اجزای ماده می‌شود و میزان این تجزیه شیمیایی به میزان الکتریسیته ای که از محلول عبور می‌کند وابستگی دارد (سنیور، ۲۰۰۹، ص. ۱۶۰). دیوی<sup>۲</sup> در نیمه اول قرن نوزدهم (۱۸۰۷-۱۸۰۸) با روشهای الکتروشیمی پنج عنصر پتاسیم، سدیم، کلسیم، استرانسیم و باریم را بصورت خالص تهیه و کشف کرد (دیوی، ۱۸۰۸، ص. ۳۳۳). در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی پژوهشهای زیادی برای بررسی احتمال عبور الکتریسیته از گازها و خلاء انجام شد. در سال ۱۸۵۸ فیزیک‌دان آلمانی به نام هاینریش گیسلر<sup>۳</sup> که به فنون شیشه‌گری تسلط زیادی داشت لوله‌های آزمایشی به نام لوله‌های گیسلر ابداع کرد. این لوله‌ها مانند لامپ‌های نئونی امروزی کار می‌کنند. فشار گاز درون لوله‌های گیسلر حدود  $10^{-3}$  اتمسفر بود. با اعمال ولتاژ بین کاتد و آند تخلیه الکتریکی انجام می‌شود و الکترونها در هنگام حرکت از کاتد به سوی آند به اتمها یا مولکول‌های گاز درون لوله برخورد و آنها را برانگیخته می‌کنند. اتم‌های

<sup>1</sup> Thales

<sup>2</sup> Humphry Davy

<sup>3</sup> Heinrich Geissler

برانگیخته پس از آسایش و بازگشت به حالت پایه، انرژی اضافی خود را به صورت نور از دست می‌دهند و فضای درون لوله درخشان می‌شود. فشار درون لوله های گیسلر آنقدر هست که الکترونها مرتباً به اتمها یا مولکولهای گاز درون لوله برخورد می‌کنند و به همین دلیل انرژی جنبشی و سرعت حرکت الکترونها معمولاً کم است. با این آزمایشات مشخص شد که گازها نیز می‌توانند جریان الکتریکی را از خود عبور دهند (چومیکی، ۱۹۹۶، ص. ۱).

در دهه ۱۸۷۰ ویلیام کروکس و یولیوس پلوکر<sup>۱</sup> به بررسی عبور جریان الکتریکی از خلاء پرداختند. کروکس با استفاده از پمپ خلاء جیوه ای اشپرنگل<sup>۲</sup> توانست فشار درون لوله های گیسلر را تا  $10^{-6}$  -  $5 \times 10^{-8}$  اتمسفر کاهش دهد. کروکس متوجه شد که اگر فشار گاز درون لوله خیلی کم شود درخشش گاز در نزدیکی کاتد از بین می‌رود این ناحیه را فضای کروکس یا فضای فارادی نامیده‌اند. با افزایش خلاء لوله کروکس، فضای کروکس نیز گسترش می‌یابد تا حدی که تمام فضای داخلی لوله تاریک می‌شود. در این هنگام اتفاق تصادفی جالبی افتاد. آنها مشاهده کردند که جداره داخلی شیشه‌ای لوله کروکس در پشت آند، شروع به درخشش می‌کند (اسموس، ۱۹۹۵، ص. ۱۰).

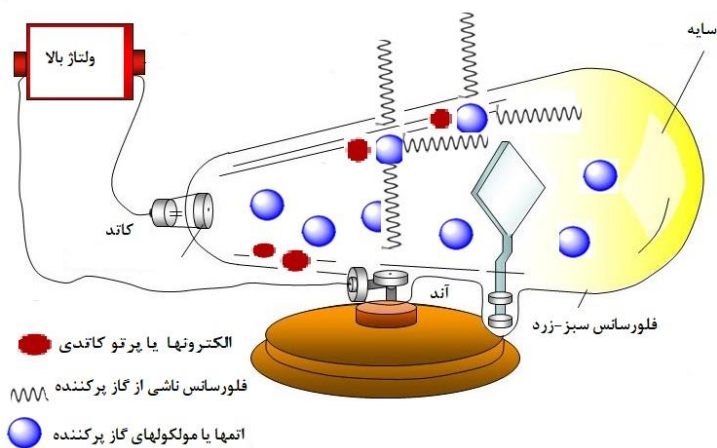
#### نحوه عملکرد لوله های کروکس

امروزه می‌دانیم که با کاهش فشار درون لوله کروکس تعداد مولکولها ی داخل لوله به میزان بسیار زیادی کاهش می‌یابد لذا الکترونها ی آزاد شده از کاتد بدون هیچگونه برخورد و اتلاف انرژی، به سمت آند حرکت می‌کنند. به دلیل عدم برخورد الکترونها ی پرانرژی به مولکولهای گاز لوله، هیچ برانگیختگی صورت نمی‌گیرد و به تبع آن هیچ نشر نوری از گاز درون لوله نیز مشاهده نمی‌شود. لذا فضای درون لوله تاریک می‌شود. از سوی دیگر کروکس از ولتاژهای بالایی در حدود چند کیلوولت تا ۱۰۰ کیلوولت استفاده می‌کرده که نسبت به ولتاژ لوله‌های گیسلر بسیار بزرگتر بود. بنابراین میدان الکتریکی داخل لوله بزرگ بود دو عامل "نبود اتلاف انرژی ناشی از عدم برخورد" و "شتاب زیاد الکترونها به دلیل میدان الکتریکی قوی" سبب می‌شوند که الکترونها ی آزاد شده از سطح کاتد با انرژی جنبشی و سرعت زیادی در حدود ۲۰ درصد سرعت نور به سمت آند حرکت کنند. انرژی الکترونها در هنگام رسیدن به آند آنقدر زیاد است که تکانه بزرگ ناشی از این برخورد سبب خروج یک الکترون از آند به سوی دیواره شیشه‌ای لوله کروکس می‌شود. این الکترون نیز با انرژی زیادی به جداره داخلی لوله کروکس در اطاف و پشت آند برخورد می‌کند به صورتی که سبب برانگیختگی اتم‌های موجود در ساختار شیشه لوله کروکس می‌شود و نوری به رنگ سبز-زرد از خود نشر می‌کند.

<sup>1</sup> Julius Plücker

<sup>2</sup> Sprengel

البته در نهایت تمامی الکترونها، توسط آند جمع‌آوری می‌شوند و همانطور که شکل ۱ نشان می‌دهد از طریق سیم بیرونی مدار به کاتد باز می‌گردند (چومیکی، ۱۹۹۶، ص. ۱).



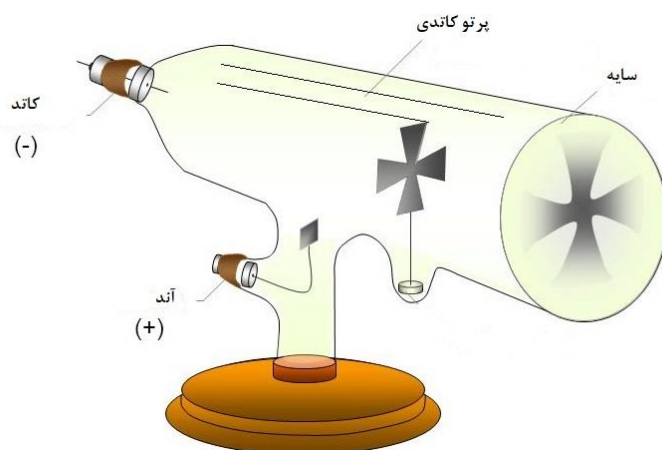
شکل ۱- نشر نور (فلورسانس) در لوله کروکس

بعدها پژوهشگران برای مشاهده و مطالعه بهتر، دیواره داخلی لوله کروکس در پشت آند را با موادی مانند فسفر یا سولفیدروی پوشش دادند این مواد خاصیت نورتایی دارند و برخورد الکترونها پراثری به آنها سبب تولید نور شدید می‌شود (چومیکی، ۱۹۹۶، ص. ۱). آزمایش‌های پلوکر نشان داد که جریان الکتریکی از خلاء نیز می‌تواند عبور کند اما دانشمندان به بررسی ماهیت و علت این فلورسانس یا نورتایی تصادفی پرداختند.

در سال ۱۸۶۸ پلوکر با همکاری هیتورف یک لوله کروکس طراحی کرد که آند آن به شکل صلیب بود و این صلیب با یک لولا به کف لوله وصل می‌شد که اجازه می‌داد صلیب به سمت کف لوله کروکس خوابیده یا بصورت عمودی مقابل کاتد ایستاده باشد. ولتاژ و فشار درون لوله مشابه آزمایش قبل بود. با برقراری ولتاژ بین کاتد و آند، پلوکر مشاهده کرد که سایه آند صلیبی شکل بر روی دیواره داخلی لوله افتاد درحالی‌که سایر نقاط دیواره انتهایی لوله از خود نور منتشر می‌کردند. هنگامی که لولا اتصالی آند را چرخاند و صلیب کف لوله قرار گرفت سایه روی دیواره لوله نیز از بین رفت و تمامی دیواره لوله درخشان شد. در شکل ۲ این آزمایش نشان داده شده است. ایجاد سایه صلیب روی دیواره نشان می‌داد که پرتو نامرئی لوله مانند نور به خط راست حرکت می‌کند و از آنجا که تا آن زمان فقط امواج نامرئی فرابنفش شناخته شده بود پلوکر به اشتباه نتیجه گرفت که ماهیت پرتو نامرئی (کاتدی) از جنس امواج الکترومغناطیسی یا نور است (چومیکی، ۱۹۹۶، ص. ۱). در سال ۱۸۷۶ یورگن



گلدشتاین<sup>۱</sup> از روی تصویر ایجاد شده در پشت آند نتیجه گرفت که پرتو مورد مطالعه به صورت عمودی از سطح کاتد به سوی آند گسیل می‌شود و نام پرتو کاتدی را بر آن نهاد.



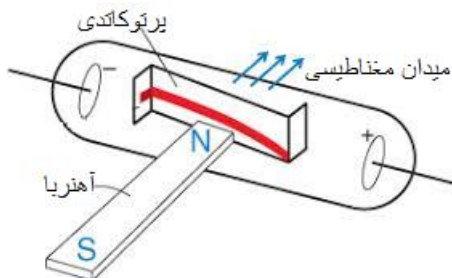
شکل ۲-لوله پرتو کاتدی طراحی شده پلوکر و هیتورف

این مشاهدات نشان می‌داد که پرتو کاتدی باید ماهیت ذره‌ای داشته باشد زیرا نورهای منتشر شده یک جسم، در تمام فضا پخش می‌شود اما پرتو کاتدی به خط مستقیم و فقط به سمت آند حرکت می‌کرد. اگر الکترودهای کاتد و آند را بصورت مقعر می‌ساختند پرتو کاتدی در یک نقطه متمرکز می‌شد و موجب افزایش شدید دمای آند می‌شد که این رفتار شبیه نور و امواج الکترو مغناطیسی است. گلدشتاین نیز مانند هرگز عقیده داشت که پرتو کاتدی شکل جدیدی از امواج الکترومغناطیسی یا ارتعاشات اتری هستند. در مقابل دانشمندان آلمانی، کروکس<sup>۲</sup> و کرامول وارلی<sup>۳</sup> دانشمندان انگلیسی باور داشتند که پرتو کاتدی ذره است و آن را ماده‌ای با خواص تابشی می‌دانستند (لیندگارد و دیگران، ۱۹۹۵. ص. ۲۹۹).

در سال ۱۸۷۴ جورج استونی<sup>۴</sup> با تقسیم عدد فارادی بر عدد آووگادرو واحد بار الکتریکی را حدود ۱۰<sup>-۲۰</sup> کولمب تخمین زد که به بار الکترون بسیار نزدیک است او برای واحد بار الکتریکی واژه الکترین را پیشنهاد کرد و بعدها این کلمه را با الکترون جایگزین کرد (وايمن، ۱۹۹۸. ص. ۱۵۹).

<sup>۱</sup> Jürgen Goldstein  
<sup>۲</sup> William Crookes  
<sup>۳</sup> Cromwell  
<sup>۴</sup> George Johnstone Stoney

ماکسول<sup>۱</sup> حدود سال ۱۸۷۳ نیز عقیده داشت که الکتریسیته یا جریان الکتریکی ماهیت موجی دارد و به وجود ذرات باردار منفی اعتقادی نداشت (اسموس، ۱۹۹۵، ص. ۱۰).  
 در سال ۱۸۷۹ کروکس بیشتر بخش‌های دیواره لوله کروکس را با سولفید روی پوشش داد سپس یک آهن‌ربا را به کاتد نزدیک کرد و ملاحظه کرد که لکه نورانی دیواره انتهایی لوله منحرف می‌شود که در شکل زیر نشان داده شده است. جهت این انحراف نشان می‌داد که پرتو کاتدی باید دارای ماهیت ذره‌ای باشد (اسموس، ۱۹۹۵، ص. ۱۰).



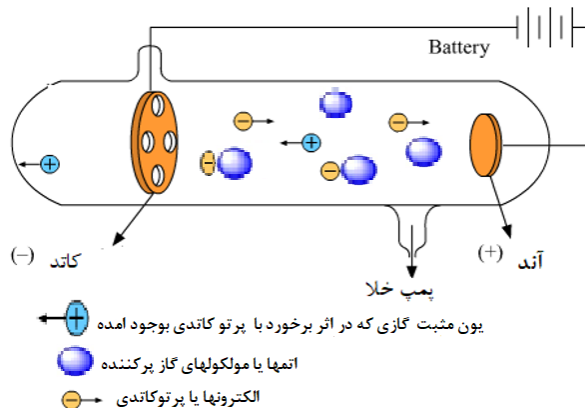
شکل ۳- تاثیر میدان مغناطیسی بر پرتو کاتدی

در سال ۱۸۸۳ هرتز یک لوله پرتو کاتدی ویژه ساخت تا ماهیت پرتو کاتدی را بررسی کند این لوله پرتو کاتدی دارای ۴ الکتروود بود. دو الکتروود در راستای محور لوله بودند و پرتو کاتدی تولید می‌کردند اما دو الکتروود بعدی عمود بر این راستا قرار داشتند تا رفتار پرتو کاتدی را در میدان الکتریکی بیرونی مشاهده کنند. هرتز فشار درون لوله را به اندازه کافی کاهش نداده بود و همین امر باعث شده بود تا روی دیواره لوله بارهای سطحی جذب شوند و میدان الکتریکی ثانویه (بیرونی) را تضعیف کنند. بنابراین با اعمال میدان الکتریکی بیرونی که عمود بر راستای مسیر پرتو کاتدی بود، هرتز هیچ انحرافی برای پرتو کاتدی مشاهده نکرد و همین امر باعث شد که هرتز همواره در برابر نظریه ذره‌ای بودن پرتو کاتدی مقاومت کند و پیرو نظریه موجی بودن پرتو کاتدی باشد (اسموس، ۱۹۹۵، ص. ۱۰).

در سال ۱۸۷۶ گلدستاین سوال دیگری مطرح کرد. سوال این بود هنگامی که پرتو کاتدی از کاتد به سمت آند حرکت می‌کند آیا پرتو دیگری در جهت عکس حرکت می‌کند؟ او از یک کاتد توخالی مانند شکل ۴ در لوله استفاده کرد و مشاهده کرد که دیواره پشت کاتد درخشان می‌شود. این بدان معنا بود که پرتو دیگری در جهت عکس به سمت کاتد حرکت می‌کند که در واقع همان یون‌های

<sup>1</sup> James Clerk Maxwell

مثبت گاز درون لوله بودند. به علت حفره یا کانال طراحی شده در کاتد او این پرتو را پرتو کانالی نامید که بعدها مشخص شد جریانی از ذرات با بار مثبت هستند (اسموس، ۱۹۹۵. ص. ۱۰). در سال ۱۸۹۰ آرتور شوستر، آزمایش هرگز را تکرار کرد ولی لوله پرتو کاتدی را به خوبی از گاز خالی کرد. او مشاهده کرد که پرتو کاتدی در میدان الکتریکی بیرونی به سمت قطب مثبت منحرف می‌شود. این مشاهده و آزمایش تاثیر میدان مغناطیسی کروکس اثبات کرد که ماهیت پرتو کاتدی ذره‌ای با بار منفی است (اسموس، ۱۹۹۵. ص. ۱۰).



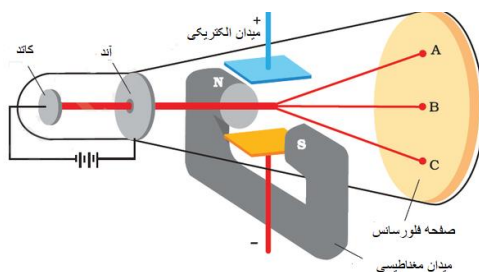
شکل ۴- لوله پرتو کاتدی طراحی شده گلدشتاین برای کشف پرتو کانالی

در سال ۱۸۹۷ جی. جی. تامسون<sup>۱</sup> همزمان میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی را مطابق شکل ۵ بر پرتو کاتدی اعمال نمود. میدان الکتریکی، پرتو کاتدی را به سمت قطب مثبت منحرف می‌کرد اما تامسون میدان مغناطیسی را در جهت عمود بر میدان الکتریکی آنقدر افزایش داد تا پرتو کاتدی مجدداً به حالت قبل بازگشت. او با تساوی انرژی میدان الکتریکی و انرژی جنبشی پرتو کاتدی و همچنین تساوی نیروی لورنتز میدان مغناطیسی و نیروی جانبی، مرکز نسبت بار به جرم این پرتو را محاسبه کرد و به‌طور قطعی نشان داد که پرتو کاتدی از ذرات با بار منفی تشکیل شده است که جرم آن‌ها ۱۸۰۰ بار از سبک‌ترین اتم یعنی هیدروژن، سبک‌تر بود بنابراین پرتو کاتدی نمی‌توانست اتم جدیدی باشند. تا آن زمان دانشمندان فکر می‌کردند که اتم‌ها، کوچک‌ترین ذرات سازنده ماده و تجزیه ناپذیر هستند و آنچه جریان الکتریکی را حمل می‌کرد یک راز بود اما تامسون با کشف این ذره بسیار کوچک این راز را فاش ساخت. تامسون این ذرات بسیار سبک را گویچه<sup>۲</sup> نامید اما بعدها

<sup>۱</sup> Joseph John Thomson

<sup>۲</sup> Corpuscle

نامی که استونی در سال ۱۸۷۴ برگزیده بود مورد پسند همگان قرار گرفت و بدین ترتیب اولین ذره زیراتمی الکترون نام گرفت و اتم نیز تجزیه شد (باکولد و دیگران، ۲۰۰۴، ص. ۲۱).



شکل ۵- تاثیر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر پرتو کاتدی

در سال ۱۸۹۲ هرتز از یک صفحه نازک فلزی به عنوان آند استفاده کرد و با مشاهده درخشش دیواره پشت آند متوجه شد که پرتوهای کاتدی می‌توانند از صفحات نازک فلزی عبور کنند. در سال ۱۸۹۴ فیلیپ لنارد<sup>۱</sup> لوله‌های کاتدی جدیدی ساخت که در انتهای آن یک صفحه آلومینیومی نازک تعبیه شده بود. بر اساس یافته هرتز در سال ۱۸۹۲، پرتوهای کاتدی از صفحه آلومینیومی عبور می‌کردند. هدف لنارد بررسی رفتار این پرتو خارج از لوله کاتدی بود بدین منظور او یک صفحه پوشیده شده از مواد فلورسانس را در فواصل مختلف از لوله کاتدی قرار داد و متوجه شد که در فشارهای معمولی، پرتوهای کاتدی فقط ۲-۳ سانتی‌متر در هوا می‌توانند آزادانه حرکت کنند و پس از این فاصله هیچ نقطه نورانی یا درخششی روی صفحه آشکارساز ایجاد نمی‌شد (ریس، ۱۹۹۵، ص. ۱۵۳۳). در سال ۱۸۹۵ ایوان پولیو<sup>۲</sup> دانشمند اوکراینی به صورت تصادفی متوجه شد که بر روی صفحات عکاسی که نزدیک لوله کروکس قرار داشتند تصویر یا علائم مبهمی ایجاد می‌شود (رازنیش و دیگران، ۲۰۱۹، ص. ۸۷).

در اواخر سال ۱۸۹۵ رونتگن<sup>۳</sup> برخی از آزمایش‌های لنارد را تکرار کرد تا با روش کار او آشنا شود سپس او به بررسی و مطالعه اثرات خارجی پرتو کاتدی در بیرون از لوله علاقمند شد او این آزمایش‌ها را در زیر زمین منزل خود انجام می‌داد. سوال رونتگن این بود که آیا پرتو کاتدی از لوله‌های شیشه‌ای اولیه کروکس که هیچ منفذی ندارند نیز خارج می‌شود یا خیر؟ هیچ دانشمندی تا آن زمان در این وضعیت پرتو کاتدی را مطالعه نکرده بود و نورتایی پرتو کاتدی در خارج توسط هیچ‌کسی مشاهده و

<sup>1</sup> Philipp Eduard Anton von Lenard

<sup>2</sup> Ivan Pului

<sup>3</sup> Wilhelm Conrad Röntgen

گزارش نشده بود. رونتگن فرض کرد که شاید نور و درخشش شدید دیواره لوله کروکس مانع از مشاهده نورتابی ضعیف صفحه آشکارساز بیرون از لوله کروکس شده باشد. برای آزمودن این فرضیه، لوله کروکس را با کاغذ سیاه ضخیمی بصورت کامل پوشاند تا امکان خروج هیچ نوری از آن وجود نداشته باشد. برای اطمینان از عملکرد پوشش کاغذی، زیرزمین را تاریک و لوله کروکس را روشن کرد و هیچ نور فسفرسانی از پوشش کاغذی مشاهده نمی شد و رونتگن برای خاموش کردن لوله کروکس و ادامه آزمایش به سمت آن رفت اما در همان لحظه متوجه شد که صفحه فلورسانسی که از آن به عنوان آشکارساز استفاده می کرد نور ضعیفی از خود منتشر می کند.



شکل ۶- آزمایشات رونتگن

او ابتدا به وجود منفذ یا سوراخی در پوشش کاغذی ضخیم مشکوک شد که شاید پرتوهای کاتدی از آن خارج شده و در اثر برخورد به آئینه منعکس شده و باعث فلورسانس در صفحه آشکارساز می شود. اما نه آئینه ای در آزمایشگاه زیر زمین وجود داشت و نه منفذی در پوشش کاغذی بود. او با تکرار این آزمایش و مشاهده همان نور ضعیف مطمئن شد که این نتیجه یک خطای آزمایشگاهی نیست. رونتگن کبریتی روشن کرد و با شگفتی دید که منشأ آن نور صفحه آشکارساز فلورسانس است که با لایه نازکی از باریم پلاتینو سیانید پوشش داده شده بود. این آشکارساز در فاصله یک متری لوله کاتدی قرار داشت. با توجه به یافته های هرتز مبنی بر اینکه پرتو کاتدی حداکثر ۳-۲ سانتی متر می تواند از لوله کاتدی دور شوند این فلورسانس نمی توانست ناشی از برخورد پرتو کاتدی به صفحه آشکارساز باشد. بنابراین پرتو جدیدی باعث این مشاهدات بود. این پرتو قابل رویت نبود اما در اثر برخورد به صفحه آشکارساز نقاط نورانی روی آن ایجاد می کرد لذا رونتگن به دلیل نامریی بودن این پرتو نام پرتو ایکس بر آن گذاشت. رونتگن بطور تصادفی متوجه شد که تصویر مبهمی از یک کلید روی صفحه عکاسی یا صفحه آشکارساز نزدیک به لوله کروکس نقش بسته است او کشوی میز خود را جستجو کرد و یک کلید سربی که مدت ها پیش در آن قرار داده بود را ملاحظه کرد. به عبارتی این پرتو جدید توانسته بود از لوله کاتدی، پوشش کاغذی و حتی میز و کشو عبور کند املا توان عبور از کلید سربی را نداشت. او متوجه شد که کلید در خط مستقیم بین لوله کاتدی و صفحه عکاسی قرار داشت اما کدام پرتو از لوله کروکس خارج شده و توانسته بود از میز و کاغذ سیاه عبور کرده و بر صفحه عکاسی تصویر ایجاد کند؟

از آنجا که ذرات موجود در پرتو کاتدی نمی‌توانستند از شیشه لوله کروکس و پوشش ضخیم دور آن عبور کنند و تا فاصله حدود یک متر به آشکارساز یا صفحه عکاسی برسند لذا رونتگن پی برد که با امواج الکترومغناطیسی جدیدی روبرو است. او که رییس دانشگاه وورتسبورگ در آلمان بود تمام کارهای خود را تعطیل کرد و فرد دیگری را برای انجام امور جاری دانشگاه به عنوان نماینده و جانشین خود معرفی کرد و بطور تمام وقت در طول ۶ هفته به مطالعه این پرتو جدید پرداخت. او اجسام مختلفی را بین لوله کاتدی و صفحه آشکارساز قرار می‌داد و پرتو جدید را می‌آزمود. رونتگن با الهام از تصویر کلید سربی می‌دانست که این پرتو قادر به عبور از سرب نیست هنگامی که مشغول قرار دادن یک قطعه سرب در مقابل لوله کاتدی بود حرکت شبح‌گونه‌ای را روی صفحه آشکارساز مشاهده کرد. او متوجه شد که این تصویر شبح‌گونه جزئیات استخوان دست و بازویش است. رونتگن غرق در حیرت و شگفتی شد. وقتی انگشت خود را تکان داد تصویر یا سایه استخوان انگشت او روی صفحه آشکارساز نیز حرکت کرد. به دلیل تفاوت بسیار زیاد این پرتو با پرتوهای کشف شده تا آن زمان و ماهیت نامعلوم آن رونتگن آن را پرتو ایکس نامید (هسنبروک، ۲۰۰۲، ص. ۱۳۷). در ۲۸ دسامبر ۱۸۹۵ رونتگن یافته‌های خود را در گزارشی با عنوان "رساله مقدماتی درباره نوعی پرتو جدید" همراه با چند عکس رادیوگرافی اولیه از دست همسرش به رییس انجمن فیزیک و پزشکی دانشگاه وورتسبورگ ارائه کرد.

در ۱۶ ژانویه ۱۸۹۶ روزنامه نیویورک تایمز گزارشی درمورد کشف جدید با عنوان شکل جدیدی از عکاسی چاپ نمود که مواد جامد پنهان را نشان می‌دهد. تولید پرتو ایکس با لوله‌های تخلیه الکتریکی کروکس آنقدر ساده بود که به زودی کاربردهای زیادی به‌ویژه در پزشکی پیدا کرد و فقط ۴ روز پس از مقاله نیویورک تایمز، جراحان آمریکایی با استفاده از پرتو ایکس محل گلوله‌ای را در پای یک مجروح شناسایی کردند و تصویر محل گلوله در عمل جراحی کمک زیادی به جراحان کرد. دانشگاه وورتسبورگ به دلیل کاربرد شایان این پرتو در علم پزشکی به رونتگن دکترای افتخاری در رشته پزشکی اعطا نمود (هسنبروک، ۲۰۰۲، ص. ۱۳۷). رونتگن اولین مقاله خود را در مورد ماهیت پرتو ایکس در ۲۳ ژانویه سال ۱۸۹۶ در مجله نیچر چاپ کرد. در این مقاله با عنوان "نوع جدیدی از پرتوها" رونتگن ویژگی‌های پرتو ایکس را چنین شرح می‌دهد:

"... این پرتو برخلاف پرتوهای کاتدی تحت تاثیر آهنربا قرار نمی‌گیرد. همچنین برخلاف پرتو کاتدی که فقط ۲-۳ سانتی‌متر در هوا سیر می‌کند پرتو ایکس بیش از یک متر در هوا نفوذ می‌کند و همه اجسام در مقابل این پرتو شفاف هستند اما شفافیت آنها با یکدیگر بسیار متفاوت است کاغذ و تکه ضخیم چوب در برابر این پرتو شفاف هستند ولی تخته چوب کاج با ضخامت ۲-۳ سانتی‌متر اندکی از این پرتو را جذب می‌کنند. صفحه آلومینیومی با ضخامت ۱۵ میلی‌متر به مقدار قابل توجهی این

پرتو را جذب می‌کند زیرا نورتایی ناشی از برخورد پرتو ایکس با صفحه آشکارساز را بصورت کامل قطع نمی‌کند. اگر دست انسان در میان لوله تخلیه الکتریکی (لامپ پرتو ایکس) و صفحه آشکارساز قرار گیرد سایه تیره استخوانها به صورت یک تصویر شبیح گونه و نیمه تاریک روی صفحه آشکارساز دیده می‌شود (رازنیش و دیگران، ۲۰۱۹، ص. ۸۷). رونتگن فقط ۳ مقاله در فاصله زمانی ۱۸۹۷-۱۸۹۶ در مورد پرتو ایکس چاپ نمود. رونتگن نشان داد اگر پرتوهای کاتدی در لوله‌های تخلیه الکتریکی کروکس به جای اینکه به دیواره شیشه‌ای لوله برخورد کنند به یک هدف یا آند فلزی برخورد کنند پرتوهای ایکس با کارایی بهتر و شدت بیشتری تولید می‌شود. آندهای با جنس فلزات سنگین (مانند پلاتین) پرتو ایکس فراوان تری نسبت به آند ساخته شده از فلز سبک (مانند آلومینیوم) تولید می‌کند...

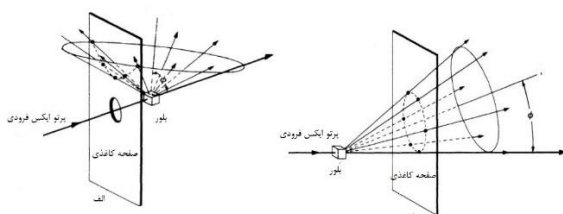
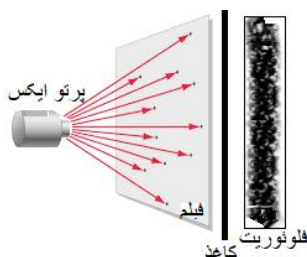
پرتوهای ایکس در هنگام عبور از میان گازها، آنها را یونیزه می‌کنند و در زمان برخورد به فیلم عکاسی آن را سیاه می‌کنند. سختی یا میزان نفوذ پرتو ایکس در مواد با افزایش ولتاژ لوله تخلیه الکتریکی بیشتر می‌شود. شباهت‌های آشکار پرتو ایکس با نور مرئی باعث شد تا رونتگن و سایر دانشمندان به آزمایش خواص اپتیکی پرتو ایکس مانند قطبش، پراش، انعکاس و شکست علاقه‌مند شوند اما امکانات و تجهیزات آن زمان برای مطالعه این خواص مناسب نبودند و لذا رونتگن در مورد بررسی خواص اپتیکی پرتو ایکس موفقیتی بدست نیاورد. رونتگن اظهار داشت که پرتو ایکس از توقف پرتو کاتدی موجود در لوله تخلیه الکتریکی در هنگام برخورد با هدف آندی تولید می‌شود. به دلیل کشف بزرگ پرتو ایکس و مطالعات رونتگن در مورد ماهیت و کاربرد این پرتو اولین جایزه نوبل در سال ۱۹۰۱ به وی اعطا شد. در سال‌های بعد پرتو ایکس تولید شده در آزمایش رونتگن را پرتو ترمزی نامیدند (هسنبروک، ۲۰۰۲، ص. ۱۳۷).

در سال ۱۸۹۶ ژان باپتیست پیرین<sup>۱</sup> توانست با استفاده از توانایی پرتو ایکس در یونش گازها در یک اتاقک گازی، شدت این پرتوها را اندازه‌گیری کند و به این ترتیب اولین آشکارسازهای ویژه برای اندازه‌گیری شدت پرتو ایکس ساخته شدند (رازنیش و دیگران، ۲۰۱۹، ص. ۸۷).

در بازه سال ۱۹۰۶-۱۹۰۱ دو دانشمند به نام‌های وینکلیمان و استرابل یک فیلم عکاسی را روی بلوری از فلوئوریت ( $\text{CaF}_2$ ) قرار دادند و به آن پرتو ایکس تابانیدند و مشاهده کردند که فیلم عکاسی، بیش از حد انتظار، سیاه می‌شود (شکل ۷). ابتدا آنها حدس زدند که بازتابش پرتو ایکس (پرتو ایکس بازگشتی) از بلورها سبب تیره شدن شدید فیلم عکاسی می‌شود برای بررسی صحت این فرضیه، آنها یک صفحه کاغذی سیاه را بین بلور و فیلم عکاسی قرار دادند. تیرگی فیلم عکاسی هیچ تفاوتی با

<sup>1</sup> Jean baptiste perrin

قبل نداشت در آزمایش بعدی آنها صفحه کاغذی سیاه را بین منبع تولید پرتو ایکس فرودی و بلور فلوئوریت قرار دادند در این آزمایش تیرگی فیلم عکاسی تغییر می کرد.



شکل ۷- بررسی پرتو ایکس بازگشتی

آنها از روی نتیجه این آزمایش نتیجه گرفتند پرتو ایکس از بلور فلوئوریت به عقب برنمی گردد بلکه در عوض نوع جدیدی از پرتو ایکس در بلور تولید می شود که از پرتو فرودی نرم تر (کم انرژی تر) است این پرتو جدید راحت تر توسط کاغذ سیاه جذب می شود (اسموس، ۱۹۹۵. ص. ۱۰).

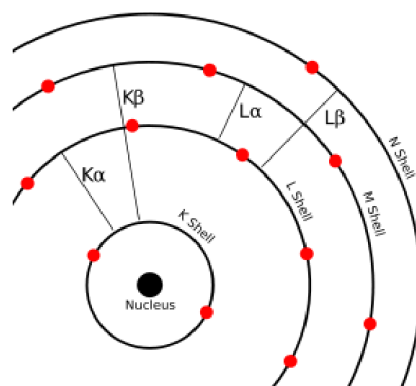
بارکلا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۰۵-۱۹۰۹ آزمایش های وینکلمان<sup>۲</sup> و استرابل<sup>۳</sup> را گسترش داد. او نشان داد که در هنگام تولید پرتو ایکس از آند فلزی در لوله های تخلیه الکتریکی علاوه بر پرتو ایکس کشف شده توسط رونتگن، دو نوع پرتو ایکس دیگر تولید می شود (شکل ۸) که به جنس هدف (آند) بستگی دارد او این خطوط پرتو ایکس جدید را طیف های  $k$  و  $L$  نامید. که بعدها مشخص شد این پرتوها ناشی از انتقالات الکترونی به لایه  $K$  و  $L$  در اتم های آند هستند (چومیکی، ۱۹۹۶. ص. ۱). بارکلا همچنین در سال ۱۹۰۵ با آزمایش نشان داد که پرتو ایکس مانند نور مرئی بر اثر پراکندگی، قطبیده می شود. او برای این دستاوردهای علمی مهم در سال ۱۹۱۷ جایزه نوبل را دریافت کرد. در واقع بارکلا، اولین کسی بود که لبه های جذب  $K$  و  $L$  را کشف و مطالعه کرد (چومیکی، ۱۹۹۶. ص. ۱).

<sup>1</sup> Charles glover barkla

<sup>2</sup> Winkelmann

<sup>3</sup> Straubel





شکل ۸- خطوط طیفی k و l

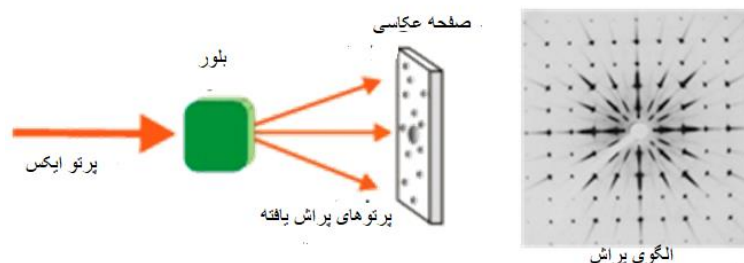
ماکس وان لاهه<sup>۱</sup> همواره در مورد نظریه تداخل نور با استفاده از صفحات موازی مطالعه می‌کرد. لاهه در دانشگاه برلن و زیر نظر ماکس پلانک فارغ التحصیل شده بود و در سال ۱۹۰۹ برای کار به گروه فیزیک نظری دانشگاه مونیخ زیر نظر زومرفلد پیوست. رساله دکترا یکی از دانشجویان زومرفلد به نام "اوالد" در مورد انتشار پرتو ایکس از درون بلورها بود و برای تفسیر و تحلیل نتایج خود به لاهه مراجعه نمود. لاهه با دیدن نتایج اوالد متوجه شد که پراش پرتو ایکس توسط اتم‌های منظم یک بلور، مانند پراش نور مرئی به وسیله توری پراش عمل می‌کنند و از پژوهش‌های قبلی رونتگن و دیگران آگاهی داشت و می‌دانست که طول موج پرتو ایکس در حدود  $10^{-10}$  متر یا یک آنگستروم است و حدس زد که فاصله بین اتم‌ها در بلور نیز باید در حدود آنگستروم باشد تا بلور مانند توری پراش عمل کند. او به کمک یکی از دستیاران زومرفلد<sup>۲</sup> در گروه فیزیک نظری دانشگاه مونیخ به نام والتر<sup>۳</sup> فریدریش و دانشجوی تازه فارغ التحصیل شده رونتگن به نام نی<sup>۴</sup> پینگ بلورهای سولفات مس را در معرض تابش پرتو ایکس قرار دادند و متوجه شد که دایره‌های تاریک و روشن در صفحه عکاسی پشت این بلورها تشکیل شده است. این آزمایش‌ها ثابت کرد که پرتو ایکس دارای ماهیت از جنس امواج الکترومغناطیس است و بلورها مانند یک شبکه یا توری پراش برای امواج عمل می‌کنند. جایزه نوبل سال ۱۹۱۴ برای این کشف مهم به لاهه اعطا شد. پس از کشف لاهه مبنی بر پراش پرتو ایکس در هنگام عبور از بلورها، دانشمندان دیگر فرضیه جدیدی را مطرح کردند که ساختار خود بلور نیز بر روی پراش پرتو ایکس تاثیر دارد (لیندگارد و دیگران، ۱۹۹۵. ص. ۲۹۹).

<sup>1</sup> Max Theodor Felix von Laue

<sup>2</sup> Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld

<sup>3</sup> Walter Friedrich

<sup>4</sup> Paul Knipping



شکل ۹- محل نقاط پراش در روش لاهه

ویلیام هنری براگ<sup>۱</sup> و پسرش به نام ویلیام لورنس براگ<sup>۲</sup> ابتدا در سال ۱۹۱۲ به مطالعه یونش گازها توسط پرتو ایکس علاقمند شده و متوجه شدند که در اثر برخورد این پرتو، چند اتم یا مولکول گاز یونیزه می‌شوند این مشاهدات باعث شد آنها ادعا کنند پرتوهای ایکس ماهیت ذره‌ای دارند. براگ و فرزندش در کل تابستان ۱۹۱۲ کوشیدند تا نشان دهند که دایره‌های تاریک و روشن در آزمایش لاهه به دلیل عبور ذرات موجود در پرتو ایکس از درون تونل‌های بین اتم‌ها در بلور بوده است اما بعدها لورنس براگ متقاعد شد که نظر لاهه مبنی بر ماهیت موجی بودن پرتو ایکس درست است. لورنس براگ در این هنگام دانشجوی سال اول در دوره تحقیقاتی و در سن ۲۲ سالگی بود. هنگامی که در کنار یک رودخانه قدم می‌زد و به آب رودخانه نگاه می‌کرد تصور کرد که بلورها نیز از لایه‌ها یا صفحات موازی اتم‌ها تشکیل شده‌اند و هنگامی که نور به این صفحات برخورد می‌کند پراکنده می‌شود اما همه آنها پراش نمی‌کنند اگر دو پرتو که از دو صفحه متوالی پراکنده شدند هم‌فاز نباشند در اثر تداخل ویرانگر یکدیگر را حذف می‌کنند. پدرش دستگاهی ساخته بود که می‌توانست یک بلور را با دقت بالا در زاویه معینی نسبت به پرتو ایکس بچرخاند. براگ و پدرش یک ابزار بلورشناسی کوچک ساختند و به مطالعه بلورهای مختلف مانند کوارتز، سنگ نمک، آهن، پیریت (سولفید آهن) پرداختند. آنها از یک لوله تخلیه الکتریکی بعنوان منبع تولید پرتو ایکس، صفحه عکاسی یا محفظه یونش گاز بعنوان آشکارساز و همچنین از شکاف یک صفحه بعنوان موازی‌کننده پرتو استفاده کردند در واقع این اولین اندازه‌گیری با طیف‌سنجی پرتو ایکس است. هنگام تابش پرتو ایکس اگر اختلاف مسیر پرتوهایی که از دو صفحه متوالی پراکنده می‌شوند مضرب صحیحی از طول موج پرتو ایکس باشد آنها تداخل سازنده می‌کنند و الگوی پراش مشاهده می‌شود. آنها با هندسه ساده‌ای برای دو صفحه موازی که نور با زاویه  $\theta$  به آنها برخورد می‌کند رابطه (۱) را بدست آوردند:

<sup>1</sup> William Henry Bragg

<sup>2</sup> William Lawrence Bragg

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

ویلیام براگ نتایج این پژوهش را با نام "ناشناس" در یک نشست علمی و همچنین در یک مقاله گزارش کرد و بعدها اعتبار علمی این معادله را به پسرش داد. در سال ۱۹۱۵ پدر و پسر به دلیل این کشف بزرگ جایزه نوبل را دریافت کردند و لورنس به خاطر اعتبار علمی این معادله و لطف بزرگ پدرش بسیار خوشحال و دلگرم شد. در زمان جنگ جهانی اول او کارهای علمی زیادی برای ارتش بریتانیا انجام داد و پس از جنگ ابتدا در دانشگاه منچستر به ادامه کار مشغول شد و سپس به دلیل آسیب‌های این دانشگاه همراه با ارنست رادرفورد دوست قدیمی و خانوادگی‌اش به دانشگاه منچستر بازگشت او و پدرش توافق کردند که لورنس بر روی بلورهای معدنی و پدر روی بلورهای آلی مطالعه کنند. مطالعات این پدر و پسر منجر به تولید شاخه جدیدی در علم به نام بلورشناسی در سال ۱۹۱۳ شد. و فقط یک سال بعد روش شناسایی بلورها با پرتو ایکس به یک روش استاندارد در جهان تبدیل شد. نتایج لورنس و پدرش نه تنها شناسایی ساختار بلورها بلکه ماهیت موجی پرتو ایکس را نیز مشخص کرد. آنها نشان دادند که طول موج پرتوهای ایکس حدود ۱۰۰۰ برابر کوچکتر از طول موج نور مرئی است و آنقدر پر انرژی هستند که می‌توانند با نفوذ به شبکه بلورها، اطلاعات مهمی در مورد ساختار آنها در اختیار ما قرار دهند.

دانشمند بزرگ دیگری که در زمینه کاربرد پرتو ایکس در جهان مشهور شد موزلی است. موزلی با استفاده از آنچه که امروز فلورسانس پرتو ایکس نامیده می‌شود توانست عدد اتمی عناصر را کشف و تعیین کند. او در سال ۱۹۱۳ همزمان با نیلز بور کار می‌کرد بور به تازگی نظریه مدل سیاره‌ای بور-رادرفورد را ارائه کرده بود. بور گفته بود که بارهای مثبت اتم در مرکز یا هسته آن در شعاع بسیار کوچکی (حدود  $10^{-5}$  آنگستروم) تمرکز دارند و الکترونها در لایه‌ها یا مدارهای معینی در اطراف هسته گردش می‌کنند. او مس، نیکل، کبالت، آهن، منگنز، کروم و تیتانیوم را که در یک دوره جدول تناوبی بودند بعنوان آند در لوله تخلیه الکتریکی قرارداد و طول موج پرتو ایکس ثانویه یا طیف مشخصه که از آنها منتشر می‌شد را اندازه‌گیری کرد. موزلی مشاهده کرد که با افزایش جرم اتمی عناصر، فرکانس پرتو ایکس ثانویه آنها بزرگتر می‌شود و فیلم عکاسی را نیز تیره می‌نماید. این امواج ایکس ثانویه، همان امواجی بودند که ویژه هر عنصر بودند و امروزه بعنوان فلورسانس پرتو ایکس یا لبه جذب برای هر عنصر شناخته می‌شوند (براگ، ۱۹۲۴). تا آن زمان هنوز عدد اتمی یا تعداد پروتونها در هر اتم ناشناخته بود و عناصر به ترتیب قرار گرفتن آنها در جدول تناوبی مندلیف شماره‌گذاری شده بودند. مثلا به هیدروژن عدد یک، هلیوم عدد ۲ و ... اختصاص داده بودند در واقع این اعداد شماره، رتبه یا مکان عناصر را در جدول مندلیف مشخص می‌کردند (اسکری، ۲۰۰۶). موزلی<sup>۱</sup> با الگو گرفتن

<sup>1</sup> Henry Gwyn Jeffreys Moseley

از تفسیر طیف نشری هیدروژن و مدل اتمی بور، بیان کرد که هرچه جرم اتمی یک عنصر افزایش می‌یابد تعداد پروتونهای هسته نیز افزایش می‌یابد و الکترون‌های سطوح پایینی (L و K لایه و...) انرژی منفی‌تری خواهند داشت و برای برانگیختگی این سطوح انرژی بیشتری لازم است. پس جای خالی این لایه با الکترون‌های لایه‌های بالاتر پر می‌شوند و این انرژی زیاد از طریق انتشار یک فوتون یا پرتو ایکس پرنرژی آزاد می‌شود در نتیجه خط طیفی یا پرتو ایکس ثانویه با فرکانس بزرگتری نشر می‌شود.

از آنجا که در آن زمان نوترون نیز کشف نشده بود لذا جرم عنصر را فقط به پروتون‌های آن مربوط می‌دانستند و چون پروتون بار مثبت داشت، جرم عنصر با بار هسته مرتبط بود. موزلی فرکانس‌های پرتو ایکس ثانویه عناصر مورد مطالعه‌اش را با دقت با یکدیگر مقایسه می‌کرد. او متوجه شد که بین جذر این فرکانس‌ها و شماره اتم‌ها در جدول تناوبی مندلیف یک رابطه خطی وجود دارد. موزلی نتیجه گرفت که بار هسته هر عنصر با عنصر بعدی به اندازه یک واحد افزایش می‌یابد.

$$v = a(z - b)^2 \quad (2)$$

$v$  فرکانس پرتو ایکس ثانویه،  $Z$  عدد صحیح مثبت و شماره اتم مورد مطالعه در جدول مندلیف و  $a$  و  $b$  ثابت‌های این رابطه خطی هستند.  $Z$  بعدها به عنوان عدد اتمی یا تعداد پروتون‌ها نامیده شد که همان تعداد ذرات باردار هسته است که توسط ارنست رادرفورد قبلاً پیشنهاد شده بود. موزلی کاشف تعداد پروتون‌ها و مفهوم عدد اتمی است. خلاقیت موزلی در این بود که فرکانس پرتو ایکس را به جای جرم اتمی بر حسب شماره اتم رسم کرد و بدین ترتیب رابطه خطی که منجر به تعیین تعداد پروتون‌ها شد را کشف کرد.

این مطالعات نشان داد که بسیاری از عناصر در تولید پرتو ایکس ثانویه شبیه یکدیگر عمل می‌کنند و نشر پرتو ایکس خطی یا ثانویه به دلیل انتقالات الکترونی از لایه‌های بالاتر به ترازهای پایینی و نزدیک به هسته مانند  $K$ ،  $L$  و  $M$ ... می‌باشد و تفاوت این پرتوها در فرکانس آنهاست و فرکانس این پرتوها نیز به عدد اتمی آنها بستگی دارد. موزلی شایستگی دریافت جایزه نوبل را پیدا کرده بود اما متأسفانه در سال ۱۹۱۵ در جریان جنگ جهانی اول و در سن ۲۸ سالگی در اثر اصابت گلوله به سرش کشته شد. او با درجه ستوانی در بخش مهندسی ارتش بریتانیا مشغول خدمت سربازی بود. در سال ۱۹۱۷ جایزه نوبل به بارکلا اعطا شد دانشمندی که کارهایش مقدمه کشف بزرگ موزلی بود او پرتو ایکس ثانویه یا مشخصه یا خطی عناصر را قبل از موزلی کشف کرده بود (شل، ۲۰۰۶). در سال ۱۹۲۰ آرتور کامپتون<sup>۱</sup> مشاهده کرد که پرتو ایکس تک فام یا خطی در هنگام برخورد با عناصر مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد و با انرژی کمتری پراکنده می‌شود که امروزه به نام

<sup>1</sup> Arthur Holly Compton

اثر کامپتون شناخته می‌شود. کامپتون بیان کرد هنگامی که پرتو ایکس به الکترون‌های تراز ظرفیت اتم‌های سبک هدف برخورد می‌کند به اطراف پراکنده می‌شود اما مقداری از انرژی خود را به آن الکترون می‌دهد و در واقع یک برخورد غیرالاستیک بین الکترون و پرتو ایکس انجام می‌شود. کشف اثر کامپتون در واقع ماهیت ذره‌ای تابش پرتو ایکس را نشان می‌دهد در حالی که در سال ۱۹۱۲-۱۳ براگ با انجام آزمایش تداخل پرتو ایکس دانشمندان را به موجی بودن این پرتو متقاعد کرده بود. لورنس براگ اصرار داشت که آن‌ها هم خواص موجی و هم خواص ذره‌ای دارند. کامپتون برای این کشف بزرگ جایزه نوبل ۱۹۲۷ را دریافت کرد (اسموس، ۱۹۹۵، ص. ۱۰). تناقض دوگانه پرتو ایکس و سایر نورها در سال ۱۹۲۳ توسط لویی دوبروی<sup>۱</sup> حل شد او بیان کرد که هر ذره متحرک از جمله الکترون، فوتون، پروتون، اتم‌ها و حتی اجسام بزرگ دارای طبیعت دوگانه موج-ذره می‌باشند که در برخی آزمایش‌ها خواص موجی و در برخی دیگر خواص ذره‌ای آنها آشکار می‌شود و بدین ترتیب مفهوم موج-ذره بوجود آمد. دوبروی پایان‌نامه دکترای خود را با این محتوا و مفهوم ارائه کرد که ابتدا پذیرفته نشد او نسخه‌ای از پایان‌نامه خود را برای انیشتین ارسال کرد و پس از تایید انیشتین، مدرک دکترای او اعطا شد. براساس نظریه دوبروی ذرات متحرک دارای یک حرکت موجی هستند که می‌توان با طول موج یا فرکانس آن انرژی ذره را نیز محاسبه کرد البته اگر سرعت حرکت ذرات بیش از یک درصد سرعت نور باشد می‌توان رفتار جسم را بصورت یک معادله موج بیان کرد و از معادله این موج، انرژی، سرعت، تکانه و ... آن را حساب کرد. پس از این نظریه یک زمینه پژوهشی جدید به نام مکانیک موجی در فیزیک ایجاد شد که ارتباط بین انرژی، سرعت و ... ذرات را با استفاده از قوانین مربوط به امواج تبیین می‌کرد. دوبروی موفق به کسب جایزه نوبل ۱۹۲۹ شد. اعتبار و درستی نظریه دوبروی با آزمایش پراش الکترون‌ها در بلور توسط جرج پاجت تامسون<sup>۲</sup> در سال ۱۹۲۷ تایید شد. در این آزمایش الکترون‌های پرسرعت پس از برخورد به بلور، دایره‌های روشن و تاریک تولید می‌کردند که مشابه الگوی پراش نور مرئی و پرتو ایکس بود. این آزمایش نشان داد که ذرات الکترون رفتار موجی نیز نشان می‌دهند (دوبروی، ۱۹۲۹). از سال ۱۹۲۰ به بعد از لوله‌های خلاء جدیدی استفاده می‌شود که به آن‌ها لوله خلاء الکتریکی می‌گویند در این لوله‌ها از یک کاتد داغ استفاده می‌شود که در اثر گرما تعداد قابل توجهی الکترون طی فرآیندی به نام ترمیونی منتشر می‌کنند لذا می‌توانند در ولتاژهای پایین‌تر نیز کار کنند. این لوله‌ها جایگزین لوله‌های کروکس قدیمی شدند زیرا مصرف انرژی کمتر و کارایی بیشتری در تولید پرتو ایکس دارند.

1 - Louis Victor Pierre Raymond de Broglie

2 - Sir George Paget Thomson

- ✓ در سال ۱۹۲۳ روان گلوکر<sup>۱</sup> از لبه جذب عناصر در طیف‌سنجی جذب پرتو ایکس استفاده کرد.
  - ✓ ۱۹۲۴ سولر از ابزارهای موازی‌ساز برای یکنواخت کردن و همگرایی پرتوهای ایکس در طیف‌سنجی‌ها استفاده کرد.
  - ✓ ۱۹۲۸ گایگر و مولر آشکارسازهای یونش‌گازی را توسعه دادند آنها با افزایش ولتاژ کارایی و حساسیت آشکارسازها را به میزان زیادی افزایش دادند.
  - ✓ ۱۹۳۸ هیلگر و واتس اولین طیف‌سنج پرتو ایکس تجاری را تولید کردند.
- در سال ۱۹۵۶ کریگ و واتسون با طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس ساختار مارپیچی رشته‌های DNA در سلول‌ها را کشف کردند (برتین، ۲۰۱۳، ص. ۲).

### منابع

- جمالی زواره، بتول، نصر، احمدرضا، آرمند، محمد، نیلی، محمدرضا. (۱۳۸۸). تبیین معیارهای محتوایی تألیف و تدوین کتابهای درسی دانشگاهی، نشریه پژوهش و نگارش کتب دانشگاهی، ۱۴(۱)، ۳۱.
- رضی، احمد (۱۳۸۸). شاخصهای ارزیابی و نقد کتابهای درسی دانشگاهی، سخن سمت، ۱(۲۱)، ۳۰-۲۱.
- ملکی، حسن. (۱۳۸۴). برنامه ریزی درسی: راهنمای عمل. ویرایش هفتم. مشهد: انتشارات پیام اندیشه، -۲۴۰، ۱۲۳.
- Anastas, P. T. and Zimmerman, J. B. (2018). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute?. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 150-153
- Assmus, A. (1995). Early history of X rays. *Beam Line*, 25(2), pp.10-24.
- Baigrie, B. S. (2007). *Electricity and magnetism: a historical perspective*. Greenwood Publishing Group. P2.
- Bertin, E. P. (2013). Introduction to X-ray spectrometric analysis. Springer Science & Business Media. pp 2-4.
- Bragg, W. H., & Bragg, W. L. (1924). X rays and crystal structure. G. Bell and sons, Limited.

---

<sup>1</sup>Roan Glocker

- Buchwald, J. Z., & Warwick, A. (Eds.). (2004). Histories of the electron: the birth of microphysics. MIT Press. pp. 21-24.
- Chomicki, O. A. (1996). Early years of Röntgen's discovery. *Reports of Practical Oncology*, 1(1), pp. 1-6.
- Davy, H. (1808). XXIII. Electro-chemical researches, on the decomposition of the earths; with observations on the metals obtained from the alkaline earths, and on the amalgam procured from ammonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (98), pp. 333-370.
- De Broglie, L. (1929). The wave nature of the electron. Nobel lecture, 12, pp. 244-256.
- Hessenbruch, A. (2002). A brief history of x-rays. *Endeavour*, 26(4), pp. 137-141.
- Lindgaard-Andersen, A., & Gerward, L. (1995). Röntgen centenary-100 years of X-rays. *Radiation Physics and Chemistry*, 46(3), pp. 299-302.
- Riesz, P. B. (1995). The life of Wilhelm Conrad Roentgen. *AJR. American journal of roentgenology*, 165(6), pp. 1533-1537.
- Rosenbusch, G. E. R. D., & Van Eekelen, A. D. K. (2019). Wilhelm Conrad Rontgen. Springer International Publishing. pp 87-113.
- Senior, K. R. (Ed.). (2009). *The 100 most influential scientists of all time*. The Rosen Publishing Group, Inc. p. 160.
- Scerri, E. R. (2006). *The Periodic Table: Its Story ad Its Significance*; New York City, New York; Oxford University Press.
- Thompson, Bruce (2003). *Introduction to open learning and instructional design for open learning*. Vancouver: Commonwealth of Learning (ACOL).
- Wayman, P. A. (1998). Stoney's Electron. *Europhysics news*, 28(5-6), 159-160.



## Designing Educational Content about the Discovery of X-ray and Development of X-ray Spectroscopy Methods with a Self-study and Historical Perspective

Alireza Karami gazafi <sup>\*1</sup>, Fereshteh Sadat Saiahi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of chemistry Shahid Rajaei teacher training university, Tehran, Iran

### Abstract

This study was conducted with the aim of production and designing of self-study educational content about the history of X-ray discovery and developing its related spectroscopic methods. This is a library research and indexing has been used as data gathering tool. It was found that in the 19<sup>th</sup> century, many scientists were interested in studying the passage of electricity through solids, liquids, gases and vacuum, and cathode ray was discovered in the margins of these studies. Many experiments were then carried out to investigate the nature of cathode ray, and in 1895, when the range of this ray was examined in the air, X-ray was accidentally discovered. Physicians were amazed at the nature of X-rays and used them to study the structure of crystals and atoms, and physicians used them to study the human body and to diagnose and treat diseases. In 1896 the intensity of these rays was measured. In the years 1905-1909, characteristic X-rays were discovered and studied. Their electromagnetic nature was then proved by experiments. In 1913, these beams were used as the standard method for identifying crystals. In the 1920s, new spectrometers were developed to measure and detect the structure of matter, and in 1956, X-ray spectroscopy revealed the spiral structure of DNA strands in cells.

**Keywords:** Educational content ,Discovery of X-ray, Cathode ray, Roentgen, Diffraction spectroscopy.

---

\*Corresponding Author: (✉ [arkaramigazafi@gmail.com](mailto:arkaramigazafi@gmail.com))