



زیست‌شناسی پرتوی

(رشته زیست‌شناسی)

دکتر صفیه صوفیان دکتر سعید رضایی زارچی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

پیشگفتار.....	پانزده
مقدمه.....	هفده
فصل اول: ساختمان اتم.....	۱
اتم.....	۱
ساختمان هسته.....	۴
ذرات بنیادی.....	۵
فوتونها.....	۶
لپتونها.....	۶
نوترینو.....	۶
هادرورها.....	۸
الف) باریونها.....	۸
ب) مزونها.....	۸
مومزون.....	۹
پی مزون.....	۸
کا مزون.....	۱۰
گلوئن.....	۱۰
سوالات.....	۱۲
فصل دوم: رادیوایزوتوپ.....	۱۳
طبقه بندی هسته ها.....	۱۳
طبقه بندی بر اساس پایداری هسته ها.....	۱۴
واپاشی مواد رادیو اکتیو.....	۱۷
نیمه عمر.....	۱۸
عمر میانگین.....	۲۱

۲۱	نیم لایه جاذب.....
۲۳	لایه نیمه ضخامت.....
۲۴	سوالات.....
۲۵	فصل سوم: پرتوهای هسته ای.....
۲۵	انواع پرتو.....
۲۶	وایاشی آلفا.....
۲۹	وایاشی بتا.....
۳۰	بتای منفی.....
۳۲	بتای مثبت.....
۳۳	خصوصیات پرتوهای بتا.....
۳۷	وایاشی باگیر اندازی الکترون مداری.....
۴۱	خصوصیات پرتوهای ایکس و گاما.....
۴۱	مولدهای پرتو ایکس و کاربرد آنها.....
۴۳	مدار مولد پرتو ایکس و اجزاء آن.....
۴۵	خواص پرتوهای ایکس.....
۴۸	ماهیت ذره‌ای پرتوهای ایکس.....
۴۹	پدیده فتوالکتریک.....
۵۰	پدیده جفت یونسازی.....
۵۱	شکافت هسته‌ای و تولید نوترون.....
۵۳	شکافت القا شده.....
۵۳	خصوصیات پرتو نوترونی.....
۵۴	مقایسه بین قدرت نفوذ پرتوها.....
۵۵	اثرات ایزوتوپها.....
۵۷	کاهش جذب نوترون بدون شکافت با جداسازی ایزوتوپ ها.....
۵۸	رادیونوکلیدهای مصنوعی.....
۵۹	انواع شتاب دهنده ها.....
۶۰	شتابدهنده های کاک کرافت و التن.....
۶۰	شتاب دهنده های خطی.....
۶۰	سیکلوترونها.....

۶۱	سنکروترونها.....
۶۲	راکتورها.....
۶۳	ساختمان راکتور.....
۶۴	مواد کند کننده نوترون.....
۶۴	خنک کننده ها.....
۶۵	مواد کنترل کننده شکافت.....
۶۵	غنی سازی اورانیوم.....
۶۷	سوالات.....
۷۱	فصل چهارم: کمیت ها و واحدهای اندازه گیری پرتوها.....
۷۲	واحد پرتو گیری.....
۷۲	واحد دز جذب شده.....
۷۳	دز معادل.....
۷۴	تاثیر گذاری نسبی زیست شناختی.....
۷۵	انتقال خطی انرژی.....
۷۶	دز موثر.....
۷۶	حداکثر مجاز پرتوگیری.....
۷۷	سوالات.....
۷۹	فصل پنجم: مدیریت پسمانهای پرتوزا.....
۷۹	خطرات ناشی از مواد رادیواکتیو.....
۸۰	پسمان پرتو زا.....
۸۰	فرآیندهای متراکم سازی.....
۸۰	فرایندهای جامدسازی.....
۸۱	انواع پسماندها.....
۸۲	دور ریزی و دفع نهایی پسمانهای پرتوزا.....
۸۴	سوالات.....
۸۵	فصل ششم: آشکار سازها.....
۸۵	آشکار سازی.....
۸۶	اصول کار دستگاههای آشکار ساز.....
۸۶	خصوصیات مواد بکار رفته در آشکار سازها.....

۸۷	الف) اتاقک یونیزاسیون.....
۹۰	ب) آشکارسازهای گایگرمولر.....
۹۳	گاز مورد استفاده در آشکارساز.....
۹۴	اتاقک ابر.....
۹۷	اتاقک حبابی.....
۹۷	اتاقک جرقه‌ای.....
۹۸	آشکار سازی بر اساس یونسازی در جامدات.....
۹۹	الف) آشکار سازهای نیمه رسانا.....
۱۰۰	ب) آشکارسازهای ترمولومینسانس.....
۱۰۱	ج) آشکارسازهای سنتیلاسیون.....
۱۰۴	مواد سنتیلاتور.....
۱۰۵	لامپهای فوتومولتی پلایر.....
۱۰۵	آشکار سازی بر اساس یونسازی در مایعات.....
۱۰۵	آشکار سازی بر اساس واکنش شیمیایی خاص در امولسیون حساس.....
۱۰۶	آشکارسازی با فیلم عکاسی.....
۱۰۷	طرز ساخت فیلم عکاسی.....
۱۰۷	مکانیزم اثر پرتوها بر فیلم.....
۱۰۸	اتورادیوگرافی.....
۱۱۰	اثر پرتوها بر روی لایه‌های حساس فوتوگرافی.....
۱۱۱	انواع لایه‌های حساس.....
۱۱۲	حساسیت فیلم عکاسی به پرتوها.....
۱۱۲	کاربرد فیلم عکاسی به عنوان بچ.....
۱۱۳	استفاده از فیلم برای دزیمتری پرسنل.....
۱۱۴	دزیمتری نوترونهاى کند بوسیله فیلم عکاسی.....
۱۱۴	آشکار سازهای چرنکوف.....
۱۱۴	سوالات.....
۱۱۷	فصل هفتم: رادیولیز آب
۱۱۸	فرآورده‌های اولیه رادیولیز آب.....
۱۲۰	واکنش رادیکالهای آب با گیرنده آن.....

۱۲۰	واکنش مستقیم و غیر مستقیم
۱۲۱	واکنش مستقیم
۱۲۱	واکنش غیر مستقیم
۱۲۲	باز ترکیب ، استرداد و ترمیم
۱۲۳	هدف بزرگ مولکولی در یاخته
۱۲۴	شواهد موجود برای DNA به عنوان مولکول هدف
۱۲۵	آسیبهای وارده بر DNA در اثر رادیکالها
۱۲۵	گسیختگی زنجیره در DNA
۱۲۶	اثرات وراثتی
۱۲۷	جهش های ژنی
۱۲۸	نتایج آزمون نهفته وابسته به جنس مولر
۱۲۸	نتایج آزمون بر روی موشها
۱۲۹	جهشهای ژنی اندازه گیری شده در یاخته های پستانداران
۱۳۰	سوالات
۱۳۱	فصل هشتم: اثر پرتو بر سلول
۱۳۱	اثرات عمومی پرتو بر سلول
۱۳۲	اثرات مستقیم
۱۳۳	اثرات غیر مستقیم
۱۳۳	تأثیر اشعه در مراحل مختلف چرخه سلول
۱۳۳	تغییرات ساختاری در کروموزومها
۱۳۴	شکستن کروموزوم
۱۳۵	تأثیر اشعه بر روی کروموزومها
۱۳۷	منحنی پاسخ-دز
۱۳۸	منحنی پاسخ دز S شکل یا سیگموئید
۱۳۹	منحنی پاسخ دز خطی
۱۴۰	منحنی پاسخ به دز خطی درجه دو
۱۴۱	رابطه دز و بقاء
۱۴۲	آستانه کواسی
۱۴۳	فاکتورهای موثر بر منحنی بقاء

۱۴۴	.....	اثرات زودرس و تأخیری پرتو در انسان
۱۴۴	.....	الف) اثرات پوستی
۱۴۴	.....	ب) اثرات روی عناصر خونی
۱۴۵	.....	ج) اثرات روی سلول های جنسی
۱۴۶	.....	د) اثرات روی جنین
۱۴۸	.....	آثار تأخیری
۱۴۸	.....	اثر دیر رس بر روی بدن
۱۴۹	.....	اثرات قطعی و احتمالی پرتوها
۱۴۹	.....	سوالات
۱۵۱	.....	فصل نهم: اثرات پرتو بر بافتها
۱۵۱	.....	حساسیت بافتها نسبت به پرتوها
۱۵۲	.....	اثر بر روی بیضه و تخمدان
۱۵۲	.....	تأثیر اشعه بر روی مغز
۱۵۳	.....	تأثیر اشعه بر روی چشم
۱۵۳	.....	سرطان
۱۵۴	.....	دستگاه معدی - روده ای
۱۵۵	.....	اثر اشعه بر روی پوست
۱۵۶	.....	کبد
۱۵۷	.....	کلیه ها
۱۵۷	.....	ریه
۱۵۸	.....	دستگاه اعصاب مرکزی
۱۵۸	.....	چشم
۱۵۹	.....	آسیب پذیری بافت های بدن در مقابل پرتو
۱۵۹	.....	تأثیر پرتوگیری بر تمام بدن
۱۶۰	.....	اثرات ژنتیکی
۱۶۰	.....	اثرات سرطان زایی
۱۶۱	.....	درمان قطعی
۱۶۲	.....	سوالات

فصل دهم: انواع تشعشعات غیر یونساز.....	۱۶۳
تشعشعات غیر یونساز.....	۱۶۳
گستره اشعه فرابنفش.....	۱۶۴
جذب اشعه فرابنفش.....	۱۶۵
قوس الکتریکی زغال.....	۱۶۵
چراغهای بخار جیوه.....	۱۶۶
اندازه گیری اشعه فرابنفش.....	۱۶۶
خواص فیزیکی و شیمیایی اشعه فرابنفش.....	۱۶۶
کاربرد اشعه فرابنفش.....	۱۶۷
اثرات مضر اشعه ماوراء بنفش نور خورشید بر چشم انسان.....	۱۶۸
اشعه مادون قرمز.....	۱۷۰
امواج رادیویی و میکروویو.....	۱۷۰
لیزر.....	۱۷۱
عناصر اساسی لیزر.....	۱۷۲
دمنده.....	۱۷۲
محیط لیزری.....	۱۷۳
خروجی لیزر.....	۱۷۳
طرز کار یک لیزر یاقوتی.....	۱۷۳
کاربردهای لیزر.....	۱۷۵
کاربرد لیزر در پزشکی.....	۱۷۵
کاربرد های صنعتی لیزر.....	۱۷۷
برش ورقه های غیرفلزی.....	۱۷۷
برش مواد فلزی.....	۱۷۷
حکاکی قطعات.....	۱۷۸
جوش لیزری.....	۱۷۸
سخت کاری لیزری.....	۱۷۸
سوالات.....	۱۷۹
فصل یازدهم: استفاده از رادیو ایزوتوپ ها.....	۱۸۱
کاربرد در پزشکی.....	۱۸۱

استفاده در بخش تشخیص.....	۱۸۱
مبانی ماموگرافی.....	۱۸۲
تیوب اشعه ایکس.....	۱۸۴
کمپرسور.....	۱۸۴
صفحه کنترل عوامل تابش.....	۱۸۵
لیزر ماموگرافی.....	۱۸۶
برش نگاری رایانه ای.....	۱۸۷
قلب و عروق.....	۱۸۸
بیماریهای استخوان.....	۱۸۸
بیماریهای تیروئید.....	۱۸۸
عفونت یا آبسه های نامشخص.....	۱۸۹
اسکن تابشی یا PET.....	۱۸۹
استفاده در تحقیقات پزشکی.....	۱۹۱
گامادرمانی.....	۱۹۱
کبالت ۶۰.....	۱۹۲
کاربردهای اشعه گاما.....	۱۹۲
نقش کامپیوتر و تصویر برداری پیشرفته.....	۱۹۵
ایمنی اشعه گاما.....	۱۹۵
عوارض جانبی اشعه گاما.....	۱۹۶
مزایای مواد رادیو اکتیو.....	۱۹۶
کاربرد در صنعت.....	۱۹۶
آزمایشات غیر تخریبی.....	۱۹۷
کاربرد انرژی هسته‌ای در کشاورزی.....	۱۹۸
کاربرد رادیوایزوتوپ در زیست شناسی.....	۱۹۹
نشاندار کردن اسیدهای نوکلئیک.....	۲۰۲
انتقال نیک.....	۲۰۲
هیبریدیزاسیون.....	۲۰۲
هیبریدیزاسیون جنوبی.....	۲۰۳
تعیین توالی اسید نوکلئیک.....	۲۰۳

۲۰۳.....	روش ماگزام گیلبرت.....
۲۰۴.....	روش سَنجر.....
۲۰۴.....	واکنش زنجیره پلیمرآز.....
۲۰۵.....	هیبریدیزاسیون در محل.....
۲۰۵.....	ستز پروتئین.....
۲۰۶.....	نقش S – ۳۵L متیونین در تحقیقات بیولوژیکی.....
۲۰۶.....	سنجش‌های لیگاند رادیواکتیو.....
۲۰۷.....	پیوند گیرنده.....
۲۰۸.....	اتورادیوگرافی.....
۲۰۸.....	توزیع بیولوژیکی.....
۲۰۹.....	مسیرهای متابولیکی و بیوشیمیایی.....
۲۱۰.....	کاربرد در پژوهش.....
۲۱۰.....	سوالات.....
۲۱۱.....	فصل دوازدهم: فیزیک بهداشت.....
۲۱۲.....	تقسیم بندی منابع تشعشع.....
۲۱۲.....	انواع پرتوگیری.....
۲۱۲.....	حداکثر دوز مجاز.....
۲۱۴.....	سه اصل مهم حفاظت در برابر اشعه.....
۲۱۵.....	تقسیم بندی نوکلئیدها بر اساس سمیت.....
۲۱۵.....	حفاظت در برابر پرتوها.....
۲۱۶.....	رفع آلودگی از مواد رادیواکتیو.....
۲۱۶.....	محافظت کننده های پرتوی.....
۲۱۷.....	مکانیزم عمل.....
۲۱۸.....	توسعه ترکیبات موثرتر.....
۲۲۱.....	سوالات.....
۲۲۲.....	پاسخ به سوالات.....
۲۲۴.....	خود آزمایی کلی.....
۲۲۷.....	مراجع.....
۲۲۷.....	ضمیمه.....

پیشگفتار

سپاس بیکران خدای بزرگ را که توفیق عنایت کرد تا بعد از چندین دوره تدریس زیست شناسی پرتوی این کتاب را تالیف کنیم.

این کتاب برای دانشجویان کارشناسی زیست شناسی نوشته شده است و ازدو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول مطالب پایه درباره ساختمان هسته و ذرات بنیادی، مواد رادیو اکتیو و انواع واپاشی ها و خصوصیات پرتوهای یونیزان و طرز تولید مواد رادیو اکتیو، واحدهای تشعشع ونحوه برخورد با خطرات ناشی از مواد رادیو اکتیو، آشکار سازها مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. درقسمت دوم تاثیرات پرتو بر آب، ماکرومولکولهای زیستی و سلول و کاربرد مواد رادیو اکتیو در زیست شناسی و پزشکی مورد بررسی قرار می گیرد.

منبع اصلی این کتاب، کتاب زیست پرتوی پیام نور تالیف استاد محترم سرکار خانم دکتر راعی می باشد. درکتاب حاضر سعی شده است که دید نسبتا جامعی از موضوع به شکلی موجز فراهم آید و فرمولهارابه قصدروشن شدن مطلب بیان کنیم. البته برای غنی تر ساختن محتوای کتاب مطالب و شکلهای زیادی نیز از منابع متنوع دیگر به آن افزوده شده است. نکته دیگر این که در این کتاب به معرفی و تاثیرات پرتوهای غیر یونیزان مثل اشعه ماوراءبنفش، لیزر و مادون قرمز نیز پرداخته ایم. علاوه بر آن استفاده از مواد رادیو اکتیو در زیست شناسی و، پزشکی و کشاورزی نیزبحث شده است.

با توجه به دقت و تلاش همه جانبه ای که جهت احتراز از اشتباه مبذول گشته ولی با این وجود متن حاضر نمی تواند بری از اشتباه باشد. لذا از اساتید و صاحب نظران

ارجمندو دانشجویان گرامی تقاضا می شود در صورت برخورد با هرگونه نقص و اشتباه نویسندگان را مطلع نمایند تا اصلاح گردد. درخاتمه از دانشجویان زیست شناسی دانشگاه پیام نور اراک که دست نوشته ها را خوانده و پیشنهادات سودمندی ارائه کردند، صمیمانه تشکر می کنیم و سپاسگزاریم.

صوفیان - رضایی زارچی

عضوهیئت علمی زیست شناسی پیام نور اراک

عضوهیئت علمی زیست شناسی پیام نور یزد

مقدمه

علم زیست شناسی پرتوی^۱ یا رادیوبیولوژی به بررسی اثرات پرتوها اعم از الکترومغناطیس یا ذره ای بر موجودات زنده می پردازد. زیست شناسی پرتوی در سال ۱۸۹۵ با کشف پرتو ایکس توسط رونتگن^۲ آغاز شد. رونتگن یافته خود را در یک سخنرانی عمومی اعلام داشت. اوج این سخنرانی هنگامی بود که رونتگن، استاد تشریح سوئیسی رودلف فون کولیکر^۳ را از میان حاضرین فرا خواند و از دست این مرد هشتاد ساله با اشعه ی X عکس برداری کرد. هنگامی که معلوم شد تمامی ساختمان استخوان های انگشتان و مچ فون کولیکر نمایان است تمام حاضرین ایستادند و برایش دست زدند. خبر کشف هیجان انگیز رونتگن به سرعت در سراسر اروپا و آمریکا پخش شد. ایجاد اشعه ی X آن قدر آسان بود که به زودی کاربرد عملی پیدا کرد. فقط چهار روز پس از رسیدن خبر کشف رونتگن به آمریکا، با اشعه ی X توانستند محل یک گلوله را در پای مجروحی پیدا کنند.

داستان های شگفتی در مورد خواص عجیب این اشعه در مطبوعات انتشار می یافت. پزشکان از بیماران، اقوام و همکاران خود برای نشان دادن ساختمان عادی بدنشان و تجسس برای موارد غیر عادی یا تنها به منظور حس کنجکاوی عکس می گرفتند.

اولین مورد راجع به خطرناک بودن اشعه ۴ ماه پس از سخنرانی اولیه رونتگن توسط دکتر دانیل ارائه شد. او گزارش داد تابش پرتو X به مجموعه یکی

1. Radiobiology
2. Roentgen
3. Rudolf von Kolliker

از همکارانش منجر به ریزش موی او شده است. بروز التهاب و زخمهای پوستی در دست پزشکانی که لوله های کاتودیک مولد اشعه X را در دست می گرفتند، نیز یکی دیگر از نشانه های خطرات پرتو ایکس بود که متأسفانه در آن زمان توجهی به این مسئله نشد.

گام بعدی در انقلاب جدید علمی، در پی کشف رونتگن حاصل شد. هانری بکرل^۱، دانشمند فرانسوی، زمانی که مشغول تحقیق بر روی مواد دارای خاصیت فسفرسانس بود متوجه شد که تأثیر نور مرئی و سنگ معدن اورانیوم (سولفات پتاسیم اورانیوم) بر روی یک فیلم عکاسی بسته بندی شده یکسان است. (بعدها مشخص شد که سنگ معدن اورانیوم از خود پرتوهای آلفا و گاما گسیل کرده و چون پرتوهای گاما همان پرتوهای X پرنرژی هستند و از جنس نور یا امواج الکترومغناطیسی اند، بنابراین اورانیوم، چنین تأثیری بر روی فیلم عکاسی بسته بندی شده وی گذاشته است).

ماری کوری^۲ اکتشافات رونتگن و بکرل را با علاقه زیادی دنبال می کرد و در ۱۶ دسامبر ۱۸۹۷ به مطالعه ی اشعه حاصل از سولفات پتاسیم اورانیوم پرداخت که تکرار آزمایش بکرل بود.

ماری با اشاره به این اشعه در دفتر آزمایشگاهی اش اصطلاح رادیو اکتیویته^۳ را به کار برد. کوری هم مانند بکرل تأیید کرد که رادیو اکتیویته وقتی از هوا می گذرد آن را "برق زده"^۴ می کند. هوا یونیزه شده و می توانست الکتریسیته را هدایت کند. هر چه که رادیو اکتیو شدیدتر می شد، یونیزاسیون افزایش می یافت. با این حال مقدار یونیزاسیون در حدود $10^{-12} \times 50$ آمپر بود. این مقدار به دستگاه اندازه گیری بسیار دقیقی نیاز داشت.

ماری کوری شروع به بررسی ترکیبات مختلف اورانیوم کرد و متوجه شد که یک نوع سنگ معدن اورانیوم بسیار رادیو اکتیو بوده و $10^{-12} \times 83$ آمپر

1. Becquerel
2. Curi
3. Radio activity
4. Electrocutation

الکتریسته ایجاد می‌کرد و از طرف دیگر بعضی از نمک های اورانیوم فقط^{۱۲}-
 $10 \times 3/0$ آمپر الکتریسته ایجاد می کردند. اما آیا این خاصیت فقط منحصر به
 اورانیوم بود؟ ماری کوری آزمایش هایی را با اتم هایی که وزن اتمی مشابه
 داشتند شروع کرد. فقط اورانیوم نبود که این خاصیت را داشت. تورיום^۱ نیز
 رادیواکتیو بود. در همین حین ماری کوری خاصیت پرتوزایی^۲ را کشف کرد و
 تعداد محدودی ماده پرتوزا مانند پولونیم^۳ که از نام لاتین لهستان محل تولد ماری
 کوری گرفته شده و رادیم و باریوم را به جهان علم معرفی کرد و نام های کنونی
 چون رادیواکتیو (پرتوزا) یا رادیواکتیویته (پرتوزایی) را برگزید و منتشر ساخت.
 در آن زمان، اطلاعات بشر در مورد این مواد بسیار کم بود و رادیو اکتیویته
 دانش را به دوران جدیدی هدایت می کرد.

در این حین رادرفورد^۴ فیزیکدان نیوزلندی به مواد رادیواکتیو جدید
 علاقه مند شد. ارنست رادرفورد در سال ۱۸۹۵ به آزمایشگاه کاوندیش دانشگاه
 کمبریج آمد تا در آنجا تحت مدیریت تامسون مشغول به کار شود، تامسون که
 استاد فیزیک تجربی بود، رادرفورد را فعالانه در آزمایشگاه به کار گرفت.
 رادرفورد در اوایل کار تحقیقاتی خود با انجام آزمایشی که فکر آن از خود وی
 بود دو تابش رادیواکتیو ناهمانند را شناسایی کرد. او پی برد که بخشی از تابش
 با برگه ای به ضخامت یک پانصدم سانتی متر قابل ایستادن بود اما برای متوقف
 کردن بخش دیگر برگه های بس ضخیم تری لازم بود. او اولین اشعه ای را که
 تابشی با بار الکتریکی مثبت و یونیزه کننده ای قوی بود و به سهولت در مواد
 جذب می شد را اشعه آلفا نامید. اشعه دوم را که تابشی با بار الکتریکی منفی بود
 و تشعشع کمتری ایجاد می کرد اما قابلیت نفوذ آن در مواد زیاد بود را اشعه بتا
 نامگذاری کرد. تابش نوع سومی که شبیه پرتوهای ایکس بود، در سال ۱۹۰۰
 بوسیله پل اوریچ ویلارد (فیزیکدان فرانسوی) کشف شد، این پرتو نافذترین

1. Thorium
 2. Radioactive
 3. Polonium
 4. Rutherford

تابش را داشت. طول موج آن بسیار کوتاه و فرکانس آن فوق العاده زیاد بود تابش جدید، پرتو گاما نام گرفت. رادرفورد و همکارانش کشف کردند که فعالیت تشعشعی طبیعی مشهود در اورانیوم، فرآیند خروج ذره آلفا از هسته اتم اورانیوم بصورت یک هسته اتم هلیم و برجای ماندن اتمی سبک تر از اتم اورانیوم است. از کشف آنها نتیجه‌گیری شد که رادیوم تنها عنصر از عناصر حاصل از فعالیت تشعشعی اورانیوم است.

در سال ۱۹۰۲ رادرفورد مقاله‌ای با عنوان علت و ماهیت رادیواکتیویته منتشر کرد. در این مقاله بر تفاوت اساسی بین اشعه X و رادیواکتیویته تاکید شده بود که تا آن زمان به نظر می‌رسید بسیار شبیه هم باشند. هنگامی اشعه ی X تولید می‌شد که یک ماده بمباران می‌شد. در حالی که رادیواکتیویته به طور خود به خودی ایجاد می‌شد. رادرفورد در سال ۱۹۰۴ نخستین کتاب خود به نام فعالیت تشعشعی را که امروزه از کتب کلاسیک در زمینه رادیواکتیویته شناخته می‌شود را منتشر کرد و به سرعت دست به کار تدوین نظریه‌های تازه درباره ساختار اتم شد. آن دوره پر ثمرترین دوره زندگی دانشگاهی او بود. رادرفورد به پاس کوشش‌های علمی خود در دانشگاه منچستر نشان‌ها و جوایز زیادی دریافت کرد که دریافت جایزه نوبل سال ۱۹۰۷ در شیمی نقطه اوج آن بود. این نشان افتخار را البته برای کارهایی که در کانادا در زمینه فعالیت تشعشعی عناصر کرده بود به او دادند. بزرگترین دستاورد رادرفورد در دانشگاه منچستر کشف ساختار هسته اتم بود. پیش از رادرفورد اتم به گفته خود او یک موجود نازنین سخت و قرمز و یا به حسب سلیقه خاکستری بود اما اینک یک منظومه شمسی بسیار ریز متشکل از ذرات بی‌شمار بود که مظنون به نهفته داشتن اسرار ناگشوده متعدد دیگر هم بود.

رادرفورد در سال ۱۹۳۷ در گذشت. او در آن هنگام ۶۶ ساله و هنوز سرزنده و قوی بود. سهم رادرفورد در شکل‌گیری درک کنونی ما از ماهیت ماده

از هر کس دیگری بیشتر است و به همین علت، او را پدر انرژی هسته ای نامیده‌اند.

مدت های طولانی چنین فرض می شد که چیزی چنین معجزه آسا و سرشار از انرژی مانند رادیواکتیویته، حتما باید مفید باشد. چند سال نیز تولیدکنندگان خمیردندان و داروهای ملین به محصولات خودشان تورיום رادیو اکتیو می افزودند و دست کم تا اواخر دهه ۱۹۲۰ هتل ها در منطقه فینگرلینکز نیویورک اثرات درمانی چشمه های آب معدنی رادیواکتیو خود را با غرور به مردم نمایش می دادند. استفاده از رادیواکتیو تا سال ۱۹۳۸ ممنوع نشده بود. یعنی بیش از ۴۰ سال زمان نیاز بود تا آدمی به طور جدی متوجه خطرات عناصر رادیو اکتیو شود.

این زمان برای ماری کوری بسیار دیر شده بود، چون در سال ۱۹۳۴ بر اثر ابتلا به سرطان خون در گذشته بود. به عبارت دقیق تر تشعشع چنان خطرناک و دارای اثرات ماندگار است که حتی امروزه یادداشتهای روزانه ماری کوری به قدری خطرناکند که نباید به آنها دست زد. کتابهای ماری کوری در جعبه های دارای آستر سربی نگهداری می شوند و کسانی که بخواهند آن ها را ببینند باید لباس ایمنی بپوشند.

پرتوهای گسیلی ایرادیوم و دیگر عناصر پرتوزا بسیار پرانرژی اند. آنها می توانند سلولهای زنده را نابود کرده و موجب سوختگی شدید شوند و به بافت های داخلی آسیب برسانند. کوری ها و همکارانشان در تحقیقات پرتوزایی از برخی از این آثار زیست شناختی آگاه بودند، اما خطرهای موجود را سطحی در نظر گرفته و آسیب های روی سلامتی را دست کم می گرفتند.

شکافت هسته ای برای اولین بار در سال ۱۹۳۹ توسط اتوهان^۱ و لیزمیتنر^۲ در انیستیتوی شیمی ویلهلم در برلین کشف شد. نتایج بمباران اورانیوم به وسیله نوترون، هم جالب بود و هم سؤال برانگیز. این آزمایش اولین بار در سال ۱۹۳۴

1. Otto Hahn
2. Lise Meitner

توسط انریکو فرمی^۱ و همکارانش انجام شد اما تا سالها بعد نتوانستند آن را به خوبی تفسیر کنند.

نیلز بوهر^۲ در ۱۶ ژانویه سال ۱۹۳۹ از کپنهاگ دانمارک به ایالات متحده آمد و در پرینستون به سراغ اینشتین رفت تا خبر های نگران کننده و هشدار دهنده ای را با او در میان نهد. فرمول $E=mc^2$ با مدارک قاطعی تأیید شده بود. (سال بعد بوهر مجبور شد برای فرار از دست نازیها به سوئد فرار کند) درست قبل از اینکه بوهر دانمارک را ترک کند دو تن از همکارانش به نام اتورابرت فریچ^۳ و لیز میتنر که هر دو درباره تحقیقاتشان با بوهر صحبت کرده بودند. آنها حدس زده بودند که احتمالاً جذب یک نوترون توسط هسته اورانیوم در برخی موارد منجر به شکسته شدن هسته به دو بخش تقریباً مساوی همراه با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی خواهد شد فرآیندی که آنها اسمش را "شکافت" گذاشتند. و به زودی قادر به ساختن بمبی با قدرت باورنکردنی می شدند. اینشتین در نامه ای این اطلاعات را در اختیار پرزیدنت روزولت، رئیس جمهور وقت آمریکا قرارداد. روزولت بدون اطلاع اینشتین، به طرز محرمانه ای پروژه منهن را برای ساختن نخستین بمب اتمی راه اندازی کرد.

در دوم دسامبر ۱۹۴۲، در یک زمین اسکواش زیر استادیوم دانشگاه شیکاگو، اولین واکنش هسته ای و زنجیره ای خود بخود، ساخته دست بشر انجام گرفت. این پروژه موفق به ساخت اولین بمب هسته ای شد که در ۱۶ ژوئیه ۱۹۴۵ در صحرای الاموگروود واقع در ایالت نیومکزیکو آزمایش شد. شاهدانی که از فاصله صد کیلومتری این رویداد را دیده بودند، مشاهدات خود را اینگونه گزارش کردند که آنها دیده اند که "خورشید ناگهان از سمت مغرب طلوع و بلافاصله غروب نمود" در حقیقت برای این شاهدان، انفجار هسته ای همانند طلوع و غروب خورشید جلوه گر شده بود.

1. Enrico Fermi
2. Niles Bohr
3. Otto Robert Frich

بمب‌های اتمی که متعاقباً در سال ۱۹۴۵ بر روی هیروشیما و ناکازاکی انداخته شدند منبعی قوی از تابش با شدت بالا به شمار می‌رفت. در هیروشیما تعداد کشته شدگان ۲۷۰۰۰۰ نفر و تعداد زخمیهای شدید ده‌ها هزار نفر گزارش شد. درجه حرارت منطقه انفجار بقدری بود که تا شعاع یک کیلومتری مرکز انفجار، تمام خانه‌های چوبی و سنگی کاملاً سوختند و قشر خارجی آجرها و سنگ‌های عمارات ذوب شده بودند. از ۷۵ هزار خانه هیروشیما ۵۵ هزار خانه بکلی سوخت، ۲۶۰۰ خانه نیم سوز شد، ۶۸۲۰ خانه منهدم و ۳۷۵۰ خانه نیمه خراب گردید. در کل ۹۰٪ شهر تخریب شد. فقط معدودی از سکنه اطراف شهر از این بلا جان به در بردند، که هنوز بازماندگان آنان از اثرات زیان بخش تشعشعات هسته‌ای آن رنج می‌برند. در ناکازاکی انفجار سبب هلاکت، سوختگی، شکستگی، زخم‌های عمیق، جنون و انواع بیماری‌های مهلک و غیر قابل علاج توده وسیعی از مردم ژاپن گردید. در دو هفته بعد از انفجار، بیماری مرگبار جدیدی به نام آتم با علائم (ریزش مو خونریزی زیر جلد و مخاط و اعضای درونی، لوکوپنی زخم‌های داخل دهان، تب و اسهال و ...) در این دو شهر شیوع پیدا کرد که به علت عاجز ماندن علم پزشکی از مداوای بیماران، پس از چند هفته ۵۰٪ بیماران تلف شدند. این دو فاجعه تاریخی باعث شد که کشور ژاپن در برابر متفقین به زانو در بیاید و جنگ جهانی دوم خاتمه یابد. و به این ترتیب اوت ۱۹۴۵ را به صورت لکه سیاهی در تاریخ بشریت ثبت کرد.

هنگامی که آلبرت انیشتین متوجه کاربرد ویرانگر معادله ($E=mc^2$) خود شد، گفت: "ای کاش آهنگر شده بودم". انیشتین مبارزه‌ای جهان گستر را برای غیر قانونی کردن جنگ افزارهای هسته‌ای به راه انداخت. در سال ۲۰۱۱ با سونامی ژاپن، ید ۱۳۱ و سزیم ۱۳۷ به اقیانوس سرریز شد. موادنیروگاه‌های هسته‌ای مانند پتاسیم، ید و کلسیم در محدوده نیروگاه مواد زیان آور برای موجودات آبی نشت کرد. و ابرهای آلوده به مواد رادیو اکتیو در ژاپن کشورهایی اروپایی را پوشاندند. و بار دیگر بشر با طرف تاریک مواد رادیواکتیو روبرو شد.