FROM RESEARCH
TO INDUSTRY

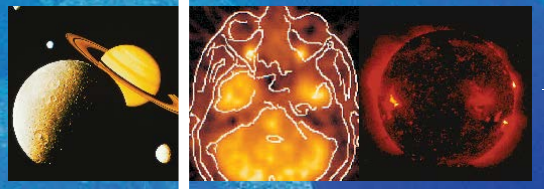
از این مجموعه

۱ ← اتم
۲ ← پرتوزایی
۳ ← تابش و انسان
٤ ← انرژی
٥ ← انرژیِ هسته‌ای: گداخت و شکافت
٦ ← یک ری‌اکتور هسته‌ای چه‌طور کار می‌کند
۷ ← چرخه‌ی سوخت هسته‌ای
۸ ← میکروالکترونیک
۹ ← لیزر: نوری متمرکز
۱۰ ← تصویربرداریِ پزشکی
۱۱ ← نجومِ هسته‌ای
۱۲ ← هیدروژن

برگردان به فارسی

ایوب بنوشی

۲ ← پرتوزایی



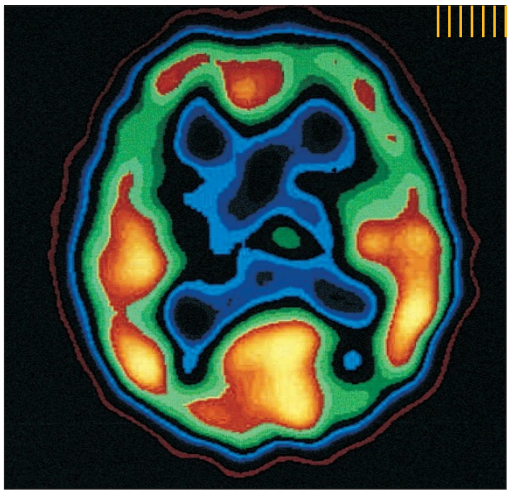
تعریف پرتوزایی
خاستگاه عناصرِ پرتوزا
کاربردهای پرتوزایی

© Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Energies Alternatives,
2005 Communication Division
Bâtiment Siège - 91191 Gif-sur-Yvette cedex
www.cea.fr

ISSN 1637-5408.

پرتوزایی

تعریف پرتوزایی	**۴**
پرتوزایی، ویژگیِ ذاتیِ بعضی اتم‌ها	۵
یکاهای اندازه‌گیریِ پرتوزایی	۶
واپاشیِ پرتوزا	۷
انواع گوناگونِ تجزیه	۹
خاستگاهِ عناصرِ پرتوزا	**۱۱**
ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی	۱۲
ایزوتوپ‌های پرتوزای مصنوعی	۱۳
کاربردهای پرتوزایی	**۱۴**
ردیاب‌های پرتوزا	۱۵
عمرسنجی	۱۹



© CEA/DSV

تصویرِ مغز که با استفاده از مقطع‌نگاریِ گسیلِ پوزیترون به‌دست آمده است.

© CEA

پرتوزایی برای تعیین عمرِ آثار به‌جامانده‌ی تاریخی و پیش از تاریخ به‌کار می‌رود.

طراحی و تولید توسط Spécifique - Cover photo by © PhotoDisc - Illustrations by YUVANOE - Printed by Imprimerie de Montligeon - 04/2005

© Roger-Viollet

از چپ به راست:
هنری بکرل
ویلیام رونتگن
پیر و ماری کوری

”پرتوزایی را انسان اختراع نکرد. پرتوزایی پدیده‌ای طبیعی است که در پایان سده‌ی نوزدهم میلادی کشف شد.“

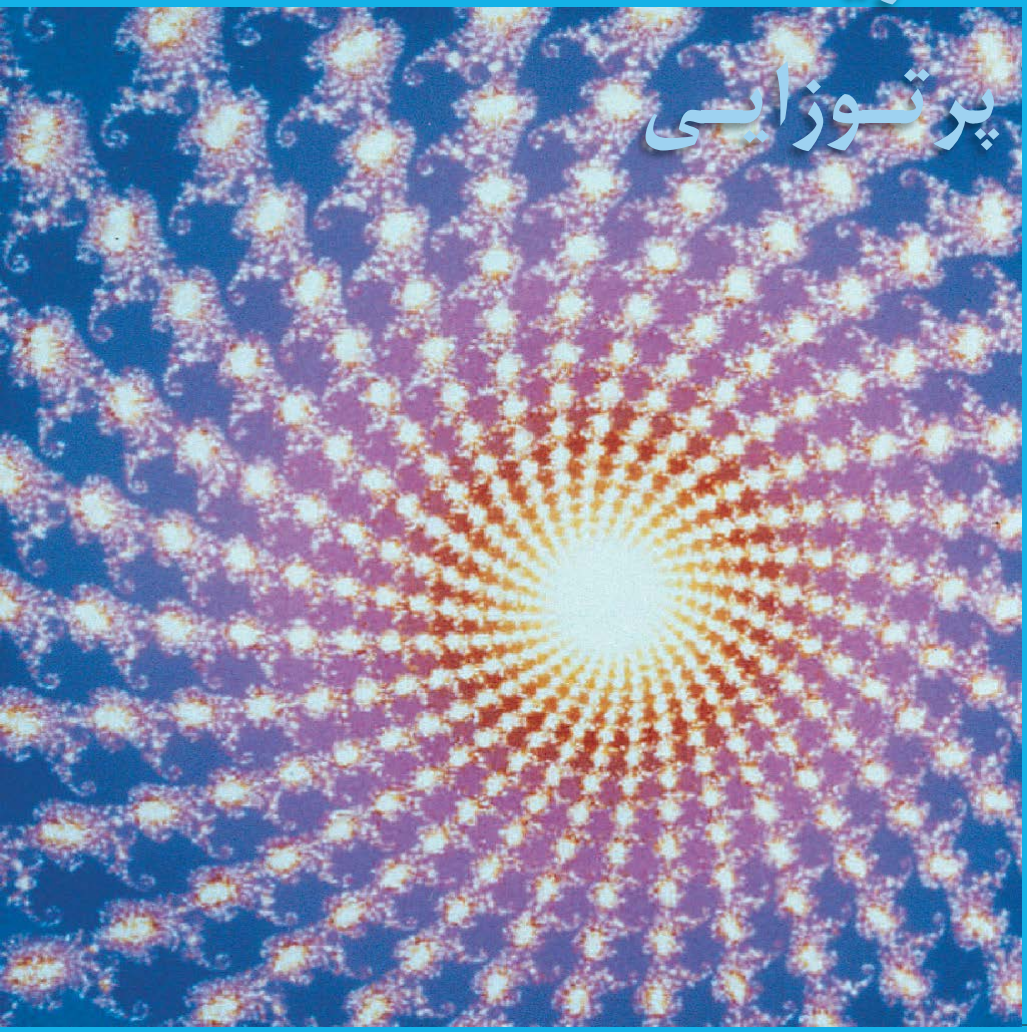
مقدمــه

پرتوزایی را انسان اختراع نکرد. پرتوزایی بالغ بر یک سده پیش، در ۱۲۷۵ ه.ش. (۱۸۹۶ م.)، توسط هنری بکرل، فیزیک‌دانِ فرانسوی کشف شد. او تلاش می‌کرد دریابد که پرتوهای گسیلی از نمک‌های اورانیمِ فلوروسنت همان پرتوهای ایکسی، که یک سالِ قبل ویلیام رونتگن فیزیک‌دانِ آلمانی کشف کرده بود، است یا نه. او گمان می‌کرد که نمک‌های اورانیم، پس از تحریکِ نوری، این پرتوهای ایکس را گسیل می‌کنند.

شگفتیِ او را تصور کنید، وقتی، در ماهِ مارس ۱۸۹۶ میلادی در پاریس، کشف کرد که بر فیلمِ عکاسی در نبودِ آفتاب هم پرتوی تابیده است! او نتیجه گرفت که اورانیم خودبه‌خود و همواره تابشی نامرئی و متفاوت از پرتوِ ایکس گسیل می‌کند. این کشف او پرتوزایی (از ریشه‌ای یونانی به‌معنای پرتو) نام گرفت. به‌دنبال کارِ هنری بکرل، پیر و ماری کوری در ۱۲۷۷ ه.ش. دو عنصر پرتوزای ناشناخته‌ی پلونیم و رادیم را از کانه‌ی اورانیم جدا کردند.

پرتوزایی تغییر یک اتم همراه با گسیلِ پرتوهایی است

تعریف پرتوزایی



© Artechnique

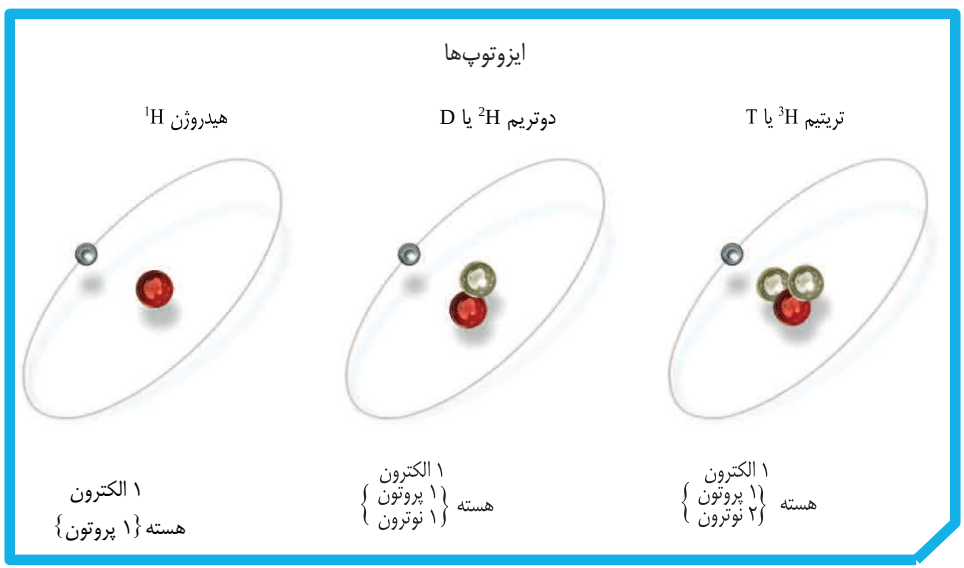
پرتوزایی، ویژگیِ ذاتیِ بعضی اتم‌ها

در طبیعت، هسته‌ی بیش‌ترِ اتم‌ها پایدار است. با وجود این، بعضی اتم‌ها، به‌واسطه‌ی فزونیِ پروتون‌ها یا نوترون‌ها یا هر دو، هسته‌های ناپایداری دارند. این اتم‌ها با پرتوزایی توصیف می‌شوند و به ایزوتوپ‌های پرتوزا یا هسته‌گونه‌های پرتوزا معروف‌اند.

هسته‌های اتم‌های پرتوزا خودبه‌خود به هسته‌های اتم‌های دیگری، که شاید پرتوزا باشند شاید نه، تبدیل می‌شوند. برای نمونه، اورانیم ـ ۲۳۸ پیاپی به هسته‌های پرتوزای گوناگونی تبدیل می‌شود تا به شکل پایداری، سرب ۲۰۶، درآید. این تغییر برگشت‌ناپذیرِ یک اتمِ پرتوزا به نوعی اتمِ متفاوت واپاشی نام دارد. واپاشی با گسیلِ انواع متفاوتِ تابش همراه است.

پس، یک عنصرِ شیمیایی می‌تواند هم ایزوتوپ‌های پرتوزا داشته باشد و هم ایزوتوپ‌های غیرپرتوزا. برای مثال، کربن ـ ۱۲ پرتوزا نیست، اما کربن ـ ۱۴ پرتوزا است. چون پرتوزایی تنها هسته‌ها

اتم‌هایی با تعدادِ پروتون‌های یکسان و تعداد نوترون‌های متفاوت. این اتم‌ها به یک عنصر شیمیایی تعلق دارند (کتابچه‌ی اتم را بنگرید).
کربن ـ ۱۲ (شش نوترون) و کربن ـ ۱۴ (هشت نوترون) دو ایزوتوپِ کربن هستند.



"یکاهای گوناگونی برای سنجشِ پرتوزایی و پیامدهای تابشِ یونیزان به‌کار می‌رود: بکرل، گری، سیورت، و کوری"

را تغییر می‌دهد و نه الکترون‌ها را، ویژگی‌های شیمیاییِ ایزوتوپ‌های پرتوزا همان ویژگی‌های ایزوتوپ‌های پایدار است.

ویژگی‌های شیمیاییِ یک اتم را تعدادِ الکترون‌های آن تعیین می‌کند (کتابچه‌ی *اتم* را ببینید).

یکاهای گوناگونِ پرتوزایی

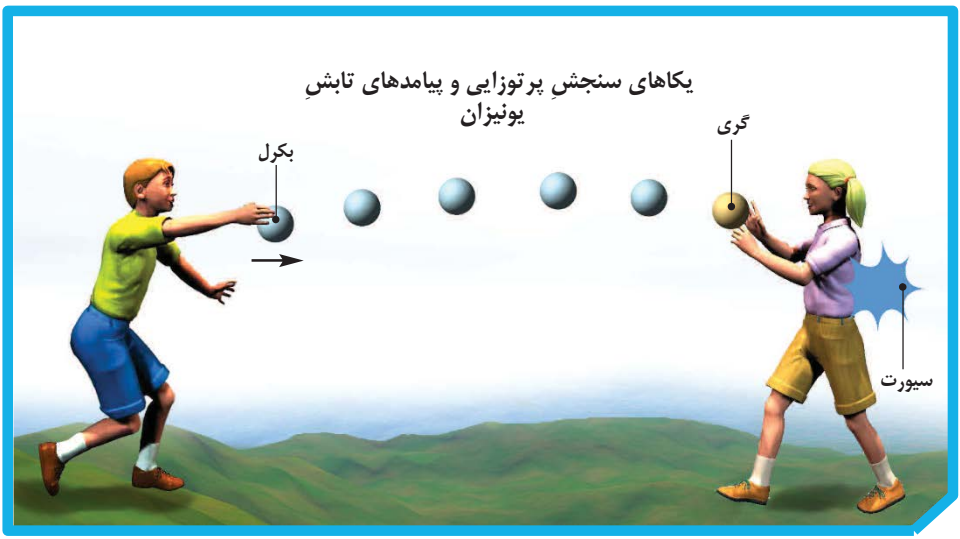
بکرل

شاخصه‌ی یک نمونه‌ی پرتوزا فعالیتِ آن است، که تعدادِ تلاشی‌ها بر واحدِ زمانِ هسته‌های پرتوزای موجود در نمونه است. یکای فعالیت بکرل (با نمادِ Bq) است.

یک بکرل = یک تلاشی بر ثانیه.

بکرل یکایی بسیار کوچک است، پس فعالیتِ چشمه‌های پرتوزا بسیاری اوقات برحسب مضاربی از بکرل

- کیلوبکرل (kBq) = ۱۰۰۰ Bq،
- مگابکرل (MBq) = ۱ میلیون بکرل،
- گیگابکرل (GBq) = ۱ میلیارد بکرل،
- ترابکرل (TBq) = ۱۰۰۰ میلیارد بکرل.



این تصویر برای رابطه‌ی بین سه یکای پرتوزایی و پیامدهای تابشِ یونیزان نمادسازی می‌کند: کودکی اجسامی را برای دوستش پرتاب می‌کند. تعداد اجسامِ پرتاب‌شده نماد بکرل (تعدادِ تلاشی‌ها بر ثانیه)؛ تعدادِ اجسامی که دوست دریافت می‌کند نمادِ گری (دُزِ جذبی)؛ و نشانه‌هایی که بر بدنِ دوست به‌جا می‌ماند، و به سنگینی یا سبکی اجسام ربط دارد، نمادِ سیورت (پیامدِ ایجاشده) می‌تواند باشد.

گری (Gy)

این یکا برای سنجشِ مقدارِ تابشِ جذب‌شده توسط موجودِ زنده یا جسمی است که در معرض تابش قرار گرفته باشد (دُزِ جذبی). گری در سال ۱۳۶۵ ه.ش. (۱۹۸۶ م.) جای راد را گرفت.

- ۱ گری = ۱۰۰ راد = ۱ ژول بر کیلوگرم از ماده‌ی تابش‌دیده.

سیورت (Sv)

پیامدهای زیستیِ تابش بر یک موجودِ زنده‌ی در معرض تابش (بسته به ماهیّتش و اندام‌هایی که پرتوگیری کرده‌اند) برحسب سیورت سنجیده، و معمولاً در قالبِ "دُز معادل" و "دُز مؤثر" بیان می‌شوند. رایج‌ترین یکای مورد استفاده میلی‌سیورت یا یک‌هزارمِ سیورت است.

کوری (Ci)

یکای قدیمیِ سنجشِ پرتوزایی کوری (Ci) بود. کوری فعالیتِ یک گرم رادیم تعریف شد. رادیم عنصری طبیعی است که در زمین درکنار اورانیم یافت می‌شود. این یکا بسیار بزرگ‌تر از بکرل است، زیرا در یک گرم اورانیم، ۳۷ میلیارد تلاشی در ثانیه رخ می‌دهد. پس یک کوری برابر است با ۳۷ میلیارد بکرل.

انواعِ گوناگونی از آشکارسازها برای آشکارسازی و سنجشِ تابشِ گسیلی از ایزوتوپ‌های پرتوزا هست؛ ازجمله لوله‌های شمارش پُر از گاز (شمارنده‌ی تناسبی، شمارنده‌ی گایگر ـ مولر، محفظه‌ی یونش)، سوسوزن‌های مجهز به فوتومولتی‌پلایر، و نیمه‌رساناها (سیلیکون، ژرمانیم، و از این قبیل).

افتِ فعالیتِ یک نمونه‌ی پرتوزا با گذشتِ زمان

۱ Bq = یک تلاشی بر ثانیه.

به‌تدریج که هسته در اثر تلاشی تبدیل می‌شوند، پرتوزاییِ نمونه کم می‌شود. قوانینِ شانس، که بر پرتوزایی حاکم‌اند، حکم می‌کنند که پس از یک مدتِ T، که به نیمه‌عمر معروف است، پرتوزاییِ نمونه نصف شود. پس از دو نیمه‌عمر، یک‌چهارمِ هسته‌های یک عنصرِ پرتوزا باقی می‌ماند. پس از سه نیمه‌عمر، یک‌هشتمِ هسته‌های یک عنصرِ پرتوزا باقی می‌ماند. پس از ده نیمه‌عمر، تقریباً یک‌هزارمِ هسته‌های یک عنصرِ پرتوزا باقی می‌ماند.

قوانینِ پرتوزایی

این آشکارسازها به‌غایت حساس هستند و عموماً سطوحی از پرتوزایی را می‌سنجند که یک میلیون بار از سطوحی که می‌توانند بر سلامتیِ ما اثر بگذارند کم‌ترند.

واپاشیِ پرتوزا

فعالیتِ یک نمونه‌ی پرتوزا با گذشتِ زمان و با نابودیِ تدریجیِ هسته‌های ناپایدارِ درونش کم می‌شود. تلاشیِ یک هسته‌ی مشخص پدیده‌ای تصادفی است.

"بسته به نوعِ هسته، پرتوزایی می‌تواند چند ثانیه، چندین روز، یا میلیاردها سال باقی بماند."

نیمه‌عمرِ چند ماده‌ی پرتوزا

عنصر شیمیایی	نیمه‌عمرِ پرتوزایی	منشأ	مکان حضور	بعضی از کاربردها
تریتیم	۱۲٫۳ سال	مصنوعی	—	گداختِ گرماهسته‌ای نشان‌گذاریِ زیستی
کربن ـ ۱۱	۲۰٫۴ دقیقه	مصنوعی	—	تصویربرداریِ پزشکی
کربن ـ ۱۴	۵۷۳۰ سال	طبیعی	ترکیباتِ کربنیِ جَو	عمرسنجی
اکسیژن ـ ۱۵	۲٫۰۲ دقیقه	مصنوعی	—	تصویربرداریِ پزشکی
فسفر ـ ۳۲	۱۴٫۳ روز	مصنوعی	—	تحقیقاتِ زیستی
گوگرد ـ ۳۵	۸۷٫۴ روز	مصنوعی	—	تحقیقاتِ زیستی
پتاسیم ـ ۴۰	۱٫۳ میلیارد سال	طبیعی	سنگ‌های مملو از پتاسیم، اسکلت	—
کبالت ـ ۶۰	۵٫۲۷ سال	مصنوعی	—	پرتودرمانی تابش‌دهیِ صنعتی پرتونگاریِ صنعتی
استرانسیم ـ ۹۰	۲۸٫۸ سال	مصنوعی	تولید در ری‌اکتورهای هسته‌ای	ضخامت‌سنج‌ها
یُد ـ ۱۲۳	۱۳٫۲ روز	مصنوعی	—	پزشکیِ هسته‌ای
یُد ـ ۱۳۱	۸٫۰۵ روز	مصنوعی	تولید در ری‌اکتورهای هسته‌ای	پزشکیِ هسته‌ای (درمان)
سزیم ـ ۱۳۷	۳۰٫۲ سال	مصنوعی	تولید در ری‌اکتورهای هسته‌ای	براکی‌تراپی
تالیم ـ ۲۰۱	۳٫۰۴ روز	طبیعی	—	پزشکیِ هسته‌ای
رادُن ـ ۲۲۲	۳٫۸۲ روز	طبیعی	گاز متصاعد از سنگ‌های گرانیتی	—
رادیم ـ ۲۲۶	۱۶۰۰ سال	طبیعی	سنگ‌های حاویِ اورانیم	—
توریم ـ ۲۳۲	۱۴ میلیارد سال	طبیعی	—	عمرسنجیِ معدنی
اورانیم ـ ۲۳۵	۷۰۴ میلیون سال	طبیعی	بعضی سنگ‌های جهان-خلقتی، سنگ‌های گرانیتی	بازدارندگیِ هسته‌ای سوخت
پلوتنیم ـ ۲۳۹	۲۴۱۰۰ سال	مصنوعی	تولید در ری‌اکتورهای هسته‌ای	بازدارندگیِ هسته‌ای سوخت

با وجود این، می‌توان به هر ایزوتوپِ پرتوزایی نیمه‌عمری نسبت داد، که مدت لازم برای ناپدیدشدن نیمی از اتم‌های پرتوزای اولیه در اثر تبدیل خودبه‌خودی است.

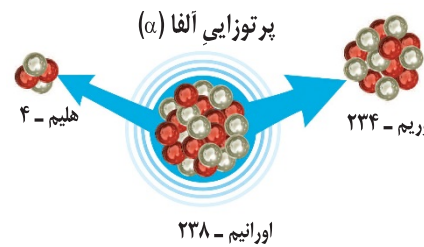
این نیمه‌عمر، بسته به هسته‌های پرتوزای مورد نظر، بسیار متغییر است و از چند ثانیه و ساعت، تا چند روز، و تا صدها میلیارد سال تغییر می‌کند.

انواع گوناگونِ تلاشی

پرتوزاییِ آلفا

تابشِ آلفا گسیلِ هسته‌های هلیمی است که دو پروتون و دو نوترون دارند. این هسته‌ها دو بارِ مثبت دارند.

اتم‌های دارای هسته‌های پرتوزایی که پروتون‌ها و نوترون‌های فراوان دارند اغلب تابشِ آلفا گسیل می‌کنند. آن‌ها به عنصرِ شیمیاییِ دیگری با هسته‌ی سبک‌تر تبدیل می‌شوند. برای نمونه، اورانیم ـ ۲۳۸ آلفاگسیل است و به توریم ـ ۲۳۴ تبدیل می‌شود.

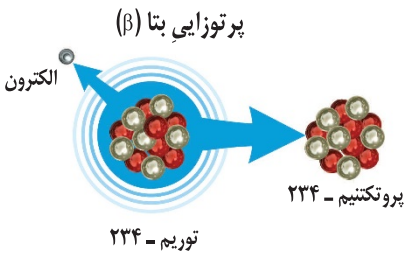


پرتوزاییِ بتای منفی

تابشِ بتای منفی حاویِ الکترون‌های با بارِ منفی است.

اتم‌های خاصی که هسته‌هایی با تعدادِ نوترون‌های بسیار زیاد دارند تابشِ بتای منفی گسیل می‌کنند. یکی از نوترون‌های درونِ هسته به یک پروتون و یک الکترون فرومی‌پاشد. الکترون بیرون می‌جهد و درنتیجه اتم به یک عنصرِ شیمیاییِ متفاوت تبدیل می‌شود.

برای نمونه، توریم ـ۲۳۴ یک بتای منفی گسیل است و به پروتکتنیم ـ ۲۳۴ تبدیل می‌شود.



"پرتوزایی با شمارش تعدادِ تلاشی‌ها در هر ثانیه در یک نمونه اندازه‌گیری می‌شود."

پرتوزاییِ بتای مثبت

تابشِ بتای مثبت از پوزیترون‌ها تشکیل می‌شود (ذره‌هایی هم‌جرم با الکترون‌ها اما با بارِ مثبت). بعضی اتم‌های با هسته‌های سنگینِ بسیار پُر ـ پروتون تابشِ بتای مثبت گسیل می‌کنند. یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود. پوزیترون پرتاب می‌شود و بدینسان، اتم به عنصرِ شیمیاییِ دیگری تبدیل می‌شود. برای مثال، ید ـ ۱۲۲ تابشِ بتای مثبت گسیل می‌کند و به تِلریم ـ ۱۲۲ تبدیل می‌شود. توجه کنید که در هر دو نوع واپاشیِ بتازا، هسته تعدادِ هسته‌نشین‌هایش را حفظ می‌کند (و بنابرین عدد اتمی ثابت است).

پرتوزاییِ گاما

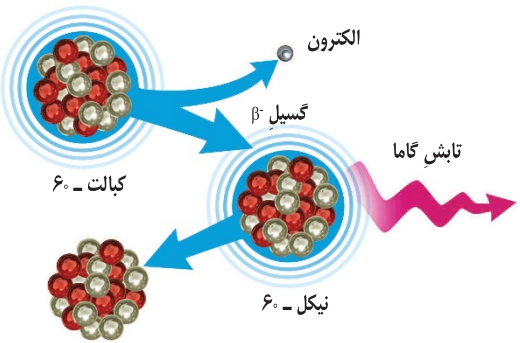
تابشِ گاما، درست مانند نورِ مرئی یا پرتوهای ایکس، یک موجِ الکترومغناطیسی است؛ اما با انرژیِ بیش‌تر.

این نوع تابش اغلب پیامدِ واپاشیِ آلفازا یا بتازا است. پس از گسیلِ ذره‌ی آلفا یا بتا، هسته کماکان برنگیخته می‌ماند؛ چون پروتون‌ها و نوترون‌ها هنوز به تعادل نرسیده‌اند. پس مازادِ انرژی با گسیلِ تابشِ گاما به‌تندی آزاد می‌شود. برای نمونه، کبالت ـ ۶۰ با واپاشیِ بتا به نیکل ـ ۶۰ تبدیل می‌شود که با گسیلِ گاما به یک حالتِ پایدار می‌رسد.

Babyline ابزاری است که به تابش بسیار حساس است و برای بررسیِ پسماند به‌کار می‌رود.

© CEA/A. Gonin

تابشِ گاما (γ)



طبیعـی باشـد یا مصنـوعی،
تابـش همه جـا هست.

خـاستـگـاهِ عناصرِ پرتوزا

© PhotoDisc

ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی

هنگامِ تشکیلِ زمین در حدود ۵ میلیارد سالِ پیش، ماده حاویِ اتم‌های پایدار و ناپایدار بود. از آن پس، اکثرِ اتم‌های ناپایدار با پرتوزایی واپاشیده‌اند و بیش‌ترشان با رسیدن به پایداری سرنجام یافته‌اند. با وجود این، هنوز چند نوع اتمِ پرتوزایِ طبیعی هست:

"پرتوزاییِ طبیعی از عناصرِ پرتوزایی می‌آید که میلیاردها سالِ پیش در ستاره‌ها تولید شده‌اند."

- ایزوتوپ‌های پرتوزایی که شاخصه‌اشان یک نیمه‌عمرِ بسیار بلند است؛ مانند اورانیم ـ ۲۳۸ (۴٫۵ میلیارد سال) و پتاسیم ـ ۴۰ (۱٫۳ میلیارد سال). این‌ها از بدوِ خلقتشان زمانِ کافی برای واپاشیِ کامل نداشته‌اند؛
- نوادگانِ پرتوزای ایزوتوپ‌های بالا، همچون رادیم ـ۲۲۶، که به‌دنبالِ واپاشیِ اورانیم ـ ۲۳۸ پیوسته تولید و تولید می‌شوند. رادیم ـ۲۲۶ به‌کُندی به گازی به‌نام رادُن ـ ۲۲۲ که خودش پرتوزاست تبدیل می‌شود.
- ایزوتوپ‌های پرتوزایی که از کُنشِ تابشِ کیهانی با هسته‌های اتمیِ خاصی خلق می‌شوند. این وضعیّتی است که برای نمونه برای کربن ـ ۱۴، که پیوسته در جَوّ تشکیل می‌شود، صدق می‌کند.

تابشِ کیهانی پیوسته از کیهان بر ما می‌تابد؛ گاهی این تابش بسیار شدید است (کتابچه‌ی *تابش و انسان* را بنگرید).

چند مثال از فعالیتِ نمونه‌های پرتوزا در محیط‌زیست ما

- گرانیت: هزار بکرل بر کیلوگرم.
- بدنِ انسان: یک فرد ۷۰ کیلوگرمی پرتوزاییِ حدود ۸۰۰۰ بکرل دارد، که تقریبا ۵۰۰۰ بکرلِ آن ناشی از پتاسیم ـ ۴۰ (در استخوان‌ها) است.
- شیر: ۸۰ بکرل بر لیتر.
- آبِ دریا: ۱۰ بکرل بر لیتر.

© Image Library

© PhotoDisc

ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی

در سرتاسرِ این کره، در جَو (کربن ـ ۱۴ و رادُن ـ ۲۲۲)، در پوسته‌ی زمین (اورانیم ـ ۲۳۸، اورانیم ـ ۲۳۵، رادیم ـ ۲۲۶، و غیره)، و در خوراکِ ما (پتاسیم ـ ۴۰) هستند.

به همین دلیل است که همه چیزِ اطرافِ ما پرتوزاست. بدینسان، از آغازِ آفرینش، زمین و موجوداتِ زنده در پرتوزایی غرق‌اند. تنها این اواخر بود که به‌واسطه‌ی کارِ هنری بکرل انسان‌ها کشف کردند که همیشه در چنین محیطی زندگی کرده‌اند.

© RMN – H. Lewandowski

© CEA

افرودیتِ خمیده تابش‌دهی‌شده توسط Etruscan and Roman Antiquities Department of the Louvre در یونان. پرتونگاریِ گاما برای نمایشِ تقویت‌شدگی‌های پیشینِ این تندیسِ مرمری و جایابیِ دقیقِ میله‌های فلزی و حفره‌ها انجام شد.

ایزوتوپ‌های پرتوزای مصنوعی

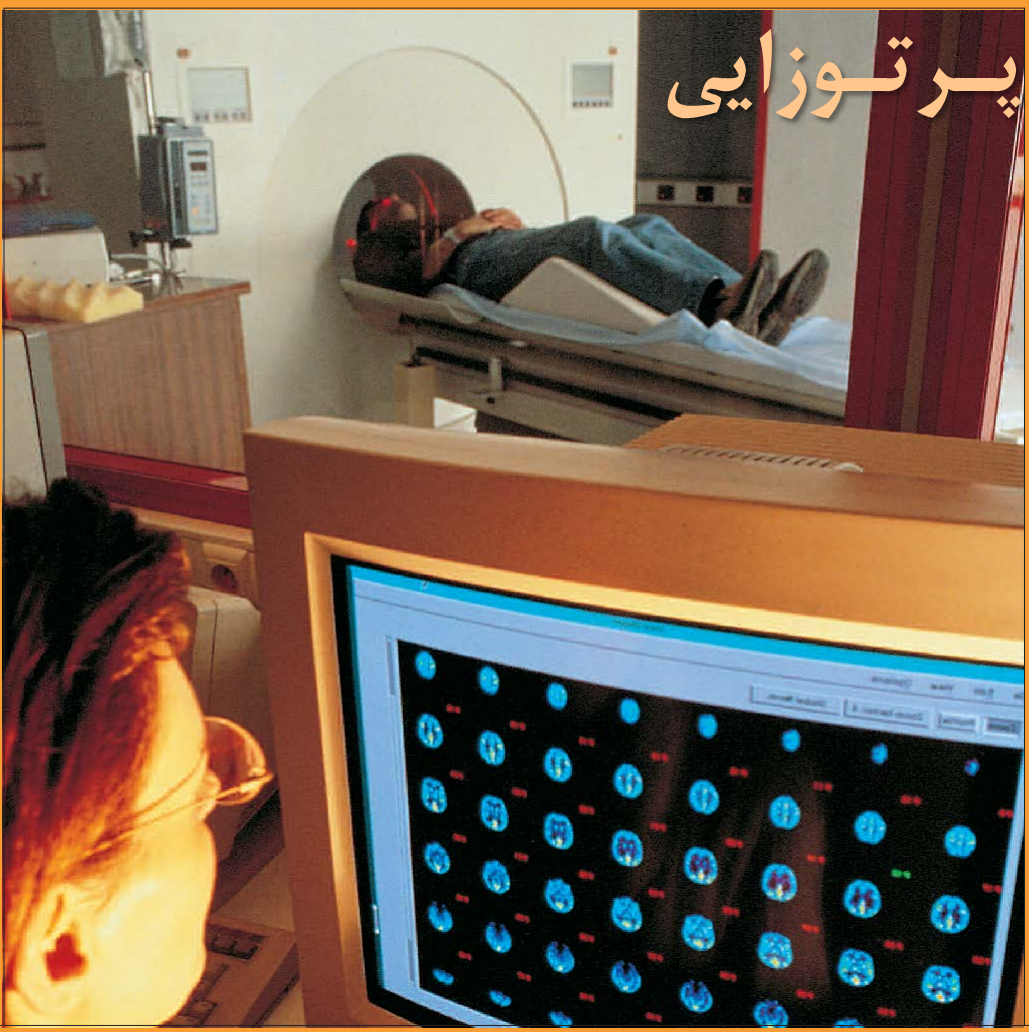
ایزوتوپ‌های پرتوزای مصنوعی به‌کمکِ سیکلوترون یا ری‌اکتورِ هسته‌ای، و برای کاربردهای بسیار گوناگونی تولید می‌شوند. بعضی ایزوتوپ‌های پرتوزا (کبالت ـ ۶۰، ایریدیم ـ ۱۹۲، و از این قبیل) می‌توانند به‌عنوان منابعِ پرتوزا برای پرتونگاری، یا منابعِ تابش‌دهی برای پرتودرمانی یا کاربردهای صنعتی به‌کار روند. کاربردِ این منابع در پزشکی و صنعت (به کتابچه‌ی تابش و انسان بنگرید) گسترده است. ایزوتوپ‌های پرتوزای مصنوعیِ دیگری نیز (استرانسیم ـ ۹۰، سزیم ـ ۱۳۷، و از این قبیل) در ری‌اکتورهای هسته‌ای تولید می‌شوند که بعضی‌شان را انسان به‌کار نگرفته است. آن‌ها آن‌چه را که پسماندِ هسته‌ای نام دارد تشکیل می‌دهند.

این ایزوتوپ‌های پرتوزا، به‌واسطه‌ی پرتوزاییِ بالایشان، باید تحت مراقبت شدید و دور از انسان‌ها نگه‌داری شوند (بنگرید به کتابچه‌ی *چرخه‌ی سوختِ هسته‌ای*).

انسان برای رفع نیازهای پزشکی و صنعتی پرتوزاییِ مصنوعی را خلق می‌کند.“

پرتوزایی روشی شگفت برای کاوشِ هستیِ انسان و محیط‌زیست است.

کاربردهای پرتوزایی



© CEA/L. Médard

ردیاب‌های پرتوزا

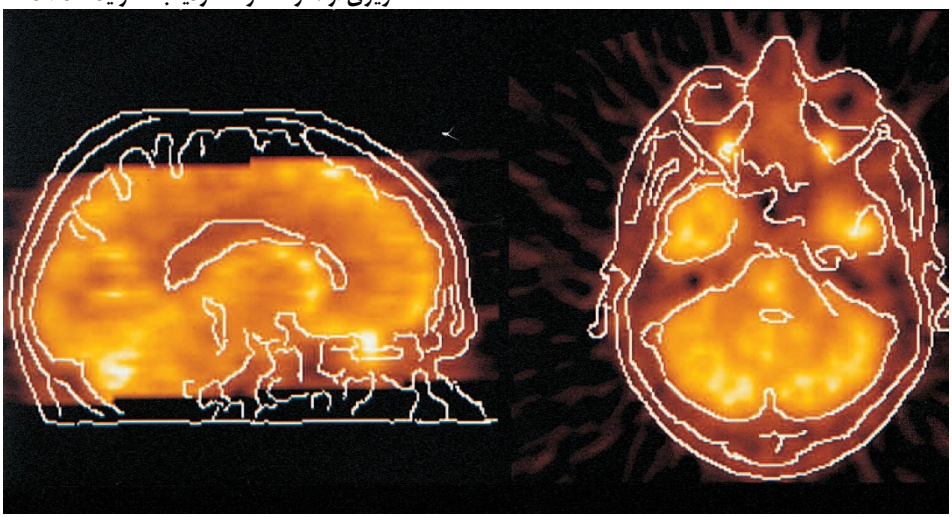
اصول

ویژگی‌های شیمیاییِ یک ایزوتوپِ پرتوزا همانند نظایرشان برای یک ایزوتوپِ پایدار است. تنها با این تفاوت که ایزوتوپِ پرتوزا ناپایدار است. این ناپایداری باعثِ واپاشی می‌شود، که به‌معنای گسیلِ تابش است. همه‌ی آن‌چه ما نیاز داریم ابزارهای آشکارسازیِ مناسبی برای این ایزوتوپ‌های پرتوزاست. برای نمونه، پتاسیم ـ ۴۰، که در خوراکی‌های ما با پتاسیمِ پایدار درامیخته است، دقیقاً همان مسیری را دنبال می‌کند که ایزوتوپ‌های پایدارِ آن. با آشکارسازیِ تابشِ گسیلی از پتاسیم ـ ۴۰، می‌توانیم جابه‌جایی‌های همه‌ی این

”به‌کمک پرتوزایی، ما می‌توانیم جابه‌جاییِ یک ماده‌ی شیمیایی را در بدنِ انسان دنبال کنیم.“

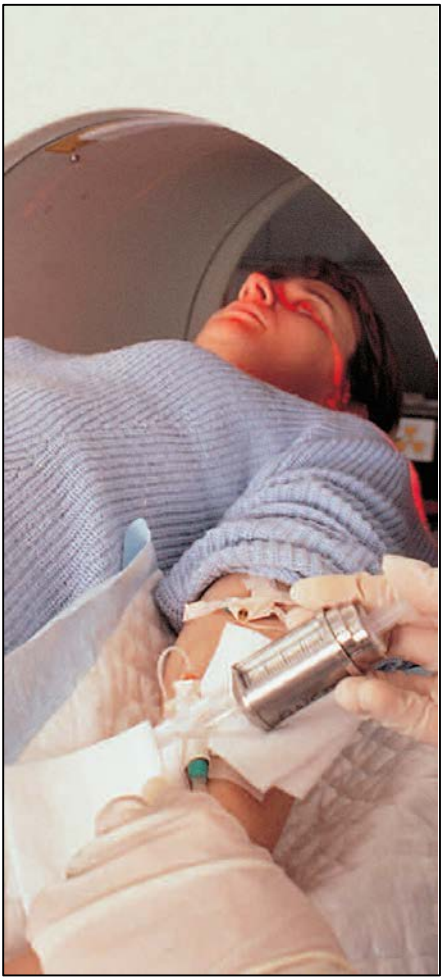
پتاسیم‌ها را تعقیب کنیم. به این ترتیب، یک ایزوتوپِ پرتوزا درکنارِ ابزارهای آشکاسازیِ مناسب می‌تواند به‌عنوان یک ردیاب به‌کار رود. بر اساس همین اصول، بعضی مولکول‌های خاص را هم می‌شود جایابی کرد. این مولکول‌ها با یک ایزوتوپِ پرتوزا، که نقش یک علامت را بازی می‌کند، نشانه‌گذاری می‌شوند. نشانه‌گذاری می‌تواند به دو روش انجام شود: با جانشین‌کردنِ اتمی از مولکول با یکی از ایزوتوپ‌های پرتوزای آن، یا با الصاقِ یک اتمِ پرتوزا به مولکول. بدینسان، مولکولِ نشان‌دار به یک ردیاب تبدیل می‌شود.

تصاویری از مغز که توسط ردیاب‌ها تولید شده‌اند.



© CEA

تزریقِ ردیاب‌های پرتوزا برای تصویربرداریِ پزشکی



© CEA/L. Médard

این روش، مثلاً، در پزشکی برای پایشِ عملکردِ یک دارو، و برای مطالعه‌ی جابه‌جاییِ فراورده‌ها در محیط‌زیست به‌کار می‌رود. در این مواردِ خاص، مقادیرِ ردیاب‌های به‌کارگرفته می‌تواند بسیار ناچیز باشد، زیرا وسایلِ آشکارسازیِ تابش بسیار حساس هستند. در این دُزهای خیلی کم، تابش پیامدِ خطرناکی ندارد (بنگرید به کتابچه‌ی *تابش و انسان*). به‌علاوه، این ایزوتوپ‌ها نیمه‌عمری کوتاه دارند (چیزی بین چند دقیقه تا چند روز)، پس به‌تندی از بدن یا محیط‌زیست دفع می‌شوند.

کاربردهای ردیاب‌ها در پزشکی

امکاناتی که با استفاده از ردیاب‌ها و پرتوزایی در پژوهش‌های زیستی و پزشکی فراهم شد عاملی کلیدی برای پیش‌رفتِ پزشکی در سده‌ی بیستمِ میلادی بود.

ایزوتوپ‌ها بودند که در سال ۱۳۲۲ ه.ش. (۱۹۴۳ م.) اوری (Avery) را قادر ساختند نشان دهد که DNA اساسِ وراثت است. در سال‌های بعد، ایزوتوپ‌ها با تعیینِ رمزِ ژنتیکی، با تشخیصِ واکنش‌های شیمیاییِ درگیر در کارِ یاخته، و با فهمِ سازوکارهای انرژی به توسعه‌ی زیست‌شناسیِ مولکولی انجامیدند.

همچنین، فنونِ متکی بر پرتوزایی پتانسیلِ تشخیص بیماری‌ها را افزودند و درمانِ آن‌ها را ارتقا دادند: همان پزشکیِ هسته‌ای. در پزشکیِ هسته‌ای،

"پرتوزایی پژوهش‌های زیستی و پیشرفت‌های پزشکی را در سده‌ی بیستم تقویت کرد."

برخلاف رادیولوژی که پرتو از همه‌ی بدن می‌گذرد، دکترها مقدارِ کمی از یک ماده‌ی نشان‌دارشده با یک ایزوتوپِ گاماگسیل یا بتاگسیلی که گاما هم دارد را واردِ بدن می‌کنند. این ماده یاخته‌های خاصی را در موجودِ زنده تشخیص، و نشان می‌دهد که آن‌ها درست کار می‌کنند یا نه. برای نمونه، تالیم ـ ۲۰۱ می‌تواند برای مشاهده‌ی مستقیمِ عملکردِ قلب و مشاهده‌ی علائمِ ناکارامدیِ آن به‌کار رود.

پژوهش‌گرها از پزشکیِ هسته‌ای برای فهمِ چه‌گونگیِ کارکردِ اندام‌ها هم استفاده می‌کنند. آزمون‌های دیگری هستند که می‌توانند وجودِ تومورهای استخوانی را نشان دهند.

برای نمونه، فنونی برای مشاهده‌ی مستقیمِ بخش‌هایی از مغز که درگیرِ بینایی، حافظه، تکلم، یادگیری، و محاسباتِ ذهنی هستند وجود دارد.

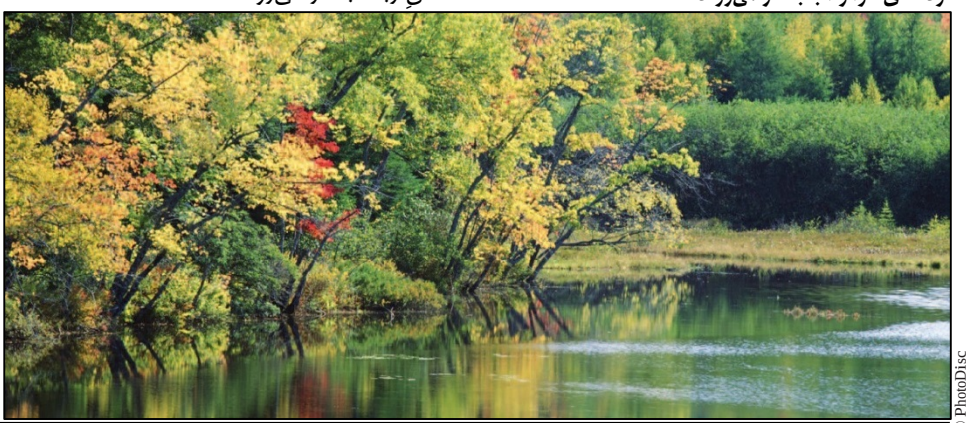
ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی به‌عنوانِ ردیاب، در کنار کارهای دیگر، برای پایشِ جابه‌جاییِ توده‌های هوا و آب به‌کار می‌روند.

در این پژوهش‌ها، با نشان‌دارکردنِ یک مولکول (مثلاً متعلق به یک دارو یا ماده)، پایشِ آن‌چه در یاخته یا بدن بر سرش می‌آید ممکن می‌شود. این به طراحیِ داروها کمک می‌کند.

کاربردهای ردیاب‌ها برای مطالعه‌ی محیط‌زیست

با سنجشِ جذبِ تابشِ گسیلی از یک چشمه‌ی بسیار کوچک، تعیینِ چگالیِ محیطی که تابش در آن سیر می‌کند ممکن است. این روش برای پایشِ مداومِ موادِ معلق در آبِ رودخانه‌هایی مانند روهن (Rhone) و برای تنظیمِ خروجیِ سدها به‌کار می‌رود تا شرایط برای زیستِ گیاهان و جانورانِ این رودخانه خطرناک نشود.

اما، ردیابیِ رسوب یا آلاینده نیز توسط ایزوتوپِ پرتوزا ممکن است. این روش برای بهینه‌سازیِ مسیرِ جاده‌ها و بزرگ‌راه‌ها به‌منظورِ کمینه‌سازیِ ریسکِ آلودگی‌ها، و بررسیِ نفوذِ خاک در محل‌های دفنِ زباله به‌کار می‌رود.



© PhotoDisc

ردیاب‌های پرتوزا در صنعت، به‌ویژه در بخشِ پتروشیمی، کاربرد دارند.

© Getty

© Getty

پژوهش‌گرها از جابه‌جاییِ ایزوتوپ‌های پرتوزای طبیعی و مصنوعی برای پایش، مثلاً، جابه‌جاییِ توده‌های هوا و آب نیز استفاده می‌کنند.

کاربردهایی برای ردیاب‌ها در صنعت

در صنعت از ری‌اکتورهای پیچیده‌ی بسیاری استفاده می‌شود که دیواره‌های نفوذناپذیری دارند. ردیاب‌های پرتوزا می‌توانند از ورای این دیواره‌ها تشخیص داده شوند، پس می‌شود آن‌ها را برای مطالعه‌ی رفتارِ شاره‌های درونِ این ری‌اکتورها به‌کار برد. از این روش در بسیاری از صنایع استفاده می‌شود: شیمی؛ نفت و پتروشیمی؛ تولیدِ سیمان، کود، خمیرِ کاغذ، کلر، سودا، موادِ منفجره، متالوژی، انرژی، و از این قبیل. این روش مستلزمِ نشانه‌گذاریِ مقدارِ اندکی از ماده در ورودیِ دستگاه و مطالعه و مشاهده‌ی تغییراتِ غلظتِ ردیاب با گذشتِ زمان است.

نشان‌دارکردن به‌عنوان بخشی از تولیدِ صنعتی

اگر قرار است کمیتِ ضبط‌شده در نقاطِ اندازه‌گیریِ منتخب تغییراتِ زمانیِ مقدارِ باقی‌مانده‌ی ماده‌ی نشان‌دار باشد، تزریقِ ردیاب‌ها در ری‌اکتورِ صنعتی باید تا جایی که ممکن است کوتاه باشد.

از این توزیعِ زمانی می‌شود به پارامترهای انتقالِ ماده‌ی نشان‌دار در سامانه دست یافت؛ پارامترهایی از قبیل سرعتِ جریان، آهنگِ چرخش، حجمِ مرده، و اتصال-کوتاه‌ها.

این اندازه‌گیری‌ها سبب صرفه‌جوییِ در موادِ اولیه و کاهش زایداتِ محیطی و درنتیجه بهینه‌سازیِ تولید می‌شود.

طرحی از یک بیسون (گاومیشِ امریکایی) بر دیوارِ غاری در Niaux (Ariege) که ۱۳۰۰۰ سال پیش کشیده شده است. این تاریخ با عمرسنجیِ کربن ـ ۱۴ تعیین شده است.

عمرسنجی

عناصرِ پرتوزای طبیعیِ خاصی هستند که می‌توانند به‌عنوان زمان‌سنج‌هایی برای بازگشت به گذشته به‌کار روند. روش‌های عمرسنجی برپایه‌ی واپاشیِ پرتوزاییِ موجود در اجسام یا بقایای موردِ مطالعه بنا نهاده شده‌اند.

با استفاده از کربن ـ ۱۴ می‌شود ده‌ها هزار سال به عقب بازگشت؛ و حتا بیش از این، اگر از روش‌هایی مانند گرم‌تابی و عمرسنجیِ اورانیم/توریم استفاده شود.

عمرسنجی با کربن ـ ۱۴برای مطالعه‌ی تاریخچه‌ی انسان و محیط‌زیستش در فاصله‌ی بین ۵۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سالِ پیش به‌کار می‌رود.

کربن در جای‌جای محیط‌زیستِ ما پراکنده است و به‌ویژه بخشی اصلی از مولکولِ گازِ دی‌اکسیدکربنِ موجود در جَو است. این کربن عمدتاً از نوعِ کربن ـ ۱۲ است. با وجود این، بخشی کوچک از آن کربن ـ ۱۴ پرتوزاست. به‌دلیل تبادلِ الزامیِ کربن (در اثرِ تنفس، فتوسنتز، و تغذیه) بین جَو و جانداران (گیاهان و جانوران)، نسبت کربن ـ ۱۴ به کربن ـ ۱۲ در جَو و در بدنِ هر جانداری در طول حیاتش یکسان است.

وقتی موجودِ زنده‌ای می‌میرد، دیگر کربن ـ ۱۴ از طریق تبادل با جهان بیرونی تجدید نمی‌شود. با واپاشیِ تدریجیِ کربن ـ۱۴، نسبت کربن ـ ۱۴ به کربن ـ ۱۲ در بدن مرده کم می‌شود. به این ترتیب، با اندازه‌گیریِ این نسبت، می‌توان زمان مرگ را تعیین کرد. هرچه کربن ـ ۱۴ کم‌تری در فسیلی که عمرسنجی می‌شود کم‌تر باشد، مرگ در گذشته‌ی دورتری رخ داده است.

"پرتوزایی برای تعیین قدمت بقایای تاریخی و ماقبلِ تاریخی استفاده می‌شود."