

En la figura se incluye un típico espectro PIXE, obtenido a partir de una muestra de aerosol para aromatizar ambientes. En ella se observan las cantidades relativas presentes de distintos elementos, donde el cobre es el más abundante seguido por el silicio, el hierro y el zinc.

Esta técnica incluye dos ventajas significativas respecto a otras equivalentes, ya que no se necesita digerir la muestra (triturarla, disolverla, filtrarla, etc.) y, por lo tanto, es lo que se llama un método no destructivo. Eso la hace indispensable en la identificación de elementos en piezas antiguas como las que se mencionan en el artículo.



IV. Actividades

1. Pida a sus alumnos que identifiquen otras tres áreas del conocimiento donde esta técnica pudiera resultar útil. Discuta con ellos los motivos y fundamentos que dan a cada una de sus opciones.
2. Separe al grupo en dos grandes secciones, de acuerdo a los intereses de los alumnos: científicos y humanísticos. De acuerdo a ello pida que a través de Internet hagan una investigación más profunda de los fundamentos físicos de la técnica (área científica) y para la otra sección, una investigación con un ejemplo específico de aplicación de la misma en áreas como la arqueología, la antropología, etc. Para alumnos de los últimos años o semestres, la investigación puede ampliarse a visitar el Instituto de Física y averiguar de forma directa cómo se utiliza esta técnica en la UNAM.
3. Investigar el significado de las siguientes palabras o conceptos:
 - espectro electromagnético
 - espectroscopía
 - estructura atómica
4. Investigar qué partículas subatómicas se han descubierto a partir del uso de los aceleradores de partículas (*quarks*).
5. Establecer una discusión grupal en donde se aborden las aportaciones que la ciencia hace a las investigaciones históricas. Determinar las implicaciones de tipo costo/

beneficio de los avances tecno-científicos en términos de su alto costo económico (los aceleradores de partículas y los proyectos espaciales representan inversiones de miles de millones de dólares anuales), respecto a las infimas condiciones de vida que tiene más de la mitad de la población mundial.

V. Bibliografía

1. Chamizo, J.A. y A. Garrita, *Química*, Addison Wesley Iberoamericana, México, 1993.
2. Noreña, Francisco, *Física de emergencia*, Pangea, México, 1995.
3. Segré, Emilia, *De los rayos X a los quarks*, Folios Ediciones, México, 1983.
4. *La física contemporánea*, Colección Las Ciencias en el siglo XX, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1983.

Esperamos sus comentarios y sugerencias. Pueden enviarlas con atención a: Rosa María Catalá, Subdirectora de Educación no Formal, Casita de la Ciencia, edificio anexo Universum, Teléfono y fax (5) 655-15-52, correo electrónico: catalarm@servidor.unam.mx.

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

Agosto 2000



ARQUEOLOGÍA, ARTE Y ACELERADORES DE PARTÍCULAS

De: José Luis Ruvalcaba Sil
(No. 21, p. 30)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Ubicación de la temática en los programas de bachillerato de la UNAM

Sistemas ENP y CCH

Debido a la forma en que se aborda el artículo, esta guía puede aplicarse en varias materias, dependiendo de los intereses y habilidades que se deseen desarrollar en algún tema específico de los programas. Es una buena oportunidad de realizar una actividad integradora entre varias materias (Historia, Física, Química y Arte, entre otras).

II. ¿Cómo mirar al interior del núcleo?

Los aceleradores sirven para que partículas extraordinariamente veloces choquen con los átomos de ciertas muestras de materiales (metálicos, cerámicos, papel, etc.) y de esos

átomos se desprenda radiación de determinada frecuencia (la radiación electromagnética consiste de ondas que avanzan a través de campos eléctricos y magnéticos alternados). Esa frecuencia puede asociarse a distintas regiones del espectro electromagnético, del cual los rayos X son parte y se encuentran en el extremo que pertenece a las radiaciones de alta energía (sólo los rayos *gamma* son más energéticos, es decir, de mayor frecuencia). Los experimentos que permiten a los seres humanos "mirar" el interior de los núcleos atómicos se inspiraron en la idea de Ernest Rutherford (neozelandés descubridor del núcleo atómico a principios del siglo XX) de explorar el interior del átomo bombardeando con partículas alfa una laminilla muy delgada del material que se estudia. Sin embargo, los investigadores se dieron cuenta muy pronto de que las fuentes radiactivas naturales (átomos radiactivos como el uranio o el plutonio), no los proveían de proyectiles adecuados.

La exploración del interior del núcleo requería, por una parte, de mayor variedad de partículas proyectil y, por otra, de proyectiles de alta velocidad, con una energía determinada y que se pudiera regular a voluntad. Fue así como el afán de conocer la estructura íntima de la materia llevó a los físicos a inventar y desarrollar los aceleradores de partículas. Los productos de la colisión o reacción nuclear entre las partículas aceleradas y las partículas

blanco se miden con detectores y contadores de partículas dispuestos alrededor del blanco. Estos detectores identifican y cuentan de uno en uno la gran cantidad de productos que resultan de una colisión nuclear, determinan su masa, su carga eléctrica, la velocidad y dirección de su movimiento, así como radiaciones que también se hayan desprendido por motivo de la colisión como las de rayos X, por ejemplo.

¿Cómo es posible que disparando proyectiles de alto poder contra un objeto tan extraordinariamente pequeño como es un núcleo atómico se pueda averiguar algo acerca de su estructura y dinámica interior. La respuesta se encuentra en la dualidad partícula-onda que se manifiesta en la conducta de los haces de partículas subnucleares que se usan como proyectiles.

III. Los aceleradores de partículas

A través del interesante artículo de referencia nos queda claro para qué se utiliza un acelerador de partículas, pero tal vez valga al pena conocer un poco mejor cómo funciona. Este dispositivo se inventó para, como su nombre lo indica, acelerar partículas cargadas eléctricamente, como electrones (carga negativa), protones (carga positiva), partículas alfa (también conocidas como núcleos de helio), etc. La forma en que lo hacen es aumentando su energía cinética por medio de campos electromagnéticos que impulsan a las partículas durante su trayectoria. Un ejemplo de acelerador de partículas es el generador electrostático de Van der Graaf, en el que la aceleración se produce mediante una diferencia de potencial muy alta. En otros aceleradores el cambio de energía cinética se produce en etapas sucesivas, en cada una de las cuales se utilizan diferencias de potencial menores. En estos aceleradores las partículas pueden alcanzar velocidades muy elevadas, cercanas a la de la luz. De este tipo se tienen los aceleradores lineales, como el de Stanford, en los Estados Unidos, que mide más de dos kilómetros de largo, o cíclicos como el del Fermilab, también en Estados Unidos o el

del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), en la frontera franco-suiza, ambos con varios kilómetros de diámetro. Los aceleradores cíclicos pueden ser a su vez de varios tipos, según los mecanismos utilizados para la aceleración de las partículas y las cantidades de energía que son capaces de desarrollar; de acuerdo con sus características pueden ser ciclotrón, sincrotrón, sincrociclotrón, betatrón o bevatrón.

Los rayos X

Wilhelm Conrad Röntgen, un físico alemán, fue el descubridor de los rayos X. Röntgen trabajaba con un tubo de rayos catódicos (o tubo de Crookes), cuando inesperadamente una pantalla fluorescente que se encontraba fuera del aparato emitió luz. Concluyó que del tubo salía un tipo de rayos desconocidos (por eso los llamó "X"). Lo más impactante sucedió cuando puso su mano en la trayectoria de los rayos y sobre la pantalla vio ¡la sombra de su esqueleto! Aunque este descubrimiento ameritó la entrega del primer Premio Nobel (sobre todo por sus grandes aportaciones a la ciencia médica), Röntgen nunca comprendió la naturaleza de los rayos X, trabajo que realizaron Von Laue y Knipping 16 años después, cuando ya se conocía mucho más sobre las radiaciones electromagnéticas y los trabajos de Einstein, Planck y de Broglie, entre otros, habían fundamentado las bases de la física cuántica.

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones (que Röntgen obtenía en el tubo de rayos catódicos) golpea contra un objeto material. Estos rayos afectan las placas fotográficas, igual que la luz blanca. Son rayos capaces de ser absorbidos por la materia, dependiendo principalmente de la densidad del material y de su peso atómico. Mientras menor masa atómica y menor densidad tiene un material, más transparente es a los rayos X, es decir, menos será afectado por ellos. Sin embargo, los materiales densos absorben mejor los rayos X, razón por la cual los huesos (más densos que el resto de los tejidos) pueden fotografiarse a través de estos rayos. Además de sus aplicaciones

conocidas por todos en medicina, los rayos X se emplean para análisis cristalográfico de algunos sólidos, es decir, para el estudio de las propiedades de su estructura cristalina. La manera de hacer esto es mandar haces de rayos X, los cuales son difractados por la red cristalina del sólido. Esa difracción tiene un patrón característico que se puede analizar y revela algunas particularidades de la estructura cristalina. Por último, y como el propio artículo menciona, los rayos X también tienen aplicaciones cuando son emitidos por el choque de partículas altamente aceleradas con átomos de muestras muy antiguas. El motivo por el cual los rayos X son tan útiles para conocer la naturaleza íntima de la materia es su pequeñísima longitud de onda (6×10^{12} metros), que se acerca mucho al tamaño de los átomos y, por la cual pueden interactuar de un modo muy efectivo, más las radiaciones de longitudes de onda mayores (luz visible, infrarrojo, ultravioleta, etcétera).

La técnica PIXE de análisis elemental

En el área del análisis, la técnica PIXE (*Proton Induced X-ray Emission*) es relativamente nueva y muy selecta, ya que en el mundo se realiza casi en su totalidad en universidades con fines exclusivamente de investigación. Comercialmente, sólo existen dos laboratorios en Estados Unidos que la realizan y que empezaron a dar servicio a mediados de la década de los ochenta, a pesar de que la técnica se conocía y realizaba con éxito desde principios de la década anterior. Esta técnica fue desarrollada en el Instituto Lund de Tecnología, tras el descubrimiento de detectores de litio a fines de los años sesenta, por lo que habían pasado más de 40 años entre el uso de los primeros aceleradores de partículas y el advenimiento de PIXE.

El detector de litio, extremadamente sensible, hizo posible el desarrollo de la técnica PIXE y de otras técnicas de espectroscopía de dispersión. Como cualquier método espectroscópico utilizando en el análisis elemental, éste se basa en la física del átomo, más que en su química. Involucra la excitación de los átomos en una muestra para producir rayos X

como medio de detección. Para poder identificar y cuantificar las intensidades de los rayos X producidos, se utilizan estándares y programas de cómputo que establecen la identidad de un elemento dado. El espectro de rayos X se produce al irradiar una muestra con un haz de protones producido a partir de hidrógeno (H_2) puro, en un acelerador de tipo Van der Graaf de 2.5 Megavoltios (MeV).

Cuando una muestra se irradia con el haz de protones, éstos interactúan con los electrones de los átomos de la muestra para crear espacios vacíos en sus niveles energéticos internos (cerca del núcleo). Las energías de los rayos X que se emiten cuando los electrones regresan a sus estados iniciales (basales), son características para cada elemento, de modo que, como en cualquier método espectroscópico, se tiene una "huella digital" o patrón característico sólo asignable a una sustancia elemental. El número de rayos X de cierta energía es proporcional a la masa del elemento correspondiente encontrado en la muestra y, como el artículo describe, la sensibilidad extrema de esta técnica es capaz de encontrar un átomo entre un millón y discriminarlo sin error, una verdadera "aguja en un pajar". Los elementos que se pueden analizar van desde el sodio hasta el uranio; se incluye a los gases nobles ni a los elementos radiactivos (estos últimos emiten por sí mismos radiaciones y partículas que interferirían con la técnica).

