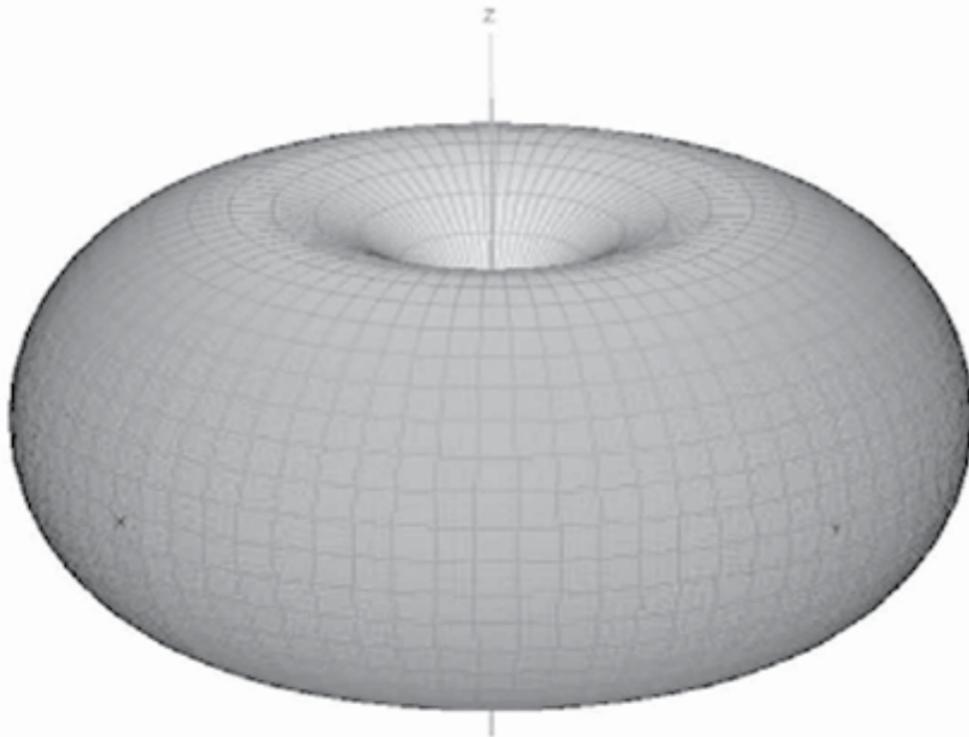


¿Qué es la radiación sincrotrónica y para qué sirve? Parte I.



Distribución toroidal de energía radiada por un electrón no relativista. El electrón se acelera hacia arriba y la radiación es máxima en el plano horizontal.

ANTONIO JUÁREZ

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM
Academia de Ciencias de Morelos

Recientemente, el gobierno del Estado de Morelos anunció el deseo de crear, en nuestro estado, un laboratorio de investigación multidisciplinaria que, de concretarse, no sólo sería un polo de desarrollo en la ciencia del país, sino que sería uno de los más avanzados en el mundo. Este laboratorio tendría como base para su operación una fuente de luz muy especial, llamada *fuente de luz sincrotrónica*. Dada la importancia de este anuncio, que ha sido apoyado en los hechos con recursos para iniciar estudios prospectivos y la importancia de los sincrotrones en el desarrollo científico y tecnológico de los lugares donde se han instalado y se usan, este artículo pretende dar nociones introductorias a los lectores de qué es la luz sincrotrónica, para qué se usa y por qué el gobierno estatal está interesado en invertir mucho dinero en construir una de este tipo.

Luz sincrotrónica

Cuando un electrón es acelerado, como ocurre en las antenas de radio o en los teléfonos celulares, se produce radiación electromagnética que se distribuye espacialmente en todas direcciones. Si uno cuenta con los instrumentos adecuados para medir la energía radiada por estos electrones acelerados encontrará, en el caso de una antena lineal, que la distribución de la energía electromagnética radiada tiene la forma de una dona, que en matemáticas se define con el elegante nombre de

una "distribución toroidal" (Fig. 1). Uno de los desarrollos más notables de la física de partículas en movimiento lo llevó a cabo el famosísimo Einstein, quien en 1924 desarrolló el formalismo matemático para explicar cómo los patrones de radiación electromagnética se ven dependiendo del sistema de referencia en el que se mueve el observador en relación a la carga. Lo anterior es una forma un tanto técnica de definir lo que popularmente se conoce como la "teoría de la relatividad especial" de Einstein. Es muy interesante mencionar aquí, brevemente, que la teoría especial de la relatividad es, relativamente, muy sencilla de expresar: "Las leyes de la física son invariantes, es decir, que no cambian, entre un sistema y otro que se mueva respecto al primero en línea recta con una velocidad constante". Este postulado, sumado a otro que establece que "la velocidad de la luz es la misma en todos esos sistemas" dan lugar a una serie de efectos muy sorprendentes con implicaciones matemáticas y físicas profundas. Para propósitos de nuestro artículo baste mencionar que, debido a las implicaciones que los dos postulados de la relatividad especial imponen sobre cualquier sistema físico se sabe que, en el caso del electrón acelerado que mencionábamos al principio, el patrón de radiación emitido por éste es muy distinto si se desplaza a velocidades relativistas, es decir, cercanas a la luz. Esto es, para que las leyes de la física, y en particular las de la electrodinámica, sean las mismas en distintos sistemas de referencia, es necesario que cambien algunas cosas como la distribución de la ener-

gía radiada por un electrón. En el caso del electrón relativista, a diferencia del electrón fijo, la radiación electromagnética se vuelve muy intensa y colimada en un haz muy compacto. A este tipo de radiación se le conoce como radiación sincrotrónica (Fig. 2). Si, volviendo al caso de la partícula cargada relativista, ésta se mueve en una órbita periódica, esta radiación electromagnética será emitida tangencialmente a los puntos de inflexión de la órbita del electrón. Es posible probar con argumentos relativamente sencillos basados en un elegante teorema de funciones periódicas conocido como el teorema de Fourier, que la composición espectral de la radiación emitida por esta partícula relativista consistirá en un continuo de frecuencias, que va del infrarrojo a los rayos X. Ahora bien, ¿por qué es importante la radiación emitida por un electrón que se mueve a velocidades relativistas? Pues bien, la posibilidad de producir luz en un continuo de frecuencias es muy útil en física. Buena parte de lo que conocemos sobre el universo, los materiales, los seres biológicos y la estructura de la

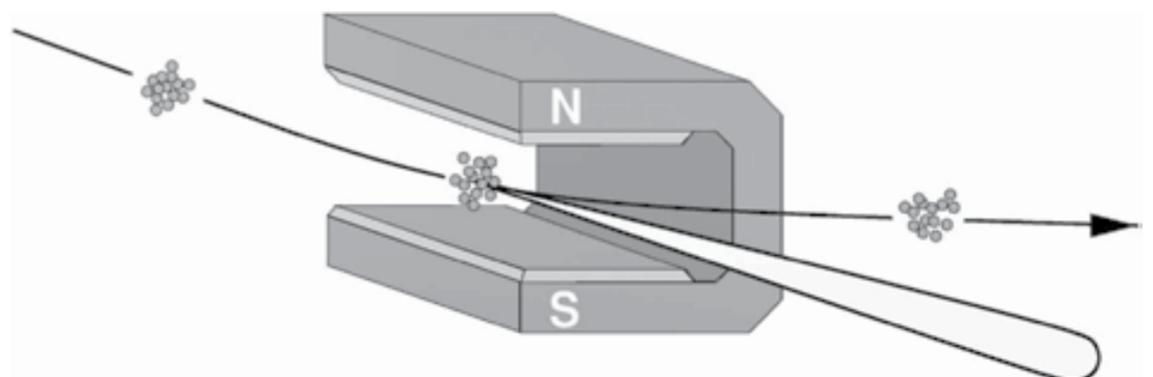
materia lo conocimos a partir del estudio de la interacción de la luz con esos materiales. La manera en que los materiales y los seres vivos absorben, reemiten o transforman la luz nos ha permitido conocer de qué están hechos, cuáles son sus propiedades y qué forma tienen. La luz es, pues, una de las herramientas más poderosas con las que contamos para estudiar el universo que nos rodea. Es por eso que, contar con una fuente intensa de luz que contiene todos los colores, inclusive los que no vemos, nos proporcionaría una herramienta valiosa para conocer el mundo que nos rodea y, mejor aún, modificarlo. Los instrumentos que en el caso de la luz sincrotrónica permiten elegir un color particular para realizar estudios científicos y tecnológicos se llama "monocromador". Los monocromadores, pues, nos permiten elegir una frecuencia particular de las muchas que generan las fuentes de luz sincrotrónica. De esta manera es posible estudiar las propiedades de gases, líquidos, cristales y superficies y material biológico, como función de la frecuencia de la radiación electromagnética con que se les radia.

Un poco de historia

Desde el descubrimiento de los rayos X en 1895, la comunidad científica ha apreciado la importancia de la luz como herramienta de gran utilidad en el estudio de la materia y sus propiedades. Sin embargo, una cosa es darse cuenta de esta importancia y otra muy distinta es producir y controlar la luz a energías altas para llevar a cabo experimentos. Durante muchas décadas los físicos trataron (y en muchos casos fueron exitosos) de desarrollar fuentes de radiación intensa en el ultravioleta y los rayos X a fin de estudiar las propiedades de cristales y gases. El descubrimiento de la estructura del ADN es un ejemplo conspicuo del éxito de estos esfuerzos. Sin embargo esos estudios estaban limitados por las características de las fuentes de radiación usadas, que normalmente emitían en una sola o unas

cuantas frecuencias, y que eran comúnmente muy débiles en intensidad. Fue hasta el desarrollo, a finales de la década de 1950, de aceleradores de partículas de alta energía, que la fuente ideal de radiación electromagnética de espectro amplio fue descubierta, un poco por casualidad. Cuenta la leyenda que, en 1947, en los laboratorios de General Electric, mientras se estudiaba la estabilidad de haces de electrones acelerados a 70 millones de "electrones-Volt" (MeV), un técnico observó usando un espejo un haz muy intenso de luz que emanaba del tubo circular en el que se mantenía el haz de electrones, que era transparente. Inicialmente este tipo de fenómenos se estudiaban con el fin de reducir la pérdida de energía en los aceleradores. Paradójicamente esa pérdida de energía provenía de la luz sincrotrónica y lo que era una molestia y un problema, se convirtió en una solución y en una herramienta útil. Rápidamente se asoció la pérdida de energía de los electrones en un acelerador con la emisión de luz que se esperaba fuera producida por electrones relativistas. La rapidez con que se desarrolló esta interpretación se debió en buena medida a cálculos de electrodinámica relativista desarrollados por Schwinger en Estados Unidos y por Pomenran-chuk en la Unión Soviética. Las primeras investigaciones de las propiedades espectrales y de polarización de este nuevo tipo de radiación fueron llevadas a cabo de manera "parasítica". El científico a cargo de estos experimentos tenía que sentarse en algún rincón oscuro de aceleradores, usados principalmente por físicos de partículas, y usar la radiación que emanaba de una pequeña ventana. Esta "primera generación" de experimentos fue limitada por el hecho de que los aceleradores no estaban diseñados para hacer eficiente la producción de radiación sincrotrón.

En la segunda parte de este artículo describiremos las nuevas generaciones de sincrotrones y algunos de sus usos importantes.



Cuando un grupo de electrones relativistas que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz son desviados por un imán, generan un haz luminoso muy intenso y colimado en la dirección tangencial a la trayectoria.