

## CAPITULO DECIMOCTAVO

### EL CICLOTRÓN Y EL BETATRÓN

#### *Proyectiles para la desintegración atómica*

El átomo es bombardeado con proyectiles adecuados, constituídos por partículas elementales positivas (protones, deutrones, partículas alfa) y proyectadas contra él a gran velocidad. La destrucción atómica, y la consiguiente radiactividad artificial son proporcionales a la violencia del choque, o sea a la velocidad dada a los proyectiles. A tal fin, la física nuclear utiliza grandes aparatos aceleradores de partículas elementales, divididos en dos categorías: los *aceleradores lineales* y los *aceleradores circulares*. Se trata de aparatos de dimensiones gigantescas, de mucho peso y muy costosos.

El medio más sencillo de poner en movimiento las partículas elementales es el utilizado en las válvulas de radio ordinarias, consistente en un electrodo de tensión positiva (la placa), colocado frente al cátodo incandescente emisor de electrones. Por el hecho de que los electrones son negativos, sufren la fuerte atracción de la tensión positiva, y corren hacia ella. La velocidad del movimiento es sin embargo moderada, sólo puede llegar a alcanzar decenas y centenares de kilómetros por segundo, dado que la tensión positiva es poco elevada, de unos 200 voltios en las válvulas de los aparatos receptores, y alrededor de los 10.000 voltios en los de las estaciones emisoras.

Los proyectiles utilizados en los aceleradores lineales están constituídos, como se ha dicho, por partículas positivas, las cuales son rechazadas por una elevadísima tensión eléctrica negativa, de manera que se forma un rayo directo sobre la substancia en la que se ha de provocar la transmutación atómica. Como la aceleración depende de la tensión eléctrica, todo el problema consiste en obtener la más elevada tensión negativa posible.

En los aceleradores lineales —llamados así porque precisamente los proyectiles forman un rayo rectilíneo, en el interior de un largo tubo de

vacío— las tensiones negativas de las aceleraciones son de algunos millones de voltios.

Tensiones instantáneas de algunos millones de voltios se pueden obtener de modo bastante fácil con la descarga de un cierto número de condensadores en serie, pero tensiones tan altas que perduren un cierto tiempo no se pueden producir, a no ser con dispositivos especiales. Estos dispositivos son los *generadores electrostáticos de altas tensiones eléctricas*. (v. lámina LXX).

### *Aceleradores lineales de proyectiles sub-atómicos*

El principio del funcionamiento de los generadores electrostáticos de alta tensión es muy sencillo: se basa en el hecho de que las cargas eléctricas están presentes solamente sobre la superficie de los conductores, nunca en su interior. Basta “verter” electricidad en el interior de una esfera metálica, para que la misma se distribuya en la superficie, hasta determinar una tensión eléctrica limitada solamente por el aislamiento de la esfera misma con respecto al suelo y a los otros conductores circundantes.

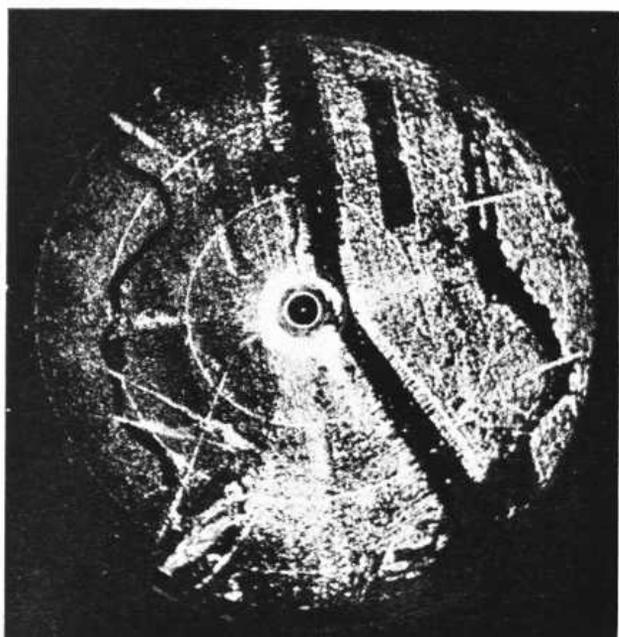
Imaginémonos que disponemos de una esfera metálica, hueca, colocada sobre un soporte aislante, y también de una batería de pilas secas ordinarias, de 4'5 voltios. Son posibles dos experimentos: ante todo el de conectar el polo positivo de la batería, con un hilo conductor, a una toma de tierra ordinaria, y poner el polo negativo en contacto con la esfera metálica. En este caso la esfera adquirirá la misma tensión que la batería, o sea 4'5 voltios. Después, el de poner en contacto el polo negativo de la batería con el interior de la esfera, a través de un orificio. En este caso la pila se descargará completamente, porque todos los electrones disponibles sobre el polo negativo pasarán a la superficie externa de la esfera, mientras que la esfera misma adquirirá, por algunos instantes, una tensión muy superior, por ejemplo de unas cien veces más.

Todos los aceleradores lineales se fundan en este principio. En lugar de una batería de pilas secas hay un alimentador capaz de producir una corriente continua a 10.000 voltios. Su terminal positivo está conectado con el suelo, mientras que el negativo lo está con el interior de una gran esfera metálica, de algunos metros de diámetro, convenientemente aislada. La tensión alcanzada por la esfera depende casi únicamente del aislamiento, por lo que se halla colocada sobre una alta columna aislante. El generador está colocado estrechamente en el interior de una gigantesca envoltura metálica en contacto con el aire, en la cual se hace el vacío o bien se llena de un gas especial para evitar la dispersión de la carga eléctrica.

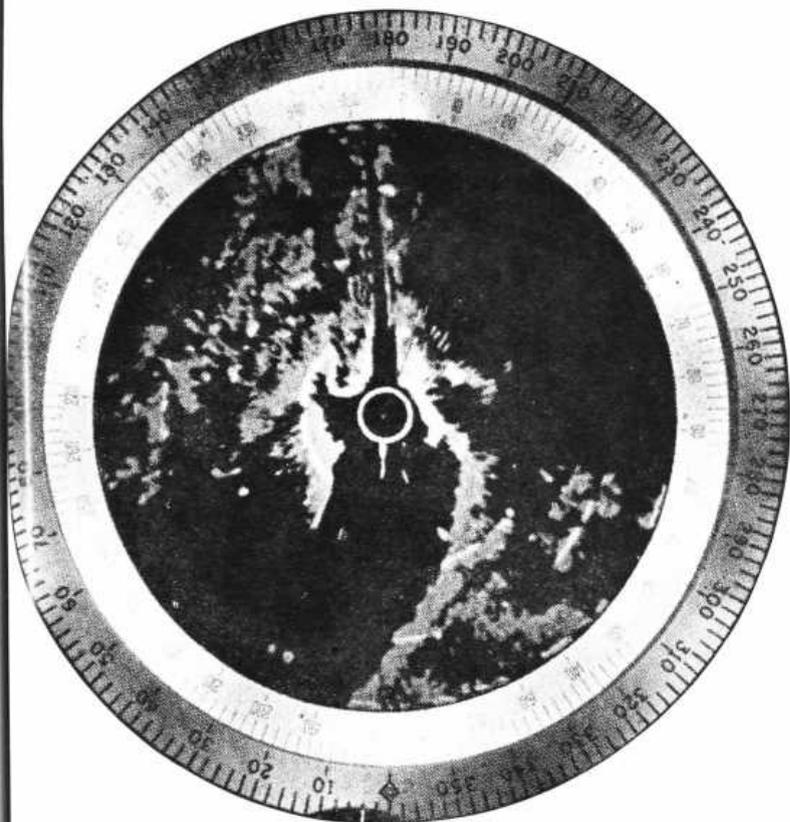
Los electrones son retirados del polo negativo del alimentador con una escobilla especial y confiados a una cinta de goma o de seda, en movimiento continuo, en el interior de la columna aislante.



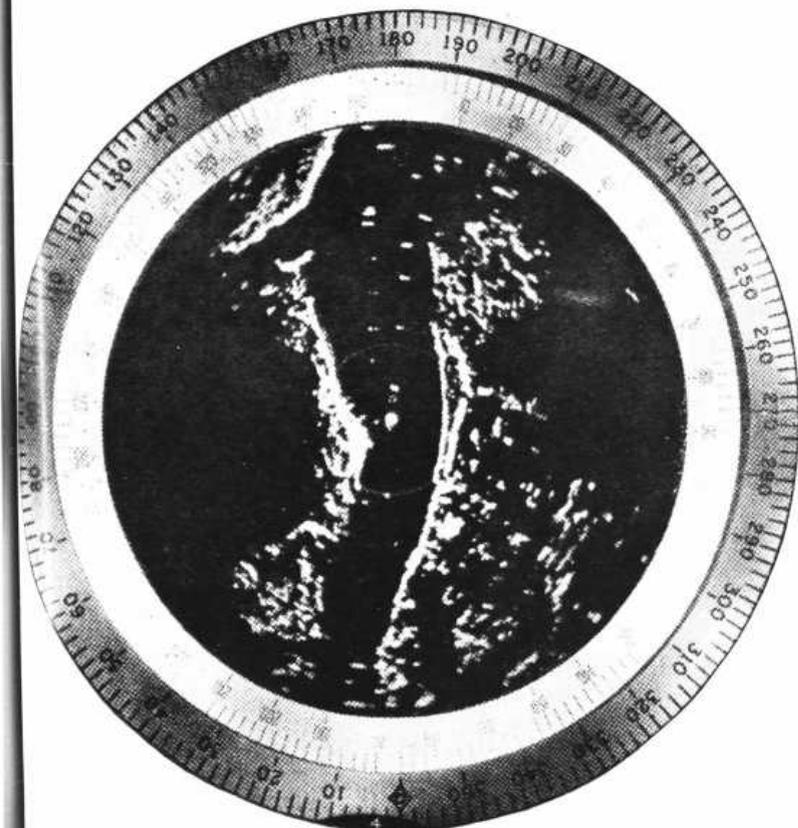
*Lám. LVII. — En caso de niebla el radar-nave hace visible, sobre la pantalla fluorescente, todo lo que se encuentra alrededor del buque dentro de un radio de 80 kilómetros. Una boya puede verse a 6 kilómetros, una embarcación de pesca, a 20. Son usadas micro-ondas de pocos centímetros de longitud, irradiadas y después captadas por la misma antena, la cual está de continuo en movimiento de rotación. Las micro-ondas descienden al aparato por el interior del tubo vertical que se ve en la figura, llamado "conductor de onda".*



*Lám. LVIII. — Nueva York visto sobre la pantalla fluorescente del radar de un aeroplano en vuelo a gran altura. La posición del avión corresponde a la del puntito luminoso en el centro del pequeño círculo, en medio de la figura.*



Lám. LIX A. — Imagen de radar vista a bordo de un buque que navega entre una densa niebla. El buque está en el centro del pequeño círculo blanco, a la entrada del canal St. Mary's River, en el Canadá. Es bien visible toda la costa circundante. Sigue la imagen en la Lám. LIX B.



Lám. LIX B. — Imagen de radar vista por el buque de la lámina precedente. El alcance del radar ha sido disminuido y de esta forma sólo es visible una parte del canal. La posición del buque corresponde a la del puntito blanco en el centro de la imagen.



Lám. LX. — Conducción por radio de los aviones transoceánicos. Cabina de mandos de un "Strato-cruiser". Delante, los dos pilotos; a la derecha, el ingeniero de vuelo; a la izquierda, el telegrafista. El navegador está más hacia la derecha, en el lado del telegrafista, y no se ve, por tanto, en la foto.

Algunos investigadores están especializados en la construcción de grandes generadores electrostáticos de este tipo, entre ellos VAN DER GRAAF. Con uno de ellos es posible obtener la tensión de 2'5 millones de voltios. La esfera metálica es de 4'5 metros de diámetro, y se apoya sobre una columna aislante de 6'7 metros de altura y 1'8 metros de diámetro, en cuyo interior corre una cinta de goma de 112 centímetros de ancho, a la velocidad de

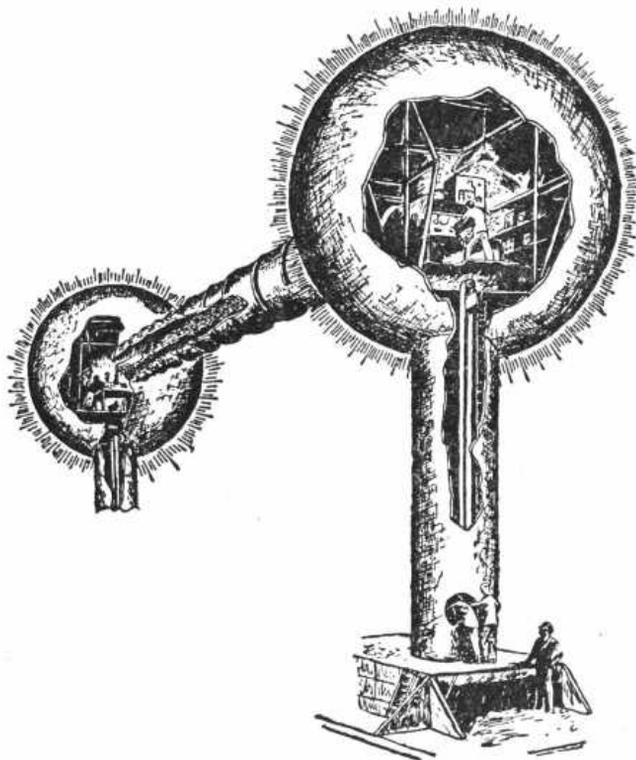


FIG. 56. — En la parte externa de las esferas, una negativa y otra positiva, la tensión eléctrica es de un millón de voltios; en el interior la tensión es de cero, y hay instalado un laboratorio atómico.

1.680 metros por minuto. Otro generador de VAN DER GRAAF, que funciona en el "Argonne National Laboratory", de Chicago, está constituido por una esfera de 5 metros de diámetro, colocada sobre una columna de 9 metros, rodeada de gas nitrógeno. Con él se obtienen tensiones de hasta 5.000.000 de voltios.

Las partículas positivas, ante la acción de tensiones negativas tan altas, alcanzan velocidades elevadísimas y chocan con gran violencia contra los átomos colocados bajo el bombardeo. Pero con los aceleradores circulares

es posible imprimir a los proyectiles sub-atómicos velocidades notablemente más altas. Los aceleradores lineales deberían poder disponer de tensiones todavía más elevadas, de 20 ó 30,000,000 de voltios que, con los medios actualmente disponibles, no son fácilmente asequibles. Presentan sin embargo la ventaja de poder dirigir mejor el rayo de proyectiles, y por tanto son útiles para determinadas investigaciones. Si se desean producir materiales radiactivos en grandes cantidades, son preferibles los aceleradores circulares.

### *El electrón-voltio*

Imaginémonos que empleamos una pinza aislante y que, con ella, cogemos un electrón del polo positivo de una batería de pilas secas de 4'5 voltios. Para lograr esto es necesario llevar a cabo un trabajo de extracción y emplear una cierta energía, que está almacenada en el electrón citado y en el campo electrostático que lo circunda. Es la energía de "4'5 electrones-voltio". La unidad de medida *electrón-volt* (abreviadamente *eV*) o electrón-voltio es empleada para indicar la potencia destructiva asociada a las partículas elementales proyectadas a elevadísima velocidad, o sea a la de los proyectiles sub-atómicos.

Si se abriese la pinza y se dejase caer el electrón sobre el polo negativo de la batería, aquél sería despedido hacia el polo positivo. Ahora bien, si durante la trayectoria de retorno el electrón chocase contra el núcleo de un átomo, conferiría a este núcleo la propia energía de 4'5 electrones-voltio. Mas como un electrón-voltio equivale tan sólo a  $1'6 \times 10^{-12}$  ergios, el efecto de aquel encuentro sería nulo, siendo necesaria una energía de cuando menos un millón de electrones-voltio para dañar el núcleo golpeado. Muchos de los grandes aceleradores de partículas positivas desarrollan potencias de algunos millones de electrones-voltio, a los que corresponde la abreviatura *MeV*.

### *El ciclotrón*

Los aceleradores circulares, entre los que se encuentra el ciclotrón, se fundan en el hecho de que las partículas elementales, además de sufrir la acción de las tensiones eléctricas, acusan también la de los campos magnéticos. Combinando la acción de una tensión eléctrica alterna con la de un campo magnético constante, se puede conseguir que las partículas se proyecten a lo largo de una trayectoria circular, en espirales siempre más amplias, para hacerlas llegar finalmente sobre el material que se ha de desintegrar.

En el ciclotrón de E. O. LAWRENCE, la aceleración de las partículas elementales positivas acontece en la expansión polar de un potente imán.

Entre los dos polos de este imán hay dos cajas metálicas semicirculares, colocadas una delante de la otra, con las aberturas salientes, tal como indica la Fig. 57. En el centro, entre los dos polos del imán y entre las dos cajas, están inmersas las partículas positivas que hay que acelerar.

Cada una de las dos cajas metálicas, que hacen las veces de electrodos, está conectada con uno de los polos de un oscilador de alta frecuencia, por

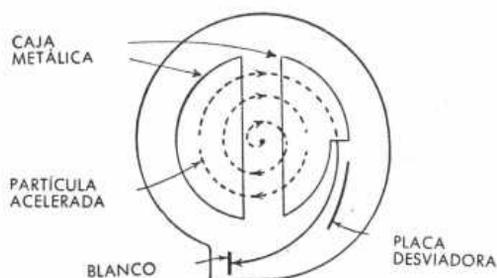


FIG. 57. — Esquema del ciclotrón.

lo que cuando una de ellas está en tensión positiva, la otra se halla en tensión negativa, y viceversa. Apenas la partícula positiva se encuentra entre las dos cajas, sufre la atracción por parte de la que en aquel instante es negativa, y se dirige hacia ella, pero al propio tiempo experimenta asimismo la acción del campo magnético, por lo que realiza una trayectoria semicircular en el interior de la caja.

En el instante en que la partícula positiva sale de la primera caja, hasta entonces negativa, la polaridad se invierte y se transforma en positiva, mientras la segunda caja, aquella hacia la que la partícula va ahora directamente, de positiva pasa a ser negativa. La partícula resulta atraída por la segunda caja, en la que realiza un nuevo semicírculo, un poco más amplio que el primero, dado el aumento de la velocidad. A la salida de la segunda caja la tensión también se invierte, y la partícula continúa girando de una caja a otra, adquiriendo siempre una velocidad mayor, algo semejante a lo que ocurre con la piedra lanzada por medio de una honda.

A cada ciclo de la tensión alterna corresponde una rotación de la partícula acelerada; de ahí el nombre que se le ha dado de *ciclotrón*.

Por el hecho de que a cada rotación la trayectoria es más amplia, antes de que las partículas puedan alcanzar la superficie interior de las cajas encuentran una "ventana" por la que salen a gran velocidad. Guiadas por una placa desviadora, son proyectadas hacia el compuesto a desintegrar.

En el ciclotrón menor de la Universidad de California, en Berkeley, las dos cajas metálicas semicirculares colocadas entre las expansiones polares del imán tienen un diámetro de 152 cm. La tensión a él aplicada es

de 10.000 voltios, a la frecuencia de 10 megaciclos. El ciclotrón está colocado en el interior de un depósito especial de agua. Este elemento tiene por misión la de detener los proyectiles sub-atómicos irradiados al exterior. Durante el funcionamiento del ciclotrón, los investigadores no pueden acercarse a él a una distancia inferior de 12 metros, dado el grave peligro que constituye la radiación.

El ciclotrón mayor, construido hace poco, va provisto de un imán colosal, cuyos polos salientes tienen un diámetro de 4'5 metros. La potencia destructiva, asociada a las partículas positivas aceleradas por este ciclotrón, es de 40 millones de electrones-voltio (v. láminas LXVI, LXVII y LXVIII).

### *El betatrón*

El *betatrón* de D. W. KERST es un acelerador circular sólo para electrones; proyecta rayos de electrones animados a una velocidad extremadamente elevada, muy próxima a la de la luz. No es empleado para desintegraciones atómicas, sino sólo para producir rayos X excepcionalmente penetrantes, útiles para la inspección de productos metalúrgicos.

También el fundamento del betatrón es muy sencillo. En los transformadores de tensión ordinarios hay dos arrollamientos, el primario y el secundario, dispuestos alrededor de un núcleo de hierro. La tensión alterna aplicada al primario determina, por inducción, una tensión similar en el secundario; o sea que los electrones libres presentes en el conductor que forma el secundario son empujados, puestos en movimiento, por el campo magnético producido a su vez por la corriente del arrollamiento primario.

El secundario puede estar constituido también por una sola espira, un anillo de cobre. En el betatrón, en lugar del anillo de cobre, hay un tubo de vidrio doblado en anillo. En lugar de los electrones libres presentes en el anillo de cobre, hay inmersos electrones en el interior del tubo de vidrio a elevado vacío, en forma anular.

Los electrones son introducidos en el tubo en el preciso momento en que comienza un ciclo de la tensión alterna. Esta tensión varía desde cero a un valor máximo, que se alcanza en la cuarta parte del ciclo, y luego va disminuyendo otra vez hasta cero. Los electrones presentes en el tubo de vidrio sufren la acción del campo magnético, e inician una rapidísima carrera en el interior del tubo anular. Si se emplea una tensión alterna de 600 ciclos por segundo, en el cuarto de ciclo utilizado, o sea en  $1/2.400$  de segundo, los electrones realizan 2.000.000 de vueltas en el tubo de vidrio. Del tubo son obligados a pasar a la ampolla de rayos X, donde encuentran un obstáculo metálico —el anticátodo— de tungsteno o de platino enfriado por circulación de agua, del que salen los rayos X por efecto del choque de los electrones acelerados.

El betatrón más grande es el de 137 toneladas, construido por la "General Electric Co.", con el cual es posible asociar a los electrones acelerados la energía correspondiente a 100.000.000 de electrones-voltio. Por el hecho de que los electrones sean 1.880 veces más ligeros que los protones, pueden llegar a velocidades elevadísimas, casi el 99 % de la de la luz. Como sea que la velocidad de la luz no puede ser superada, ya que es una velocidad límite, una constante del Universo, cuando el empujón sea tal que permita a los electrones superar aquella velocidad de la luz, en vez de aumentarla, lo que les sería imposible, aumentan de masa. Los rayos de electrones difunden entonces una luz vivísima.

Como todos los otros aceleradores, también al betatrón se le hace funcionar únicamente después de ser colocado entre robustas protecciones de cemento o de otros materiales resistentes.

