

# ¿Va a ser superada la bomba atómica?

## De la bomba-protón, a los trans-uránicos

Por el Coronel de Intervención RICARDO MUNAIZ DE BREA

### Mi primera bomba.

Era yo un sencillo estudiante del Bachillerato cuando imaginé un artefacto explosivo muy elemental. En el laboratorio de Química tomé un trozo de tubo de vidrio, lo cerré al soplete del gas por un extremo, calenté luego el mismo extremo hasta ablandar bien el vidrio, e, insuflando por el otro, obtuve una pequeña ampolla, a modo de botellín esférico.

Una vez frío, corté parte del tubo sobrante, inyecté en la ampolla algunas gotas de agua, y cerré al soplete el extremo libre del tubo. Ya tenía mi bomba.

Lo demás fué fácil. Tomando el artefacto con una larga pinza, y resguardándome todo lo posible, acerqué la ampolla a la llama del gas, y fué cosa de pocos segundos el obtener una sonora explosión. El agua se había vaporizado, y el aumento de presión del vapor, por el calor recibido, hizo reventar la "caldera". Aquello me valió una reprimenda del catedrático; pero yo quedé—ingenuamente—muy satisfecho del éxito de mi "audaz" experimento.

Había obtenido una explosión puramente mecánica o, cuando más, física. Nada de explosivo con combinación química exotérmica. Aquello quedó reservado a

### La segunda bomba.

Vino poco tiempo después. También muy sencilla, por aquello de que "en la guerra lo más sencillo es lo mejor". Un voltámetro, una pila Leclanché, un poco de agua acidulada y dos tubos de ensayo. Establecidas las conexiones, en pocos segundos se llena un tubo de hidrógeno, y poco después, el otro con el oxígeno, procedentes de la electrólisis del agua. Con la natural precaución (por la notable diferencia de densidades de ambos gases) se mezclan éstos, se

aplica una llama y... hacemos saltar la mezcla detonante. El H y el O se combinan violentamente para formar el  $H_2O$ , la misma agua previamente disociada por la corriente eléctrica. Es una explosión elemental, pero violentísima, y aún no aplicada (que sepamos) a fines belicosos.

### Explosivos de hidrógeno.

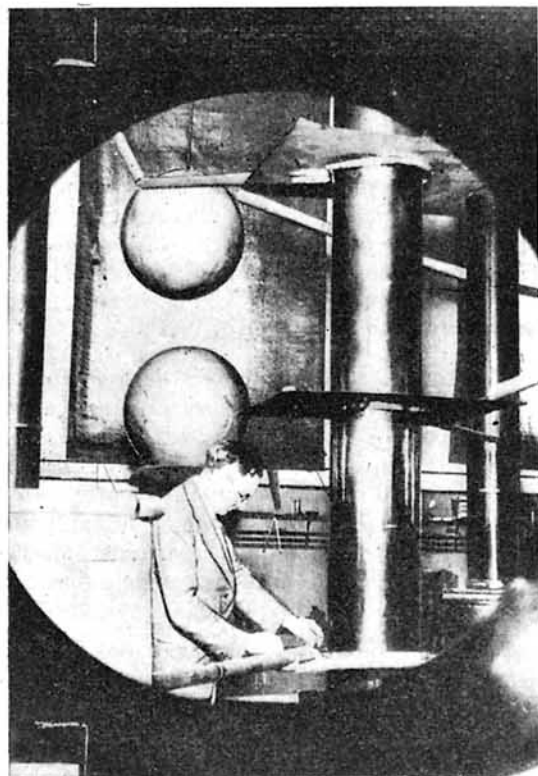
No haremos aquí un análisis de los explosivos "oficiales" en cuya composición química entran compuestos hidrogenados. Los picratos, los compuestos bencénicos y el universal TNT (trinitro-tolueno o trilita), contienen—entre otros muchos—átomos de hidrógeno, que, al combinarse con el oxígeno de la mezcla, producen cantidades variables de vapor de agua, con otros productos de la explosión.

Aquí mencionaremos solamente dos hechos, bien conocidos de todos los aviadores y suficientes para nuestro objeto:

a) El motor de explosión, fundamentalmente, funciona a base de la explosión de un hidrocarburo de la serie bencénica, combinado con el oxígeno del aire, a impulsos de la chispa eléctrica o del calor de la compresión, luego de obtenerse en el carburador la adecuada mezcla gaseosa.

b) En años recientes se ha acudido al genial arbitrio de aumentar notablemente la potencia de régimen de los motores de aviación (solamente durante el momento del despegue) inyectando en las cámaras de explosión algo de vapor de agua o mezcla de agua y metanol. En el cálido ambiente de las cámaras se disocia el agua, y en el acto se recombinan los átomos de hidrógeno y de oxígeno para volver a formar agua. Pero la energía explosiva de la mezcla detonante procura al motor en breves instantes un suplemento de potencia muy interesante para mejorar el despegue del avión.

¿Tiene algo que ver cuanto dejamos dicho con los explosivos nucleares? En rigor científico, no hemos escindido intencionadamente ningún átomo. Sin embargo, creemos tan interesante el volver la vista hacia las explosiones del hidrógeno, que no hemos vacilado en registrar aquí esos tres o cuatro hechos consumados, aparentemente baladíes, pero que con imperio acudirían a nuestra memoria.



El profesor Walton, en el laboratorio atómico de Cambridge.

### La teoría nucleónica.

Recordemos también—es ineludible—que en la moderna química nuclear se admite generalmente que el átomo (de cualquier elemento) consta de un núcleo relativamente compacto y una corona o envoltura periférica, formada por diversas órbitas, recorridas por un cierto número  $Z$  de electrones con carga negativa. El núcleo consta, a su vez, de un cierto número (igual a  $Z$ ) de protones o corpúsculos positivos—constante para cada elemento—y un cierto número de neutrones o corpúsculos neutros, variable en los distintos isótopos de un mismo elemento. Los

protones y los neutrones, en general, se llaman también nucleones. La suma de ambos números, o sea, el que expresa el total de nucleones o corpúsculos nucleares, se designa por  $N$  o por  $A$ , y es el peso atómico del elemento. Al número  $Z$  se le llama número atómico, y expresa la carga eléctrica del átomo. Naturalmente, la diferencia  $N - Z$  indica el número de neutrones del núcleo.

Una moderna hipótesis, la llamada teoría nucleónica, admite que el núcleo atómico está formado solamente por un tipo único de corpúsculos, llamados nucleones. El nucleón podría tener carga positiva y actuar como protón, o no tenerla, y actuar como neutrón.

Supónese al nucleón una masa unidad, similar a las del protón y del neutrón, y una carga eléctrica unidad, similar a la del electrón; aunque puede ser positiva o negativa, y también ser cero; en el caso del nucleón neutro.

Designando por sus iniciales al protón, neutrón y electrón, se podría escribir:

$$\begin{aligned} p &= n + e^+, \\ n &= p + e^-; \end{aligned}$$

o sea, que el protón no sería más que un neutrón con carga positiva, y el neutrón no sería más que un protón con una carga negativa.

Aplicando la teoría nucleónica a los fenómenos de la radioactividad alfa y beta, de la que hemos hablado en otra ocasión en estas mismas columnas (1), tendríamos:

1.º Si en la radioactividad  $\alpha$  se emite un electrón positivo, se habrá desintegrado un protón nuclear, y, por tanto,

$$p - e^+ = n,$$

transformándose en neutrón. El núcleo atómico ha perdido, pues, un protón, ganando un neutrón. El elemento baja en una unidad su número atómico  $Z$ , y tenemos la degradación protónica o desintegración positígena.

2.º Si se emite un electrón negativo, lo que se desintegra es un neutrón nuclear, que se transforma en protón, puesto que

$$n - e^- = p.$$

El núcleo atómico ha perdido ahora un neutrón y ganado un protón, y su número atómico

(1) Vid: "Hacia la bomba atómica". Junio de 1948, núm. 91, págs. 458-9.

sube en una unidad. Tenemos la desintegración negatógena o protonización.

Tanto en uno como en otro caso, el peso atómico  $N$  permanece inalterado, ya que el número de nucleones no varía, y el peso del protón y del neutrón es prácticamente el mismo, siendo despreciable, a estos efectos, el del electrón emitido. Estos supuestos son, como puede comprobarse, totalmente distintos de los que las teorías clásicas formulan en torno a la radicación alfa y beta aludida en nuestro trabajo citado.

Como es sabido, todos los elementos químicos pueden ordenarse por su número atómico, y estudiando la clasificación así formada, demostró Mendeleiev que los elementos constituyen a modo de familias o grupos, de características parecidas. Por ello, cuando faltaba por descubrir algún elemento, cuyo número atómico estaba vacante en la clasificación periódica, se le podía describir aproximadamente, ayudando así a su descubrimiento. Tal fué el origen del hallazgo del galio y el germanio, entre otros nuevos elementos.

Ahora bien; si esto ocurre en el centro de la clasificación, ¿qué ocurrirá en los extremos de ella? Vamos a tratar de averiguarlo.

El elemento número uno es el hidrógeno, cuyo núcleo atómico sólo tiene un protón. No es concebible, pues, la existencia de otro cuerpo inferior, aún más ligero y de número más bajo, ya que sin un protón, cuando menos, no es posible concebir un núcleo atómico. Tampoco es fácil admitir la existencia de un elemento cuyo núcleo tenga solamente un neutrón, ya que entonces la carga eléctrica de los electrones corticales no quedaría equilibrada, y el cuerpo sería inestable; sus átomos se fundirían con otros de signo opuesto (igualmente inadmisibles, por lo demás).

En cambio, el elemento superior de la lista es el uranio, de número atómico 92, por tener 92 protones en el núcleo y 92 electrones en la corona. ¿Se opone algo a que puedan existir otros elementos con 93, 94, 95 .... protones? Evidentemente, no. En tal caso el  $U^{92}$  sería, para los ingleses, *latest, but not the last*.

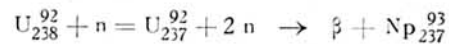
### Los trans-uránicos.

Desde años atrás, los investigadores se dedican afanosamente a la busca y captura de tales hipotéticos elementos, llamados, por su situación ordinal, trans-uranios.

La historia es prolija, y no hemos de detallarla aquí. Basten dos datos: En 1934 Enrico Fermi logra fraccionar el núcleo atómico desintegrándolo artificialmente. En 1939, Hahn y Strassmann aplican el procedimiento al uranio, y lo escinden también. Buscando así los trans-uranios, se piensa en las enormes cantidades de energía nuclear que puede liberar la desintegración atómica. Comienza el camino que conduce a la ato-bomba.

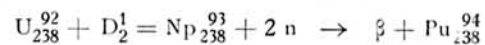
Mas la Providencia parece, a veces, querer confundir a los hombres. Buscaban los trans-uranios, bombardeando átomos pesados, para provocar la protonización (elevando progresivamente el número atómico), y sólo lograron escindir el núcleo del uranio. Pero, años después, cuando caminaban hacia la bomba atómica, aparecieron—sólo entonces—los famosos trans-uranios... (2).

Atacando el uranio de peso atómico 238, es decir el  $U_{238}^{92}$  con neutrones rápidos, se obtiene la reacción siguiente:



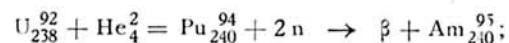
A los siete días del "ataque" aparece este nuevo cuerpo, el neptunio 93, elemento inmediato superior al  $U_{92}$ , con un nucleón menos y un protón más que el uranio. El neptunio es muy estable. Al cabo de  $2 \cdot 10^6$  años se transmuta en un isótopo del uranio, el  $U_{233}^{92}$ .

Atacando al uranio con nucleones muy rápidos de deuterio (deuterones) se avanza todavía más en la escala de los trans-uranios.



En este caso, el neptunio intermedio es un isótopo, con un nucleón más, y al cabo de dos días se transmuta en plutonio de  $N = 94$ , cuerpo bastante estable, que al cabo de cincuenta años da otro isótopo del uranio, el  $U_{234}^{94}$ . Hemos llegado a un gran explosivo nuclear, empleado ya—con el éxito conocido—en la bomba de Nagasaki.

Todavía se ha llegado más allá. Atacando al uranio con rayos alfa (heliones) de más de 40 MeV de energía, se obtiene:



(2) Vid: *Le drame des trans-uraniens*, Coronel Sabatier. *Forces Aériennes Françaises*, Febrero de 1949.

es decir, primero, un plutonio (isótopo) de mayor peso atómico, y luego un nuevo trans-urano: el amerícium o americio, de  $N = 95$ .

Y operando directamente sobre el plutonio, se llega aún más allá:



o sea, dos neutrones, y un átomo de Curium o Curio, nuevo trans-urano de  $N = 96$ , así llamado en honor de los esposos Curie. (Prof. Nahmias, "Artilerie atomique".)

Ha llegado a admitirse también la existencia del elemento siguiente, de  $N = 97$ , pero aún no ha sido comprobado. Provisionalmente asignáronse a los trans-uranios los nombres de otros elementos, con el prefijo *eka* (sub): Eka-renio 93, eka-osmio 94, eka-iridio 95, eka-platino 96 y eka-oro 97, designación pasada hoy de moda (Sabatier).

**¿Qué hay de la super-bomba?**

Una de las más apasionantes propiedades de los trans-uranios es el alto valor de su aplicación como explosivo nuclear. Se ha comprobado que la radioactividad natural es patrimonio de los elementos pesados (radio, torio, actinio, uranio), cuyas elevadas masas atómicas implican una energía constituyente y liberable que, como sabemos (Einstein), aumenta con la masa atómica. La bomba de plutonio debe, pues, superar a la de uranio, y las de los nuevos trans-uranios deben superar a la del plutonio. De aquí su gran interés militar.

Pero también hacia el otro extremo de la escala se hallan enormes cantidades de energía. Mientras que los elementos pesados de  $N > 47$  (de la plata al uranio y trans-uranios) son de formación endotérmica, y tienen, por eso, almacenada una gran energía que liberan al desintegrarse; por el contrario, los elementos ligeros (del hidrógeno al paladio) son de formación exotérmica, y al desintegrarse han de absorber energía.

¿Qué significa esto? Que en teoría se pueden formar, por síntesis, estos elementos ligeros con relativa facilidad, sobre todo cuando se trata de ir aumentando su masa atómica. Por ejemplo, se obtendría helio partiendo del hidrógeno y del boro, con una liberación de energía del orden de 50.000 millones de kilocalorías por kilogramo de helio, o sea, cinco millones de veces más que en la combustión de un kilogramo de hulla. Si se llegase al helio a través del

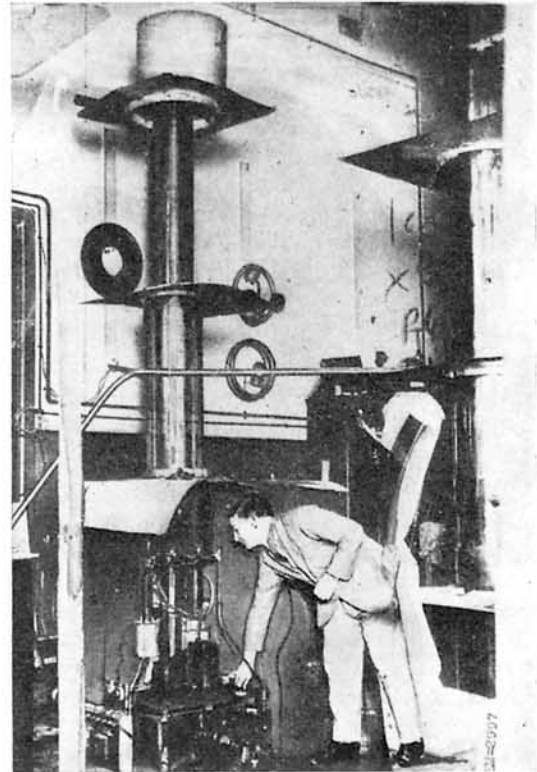
hidrógeno y del litio, la energía liberada ascendería a 70.000 millones de calorías.

He aquí algunas de las posibles reacciones.

a) Atacando el átomo de boro con neutrones:

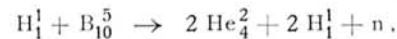


obteniéndose helio y triterio, isótopo pesado del hidrógeno.



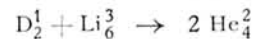
El doctor Cockroft, con los aparatos que empleó para desintegrar el átomo.

b) Atacándole con protones:



resultando helio, hidrógeno libre y un neutrón.

c) Atacando el átomo de litio con deuterones (núcleos de deuterio o hidrógeno pesado), resultaría helio sólo:



Ahora bien; en la práctica estas reacciones se desarrollarían con tal lentitud, que serían in-

aprovechables en absoluto, ya que necesitarían millones de años para completarse. Pero se obtendrían en pocos segundos, si fuese posible proporcionar a las mezclas una temperatura inicial del orden de 20 millones de grados en la reacción  $H + Li$ . Bien se comprende la imposibilidad de obtener estas temperaturas en la Tierra. Pero en el Sol y en las estrellas existen normalmente, y, por ello, allí se producen tales síntesis y desintegraciones, a las que se atribuye buena parte de su energía radiante.

Según el P. Ignacio Puig, si la energía de la combustión del H se mide con el número 1, la de la desintegración del U es de 200.000, y la de la reacción termo-nuclear litio-hidrógeno para formar helio, de 1.000.000; es decir, cinco veces mayor que la de la bomba de uranio.

Hemos supuesto, hasta aquí, que se trata de procesos con radioactividad beta, aumentando en una unidad el número atómico Z. Pero cabe también operar en sentido inverso, provocando la radioactividad alfa, con emisión de un positrón y pérdida de una unidad para Z.

Así se ha descendido del núcleo de seis protones (carbono) al de cinco (boro), y de éste al de cuatro (berilio). Simbólicamente:



pero no se ha bajado al  $Li^3$ , al  $He^2$ , ni al  $H^1$ , elementos radioactivos a los que no ha llegado todavía la desintegración positógena.

A propósito de estas reacciones, veamos lo que dice el Coronel Sabatier en el trabajo citado:

"Esta explosión del núcleo de hidrógeno, cuya idea nació con el supuesto de los transuranios, es uno de los más apasionantes problemas del día. Frecuentes rumores—nunca confirmados hasta ahora—hablan de una nueva superbomba, la bomba de hidrógeno o bomba-protón, creada sobre estas teorías. Pero si no es cierto que exista, sí lo es que algunos laboratorios trabajan activamente en busca de ella.

"¿Cuál sería el balance energético de semejante operación?

"No existen aún cálculos ni mediciones; sólo cabe formular conjeturas sobre la diferencia de masas entre el protón y el neutrón. Esta diferencia (en unidades másicas) viene a ser de:

Masa del protón.....	1,0078
» » neutrón.....	1,0089
<i>Diferencia de ambas.</i>	<u>0,0011</u>

"La energía equivalente es del orden de  $1 \cdot 10^{-6}$  ergios.

"Si consideramos que un gramo de hidrógeno contiene aproximadamente  $10^{24}$  átomos (otros tantos núcleos o protones), la energía de la desintegración positógena de esta masa sería del orden de  $1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{24}$  ergios.

"Cifra que, transformada en energía eléctrica, nos daría 200.000 kw/h., y en energía térmica,  $200 \cdot 10^9$  calorías, en cifras relativamente aproximadas, pero que equivalen a unas diez veces la energía de la desintegración de un gramo de uranio. Sólo que, mientras esta última está ya sólidamente establecida y comprobada, la del hidrógeno es aún, hoy por hoy, no más que una elucubración teórica."

Parte, evidentemente, Sabatier, para los anteriores cálculos, de la teoría einsteniana, que establece la relación admitida entre masa y energía de la materia, con la conocida fórmula

$$e = mc^2,$$

en donde  $e$  es la energía,  $m$  la masa y  $c$  la velocidad de la luz.

Según esto, un gramo de masa equivale a 25 millones de kw/h., o a 22 millones de calorías.

La unidad másica aludida más arriba es la del átomo de oxígeno  $O_{16}^8$ , o sea, la inversa del número de átomos de  $O_{16}^8$  contenidos en 16 gramos del mismo; es decir,  $1,640 \cdot 10^{-24}$  gramos.

Volviendo sobre la síntesis del helio nuclear, podemos hacer también algunos números. En efecto:

Masa del protón.....	1.0078
» » neutrón.....	1.0089

Pasemos al doble:

Masa de dos protones.....	2,0156
» » dos neutrones.....	2,0178
<i>Total de los cuatro..</i>	<u>4,0334</u>

Como el núcleo de helio tiene dos protones y dos neutrones, esta suma debería ser su masa atómica. Sin embargo, se la ha medido y es algo menor: 4,0040.

Hay, pues, una diferencia entre la masa del compuesto, y la suma de las masas de los componentes. Esta diferencia es de

$$d = 4,0334 - 4,0040 = 0,0294.$$

Hasta aquí la teoría. En la práctica, la medida obtenida para esta pérdida de masa es ligeramente superior de 0,030 u. m. Por tanto, en esta síntesis se habrá liberado una energía del orden de  $25.10^{18}$  ergios, por cada gramo de helio fabricado.

**¿Se puede romper el protón?**

No nos atreveríamos a afirmarlo, aun pensando que nada es imposible para quien todo lo puede.

Teóricamente, el proyectil más eficaz, dada la carga eléctrica positiva que caracteriza al protón, sería un corpúsculo neutro, como el neutrón, o negativo, como el electrón. El neutrón, el más pesado de los tres, es relativamente manejable y buen rompedor, con acreditada eficacia al perforar la solidísima coraza del núcleo atómico del uranio, 238 veces superior en masa. Además, de ser cierta la hipótesis nucleónica (que hace al neutrón ser un protón con carga negativa), sería eléctricamente fácil percutir con él sobre un protón de carga positiva.

En cuanto al electrón, hay el inconveniente de su relativa pequeñez; su masa, de 1.840 a 1.890 veces menor que la del protón, exigiría una velocidad considerable para que fuese eficaz. (Sin embargo, esto es querer aplicar la balística a la Física nuclear. ¿Acaso no sabemos que los neutrones lentos penetran mejor que los rápidos en ciertos núcleos de uranio?) Existen aquí normas, hechos y leyes que nosotros no estamos seguros de conocer.

Volviendo al hidrógeno, no hay que olvidar que su único protón nuclear está defendido—digámoslo así—por un electrón periférico con carga negativa. Este corpúsculo repelerá al electrón incidente, si éste no tiene la suerte de esquivarle. En este aspecto, es mejor el proyectil sin carga eléctrica, como el neutrón o como el pequeño neutrino.

Existen ya máquinas aceleradoras de corpúsculos negativos, como el betatrón de Kerst, gran proyector de rayos beta, que acaso se empleen en la investigación de la explosión protónica (fig. 1).

Es preciso lograr, además, el carácter explosivo—o en cadena—de la reacción buscada. Conventría, acaso, "neutronizar" numerosos núcleos de hidrógeno. Pudiera ensayarse, como buena fuente de neutrones, el agua pesada  $D_2O$ , o los mismos isótopos pesados (deuterio, triterio) del hidrógeno.

En el actual horizonte de la Ciencia vemos, pues, dibujarse tres posibilidades, igualmente sensacionales:

- a) La fabricación de una ato-bomba a base de un nuevo elemento trans-uranio, de energía muy superior a la del uranio.
- b) La desintegración del hidrógeno por explosión de su único protón nuclear, con reacción en cadena auto-entretendida (bomba-protón).

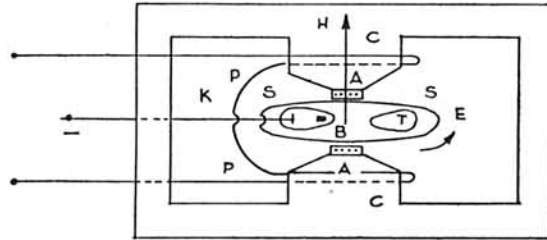


FIG. 1.—Esquema eléctrico del Betatrón de Kerst.

A A, polos de limadura de hierro.—C C, piezas polares del núcleo magnético en hierro dulce.—H, sentido del campo eléctrico.—E, sentido de la aceleración electrónica.—P P, devanado primario. S S, devanado secundario, toroidal.—T, tubo al vacío, toroidal, conteniendo el electrodo catódico K, y el blanco a bombardear, B.

El campo alterno acelera los electrones en dos sentidos opuestos, y llegan a alcanzar la velocidad de 295.000 kms/seg. al cabo de un recorrido de 400 kms., con una tensión de 20 millones de voltios, con un generador no muy grande. Se producen rayos X muy duros.

- c) La obtención sintética del helio, partiendo del hidrógeno, con liberación de energía en proporciones estelares y temperaturas de 20 a 40 millones de grados.

Hay que estar atentos al desarrollo de estas hipotéticas posibilidades. Detrás de ellas puede estar el secreto de una super-ato-bomba, muchas veces más potente que las ya conocidas de uranio y plutonio. Y, análogamente, puede llegarse también a la desintegración del hidrógeno del agua de los mares o de la alta atmósfera, con la liquidación cósmica de nuestro planeta. Catástrofe espantosa que algunos temieron producir en El Alamo Gordo, en Hiroshima y en Bikini, y que acaso no se produjo entonces por falta de hidrógeno, de helio o de temperatura suficiente, así como por altos designios tutelares de la divina Providencia; pero que, teóricamente, no es imposible de producir.