

Título: Una explosión de supernova en clase

Autor: Ricardo Moreno Luquero

Tema: Estrellas y constelaciones

Nivel: ESO, Bachillerato y Universidad

Tipo: Clase

Objetivo: Ver la gran velocidad con la que rebotan los átomos en una explosión de supernova.

Material: Pelota de tenis y balón de baloncesto.

Procedimiento:

EXPLICACIÓN DE CÓMO EXPLOTA UNA SUPERNOVA

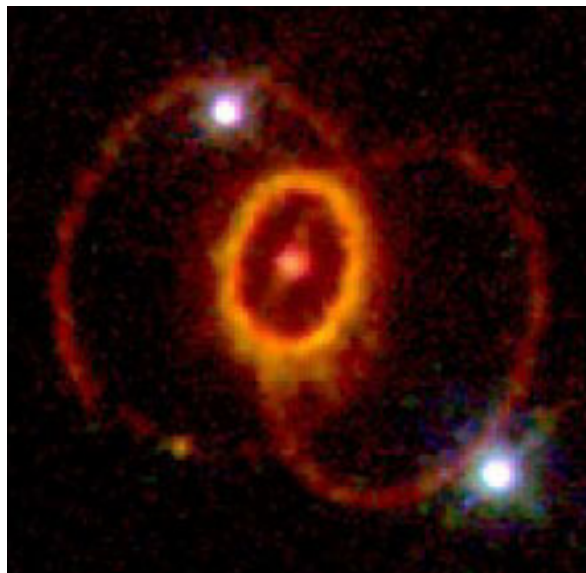
Las estrellas se forman a partir de una nebulosa original, compuesta fundamentalmente de hidrógeno. Esta nebulosa se concentra gravitacionalmente y provoca el aumento de su temperatura interior hasta llegar a los varios millones de grados necesarios para que se fusione el hidrógeno. Entonces la estrella empieza a brillar. Si la nebulosa inicial es muy masiva, la estrella explotará como supernova al final de su vida. Repasemos sucintamente los procesos que, según los conocimientos actuales, se producirán en su interior.

Al principio el hidrógeno se fusiona en el núcleo, y se convierte en helio. La energía así liberada consigue contrarrestar la presión gravitatoria. Cuando se termina el hidrógeno en el interior, aunque en las capas superficiales todavía quede, la propia gravedad hace que se contraiga y que aumente la temperatura del núcleo hasta conseguir los 100 millones de grados necesarios para que se inicie la fusión del helio, que se convierte en carbono. La estrella en ese momento se hincha y se convierte en una supergigante roja. Al terminarse el helio en su interior, de nuevo se contrae, y llega a iniciarse la combustión del carbono, a 600 millones de grados. De nuevo se hincha consiguiendo tamaños mayores que las supergigantes. El color de estas estrellas es rojo profundo debido a que su temperatura exterior alcanza sólo los 2.000 grados. Se las llama estrellas de carbono, y son todo un espectáculo en el telescopio. Al acabar en la parte central la combustión del carbono, la presión en su interior aumenta, y llega a arrancar la combustión del neón a 1.000 millones de grados, del oxígeno a 1.500 millones de grados, del silicio a los 2.700 y del azufre a 3.500 millones de grados, que han sido respectivamente los resultados de las fusiones precedentes. Cada una de estas fusiones se hace en un periodo menor de tiempo. El producto final es el hierro, cuya fusión no es posible porque en lugar de expulsar energía tendría que absorberla. Las diferentes igniciones se han producido siempre en el centro, cuando todavía quedaba material en la periferia, por lo que la estrella ha ido adoptando una estructura

en capas, llamada *estructura de cebolla*, con elementos más pesados según vamos profundizando.



Cuando sólo hay hierro en el centro, la masa de la estrella es tan grande que se produce un inevitable colapso gravitatorio sobre sí misma, pero esta vez sin posibilidad de encender ya nada. En esa caída los núcleos atómicos y los electrones se van juntando cada vez más, hasta formar en el interior una estrella de neutrones. En ese momento, toda la parte central de la estrella consiste en neutrones en contacto unos con otros, con una densidad tal que una cucharadita pesaría tanto como todos los edificios de una gran ciudad juntos. Y como los neutrones están en contacto unos con otros, la materia no puede contraerse más y la caída a velocidades del orden de la cuarta parte de la de la luz se detiene de golpe, produciendo un rebote hacia atrás en forma de onda de choque que es el proceso más energético que se conoce en el Universo: una sola estrella en explosión puede brillar más que una galaxia entera, compuesta por miles de millones de estrellas.

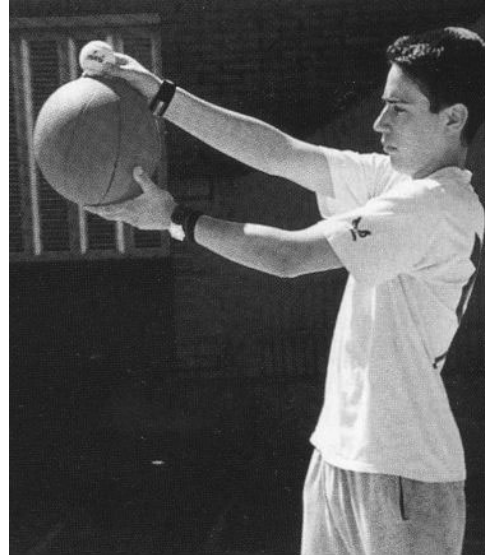


MODELO DE LA EXPLOSIÓN

Y aquí es donde viene el modelo que puede servir para hacerse una idea de la energía liberada. El rebote de los átomos pesados contra esa maciza estrella de neutrones, y el de éstos contra los más ligeros que vienen detrás

cayendo desde las capas superficiales de esa gigantesca cebolla, se puede representar fácil y espectacularmente con un balón de baloncesto y una pelota de tenis, dejándolos caer juntos sobre un terreno duro. En este modelo, la Tierra, mucho más masiva que las pelotas, representa el núcleo macizo de la estrella de neutrones, el balón de baloncesto será un átomo pesado que rebota, y a su vez empuja al átomo ligero que viene detrás de él, representado por la bola de tenis.

Para realizar el modelo, se sitúa el balón de baloncesto a la altura de nuestros ojos, sobre ella la bola de tenis, lo más vertical posible y se dejan caer las dos a la vez. Si previamente se le pregunta a alguien la altura a la que cree que llegarán después del rebote, probablemente nos diga que a la inicial, o incluso un poco menos. Sin embargo el resultado es muy diferente.



Al soltarlas, llegan casi al mismo tiempo al suelo. El balón grande rebota elásticamente, y retrocede con la misma velocidad que ha llegado. En ese momento choca con la pequeña pelota de tenis, que baja con la misma velocidad con la que el balón sube y la pequeña sale despedida a gran velocidad hacia arriba, y llega mucho más alto. Si estos choques se repitiesen con más bolas, cada vez más ligeras, que cayesen en la misma dirección, las velocidades que se conseguirían serían fantásticas.

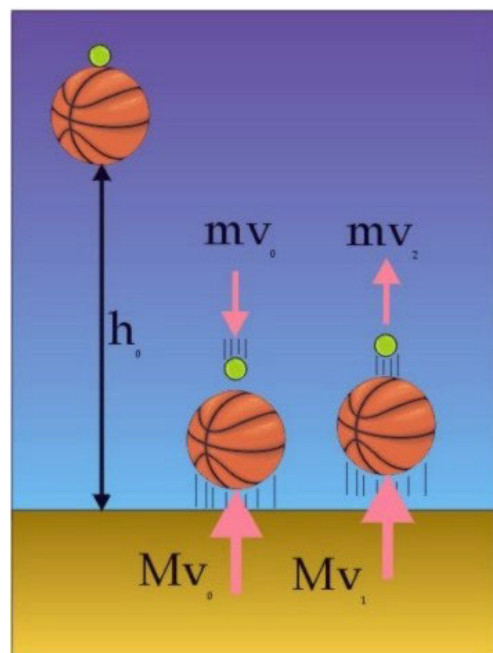
No es difícil calcular teóricamente la velocidad y la altura a la que debería subir la bola de tenis, si suponemos que los choques son perfectamente elásticos. En ese caso se debe conservar la cantidad de movimiento y la energía cinética, antes y después del choque entre las dos pelotas. Si cogemos como sentido positivo de las velocidades el ascendente, las dos ecuaciones que rigen el choque son:

$$M \cdot v_0 - m \cdot v_0 = M \cdot v_1 + m \cdot v_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot v_0^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

en las que

M = masa del balón de baloncesto
 m = masa de la bola de tenis
 v_0 = velocidad de llegada de las dos pelotas al suelo, y a la que rebota hacia arriba la de baloncesto



v_1 = velocidad a la que sale la pelota de baloncesto después de chocar con la de tenis

v_2 = velocidad a la que sale la pelota de tenis después de chocar con la de baloncesto

Despejando v_1 en la primera ecuación y sustituyendo en la segunda, podemos calcular la velocidad v_2 en función de v_0 . Para simplificar las expresiones que salen, se puede considerar que **M** es mucho mayor que **m** (una pelota de tenis pesa unos 60 gramos, mientras que la de baloncesto pesa diez veces más). En ese caso es fácil concluir que

$$v_2 = 2 \cdot v_0$$

y como para las dos velocidades se cumple que

$$h = v^2 / (2 \cdot g)$$

teóricamente la bola de tenis debería llegar a una altura **cuatro veces la inicial**. En la práctica es algo menor, pero sí llega a sobrepasar el doble de la altura a la que se dejan caer las pelotas. De hecho si se hace en una habitación, hay que tener cuidado para que no dé en la lámpara del techo o en algún otro objeto delicado.

Este experimento se puede hacer en clase o en otro lugar cerrado, aunque es preferible hacerlo al aire libre. Se podría hacer desde una ventana alta, pero no lo aconsejo: la bola de tenis es muy difícil que caiga perfectamente vertical, por lo que saldrá despedida con gran fuerza en una dirección imprevisible, con posibles consecuencias de las que no quisiera sentirme responsable. En cualquier caso, es un modelo que deja claro cómo el rebote de una supernova provoca una fuerza hacia atrás realmente grande.

En el mercado de juguetes educativos venden uno muy barato (900 pts en Ferán-Dideco, tfno: 913 580 423; 913 650 240; 963 522 165) llamado Astro Blaster, basado en lo aquí expuesto. Tiene 4 bolas de goma unidas por un vástago: al dejarlo caer y rebotar, la última sale despedida mucho más alto de cuatro veces la inicial.