

¿Por qué los remanentes de las supernovas no son simétricos?

Estefanía Agraz, Roberto Arellano, Jessica Domínguez, Nayeli Jiménez y Víctor Vargas.

Colegio Marymount, Métodos de Investigación.

colegio@marymount.edu.mx

Supernovas, simetría, remanentes.

Resumen

Se evaluó la variación de masas de los diferentes elementos que constituyen una estrella como causa de asimetría en los remanentes de supernovas. Realizamos cálculos con los datos del remanente del Cangrejo para hallar la distancia a la que llegan los elementos comprendidos entre el hidrógeno y el hierro (siendo éstos los más estables). También medimos cinco imágenes de remanentes de supernovas masivas para comprobar su asimetría. Realizamos un experimento de simulación

con diferentes masas para comprobar que un objeto de menor masa llega más lejos que uno de mayor masa, cuando es lanzado por una resortera. Aplicamos los conocimientos obtenidos para la elaboración de un kit interactivo, cuyo fin es explicar de manera sencilla y didáctica los conceptos de simetría, remanentes y supernovas.

Introducción

Las estrellas son cuerpos con forma esférica hechas de un material llamado plasma. “Este consiste de una mezcla de átomos, iones, electrones libres y una variedad de otras partículas.”¹ En su interior se propicia la fusión atómica, y así la creación de nuevos elementos. Al principio del universo sólo existían dos elementos químicos, los cuales constituían a las primeras estrellas y ellas mismas los utilizaron para producir toda una nueva variedad de nuevos elementos. Por lo tanto, se puede decir que en esencia las estrellas son reactores de energía nuclear, pues en todo momento se está llevando a cabo la fusión atómica. Esto dio por resultado que los átomos de nuestro cuerpo en un principio formaron parte de las estrellas.¹

Una supernova es el momento de la explosión de una estrella debido a que la presión para mantener todos los átomos nucleares, que se han ido formando, ya es insostenible. Esto causa un colapso en el interior de la estrella.² Ésta ya no tiene la energía necesaria para mantenerse unida y por lo mismo explota a altísimas velocidades hacia el espacio, arrojando todo su material irradiando luz, la cual vemos desde la Tierra. Es muy raro que esto ocurra puesto que sólo se han visto muy pocas a lo largo de la historia de la humanidad y el proceso previo a la explosión es sumamente largo. Los resultados pueden variar. Puede que se cree un agujero negro, una estrella

de neutrones o una enana blanca, o puede que el material se esparza en un haz de material, llamado remanente. Recordando que las estrellas tienen forma esférica, en el caso del haz de material, esta figura debería ser de la misma forma que de la estrella de la cual formaba parte, ya que sale disparada en todas las direcciones. Sin embargo, esto no es así, como se ve en la forma de los remanentes. Esto se puede verificar, puesto que los remanentes de las supernovas no son simétricos ni esféricos.

“La simetría es la proporción adecuada de las partes de un todo entre sí y con el todo mismo. Es la armonía de posición de las partes o puntos similares unos respecto de otros, y con referencia a un punto, línea o plano determinado.”³

Antecedentes

Las estrellas se pueden clasificar en diferentes tipos de acuerdo a su masa, radio y su cantidad de energía. No obstante, obtener esta información es bastante complicado, pues llega a nosotros en “paquetes” que podemos leer gracias a detectores especiales de rayos-x, radiación gamma, etcétera.

Se han registrado a lo largo de la historia de la Tierra, fechas de las supernovas. Éstas fueron observadas en nuestro tiempo; sin embargo, la luz del destello de las supernovas tarda cientos de miles de años hasta llegar a verse en nuestro firmamento:

- 185 d.C. – SN 185 – Por primera vez se registró una supernova. Este registro fue en China y en Roma.
- 1006 d.C. – SN 1006 – Los registros se encuentran en Egipto, Italia, China, Japón, etc. Se registró un destello muy brillante.
- 1054 – SN 1054 – Los nativos americanos y los Chinos documentaron la Nebulosa del Cangrejo cuyos orígenes surgen de la SN 1054.
- 1181 – SN 1181 – Se registra una nueva explosión en Casiopea y se observa los restos que formaron una estrella de neutrones (posible estrella extraña). Esta explosión fue documentada por astrónomos chinos y japoneses.
- 1572 – SN 1572 – En el libro *De Nova Estella*, el término *nova* es mencionado y descrito por primera vez por los astrónomos Tycho Brahe y Jerónimo Muñoz.
- 1604 – SN 1604 La última supernova vista en la Vía Láctea fue observada por el astrónomo Johannes Kepler. Galileo Galilei usó esta prueba para demostrar que el cielo no era inmutable (contrario a los más de mil años de creencia aristotélica).
- 1885 – Ernst Hartwig descubrió la supernova S Andromedae en la Galaxia de Andrómeda.
- 1987 – Las teorías modernas sobre la formación de supernovas fueron probadas en la explosión de la Supernova 1987A en la Gran Nube de Magallanes.
- Cassiopeia A – Tiene aproximadamente 300 años de edad. Este remanente no es visible desde la Tierra a simple vista, pero su característica principal es que es el remanente más luminoso al verlo con los instrumentos adecuados en los

observatorios.

- 2005 - SN 2005ap – Es la supernova más brillante jamás antes vista. Ha llegado a ser hasta 8 veces más luminosa que la misma Vía Láctea y dos veces más que la supernova SN2006gy.
- 2006 – SN 2006gy Siendo el núcleo de la galaxia NGC 1260, la segunda más grande hasta ahora. Su luz fue de 50,000 millones de veces la del Sol, aproximadamente.

Hasta la fecha no se ha realizado una investigación de esta índole, en la que el motivo principal de la investigación sea específicamente el análisis del porqué los remanentes son asimétricos. Sin embargo, existen trabajos previos que hablan de la asimetría en remanentes específicos: la Nebulosa del Cangrejo y el remanente Cassiopeia A.

La Nebulosa del Cangrejo y el remanente Cassiopeia A han sido objeto de gran interés por su gran tamaño. Debido a que estos dos remanentes son los más grandes, se han podido estudiar y analizar con mayor precisión y detalle. A pesar de contar con todos estos datos de estudios anteriores, éstos no han sido utilizados para explicar la razón de la asimetría del remanente.

La Nebulosa del Cangrejo es el resultado de una supernova que ocurrió en 1054; es un remanente con un pulsar, o estrella de neutrones, en el centro. Este pulsar rota 30 veces por segundo, y emite radiación que va desde gamma hasta ondas de radio. La luz de la explosión fue visible durante 22 meses. Se encuentra a una distancia de 6300 años luz con respecto a nosotros, tiene un diámetro de 6 años luz, y se expande a una velocidad de 1500km/s.⁴

Hipótesis

La asimetría de remanentes de supernovas se debe a la variación en las masas atómicas de los diferentes elementos que constituyen la estrella.

Objetivos

-General: Argumentar de forma experimental y documental que la asimetría de los remanentes de supernova se debe a la variación de masas de los elementos constituyentes de la supernova.

-Específicos:

1. Definir criterios de simetría.

2. Obtener y revisar imágenes de remanentes de supernovas de la base de datos de la NASA.
3. Para respaldar la hipótesis, realizar experimentos de principios físicos. Es decir, la representación de las variaciones de los diferentes elementos químicos.
4. Realizar cálculos numéricos basados en la información del remanente del Cangrejo, tomando el Hidrógeno como elemento representativo de los más ligeros y el Hierro como representativo de los más pesados en la estrella.
5. Crear un kit interactivo enfocado a la educación de infantes sobre la relación entre la óptica y las supernovas.

Metodología

El lugar en donde se desarrolló este proyecto fue en el ICF-UNAM y en el Colegio Marymount. Los materiales utilizados fueron diez imágenes (Véase *anexo A*) de remanentes de supernova que se bajaron de la base de datos de la NASA; materiales de medición como regla, compás, escuadras y lápiz; y el material de apoyo para el experimento como la resortera, bolas de unicel, plastilina y flexómetro.

Primero se definieron los conceptos de simetría, para después observar y analizar a simple vista 10 imágenes de supernovas en la base de datos de la NASA, clasificándolas en simétricas y asimétricas según lo que se vio. Se tomó una muestra no aleatoria de 5 remanentes, debido a que se analizaron únicamente las imágenes de los remanentes de supernova masivos: Cassiopeia-A, Nebulosa del Cangrejo, Kepler, W49B y Tycho (*Figura 9*). De estas muestras de imágenes, se localizó el centro de cada imagen, para que a partir de él se trazara una circunferencia delimitando toda el área posible del remanente (*Foto 1*). Esta circunferencia fue tomada como referencia de la simetría. Posteriormente, se midieron los puntos que no se ubicaban en la circunferencia, tomándolos como puntos de asimetría,

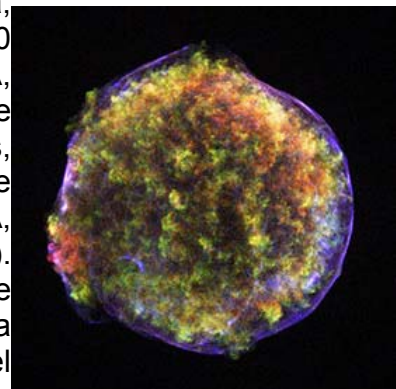


Figura 9. Remanente Tycho (Anexo A)

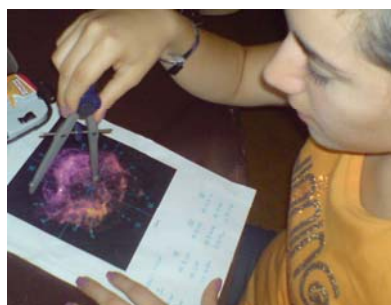


Foto 1. Medición de imágenes.

siendo la cantidad de los puntos medidos de acuerdo a cada imagen. Se observaron atentamente las diferencias en las distancias de diferentes puntos con respecto al radio, utilizando tres puntos por cada cuadrante.

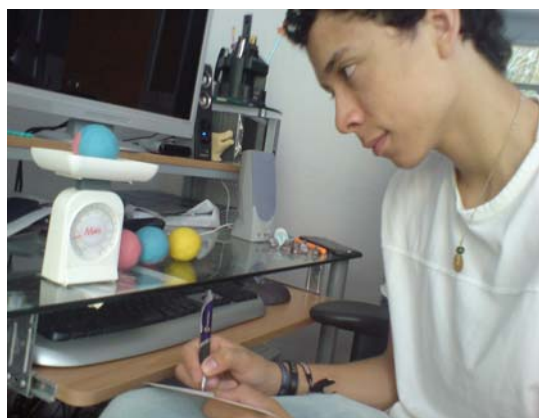
Después se discutieron detalladamente las posibles causas de tal asimetría, para después realizar cálculos con información proporcionada del remanente del Cangrejo, y así obtener la distancia en centímetros a la que llegan los elementos nucleares. Se tomó como modelo de los elementos más ligeros al Hidrógeno, y al Hierro como representante de los más pesados.

Por otra parte, se creó un kit interactivo (Foto 2) para niños sobre astronomía y simetría. De esta manera los niños podrán comprender la relación entre la astronomía y la simetría de cuerpos celestes como las estrellas. El kit incluyó un álbum de estampas, una lotería, un juego de mesa, un libro con información sobre las supernovas, un instructivo para hacer un telescopio, y modelos de figuras geométricas, entre otras



Foto 2. Portada del kit interactivo.

actividades. Para su elaboración, primero se encuestaron a varios niños de 10 a 13 años, correspondientes al ciclo escolar de 5º y 6º de primaria, para ver su interés en comprar un juguete educativo. Se diseñó e imprimió el modelo de la caja que contiene el juego de óptica. Después se realizó una exposición del resultado final, para posteriormente hacer una segunda encuesta para ver si los niños muestran mayor interés en el tema.



El diseño experimental constó de variables independientes como la energía transmitida al objeto y las masas representativas de los diferentes elementos que fueron lanzados con la resortera (Foto 3). De esta manera se podría comprobar la diferencia de distancias a la que llegará cada elemento aplicándole aproximadamente la misma energía. El procedimiento para realizar el experimento fue fijar una resortera en un cuarto cerrado para que el experimento no se viera afectado por el viento. Se jaló la liga de la resortera a la misma distancia para que el

impulso fuera aproximadamente igual con todas las masas. Ya con una masa en la resortera, se jaló la liga y se lanzó dicha masa. Se repitió este paso con otros 9 objetos que fueron cambiando de masa gradualmente. Se midió la distancia a la que llegaron los objetos lanzados por primera vez, siendo estos objetos esféricos y de unicel, previamente cubiertos de plastilina para disminuir la fricción del aire sobre ellos y para crear la diferencia de masas. Los objetos representaron los elementos que constituyen la supernova; el objeto de menor masa representó el Hidrógeno, el elemento más ligero en la estrella, y el objeto de mayor masa representó el Hierro, el elemento más pesado en la estrella. Esto era con el fin de comprobar que la asimetría se debe al efecto que

tiene variación de las masas con respecto a la distancia a la que llegan con la misma energía. La energía inicial no debe presentar cambios significativos independientemente de la masa del objeto lanzado, ya que supuestamente la fuerza aplicada al momento de la explosión es la misma para todos los elementos del núcleo de la estrella. Se repitió el experimento otras dos veces para disminuir el rango de error.

Resultados y discusión

En un principio con el análisis a simple vista de las imágenes de supernovas y nebulosas, concluimos que sí existía una asimetría en todas las imágenes. Al terminar con los cálculos con los datos del remanente de cangrejo utilizando al Hierro y al Hidrógeno como elementos representantes de los pesados y los ligeros, observamos una diferencia bastante grande entre estos dos elementos. Con este dato comprobamos que los diferentes elementos alcanzan diferentes distancias, éstas dependiendo de la masa del elemento, al momento de la explosión de una estrella. Para reafirmar este dato, con el experimento de las masas de plastilina, volvimos a comprobar que existe una variación de distancias cuando hay una variación de masas: a menor masa, mayor es la distancia alcanzada en un lanzamiento.

“La simetría es la proporción adecuada de las partes de un todo entre sí y con el todo mismo. Es la armonía de posición de las partes o puntos similares unos respecto de otros, y con referencia a un punto, línea o plano determinado.”³ En las mediciones que realizamos a las imágenes de remanentes de supernova, los puntos elegidos en el plano que no coincidieron con la circunferencia que delimitan la simetría esférica fueron considerados como puntos de asimetría; se confirmó la asimetría del remanente. Aunque en algunos casos la diferencia entre las distancias con respecto al radio no era muy grande, de tan sólo algunos milímetros (*Véase anexo B*), es necesario recordar que las imágenes están a escala. Los remanentes se encuentran a distancias impresionantes de nosotros. El remanente del Cangrejo, por ejemplo, está a una distancia de 6,300 años luz de nosotros. Ya en la realidad, esos pocos milímetros representan millones de kilómetros.

Al llevar a cabo el experimento de la resortera antes mencionado, nos encontramos con que los objetos de mayor masa llegaron a una menor distancia que los objetos de menor masa, siempre tratando de aplicar la misma cantidad de energía. Con esto demostramos que la asimetría de los remanentes se debe a las masas de los elementos de la estrella y su efecto en la variación de las distancias.

Las diez masas que lanzamos iban desde 10 hasta 95 gramos, con incrementos de poco en poco. Realizamos los lanzamientos tres veces diferentes, y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del experimento de los lanzamientos de diferentes masas esféricas.

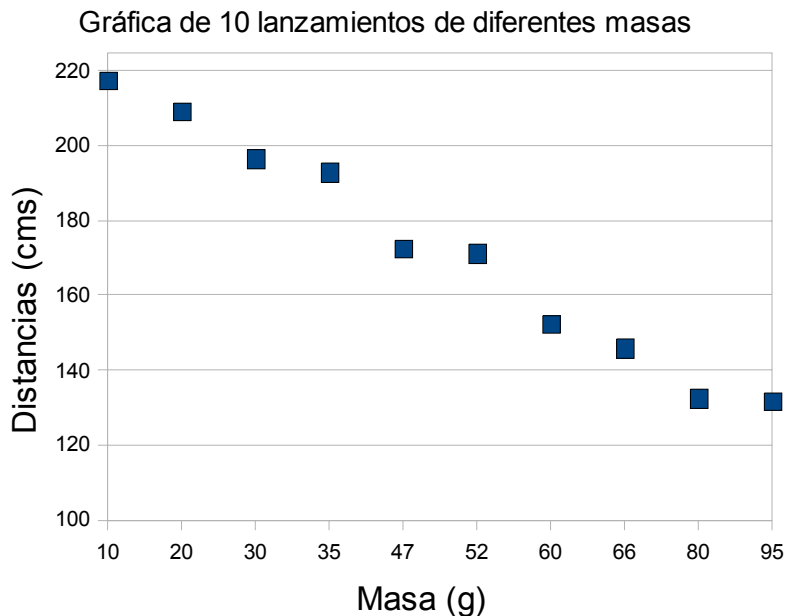
Objeto	Masa (g)	Distancia (cms)		
1	10	199	270	183
2	20	210	193	224
3	30	181	214	194
4	35	190	209	179
5	47	157	189	171
6	52	159	178	176
7	60	115	171	171
8	66	145	154	138
9	80	133	124	140
10	95	123	140	131

Una vez que teníamos esta información utilizamos Excel para calcular la desviación estándar, la distancia media y el error estándar de los lanzamientos (Véase *Tabla 2*).

Tabla 2. Información estadística de los resultados de la Tabla 1.

Objeto	Distancia Media	Desviación Estándar	Error Estándar	SE ²
1	217.33	46.31	26.74	714.78
2	209	15.52	8.96	80.33
3	196.33	16.62	9.6	92.11
4	192.67	15.18	8.76	76.78
5	172.33	16.04	9.26	85.78
6	171	10.44	6.03	36.33
7	152.33	32.33	18.67	348.44
8	145.67	8.02	4.63	21.44
9	132.33	8.02	4.63	21.44
10	131.33	8.5	4.91	24.11

Presentamos las medias de los lanzamientos en una gráfica de dispersión, para mostrar la manera en que se relaciona la masa del objeto con la distancia a la que llega al ser lanzado (Véase *Gráfico 1*).



Gráfica 1. Distancia media a la que llegaron diez objetos de diez diferentes masas que fueron lanzados con aproximadamente el mismo impulso.

En la gráfica claramente se observa una tendencia decayente. Sin embargo, decidimos seguir con el estudio estadístico para comprobar los resultados. Sacamos el coeficiente de correlación de Pearson y obtuvimos la ecuación de la recta del mejor ajuste. Para obtener esa información utilizamos las fórmulas:

$$r = SC(xy) / \text{SQRT}(SC(x)SC(y)) \text{ para el coeficiente de correlación}$$

y

$$y = b_1x + b_0 \text{ para la recta del mejor ajuste,}$$

donde:

$$SC(xy) = \sum xy - (\sum x \sum y) / n$$

$$SC(x) = \sum x^2 - ((\sum x)^2) / n$$

$$SC(y) = \sum y^2 - ((\sum y)^2) / n$$

$$b_1 = SC(xy) / SC(x)$$

$$b_0 = \bar{y} - (b_1)(\bar{x}).$$

Si utilizamos la información de la Tabla 3, entonces encontramos que el coeficiente de correlación es igual a -0.98 y que la fórmula de la recta del mejor ajuste es $Y = -1.15X + 228.82$. Esto quiere decir que la recta del mejor ajuste va decreciendo por tener una pendiente negativa. En otras palabras, de acuerdo a la fórmula, por cada gramo que aumente la masa de los objetos lanzados, la distancia disminuirá 1.15

centímetros. Por otro lado, como el coeficiente de correlación está muy cercano a -1, pudimos afirmar que la relación entre masa y distancia es bastante fuerte. A mayor masa, menor será la distancia.

Tabla 3. Información para aplicar las fórmulas de coeficiente de correlación y la recta del mejor ajuste.

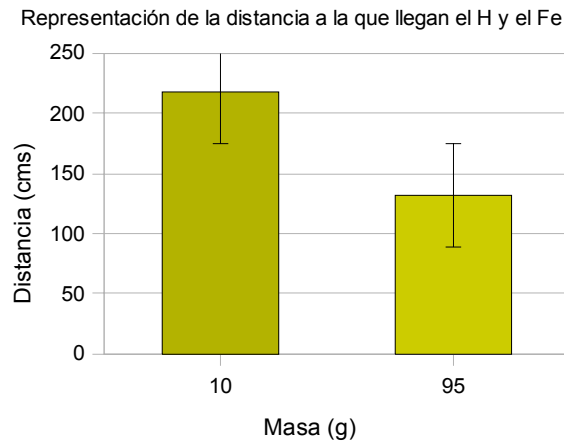
Objeto	Masa		Distancia		
	x ²	x	y ²	y	xy
1	47233.78	217.33	100	10	2173.33
2	43681	209	400	20	4180
3	38546.78	196.33	900	30	5890
4	37120.44	192.67	1225	35	6743.33
5	29698.78	172.33	2209	47	8099.67
6	29241	171	2704	52	8892
7	23205.44	152.33	3600	60	9140
8	21218.78	145.67	4356	66	9614
9	17512.11	132.33	6400	80	10586.67
10	17248.44	131.33	9025	95	12476.67
SUMA	304706.56	1720.33	30919	495	77795.67
N	10				

Después de aplicar las fórmulas anteriores, utilizando la información de la Tabla 3, obtuvimos la información de la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados.

SC y	8751.88
SC x	6416.5
SC xy	-7360.83
b1	-1.15
b0	228.82
r	-0.98

Una estrella está constituida por varios elementos que van desde el Hidrógeno hasta el Hierro. Ellos representan la escala de masas dentro de una estrella, pues se localizan en los extremos de la misma. Esta diferencia de masas también se vio presente en nuestro experimento. Para mostrar una clara diferencia entre las masas comparamos la distancia a la que llegaron dos de los objetos que lanzamos: el más ligero y el más pesado. De esta forma pudimos comparar dos de las masas que lanzamos con dos elementos constituyentes de una estrella, en ambos casos los más representativos. Así también pudimos crear una relación entre el experimento y lo que pasa en una estrella. (Véase Gráfica 2.)



Gráfica 2. Comparación entre la menor y la mayor masa lanzadas en el experimento, en relación con los elementos de una estrella.

Con información del remanente del Cangrejo (véase *Tabla 5*)⁴ y el uso de algunas fórmulas físicas simples ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$, por ejemplo), pudimos comprobar que la distancia a la que llegan los elementos extremistas (Hidrógeno y Fierro) de la estrella en verdad es significativa.

Tabla 5. Datos del remanente del cangrejo

Distancia de nosotros	Radio	Masa SNR	No. filamentos
2 +- 0.5 KpC	6.5 años luz	4.6 +- 1.8 M.	1300cm ³
6300 años luz	5.8×10^{18} cm		1.3×10^3 partículas/cm ³
Energía en explosión	Masa original	1 año luz (cm)	
10 ⁵ ergs	7 M. (5 salieron, 2 colapsaron)	9×10^{17}	
Velocidad SNR	t0	Año	tf
1500km/s	tiempo cuando explotó	1054aD	2008
1.5×10^8 cm/s			
Δt	Radio	Vel. de inyección	Masa
954 años	V x Δt	1.5×10^8 cm/s	10 ³⁴ g
2.862×10^{10} segs	4.5×10^{18} cm		
Aprox. 3×10^{10} segs			

Como referencia sacamos la distancia en centímetros a la que equivale un año luz. Luego sacamos la cantidad de energía que tenía cada partícula. Usando la energía total de la explosión (véase *Tabla 5*), supusimos la velocidad de inyección y calculamos la masa. Calculamos la cantidad de átomos presentes en una molécula de Hidrógeno, dividiendo la masa total de la estrella entre la masa del Hidrógeno. Con la cantidad de átomos calculamos la energía cinética de cada átomo, dividiendo la energía total entre el número de átomos del Hidrógeno. De la fórmula $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, despejamos la velocidad a la que salen disparados los átomos de Hidrógeno. Repetimos los mismos pasos, pero

con los datos del Hierro.

Una vez que contábamos con la velocidad, fuimos capaces de deducir la distancia a la que estaba cada elemento después de 954 años (el tiempo desde la explosión hasta la fecha). Comparamos los resultados de las dos distancias para ver si la diferencia de distancias era significativa, y sí lo fue, pues es de diez mil billones de kilómetros. (Véase *Tabla 6*).

Tabla 6. Resultados de los cálculos realizados

Si: m=H	Energía por átomo	Vel. Por átomo
Aprox. 1×10^{-24} g	1.786×10^{-8} ergs/átomo	141421356.2 cm/s
Si: m=Fe	Energía por átomo	Vel. Por átomo
Aprox. 9.32695×10^{-23}	9.34×10^{-7} ergs/átomo	141520258cm/s
Masa promedio/partícula	# partículas promedio	$\langle E \rangle$
4.75×10^{-23} g	2×10^{58} partículas	$\frac{1}{2}mv^2$
Velocidad H	Velocidad Fe	
773823232.5cm/s	103545526.3cm/s	
7.738×10^8 cm/s	1.035×10^8 cm/s	
Distancia H	Distancia Fe	Δd
2.3214×10^{19} cm	3.105×10^{18} cm	2.0109×10^{19} cm

Los niños a los que les expusimos nuestro proyecto, y además los mismos que encuestamos, mostraron un gran interés por aprender más sobre el proyecto que nosotros desarrollamos y expresaron lo mucho que les ayudó a entender conceptos nuevos. Fue un acercamiento hacia un tema muy complejo pero explicado de manera coloquial y simple. A base de juegos, experimentos y explicaciones a nivel de niños de 11 a 13 años, se les pudo hacer una demostración de lo que implica el tema de las supernovas, qué son, y qué es en lo que se convierten. Expresaron también, gran empatía por aprender más sobre el tema y agradecieron mucho el habérselos expuesto con cosas tan sencillas como un kit interactivo. Este último elemento incorporado en nuestro proyecto final les fue de gran agrado y de gran ayuda en el proceso de comprensión de un tema tan complicado y complejo. Después de nuestra exposición sobre *¿Porqué los remanentes de supernovas no son simétricos?*, y la utilización del kit como medio de ejemplificar lo que ambicionábamos explicar, los niños de 5° y 6° grado de primaria del Colegio Cuernavaca pudieron dominar los tres puntos importantes sobre este tema: las supernovas, sus remanentes y la complejidad y significado de la simetría.

Otros factores que puede afectar el que la supernova no sea simétrica, o por lo menos que la imagen de la supernova no sea simétrica, pueden ser la óptica, la rotación de la estrella y la radiación. Con respecto a la óptica, podría ser que un cuerpo celeste este enfrente del plano de la supernova en la imagen tomada; es decir, que exista algún cuerpo entre el remanente y nosotros. La otra posibilidad podría ser el factor de que la estrella puede estar girando sobre su propio eje y que, al momento de la explosión, el material se elongue sobre el ecuador. Un tercer factor podría ser la

radiación existente en el espacio. Es posible que de alguna manera dicha radiación reaccione con el material eyectado por la explosión, y que esas reacciones tengan como efecto una desviación en la trayectoria de aquel material. Cabe resaltar que estas sólo son suposiciones, ajenas a este proyecto. Sin embargo, estas pueden ser útiles para futuras investigaciones sobre el tema.

Conclusión

La asimetría de los remanentes de supernova se debe a la variación de masas de los elementos constituyentes de una estrella, comprobando así nuestra hipótesis inicial.

Referencias

¹ Koenigsberger, Gloria. Introducción a la Estructura y Evolución Estelar. Curso de Introducción a la Estructura y Evolución Estelar. Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos. 2007. p5.

² Encyclopaedia Britannica, Encyclopaedia Britannica Inc., EEUU, 1978, vol. 16, pp. 608, 669.

³ Enciclopedia Salvat Diccionario, Ed. Salvat editores, México, 1976. Vol XI, p. 3038.

⁴ Anónimo. Nebulosa del Cangrejo.

URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Nebulosa_del_Cangrejo

Fecha de consulta: 27/02/2008