



● Presentación en Sofía, Bulgaria, junto al cuarteto "Siluet", conformada por músicos búlgaros y la artista Dorit Chrysler, ejecutando su Threremin, instrumento musical que capta ondas electromagnéticas de alta frecuencia.

MÚSICA DE FONDO ...CÓSMICA

ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ
GUILLERMO TEJEDA MUÑOZ

Hace aproximadamente 14 mil millones de años un enorme cataclismo dio origen al universo. Toda la materia-energía que lo forma, incluyendo el espacio y el tiempo donde se aloja esto que llamamos Universo apareció, como resultado de la "Gran Explosión (Big Bang)". Las partículas elementales, los núcleos atómicos, las estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias, los hoyos negros, el espacio interestelar y todo lo que forma el cosmos fue apareciendo a medida que transcurría el tiempo. La señal más contundente de que así se originó todo es la radiación de fondo, un manto electromagnético que se puede percibir en cualquier lugar del universo¹.

La cosmología, la astrofísica, la astronomía y otras disciplinas científicas han aportado observaciones y modelos que intentan explicar lo que ha acontecido desde ese remoto acontecimiento; en base al estudio de la evolución de todo lo que nos rodea, intentan además predecir qué sucederá en el futuro².



● Detectores del Piano Cósmico; a la derecha, la caja con la electrónica necesaria.

El ser humano, habitante del planeta Tierra, ha observado el cielo desde tiempos remotos, registrando el movimiento de los objetos estelares que nos rodean, usando la visión ocular y otros instrumentos que ha creado para detectar la luz que emiten los astros o la energía que depositan los rayos cósmicos al interactuar con la atmósfera terrestre. Enseguida comentaremos sobre un instrumento que detecta la llegada de los rayos cósmicos a la Tierra, produciendo un efecto que capta la atención de aquellos que lo encuentran a su paso.

Los rayos cósmicos son aquellas partículas que resultan de las reacciones nucleares que suceden en el interior de las estrellas u objetos cósmicos activos como cuásares, pulsares, entre otros objetos. En el centro de ellos se concentra una enorme cantidad de materia, sometida a gran presión y a muy alta temperatura.

Estas condiciones físicas provocan fenómenos nucleares como la fusión nuclear que convierte núcleos de átomos ligeros en otros más pesados, dando lugar a la liberación de grandes cantidades de energía, en forma de radiación electromagnética y partículas muy energéticas que son expulsadas de los núcleos de las estrellas.

A veces las partículas se aceleran todavía más debido a los campos magnéticos que rodean estos objetos astrofísicos y finalmente son expulsados con altísimas energías, mucho mayores que la energía de los aceleradores de partículas que se han construido en laboratorios terrestres.

Tales partículas son los rayos cósmicos que viajan a por el espacio interestelar hasta que llegan a nuestro planeta y chocan con las moléculas de la atmósfera terrestre, dando lugar a una cascada de partículas minúsculas, como electrones, positrones, muones, protones, piones o kaones, que se dirigen hacia la superficie de la Tierra. Un porcentaje muy alto (mayor al 90%) de estas partículas resultantes de los choques entre la atmósfera y el rayo cósmico es absorbida por el aire o las nubes, provocando que solo las partículas menos interactuantes y con mucha energía, lleguen al suelo.

Los rayos cósmicos son aquellas partículas que resultan de las reacciones nucleares que suceden en el interior de las estrellas u objetos cósmicos activos como cuásares, pulsares, entre otros objetos. En el centro de ellos se concentra una enorme cantidad de materia, sometida a gran presión y a muy alta temperatura.



● CERN Open Day, 2013.



● El Piano Cósmico en el festival "Rototom 2024", en Benicassim, España.

En su gran mayoría, las partículas que alcanzan la meta terrestre son los muones, aquellas partículas leptónicas, "primas de los electrones" pues son (casi) idénticos a estos, pero con una masa mucho mayor, cercana a 200 veces la masa de los electrones. A los muones resultantes de los choques del rayo cósmico que provoca la cascada de partículas, los llamamos rayos cósmicos secundarios³.

El Piano Cósmico⁴ es el instrumento que detecta los muones cósmicos (rayos cósmicos secundarios) que llegan al suelo. Cada vez que algún muon cósmico pasa por los sensores de este aparato, se producen destellos de luz y "bips" de sonido, atrayendo fuertemente la atención de aquellos que se encuentran este instrumento en ferias científicas, festivales de música o salas de concierto. Las personas que instalan el Piano Cósmico, que regularmente son estudiantes de física o investigadores del grupo ALICE-BUAP aprovechan el momento en que la gente observa cómo funciona este artefacto para explicar qué son las partículas elementales, los rayos cósmicos e inclusive se dan tiempo para disertar sobre el origen del universo.

Los astrofísicos y cosmólogos nos han reportado que existe muchísimas estrellas en el universo, algunas de ellas similares a nuestro Sol. La cantidad de estos objetos estelares es indescritiblemente grande, pues es del orden de 10 cuatrillones de astros, que en potencias de diez corresponden a 10^{25} estrellas, esto es un 1 seguido de 26 ceros.

Por consiguiente, existe una cantidad aún más grande de rayos cósmicos que viajan a todo lo largo y ancho de nuestro universo en todas direcciones, moviéndose con una gran energía, a velocidades relativistas.

Es de esperarse que muchos de estos rayos cósmicos logran llegar al sitio donde se encuentra el planeta Tierra. Podemos concluir entonces que el número de veces que los rayos cósmicos chocan con nuestra atmósfera es muy grande. El estudio de los rayos cósmicos más energéticos y su conexión con los astros que los producen es materia de estudio actual, avanzando continuamente en el entendimiento del universo.

Recientemente, el experimento ALICE-LHC del CERN, reportó resultados de sus observaciones en esta área, en una de las revistas especializadas, de más prestigio en el área de la cosmología y la astrofísica⁵.

El Piano Cósmico es el instrumento que detecta los muones cósmicos (rayos cósmicos secundarios) que llegan al suelo. Cada vez que algún muon cósmico pasa por los sensores de este aparato, se producen destellos de luz y "bips" de sonido, atrayendo fuertemente la atención de aquellos que se encuentran este instrumento en ferias científicas, festivales de música o salas de concierto.



● Presentación en el legendario Festival de Jazz de Montreux, 2016.

La profusa llegada de muones cósmicos a la superficie terrestre produce múltiples destellos luminosos y sonidos, al activarse los cinco sensores, técnicamente llamados detectores de muones, del Piano Cósmico. Cada uno de los detectores produce una nota musical con una frecuencia auditiva, generando un "ruido pentatónico" aleatorio que, ocasionalmente, crea ritmos musicales que invitan a bailar a los que ven cómo funciona nuestro Piano^{6,7}. Estos ritmos musicales, ocasionados por la llegada de muones cósmicos a la Tierra, se pueden detectar a toda hora, en cualquier parte del globo terráqueo, así sea en el día, la madrugada, la mañana, la tarde la noche, en cualquier momento del año, en cualquier parte del mundo, ya sea Puebla, Ginebra, Tokio, el Polo Norte, el Polo Sur, etcétera.

Para comprobarlo, basta con poner a funcionar el Piano cósmico en cualquier lugar, a toda hora. Inclusive, si pudiéramos colocar decenas o centenas de pianos cósmicos en diversos lugares del mundo, "escucharíamos" el pulso del universo, o la música de fondo del cosmos. Esto es, podríamos escuchar el ruido de fondo cósmico del universo...

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ
Arturo Fernández Téllez, físico de la BUAP, es decano de la investigación científica dedicada a comprender la estructura íntima de la materia.

BIBLIOGRAFÍA

- *The first three minutes*, Steven Weinberg, Ed. Basic Books, 1993; *A Briefer History of Time*, Stephen Hawking, Ed. Bantman, 10th anniversary edition 1998.
- *Modern Cosmology*, Scott Dodelson and Fabian Schmidt, Ed. Academic Press, 2025; *Cosmology*, Steven Weinberg, Oxford University Press, 2008.
- *Cosmic rays and Particle Physics*, Thomas Gaiser, Ralph Engel, et. al, Ed. Cambridge University Press, 2016; *High Energy Cosmic Rays*, Todor Stanev, Ed. Springer, 3rd edition, 2021.
- El Piano Cósmico es una invención de la BUAP, con Título de patente No. 311700 del IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial), fecha de otorgamiento de patente: junio de 2013.
- "Analysis of multimunuons in cosmic ray events with ALICE detector at CERN LHC", Arturo Fernández Téllez, Mario Rodríguez Cahuantzi, et. al. (The ALICE-LHC Collaboration), JCAP04(2025)009, link <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2025/04/009>.
- "Cosmic Piano: a modular scintillator-based muon detector for scientific outreach", Guillermo Tejeda Muñoz, Luis Alberto Perez Moreno, Simone Ragoni, Hector David Regules Medel, Arturo Fernández Téllez and Yael Antonio Vasquez Beltran, *Journal of Physics Education*, Vol. 60, Number 3.
- El Piano Cósmico se ha presentado en diversos foros científicos, ferias científicas y festivales de música. Recientemente, se presentó la ponencia "The Cosmic Piano, a particle detector for physics and outreach purposes", en el International Congress on High Energy Physics, en Praga, Republica Checa, en Julio, 2024. El artículo que reporta los resultados de esta ponencia, apareció en las memorias de este prestigiado evento científico, con la referencia: "The Cosmic Piano, a particle detector for physics and outreach purposes", A. Fernández Téllez, G. Tejeda Muñoz. H. D. Regules Medel, and Y. A. Vásquez Beltrán.

GUILLERMO TEJEDA MUÑOZ

Realizó estudios de Licenciatura en Ciencias de la Electrónica en la Facultad de ciencias de la Electrónica, Maestría en optoelectrónica y Doctorado en Física Aplicada en la FCFM de la BUAP.

Dentro de la colaboración ALICE-CERN ha colaborado en el desarrollo de la electrónica del detector ACORDE, participado el sistema de lectura de datos del detector TPC, en el detector ITS colaboró en las pruebas de tecnologías de semiconductores para los detectores de pixel.

En la colaboración BELLE II desarrolló el sistema electrónico del detector LABM (Large Angle Beamstrahlung Monitor) y en la actualización de la electrónica que aún está en operación.

Actualmente me encuentro desarrollando el sistema electrónico del detector MuonID que será parte de ALICE 3. Este detector contará con 7200 canales y podrá realizar mediciones de tiempos menores a 40 ps.