

Forschung Physik Gedenkkultur Kunst KG17

Innsbruck spielt eine zentrale Rolle in der Geschichte der wissenschaftlichen Forschung und Innovation.

Die Stadt ist nicht nur Heimat der Victor-Franz-Hess-Messstation, sondern auch heute noch ein bedeutendes Zentrum für Physik. An der Universität Innsbruck forschen zurzeit rund 30 Arbeitsgruppen sowohl im Bereich der Quantenphysik, einschließlich der Entwicklung des Quantencomputers, als auch im Bereich der Astro- und Teilchenphysik.

Diese fortschrittliche Forschung setzt die Tradition wissenschaftlicher Exzellenz fort, die Marietta Blau mit ihren bahnbrechenden Arbeiten in den 1930er Jahren mitbegründete. Das Projekt zu ihrer Ehrung knüpft somit an Innsbruck's reiche wissenschaftliche Vergangenheit

und Gegenwart an und unterstreicht die kontinuierliche Bedeutung der Stadt als Standort für wissenschaftliche Innovation und Exzellenz.

In unseren KG17 Projekten wollen wir mit Mitteln der Kunst, Wissenschaft und Forschung einbindend, Themen bearbeiten, die in diesem historischen Wasserkraftwerk und seinem Standort eingeschrieben sind. Dazu laden wir jährlich Künstlerinnen oder Künstler ein, die sich mit diesen Themen auseinandersetzen.

Die Verbindung von Wissenschaft und Kunst erlaubt den Betrachter:innen einen unmittelbar erlebbaren Zugang zu Wissen und Phänomenen und ermöglicht die Wahrnehmung auf einer sinnlichen Ebene.

Weltweit werden 2025 die Erkenntnisse der modernen Physik gefeiert.

Aus diesem Grund widmen wir das diesjährige KG17 Projekt diesem Bereich der Wissenschaft und laden Tim Otto Roth als Projektkünstler ein, der sich seit vielen Jahren künstlerisch mit physikalischen Phänomenen beschäftigt.

universität
innsbruck

I@I

KULTUR
netz
TIROL

LAND
TIROL

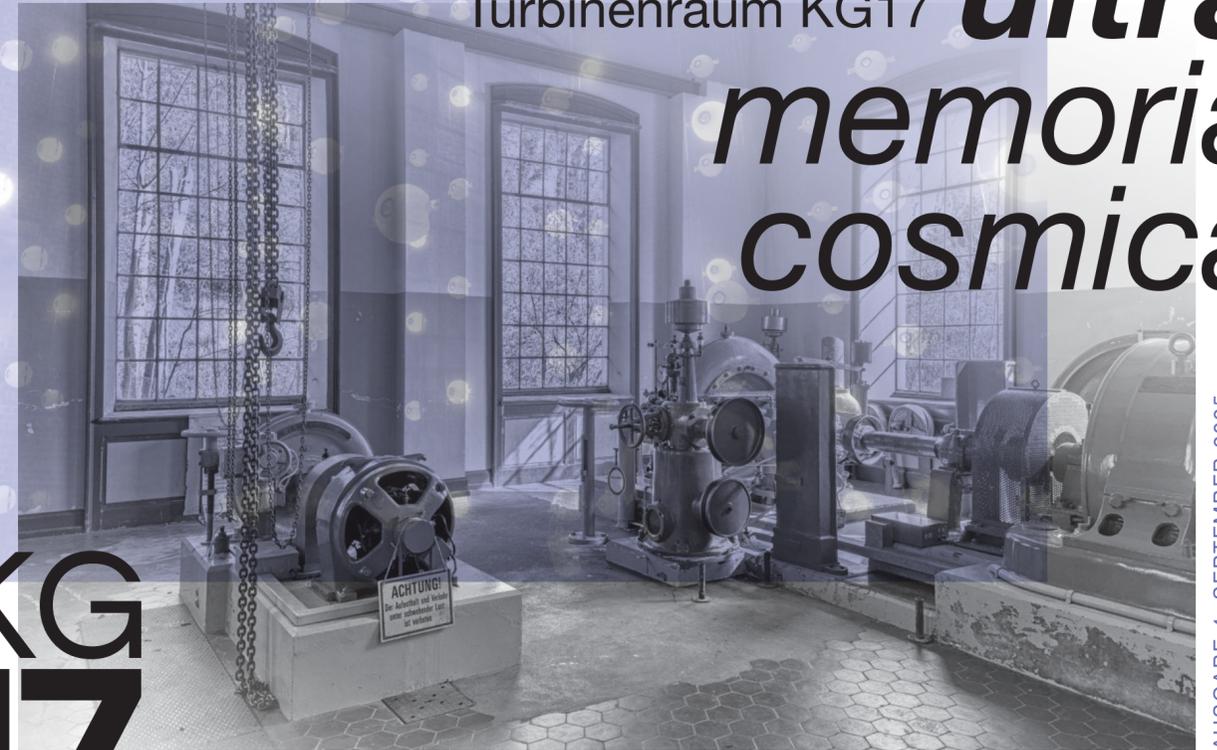
Bundesministerium
Wohnen, Kunst, Kultur,
Medien und Sport

Impressum:

KG17 mit kulturnetzTirol
Gastgeber: DI Gerhard Kerschbaumer
Kuratorin und Text: Mag. Helga Madera
Grafik: Christian Jäger
Fotos: Dr. Tim Otto Roth, Dr. Miriam Seidler
Andreas Gänzluckner
Texte: Dr. Anita Reimer, Dr. Miriam Seidler,
Mag. Helga Madera



Ein Klanglaboratorium im Turbinenraum KG17 **ultra memoria cosmica**



AUSGABE 4, SEPTEMBER 2025

KG 17

Das Projekt.

Der Komponist und Konzeptkünstler Tim Otto Roth ist ein Grenzgänger zwischen den Welten der Bildenden Kunst und der Musik: In seinen Klanglaboratorien oder Schattentheatern denkt er das visuelle und auditive Geschehen choreografisch immer wieder komplementär zusammen und bezieht in Teilen seiner Werke, die zwischen Installation und elektroakustischem Musiktheater oszillieren, sogar Tanz mit ein. Raum spielt eine Schlüsselrolle in seinem Oeuvre. So betont er die räumlich-materielle Dimension des Klangerlebens, indem er zahlreiche von seinem Studio entworfene Klangkörper im Raum verteilt und diese in ein resonantes Verhältnis setzt: Der Raum wandelt sich so zu einem (additiven) Synthesizer, dessen polyphones Klangerlebnis sich ‚interaktiv‘ beim Begehen wandelt, in dem sich Töne der verteilten Tonquellen zu ortsspezifischen Klängen mischen.

TIM OTTO
ROTH



Im Januar 2024 feierte im Rahmen des EU-Projekts ReSilence sein jüngstes entwickeltes Klanglabor, das *Theatre of Memory*, Premiere im Tieranatomischen Theater in Berlin. Das rotierende Lautsprecherkarussell *Heaven's Carousel*, das er 2014 erstmals in Rom zeigte, war im Sommer 2025 zu den *Sonic Revolutions* im Münchner Kunstareal zu Gast.

Weitere Informationen zu Tim Otto Roth unter www.imagination.net

Physik im Fokus.
In diesem Jahr werden in der ganzen Welt die Erkenntnisse der modernen Physik gefeiert. 100 Jahre Quantenmechanik lautet das Motto.

Aus diesem Grund widmen wir das diesjährige KG17 Projekt der PHYSIK und laden Tim Otto Roth als Projektkünstler ein, der sich seit vielen Jahren künstlerisch mit physikalischen Phänomenen beschäftigt.

Mit **ULTRA | memoria cosmica** erinnert der Komponist und Konzeptkünstler Tim Otto Roth mit ätherischen Licht- und Tonbewegungen an die Entdeckungsgeschichte der kosmischen Strahlung an der Forschungsstation am Hafelekar in Innsbruck. 70 leuchtende Lautsprecher verwandeln den mittels Filterfolien in ein

tiefes Blau getauchten Turbinenraum in ein Klanglaboratorium.

Die maßgeblich von oben nach unten verlaufenden Bewegungen lassen die unsichtbare ionisierende Strahlung aus dem Weltall nicht nur sinnlich erfahrbar werden, sondern die in Tonhöhen übersetzten Energien werden auch zu einem räumlich-musikalischen Erlebnis.

Die „natürliche Partitur“ für die verschiedenen Stücke basiert auf sehr unterschiedlichen Datensätzen aus Neutrino-Observatorien.

Das Programm.

05. September | 19 Uhr
Eröffnung und Präsentation des KG17 Projektes ULTRA | memoria cosmica mit dem Künstler Dr. Tim Otto Roth, Kirchgasse 17, Innsbruck/Mühlau
Unser Beitrag zum Jahr der Physik '25

19. September | 19 Uhr
Vortrag Dr. Anita Reimer: Ursprung der kosmischen Strahlung mit anschließendem Panelgespräch mit Dr. Anita Reimer, Dr. Brigitte Mazohl, Dr. Karoline Irschara und Mag.art. Carmen Brucic, Kirchgasse 17, Innsbruck/Mühlau

26. September
Projekttag mit einer Schulklasse

27. September | 13 Uhr
Besichtigung der Victor Franz Hess Forschungsstation am Hafelekar mit Einführung durch Univ.-Prof. Dr. Emmerich Kneringer, Treffpunkt: Forschungsstation Hafelekar

24. Oktober | 19 Uhr
Finissage des KG17 Projektes ULTRA | memoria cosmica, Kirchgasse 17, Innsbruck/Mühlau



[aiskju:b], St. Elisabeth, Berlin 2018
Foto: Dr. Tim Otto Roth

Der Ursprung der kosmischen Strahlung

Text: Prof. Dr. Anita Reimer, Theoretische Astroteilchenphysik, Universität Innsbruck

Der Ursprung der kosmischen Strahlung – von ihrem Entdecker Victor Franz Hess ursprünglich “Höhenstrahlung” genannt – wurde durch Ionisationsmessungen bei Ballonflügen 1911/12 bis auf 5350 m als von außerhalb der Erdatmosphäre kommend erkannt.

Hess schrieb: „Die Ergebnisse [...] scheinen am ehesten durch die Annahme erklärt werden zu können, dass eine Strahlung von sehr hoher Durchdringungskraft von oben her in unsere Atmosphäre eindringt [...]“. Anfangs war unklar, ob es sich um hochenergetische Photonen oder Teilchen handelte. Immerhin waren Röntgen- (Röntgen), Gamma- (Rutherford) und Alpha- sowie Betastrahlen (Becquerel) bereits als ionisierend bekannt. Um 1930 zeigte u. a. das Bothe-Kolhörster-Experiment, dass geladene Teilchen Bestandteile der Höhenstrahlung sind.

Um sie zu untersuchen, ließ Hess – seit 1931 Professor in Innsbruck – eine Beobachtungsstation am Hafelekar auf ca. 2300 m errichten, wo die Strahlung zunächst mit einer Ionisationskammer gemessen wurde. 1937 lud er seine Kollegin Marietta Blau vom Wiener Radiuminstitut ein, fotografische Platten zur Teilchendetektion zu installieren. Blau, aus jüdischer Familie stammend, hatte ab 1914 Physik in Wien studiert, 1919 promoviert und war nach Forschungsaufenthalten in Berlin und Frankfurt 1923 ans Radiuminstitut zurückgekehrt.

Dort entwickelte sie unbezahlt eine Methode, energiereiche Teilchen mithilfe fotografischer Emulsionen aus Silberbromid nachzuweisen. Protonen und Alphateilchen hinterließen charakteristische Spuren schwarzer Punkte. Die Energie ließ sich aus Spurenzahl, -länge und Punktdichte berechnen. Auch Neutronen (seit 1932 bekannt) konnte sie über Rückstoßprotonen sichtbar machen. Sie untersuchte zudem, wie rasch solche Spuren verblassen – essenziell für Langzeitbelichtungen.

Ab etwa 1932 wandten sich Blau und ihre Kollegin Hertha Wambacher der Höhenstrahlung mit dieser Methode zu. 1937 wurden elf dicke Kernspurplatten vier Monate am Hafelekar exponiert. Die Analyse ergab lange Spuren von Protonen und Rückstoßteilchen, jedoch keine Primärteilchen. Neu war die Entdeckung sog. “Zertrümmerungssterne”: sternförmig ausgehende Spuren schwerer Teilchen aus einem Reaktionszentrum – ein Hinweis auf nukleare Reaktionen mit Teilchen der Höhenstrahlung. Die geschätzte Energie betrug teils mehrere 100 MeV. Im Oktober 1937 erschien Blaus Veröffentlichung dazu in *Nature* – die erste Fotografie einer Kernzertrümmerung durch Teilchen der kosmischen Strahlung.

Heute wird kosmische Strahlung u. a. mit Wassertanks (z. B. im Pierre-Auger-Observatorium, Argentinien) über Cherenkov-Licht gemessen. Zusätzlich kommen Fluoreszenzteleskope zum Einsatz, die das Leuchten angeregter Stickstoffmoleküle in der Atmosphäre registrieren. Aus diesen Daten lassen sich Zusammensetzung, Intensität, Energie und Einfallrichtung rekonstruieren.

Der Ursprung der Teilchen bleibt jedoch weitgehend unklar. Ein guter Teil stammt wohl aus der Milchstraße. Da geladene Teilchen durch Magnetfelder abgelenkt werden – deren Struktur selbst nur teilweise bekannt ist – lässt ihre Flugrichtung nicht auf ihre Quelle schließen.

Daher setzt die moderne „Multi-Messenger“-Astroteilchenphysik auf neutrale Sekundärteilchen wie Gammaquanten

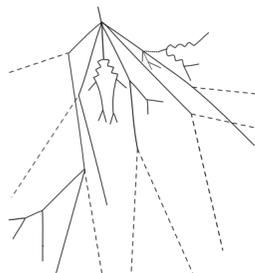


Forschungsstation Hafelekar

und Neutrinos, die bei Wechselwirkungen kosmischer Strahlung mit Photonen oder Materie entstehen. Besonders aussagekräftig sind hochenergetische (> sub-PeV) Neutrinos, die nur in gigantischen Detektoren erfasst werden können. Das IceCube-Observatorium nutzt dafür Eisflächen in der Antarktis, KM3Net setzt auf Mittelmeerwasser. Treffen Neutrinos auf diese Absorber, entstehen Cherenkov-Licht ausstrahlungen. Allerdings ist die Richtung dieses Lichts so unscharf, dass sich die Einfallrichtung des ursprünglichen Neutrinos nur mit beträchtlicher Ungenauigkeit rekonstruieren lässt. Moderne Gammastrahlungsdetektoren hingegen bieten eine Winkelauflösung im Bereich von Bogenminuten. Die Astroteilchenphysik in

Innsbruck ist an Fermi-LAT (30 MeV–300 GeV), H.E.S.S. (50 GeV–mehrere 10 TeV) und künftig dem CTAO (20 GeV–300 TeV) beteiligt und trägt durch Modellierung viel zur Identifikation möglicher Quellen bei.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts begann man in der Physik langsam zu verstehen, dass Elementarteilchen aus den Tiefen des Alls auf die Erde einwirken, die wesentlich seltener sind als die Teilchen des Sonnenwinds, aber viel höhere Energien aufweisen. Diese bestehen maßgeblich aus extrem beschleunigten Atomkernen, von denen ein Großteil in der Atmosphäre mit Molekülen der Luft kollidieren. Diese lösen eine Kaskade sich abschwächender Sekundärteilchen aus, die auch als Luftschauber bezeichnet werden. Auf dem höher gelegenen Hafelekar kommen deshalb energiereichere Teilchen an als in Innsbruck. Auf Normalhöhe durchdringen immerhin noch rund 100.000 dieser unsichtbaren Sekundärteilchen pro Stunde einen menschlichen Körper.



Bild/Schema Luftschauber

MARIETTA BLAU

* 1894

† 1970



© Öst. Zentralbibliothek f. Physik

Bis zur Veröffentlichung ihrer Beobachtung der „Zertrümmerungssterne“ in der renommierten Zeitschrift *Nature* im Jahr 1937 war es für die im persönlichen Umgang zurückhaltende Frau ein weiter, aber erfolgreicher Weg. Sie entstammte einer in Wien ansässigen jüdischen Familie. Der Vater Markus Blau war Rechtsanwalt und beschäftigte sich zudem mit der Herausgabe von Musikwerken. Marietta hatte drei Brüder, von denen der Erstgeborene bereits im Kindesalter starb.

Nach dem Abitur immatrikulierte sich Blau im November 1914 an der Universität Wien in den Fächern Physik und Mathematik. Bereits im März 1919 schloss sie ihre Promotion mit einer Arbeit zu einem radiologischen Thema ab. Die wissenschaftliche Beschäftigung mit Problemen radioaktiver Strahlung sollte sie in ihrem Forscherleben sowohl in praktischen Versuchen als auch in theoretischen Untersuchungen begleiten.

Blau war in der Zwischenkriegszeit als Physikerin europaweit aktiv. Sie arbeitete unter anderem in Frankfurt, Göttingen und Paris, hatte Forschungsoperationen in London und Norwegen. In Paris arbeitete sie eine Zeitlang mit Marie Curie zusammen. Da ihre Mutter nach dem Tod des Vaters auf Unterstützung angewiesen war, kehrte sie auf eine unbezahlte Stelle am Radiuminstitut in Wien

zurück. Dort betreute sie wissenschaftliche Qualifikationsarbeiten und in enger Zusammenarbeit mit Hertha Wambacher untersuchte sie die fotografische Wirkung unterschiedlicher Strahlung, mit dem Ziel diese festzuhalten.

Blau Forschungen nach dem Anschluss Österreichs

Ein jäher Einschnitt folgte nur ein Jahr nach der spektakulären Entdeckung. Der Anschluss Österreichs an Deutschland im März 1938 brachte für viele Forscher:innen gravierende Änderungen mit sich. Victor Franz Hess, der 1936 den Nobelpreis erhalten hatte, ging nach seiner Zwangspensionierung ohne Bezüge in die USA. Auch die jüdische Forscherin Marietta Blau musste vor den Nazis fliehen.

Auf Empfehlung von Albert Einstein konnte sie eine Stelle in Mexiko antreten, aber ohne ausreichende Forschungsinfrastruktur und mit einem hohen Lehrdebutat waren ihre Möglichkeiten hier sehr eingeschränkt. Erst mit der Übersiedlung in die USA im Jahr 1944, wo sie unter anderem an der Entwicklung eines Teilchenbeschleunigers mitarbeitete, konnte Marietta Blau ihre Expertise in der Entwicklung von Kernspurplatten wieder einbringen.

Text: Dr. Miriam Seidler

ULTRA | memoria cosmica

Ein Klanglaboratorium im Turbinenraum KG17

Text: Dr. Miriam Seidler

70 kugelförmige, leuchtende Lautsprecher, die an einer eigens für den Ort entwickelten subtilen Hängekonstruktion aus Alurohr und Stahlseil an 15 Strängen über den Raum verteilt sind, verwandeln den mittels Filterfolien in ein tiefes Blau getauchten Turbinenraum KG17 in ein Klanglaboratorium.

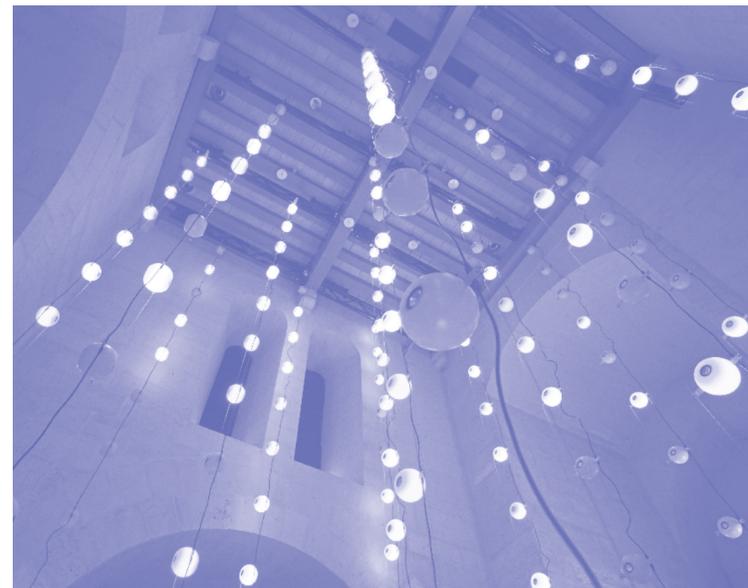
Die ätherischen Licht- und Tonbewegungen knüpfen dabei an die Entdeckungsgeschichte der kosmischen Strahlung an der Forschungsstation am Hafelekar in Innsbruck an. Die maßgeblich von oben nach unten verlaufenden Bewegungen lassen die unsichtbare ionisierende Strahlung aus dem Weltall nicht nur sinnlich erfahrbar werden, sondern die in Tonhöhen übersetzten Energien werden auch zu einem räumlich-musikalischen Erlebnis. Die „natürliche Partitur“ für die verschiedenen Stücke basiert auf sehr unterschiedlichen Datensätzen aus Neutrino-Observatorien in der Tiefe des antarktischen Eises und der Tiefsee des Mittelmeeres. Diese zeichnen in der Dunkelheit ultrakurze Lichtfronten auf, die von hochenergetischen Teilchen ausgelöst werden, die die Stränge von unzähligen hochsensiblen Lichtdetektoren durchwandern. In diesen Lichtbewegungen suchen die Forscher nach Spuren der sogenannten Geisterteilchen: den Neutrinos.

Entschleunigendes Gesamtkunstwerk

Diese Bewegungen werden von Tim Otto Roth extrem von der Licht- zur Schallgeschwindigkeit verlangsamt und die variierenden Energien als Bewegungen von unterschiedlich hohen Tönen übersetzt. Als Töne verwendet der Konzeptkünstler und Komponist einfache Tonfunktionen, wie weiche Sinustöne oder maschinell klingende Dreieckswellen, die sich zu ortsspezifischen Klängen im Raum mischen, aber auch gefiltertes Rauschen kommt zum Einsatz. Komplementär werden die verschiedenen Tonhöhen durch das Aufleuchten der Lautsprecher in Spektralfarben von rot zu blau für tiefe bis hohe Töne auch visuell erfahrbar – das Environment wandelt sich zum elektroakustischen Musiktheater.

Der Titel „Ultra“ (lat. Jenseits) spielt auf die ursprüngliche Bezeichnung der kosmischen Strahlung als „Ultrastrahlung“ an, mit der der Entdecker und spätere Physiknobelpreisträger Victor Franz Hess (1883-1964) darauf abhob, dass ein bestimmter Teil der auf der Erde gemessenen Strahlung nicht von radioaktiven Zerfällen im Erdmantel herrührt, sondern von Prozessen jenseits der Erde. Nachweisen konnte er diese Höhenstrahlung bereits 1911 in sieben Ballonfahrten, bei denen er messen konnte, dass die Ionisierung der Luft mit steigender Höhe nicht abnahm, sondern zunahm. Gleichzeitig ist **Ultra** eine Aufforderung an das Publikum sich auf Vorgänge einzulassen, die zwar omnipräsent sind, sich der beschränkten menschlichen Wahrnehmung jedoch entziehen.

Das Projekt **Ultra** ist eine speziell für das KG 17 konzipierte Adaption des immersiven Klanglaboratoriums [aiskju:b]. Die aus 444 leuchtenden Lautsprechern bestehende Installation wurde gemeinsam mit Forschern der IceCube-Kollaboration von der RWTH Aachen, TU München und dem DESY in Zeuthen bei Berlin konzipiert. Als natürliche Partitur werden Daten des IceCube Neutrino-Observatoriums in der Antarktis verwandt, seit der Präsentation 2024 in Paris auch Daten der beiden Tiefseeobservatorien KM3NeT. Die große Her-



[aiskju:b] im Musée des Arts et Metiers, Paris 2023/24
Foto: Dr. Tim Otto Roth

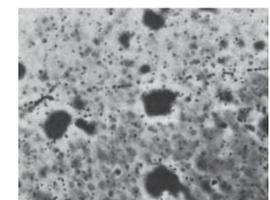
ausforderung der Experimente ist, aus den vielen Lichtbewegungen, die von gewöhnlicher kosmischer Strahlung ausgelöst werden, die wenigen herauszufiltern, die von den sagemumwobenen Neutrinos ausgelöst wurden. Ein Großteil seiner Kompositionen schöpft Roth aus ‚Abfalldaten‘ der Experimente: In dem, was Forscher als ‚noise‘ aussortieren, steckt nicht nur thermisches Rauschen, sondern zahlreiche Bewegungen, die von ‚gewöhnlichen‘ kosmischen Teilchen ausgelöst werden.

Historischer Hintergrund von Ultra | memoria cosmica

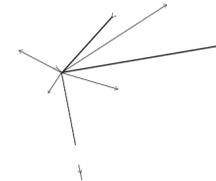
Folie in den Fenstern des KG 17 taucht den Ausstellungsraum in ein blaues Licht. In einer kleinen Begleitausstellung im Nebenraum sind auf einem Display Abbildungen der sogenannten Kernspurplatten zu sehen. Mit diesen besonderen Fotografien ist es der österreichischen Physikerin Marietta Blau erstmals gelungen, die Zertrümmerung eines Atomkerns nachzuweisen. Jahre später konnte sie mit dieser von ihr entwickelten Methode zum ersten Mal ein hochenergetisches kosmisches Teilchen nachweisen.



[aiskju:b] Lautspecherskulptur im Detail, Ludwig Forum, Aachen 2019
Fotos von [aiskju:b]: Tim Otto Roth und Miriam Seidler, imagination labs 2019/2023



Kernzertrümmerung-Bild, von M. Blau und H. Wambacher
Foto: Zeitschrift Nature (1937)



Mit **Ultra | memoria cosmica** soll an diese Leistungen von Frauen erinnert werden.

Text: Dr. Miriam Seidler

In einem Panel Gespräch am 19. September, wollen wir uns mit der heutigen Situation der Frauen in Wissenschaft und Kunst auseinandersetzen und Entwicklungen seit der Zeit Marietta Blau's ins Auge fassen.

Anerkennung der Forschungsleistung von Frauen



Marietta Blau wurde mehrfach für den Nobelpreis vorgeschlagen, kam aber nie zum Zug. Die Lorbeeren für die Entwicklung der fotografischen Methode zum Nachweis von Teilchen wurde 1950 Cecil F. Powell zugesprochen.

Der Vorschlag von Erwin Schrödinger, den Preis Marietta Blau und Herta Wambacher zuzusprechen, wurde nicht berücksichtigt. Das ist nur ein Beispiel für die mangelnde Anerkennung, die Arbeiten von Frauen erfahren haben, obwohl sie in der Physik Großes geleistet haben. Ähnlich erging es u.a. auch Lise Meitner.