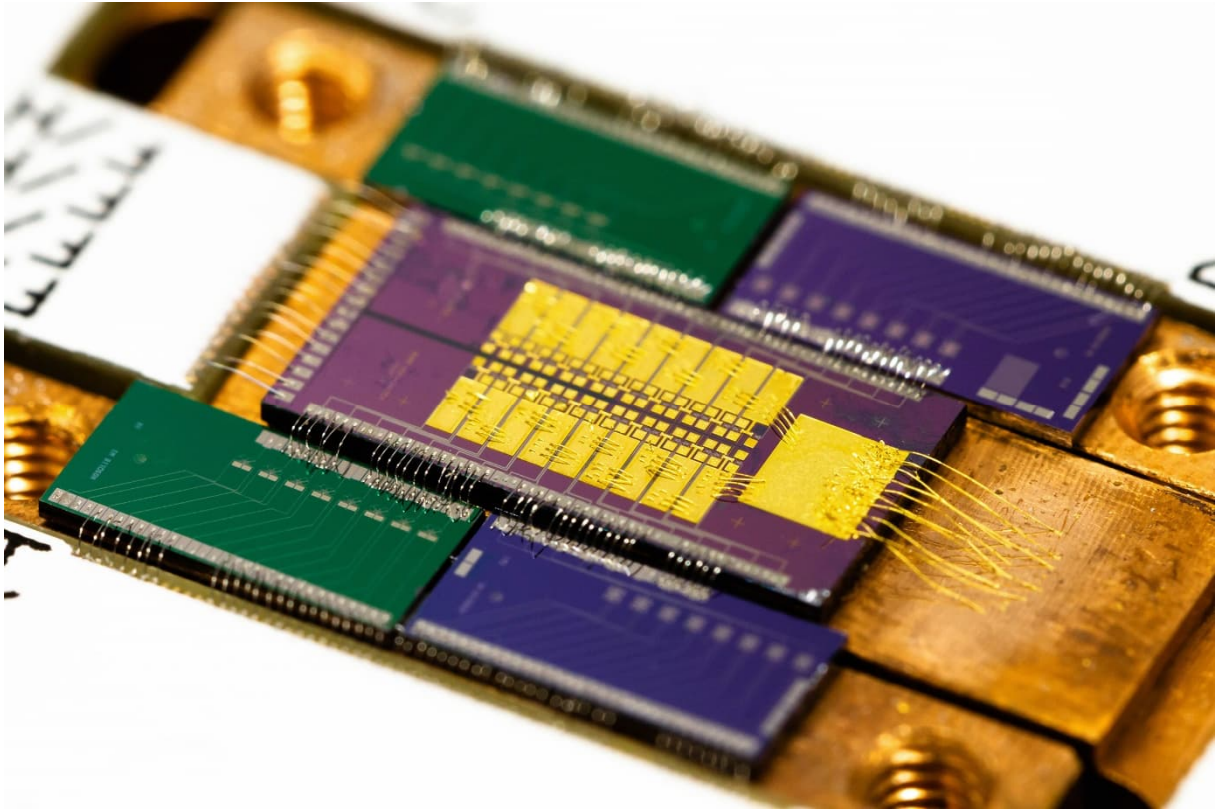


(German version see below)

## Hunting for the neutrino mass with "cool" detectors

**Current research results presented by the ECHO collaboration are the basis for large-scale experiments to get closer to the mass of "ghost particles"**



*A detector module for the ECHO experiments developed and built at the Kirchhoff Institute for Physics. The detector chip is located in the middle; the four surrounding chips contain the Superconducting Quantum Interference Devices (DC-SQUIDs) that read out the signals. (© ECHO collaboration)*

Their mass is extremely low, but how light are neutrinos really? A **collaboration comprising German and international research groups, among them also the Helmholtz Institute Mainz and GSI/FAIR, has optimized its experiments to determine the mass of these "ghost particles". In doing so, they succeeded in further pushing down the upper limit on the neutrino mass scale. The results are published in the journal Physical Review Letters.**

As part of the "Electron Capture in Ho-163 Experiment" (ECHO), the researchers use the isotope holmium-163 (Ho-163). Its decay processes allow for drawing conclusions on the neutrino mass. According to Professor Loredana Gastaldo, a scientist at Heidelberg University's Kirchhoff Institute for Physics and spokesperson of the collaboration, the current results also verify that even larger-scale investigations will be feasible in future to get even closer to the neutrino mass and to ultimately determine it precisely.

Neutrinos are elementary particles with extremely low mass that have no electrical charge. Because their interaction with matter is very weak, the properties of these "ghost particles" are very difficult to determine. This is especially true for the neutrino mass, which has yet to be precisely measured, with only an upper limit being known. According to Loredana

14.04.2026 | Press release of GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt (based on a press release by Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) from 27 March 2026)

Gastaldo, determining the mass could pave the way for new theoretical models beyond the Standard Model of particle physics and thereby contribute to a better understanding of the evolution of our universe.

Determining the neutrino mass based on the decay energy of Holmium-163

Several research groups worldwide are working on the determination of the neutrino mass scale through the analysis of radioactive decays. The lowest upper limit thus far has been obtained by the “Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment” (KATRIN), which is, however, approaching its final sensitivity. The ECHo experiment has been designed to complement the KATRIN results and eventually reach an even better sensitivity. The collaboration includes research teams from Heidelberg, Mainz, Darmstadt, Tübingen, and Karlsruhe, as well as Geneva (Switzerland) and Grenoble (France).

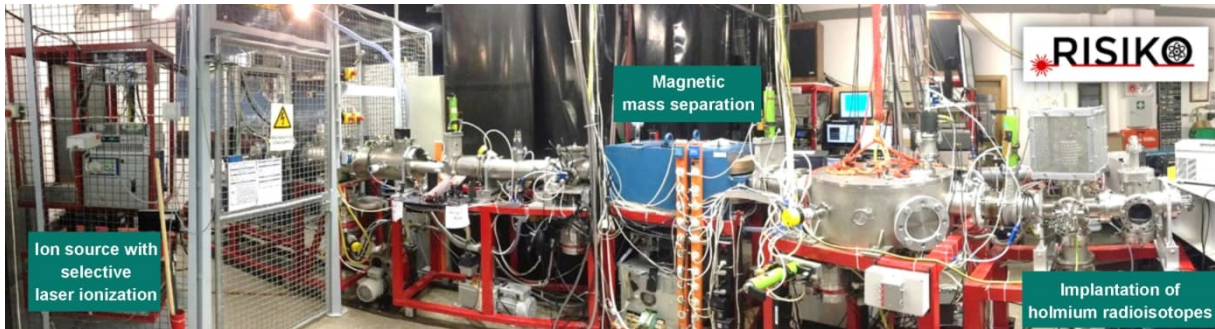
As part of the ECHo experiments to determine the neutrino mass, the researchers are studying the energy released during the decay of holmium-163. In this decay process, a proton in the atomic nucleus of this radioactive isotope captures an electron, yielding a daughter nucleus in an excited state. The interaction between proton and electron produces a neutron and a “ghost-like” neutrino, which is ejected with a specific energy. The mass of the neutrino causes a slight change in the energy distribution of the atomic excitations.

“We can draw conclusions about the mass of the neutrino from the slight changes in the measured energy spectrum,” states Professor Gastaldo. According to the experimental physicist, the isotope holmium-163 is especially well suited for these measurements, because very little energy is released during its decay. That means that even tiny fluctuations in the spectral shape can be registered with appropriate detectors.

### **Scientific collaboration of ECHo collaboration partners**

However, the holmium-163 isotope does not occur naturally. It was laboriously produced artificially for the experiments. To this end, the research group of Professor Christoph Düllmann, professor at Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) and department head at Helmholtz Institute Mainz and GSI/FAIR in Darmstadt, produced special purified erbium samples in the Department of Chemistry at JGU. These were then irradiated with neutrons over several weeks at the research reactor of the Institut Laue-Langevin in Grenoble, France, which led to their conversion into holmium-163. The produced holmium was then transported to Mainz, where it was chemically separated from the remaining original erbium.

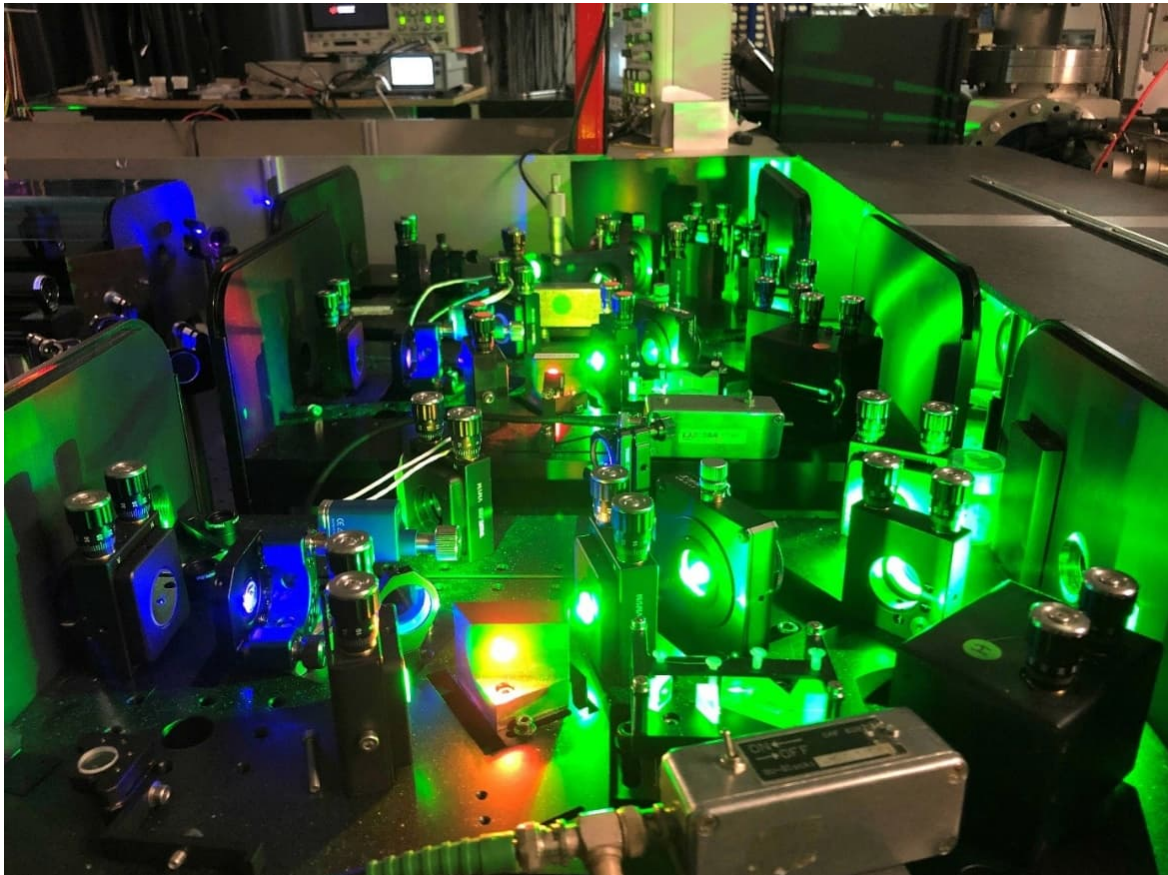
The ECHo experiments use metallic magnetic calorimeters. These detectors were developed and built at the Kirchhoff Institute for Physics under the direction of Professor Loredana Gastaldo. They are approximately 200 micrometers in size and operated at extremely low temperatures of 20 millikelvins, so even tiniest energy differences in the form of temperature fluctuations can be detected.



*The RISIKO mass separator at the JGU Institute of Physics, where holmium radioisotopes are implemented into the ECHO detector pixels.*

The main components are highlighted: the ion source (left), the magnetic mass separation (center), and the implantation of the holmium-163 isotope in the ECHO detectors (right). © AG LARISSA

Embedding of holmium-163 into the calorimeters was also carried out at JGU, in the research group led by Professor Klaus Wendt at the Institute of Physics. To do this, the holmium atoms were vaporized at temperatures exceeding 1,500 degrees Celsius and ionized by the absorption of laser light. The resulting ions were accelerated in the RISIKO mass separator so that they were implanted into the detectors mounted behind the separator. The detectors were then transported back to Heidelberg. Thanks to an improved detector design, the experiment conducted now at Heidelberg University made it possible for the first time to observe approximately 200 million such holmium-163 decay processes.



*Solid-state laser system for holmium-163 implantation.*

The laser system developed in the LARISSA research group at the JGU Institute of Physics provides spectrally well-tuned laser beams, which are fundamental for efficient and highly selective holmium-163 implantation at the RISIKO mass separator.

14.04.2026 | Press release of GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt (based on a press release by Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) from 27 March 2026)

Further pushing down the upper limit of the neutrino mass scale

This allowed the researchers to push the upper limit of the neutrino mass further down by approximately one order of magnitude compared to previous ECHO measurements – and by a factor two compared to the results of the HOLMES collaboration, which also uses Holmium-163 to determine the neutrino mass. "This result reinforces the significance of the ECHO experiments and demonstrates that even larger-scale experiments using Holmium-163 will be possible in future," stressed Gastaldo. To this end, she plans to increase the number of detectors from currently 100 to 20,000. For the "Electron Capture in Ho-163 – Large Experiment" (ECHO-LE) project, she has obtained an ERC Advanced Grant from the European Research Council (ERC).

Teams from Heidelberg University, the Max-Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg, Johannes Gutenberg University Mainz, the Helmholtz Institute Mainz, the GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research in Darmstadt, the University of Tübingen, and the Karlsruhe Institute of Technology have all contributed to the current research. Other contributors include researchers from the CERN European research center in Geneva (Switzerland) and the Institut Laue-Langevin in Grenoble (France). The German Research Foundation funded the work. The results have recently been published in Physical Review Letters. (CP)

**Original publication:**

F. Adam, F. Ahrens, L. E. Ardila Perez et al.:

**Improved Limit on the Effective Electron Neutrino Mass with the ECHO-1k Experiment**

[Phys. Rev. Lett. 136, 121801 \(2026\)](#)

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/lqkb-hylx>

Related links:

- <https://press.uni-mainz.de/hunting-for-the-neutrino-mass-with-cool-detectors/> – Press release of JGU
- <https://www.kip.uni-heidelberg.de/echo/> – ECHO Collaboration
- <https://www.kip.uni-heidelberg.de/?lang=en#start> – Kirchhoff Institute for Physics at Heidelberg University
- <https://www.chemie.uni-mainz.de/en/> – Department of Chemistry at Johannes Gutenberg University Mainz
- <https://www.gsi.de/en/start/news> – GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
- <https://www.hi-mainz.de/> – Helmholtz Institute Mainz (HIM)

Contact:

[Professor Dr. Christoph Düllmann](#)

Department of Chemistry – TRIGA

Johannes Gutenberg University Mainz

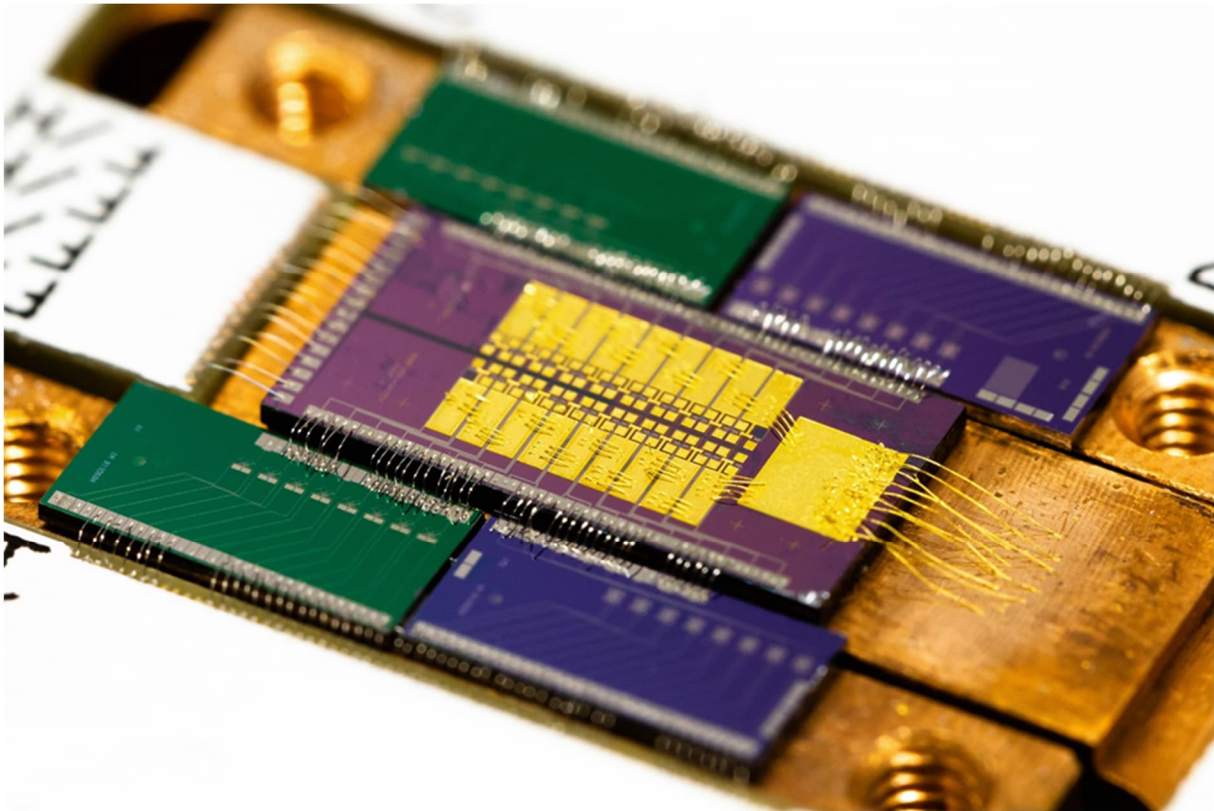
55099 Mainz, GERMANY

phone: +49 6131 39-25852

e-mail: [duellmann@uni-mainz.de](mailto:duellmann@uni-mainz.de)

## Mit „kalten“ Detektoren der Neutrinomasse auf der Spur

**Aktuelle Forschungsergebnisse der ECHO-Kollaboration als Grundlage für größer angelegte Experimente, um sich der Masse der "Geisterteilchen" weiter anzunähern**



*Am Kirchhoff-Institut für Physik der Universität Heidelberg entwickeltes und hergestelltes Detektormodul für die ECHO-Experimente*

Der Detektorchip befindet sich in der Mitte, die vier umgebenden Chips enthalten sogenannte Superconducting Quantum Interference Devices für das Auslesen der Signale.

**Ihre Masse ist extrem gering, doch wie leicht sind Neutrinos wirklich? Eine Kollaboration deutscher und internationaler Forschungsgruppen, darunter auch das Helmholtz-Institut Mainz und GSI/FAIR, hat ihre Experimente zur Massebestimmung dieser „Geisterteilchen“ optimiert. Dabei ist es gelungen, die bisher im Rahmen ähnlicher Messungen ermittelte Obergrenze auf der Neutrinomassenskala weiter nach unten zu verschieben. Die Ergebnisse sind im Fachmagazin *Physical Review Letters* veröffentlicht.**

Im Rahmen des „Electron Capture in Ho-163 Experiment“ (ECHO) nutzen die Wissenschaftler\*innen dazu das Isotop Holmium-163 (Ho-163), das bei seinen Zerfallsprozessen Rückschlüsse auf die Neutrinomasse erlaubt. Nach Angaben von ECHO-Sprecherin Professorin Loredana Gastaldo, Wissenschaftlerin am Kirchhoff-Institut für Physik der Universität Heidelberg, belegen die aktuellen Ergebnisse auch, dass künftig noch größer angelegte Untersuchungen durchführbar sein werden. Sie sollen es ermöglichen, sich der Masse der Neutrinos noch weiter anzunähern und sie schließlich genau zu bestimmen.

Neutrinos sind Elementarteilchen mit extrem geringer Masse, die keine elektrische Ladung besitzen. Da sie nur sehr schwach mit Materie wechselwirken, ist es sehr schwierig, die Eigenschaften dieser „Geisterteilchen“ zu ermitteln. Das gilt insbesondere für die Neutrinomasse, die bisher nicht exakt gemessen werden konnte. Aktuell ist lediglich eine Obergrenze bekannt. Die Bestimmung der Masse könnte laut Loredana Gastaldo den Weg ebnen für

neue theoretische Modelle jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik – und damit zu einem besseren Verständnis der Entwicklung unseres Universums beitragen.

### **Bestimmung der Neutrinomasse anhand der Zerfallsenergie von Holmium-163**

Weltweit arbeiten mehrere Forschungsgruppen daran, die Neutrinomasseskala durch die Analyse radioaktiver Zerfälle zu bestimmen. Die bislang niedrigste Obergrenze wurde im Rahmen des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN) gemessen, das jedoch im Hinblick auf die Empfindlichkeit der Messungen seine Grenze erreicht. Das ECHO-Experiment wurde konzipiert, um die Ergebnisse aus dem Projekt KATRIN zu ergänzen und künftig eine noch höhere Sensitivität zu erreichen. Der ECHO-Kollaboration gehören Forschungsteams aus Heidelberg, Mainz, Darmstadt, Tübingen und Karlsruhe sowie aus Genf (Schweiz) und Grenoble (Frankreich) an.

Um die Neutrinomasse zu ermitteln, untersuchen die Forschenden im Rahmen der ECHO-Experimente die Energie, die beim Zerfall von Holmium-163 freigesetzt wird. Bei diesem Zerfallsprozess „fängt“ ein Proton im Atomkern des radioaktiven Isotops ein Elektron ein, wodurch ein angeregter Tochterkern entsteht. Durch die Wechselwirkung von Proton und Elektron entstehen ein Neutron und ein „geisterartiges“ Neutrino, das mit einer bestimmten Energie weggeschleudert wird. Die Masse des Neutrinos bewirkt eine leichte Veränderung in der Energieverteilung der atomaren Anregungen. „Aus den winzigen Veränderungen im gemessenen Energiespektrum können wir Rückschlüsse auf die Neutrinomasse ziehen“, so Gastaldo. Das Isotop Holmium-163 eignet sich nach Angaben der Experimentalphysikerin besonders gut für diese Messungen, weil bei seinem Zerfall insgesamt nur sehr wenig Energie freigesetzt wird. Das bedeutet, dass selbst sehr kleine Schwankungen in der Spektralform mit geeigneten Detektoren nachgewiesen werden können.

### **Wissenschaftliche Zusammenarbeit verschiedener Partner der ECHO-Kollaboration**

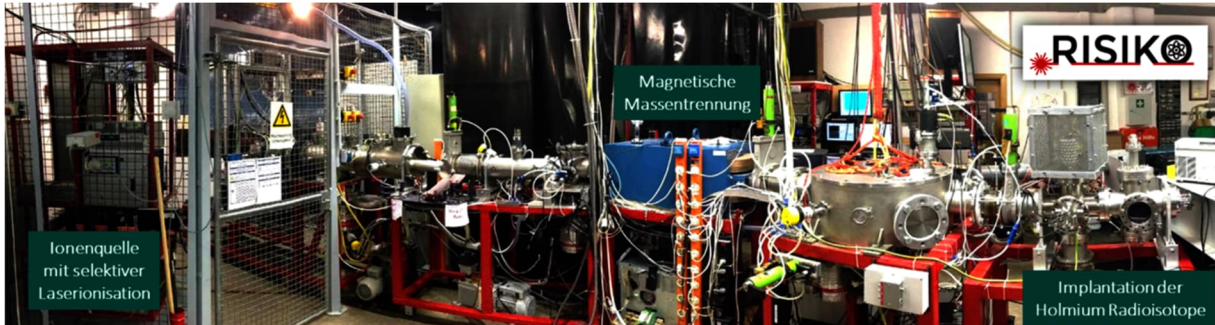
Allerdings kommt Holmium-163 in der Natur nicht vor. Für die Experimente wurde es aufwendig künstlich produziert. Dafür wurden in der Arbeitsgruppe von Professor Christoph Düllmann, Professor an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) und Forschungsabteilungsleiter am Helmholtz-Institut Mainz und bei GSI/FAIR in Darmstadt, im Department Chemie der JGU spezielle Erbiumproben aufgereinigt und anschließend am Forschungsreaktor des Institut Laue-Langevin in Grenoble über mehrere Wochen mit Neutronen bestrahlt, was zur Umwandlung in Holmium-163 führte. Das produzierte Holmium wurde anschließend nach Mainz verbracht, wo die chemische Abtrennung vom verbliebenen ursprünglichen Erbium durchgeführt wurde.

Für die Untersuchungen der ECHO-Experimente kommen metallische Magnetkalorimeter zum Einsatz. Die Detektoren wurden unter der Leitung von Professorin Loredana Gastaldo am Kirchhoff-Institut für Physik entwickelt und hergestellt. Sie sind nur etwa 200 Mikrometer groß und werden bei extrem tiefen Temperaturen von 20 Tausendstel Kelvin betrieben, sodass sich auch kleinste Energieunterschiede in Form von Temperaturschwankungen bemerkbar machen.

Die Einbettung des Holmium-163 in die Kalorimeter wiederum erfolgte ebenfalls an der JGU, in der Arbeitsgruppe von Professor Klaus Wendt vom Institut für Physik. Dazu wurden die Holmium-Atome bei Temperaturen von über 1.500 Grad Celsius verdampft und durch die Absorption von Laserlicht ionisiert. Die entstandenen Ionen wurden im RISIKO-Massenseparator beschleunigt, sodass sie in die hinter dem Separator angebrachten Detektoren implantiert wurden, die dann wieder nach Heidelberg verbracht wurden. Dank

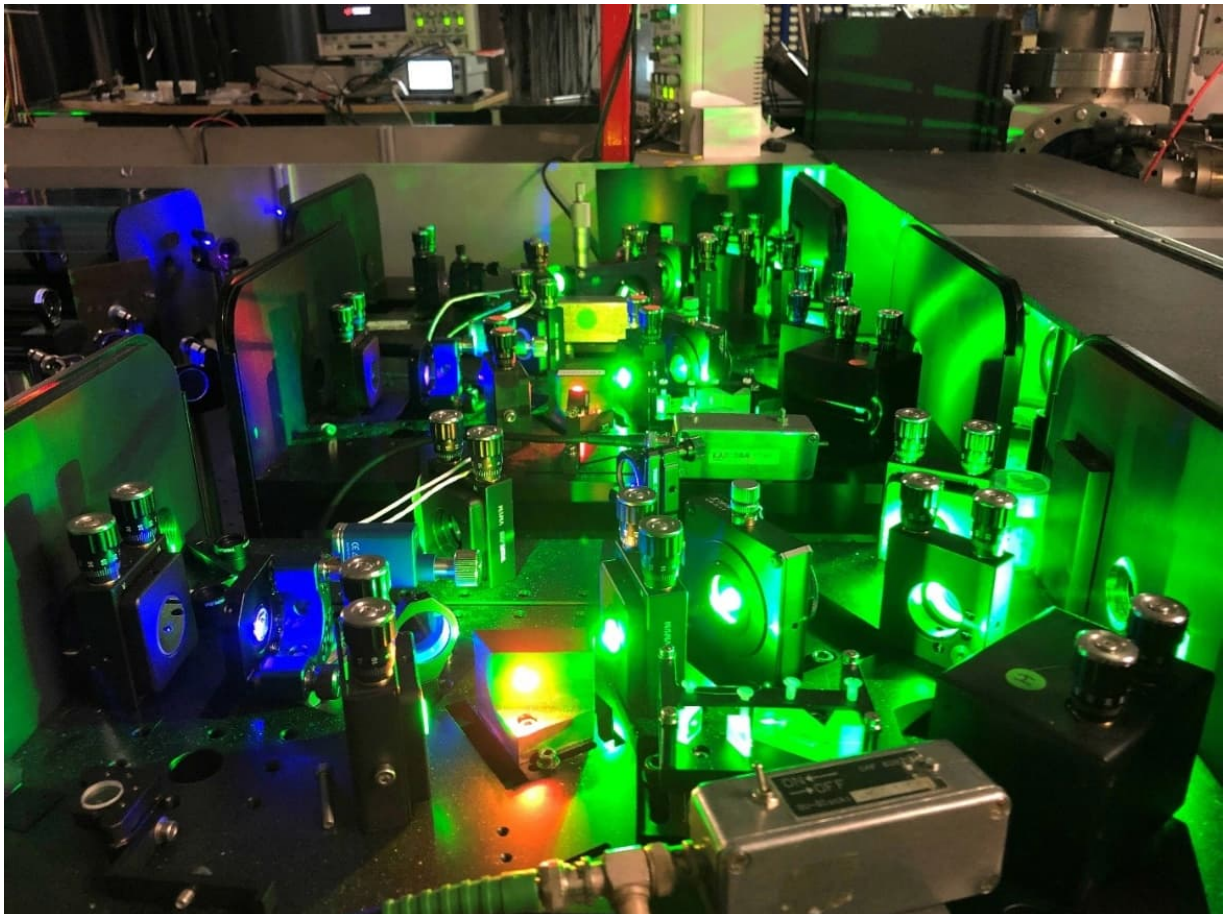
14.04.2026 | Press release of GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt  
(based on a press release by Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) from 27 March 2026)

eines verbesserten Detektordesigns konnten bei dem nun an der Universität Heidelberg durchgeführten Experiment erstmals etwa 200 Millionen solcher Holmium-163-Zerfallsprozesse beobachtet werden.



*RISIKO-Massenseparator am Institut für Physik der JGU, an dem die Implantation der Holmium-Radioisotope in die ECHO-Detektorpixel vorgenommen wird*

Die wichtigen Komponenten sind herausgestellt: Ionenquelle mit der elementelektiver Laserionisation (links), magnetische Massentrennung (Mitte) und Implantation der Holmium-163-Isotope in die ECHO-Detektoren (rechts). © AG LARISSA



*Festkörperlasersystem für die Holmium-163-Implantation*

Das in der Arbeitsgruppe LARISSA am Institut für Physik der JGU entwickelte Lasersystem liefert spektral wohl abgestimmte Laserstrahlen, die Grundvoraussetzung für die effiziente und hochselektive Holmium-163-Implantation am RISIKO-Massenseparator sind. © AG LARISSA

14.04.2026 | Press release of GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt (based on a press release by Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) from 27 March 2026)

## Absenkung der Obergrenze der Neutrinomasseskala

Die Wissenschaftler\*innen konnten damit die Obergrenze der Neutrinomasseskala im Vergleich mit früheren ECHO-Messungen um etwa eine Größenordnung nach unten verschieben – und um den Faktor zwei gegenüber dem Ergebnis der HOLMES-Kollaboration, die ebenfalls Holmium-163 zur Bestimmung der Neutrinomasse verwendet. „Dieses Ergebnis untermauert die Bedeutung der ECHO-Experimente und demonstriert, dass in Zukunft noch größer angelegte Untersuchungen unter Verwendung von Holmium-163 möglich sein werden“, betont Gastaldo. Dazu plant sie, die Zahl der Detektoren von aktuell 100 auf 20.000 zu erweitern. Für dieses Projekt „Electron Capture in Ho-163 – Large Experiment“ (ECHO-LE) hat sie einen ERC Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) erhalten.

An den aktuellen Forschungsarbeiten haben Teams der Universität Heidelberg, des Max-Planck-Instituts für Kernphysik in Heidelberg, der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, des Helmholtz-Instituts Mainz, des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung in Darmstadt, der Universität Tübingen und des Karlsruher Instituts für Technologie mitgewirkt. Ebenfalls beteiligt waren Forschende des europäischen Forschungszentrums CERN in Genf (Schweiz) sowie des Institut Laue-Langevin in Grenoble (Frankreich). Die Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Forschungsergebnisse sind in der Fachzeitschrift Physical Review Letters erschienen. (CP)

### Original Publikation:

F. Adam, F. Ahrens, L. E. Ardila Perez et al.:

**Improved Limit on the Effective Electron Neutrino Mass with the ECHO-1k Experiment**

[Phys. Rev. Lett. 136, 121801 \(2026\)](#)

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/lqkb-hylx>

### Weiterführende Links:

- <https://presse.uni-mainz.de/mit-kalten-detektoren-der-neutrinomasse-auf-der-spur/> – Pressemitteilung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- <https://www.kip.uni-heidelberg.de/echo/> – ECHO Kollaboration
- <https://www.kip.uni-heidelberg.de/?lang=en#start> – Kirchhoff-Institut für Physik an der Universität Heidelberg
- <https://www.chemie.uni-mainz.de/> – Department Chemie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- <https://www.gsi.de/start/aktuelles> – GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
- <https://www.hi-mainz.de/> – Helmholtz Institut Mainz (HIM)

### Kontakt:

[Professor Dr. Christoph Düllmann](mailto:duellmann@uni-mainz.de)

Department Chemie– TRIGA

Johannes Gutenberg Universität Mainz

55099 Mainz

phone: +49 6131 39-25852

e-mail: [duellmann@uni-mainz.de](mailto:duellmann@uni-mainz.de)