

DAS COSINUS-EXPERIMENT

DAS JAHRZEHNTELANGE RÄTSEL
EIN FÜR ALLE MALE LÖSEN.

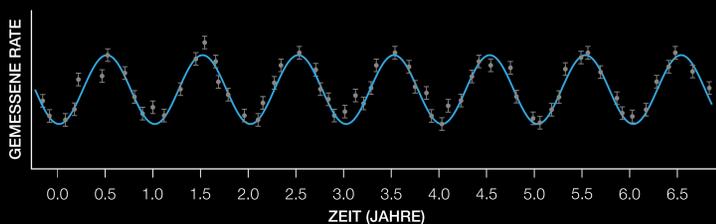
EISIGE TEMPERATUREN IM UNTERGRUND

Zwar weiß man aufgrund astronomischer Beobachtungen über die Existenz der Dunklen Materie (DM) Bescheid, ein direkter Nachweis steht allerdings noch aus. Um ihrem Verständnis ein Stück näher zu kommen, bauen die Forscherinnen und Forscher von COSINUS einen Teilchendetektor, der mithilfe eines Kryostaten (ein "Kühlschrank" für extrem tiefe Temperaturen) bis auf wenige hundertstel Grad über absolut Null (-273,15°C) gekühlt und im größten Untergrundlabor der Welt betrieben wird, dem Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) in Italien.

Zusätzlich zu den rund 1400 Metern an Gestein, die das LNGS an Abschirmung bietet, wird um den Kryostaten herum noch ein Wassertank mit 7 Metern Durchmesser und Höhe gebaut. Dieser Aufbau ist extrem wichtig, denn der Detektor ist hoch sensibel und jegliche kosmische Strahlung (z.B. Myonen oder Gamma-Strahlen) wäre sehr störend.

DM ODER KEINE DM?

Konkret geht COSINUS einer jahrzehntelangen Frage nach: Ein Experiment namens DAMA/LIBRA misst nämlich seit vielen Jahren ein Signal, das in etwa so aussieht:



Dieses Signal könnte tatsächlich mithilfe von DM erklärt werden, denn wegen des Umlaufs der Erde um die Sonne erwartet man, dass wir Phasen von DM "Gegenwind" und "Rückenwind" durchlaufen. Man würde also ein Signal erwarten, das im Jahresverlauf schwankt. Das einzige Problem daran ist, dass das Signal sonst niemand misst. Weil experimentelle Ergebnisse aber nur vergleichbar sind, wenn auch dieselben Detektormaterialien verwendet werden, baut COSINUS nun (ebenso wie DAMA/LIBRA) einen Natrium Iodid (NaI) Detektor, um diese Frage ein für alle Male zu klären.

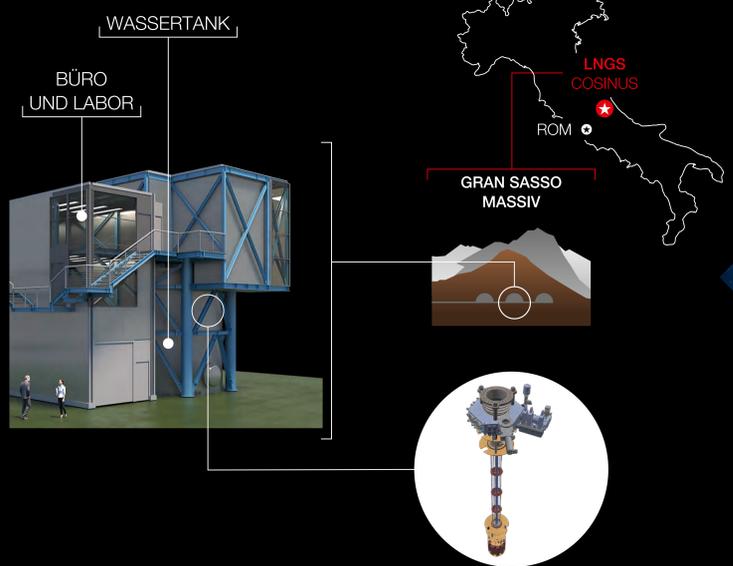


STECKBRIEF COSINUS-EXPERIMENT

- › Ab 2024 in Betrieb
- › Etwa 45 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 5 Instituten
- › Österreichische Beteiligung: seit 2016
- › www.cosinus.it bzw. @COSINUSdm

SPANNENDE FAKTEN

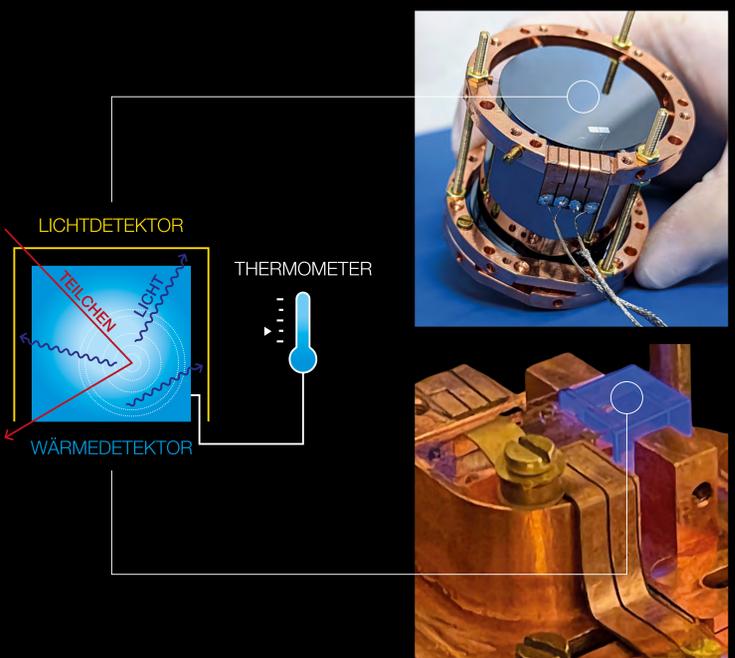
- › Während deinen Fingernagel auf der Erdoberfläche pro Minute ca. ein Myon durchquert, musst du in unserem Untergrundlabor dafür im Schnitt ein ganzes Jahr warten.
- › Unser Detektormaterial ist so rein, dass der Detektor 25000-mal weniger radioaktiv ist als eine Banane aus dem Supermarkt.



SCHEMATISCHE DARSTELLUNG
DES KRYOSTATEN

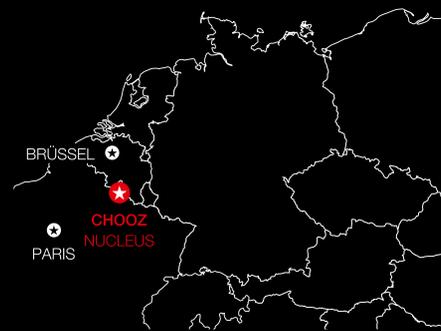
DETEKTIONSPRINZIP

Wenn der Detektor von einem Teilchen getroffen wird, erwärmt er sich um ca. ein millionstel Grad, was man mit einem sehr empfindlichen Thermometer messen kann. Zusätzlich zu Wärme entsteht auch (blaues) Licht, welches mit einem becherförmigen Lichtdetektor gemessen wird, der den Wärmedetektor umgibt. Aus dem Wärme- und Lichtsignal kann man dann rückschließen, um welche Art von Teilchen es sich gehandelt hat: Die Lichtausbeute beim Eintreffen eines Photons wäre z.B. viel größer als bei einem DM-Teilchen. Die Möglichkeit der Teilchenunterscheidung zeichnet COSINUS gegenüber anderen Experimenten mit NaI-Detektor, insbesondere auch DAMA/LIBRA, aus.



DAS NUCLEUS-EXPERIMENT

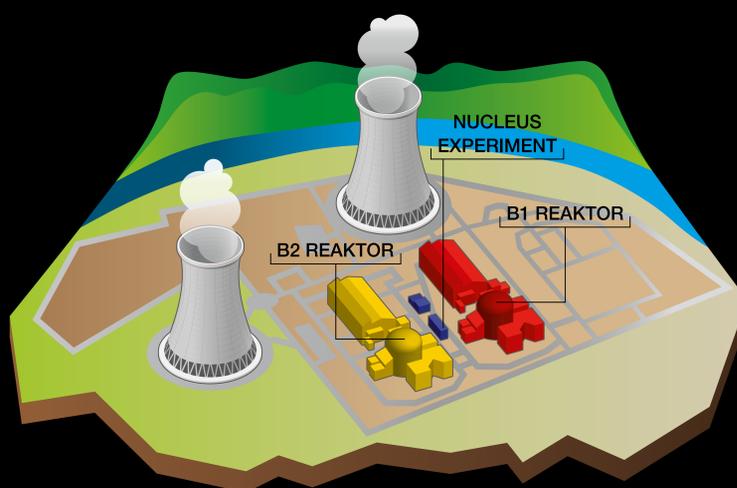
MIT NEUTRINOS AUF DER SUCHE NACH SPANNENDER PHYSIK.



DAS NEUTRINO – EIN SCHEUES TEILCHEN

Am französischen Kernkraftwerk Chooz wird das NUCLEUS-Experiment aufgebaut, welches mit Neutrinos das Standardmodell der Teilchenphysik präzise vermessen wird. Auch wenn das Standardmodell eine der genauesten physikalischen Theorien ist die wir kennen, wissen wir, dass es nicht komplett ist: es beschreibt zum Beispiel nicht die „Dunkle Materie“ oder die Masse der Neutrinos. Es muss also ein umfangreicheres Modell existieren, das auch diese Erscheinungen jenseits des Standardmodells beinhaltet. Auch an der spannenden Suche nach dieser sogenannten „Neuen Physik“ beteiligt sich NUCLEUS.

Neutrinos sind eine sehr „scheue“ Art von Elementarteilchen: sie wiegen fast nichts, höchstens ein Hunderttausendstel eines Elektrons, und wechselwirken so gut wie nie mit anderer Materie. Um dennoch diese seltene Wechselwirkung messen zu können, braucht NUCLEUS eine sehr intensive Neutrinoquelle – die beiden Kernreaktoren B1 und B2 des Kernkraftwerks Chooz, denn Neutrinos werden in großer Anzahl bei der Kernspaltung produziert. NUCLEUS wird zwischen beiden Reaktoren aufgestellt, außerhalb der Reaktorsicherheitsbehälter, welche die bei der Kernspaltung entstehende Radioaktivität zurückhalten, aber von den harmlosen Neutrinos nahezu ungehindert durchquert werden.



DIE NUCLEUS DETEKTOREN – KLEIN ABER FEIN

Um diese Neutrinos nachzuweisen, nutzt NUCLEUS die gleiche Methode wie CRESST: Kristallwürfelchen von 5 mm Kantenlänge, z.B. aus Saphir, die bis fast zum absoluten Nullpunkt abgekühlt werden. Stößt ein Neutrino an einen Atomkern im Kristall, erwärmt sich der Kristall um einige millionstel Grad und liefert damit einen Hinweis auf eine Wechselwirkung eines Neutrinos mit dem NUCLEUS-Detektor.

Sollte es NUCLEUS gelingen einige Hundert dieser Wechselwirkungen nachzuweisen, können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Vielzahl an neuen Erkenntnissen daraus ableiten: sowohl über das Standardmodell, z.B. wie sich die schwache Kernkraft, die zu Atomzerfällen führt, bei niedrigsten Energien verhält, als auch über neue Physik, z.B. ob Neutrinos auch mit bis jetzt unbekanntem Teilchen interagieren. Solche unbekanntem Teilchen wären auch interessant für die Suche nach der Dunklen Materie.

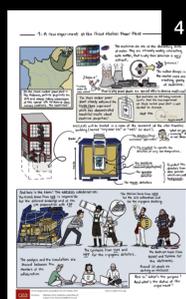
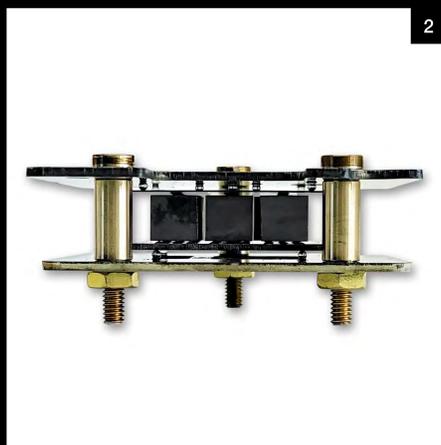
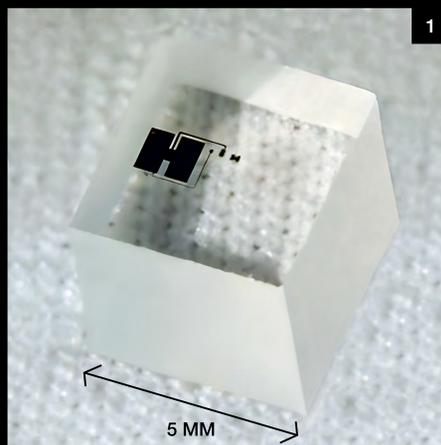


STECKBRIEF NUCLEUS-EXPERIMENT

- › Zurzeit im Aufbau, Beginn der Entwicklung 2017
- › Etwa 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 7 Instituten in 4 Ländern
- › Österreichische Beteiligung: seit 2017
- › www.nucleus-experiment.org

SPANNENDE FAKTEN

- › Einige Milliarden Reaktorneutrinos durchqueren einen Kristallwürfel des Nucleus-Experiments pro Sekunde.
- › In der Erdatmosphäre entstehen ständig Neutrinos und rund hundert von ihnen durchqueren pro Sekunde unsere Handfläche, ohne dass wir etwas merken oder dass es uns schadet.
- › Die beiden Kernreaktoren in Chooz gehören mit je 4,27 GW thermischer Leistung zu den stärksten Reaktoren in Europa.
- › NUCLEUS im Comic erklärt: www.nucleus-experiment.org/nucleus-bubbles



- 1 Ein Saphirwürfel als NUCLEUS-Detektor. Die schwarze Struktur ist das eigens entwickelte Thermometer, welches in der Lage ist, die extrem kleinen Temperaturanstiege von einem Millionstel Grad zu messen.
- 2 Prototyp eines Halters für drei NUCLEUS-Detektoren
- 3 Der zukünftige Standort von NUCLEUS: das Kernkraftwerk Chooz in Frankreich
- 4 NUCLEUS im Comic erklärt

DAS CRESST-EXPERIMENT

IN DEN TIEFEN DER ABRUZZEN AUF DER SUCHE NACH DUNKLER MATERIE.

DAS UNTERGRUNDLABOR LNGS

In einem der größten Untergrundlaboratorien der Welt, dem LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso) in den italienischen Abruzzen, befindet sich das CRESST-Experiment (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers), das versucht die Existenz von Dunkler Materie zu bestätigen. Die derzeit favorisierte Erklärung der Dunklen Materie ist die Existenz bisher unentdeckter Elementarteilchen. Das CRESST-Experiment will diese Teilchen durch ihre Wechselwirkungen mit Detektoren nachweisen, welche im Untergrundlabor in 1400 Metern Tiefe aufgebaut sind, um sie gegen störende kosmische Höhenstrahlung und natürliche Radioaktivität abzuschirmen.

MESSUNGEN BEI TIEFSTEN TEMPERATUREN

Kern der Detektoren sind Kristalle aus Calciumwolframat, Lithiumaluminat und anderen Materialien. Diese werden bei einer Temperatur knapp über dem absoluten Nullpunkt (-273,15 °C) betrieben. Diese tiefen Temperaturen sind nötig, um die minimale Temperaturänderung, die durch die Wechselwirkung der Teilchen mit dem Detektormaterial entsteht, messen zu können. Wenn ein Teilchen mit dem Kristall wechselwirkt und damit in dem Kristall Energie deponiert, wird diese Energie in Wärme umgewandelt und nachgewiesen. Gleichzeitig erzeugt die Wechselwirkung im Kristall auch Licht. Die Menge des erzeugten Lichts erlaubt es, zwischen den verschiedenen Teilchenarten zu unterscheiden.

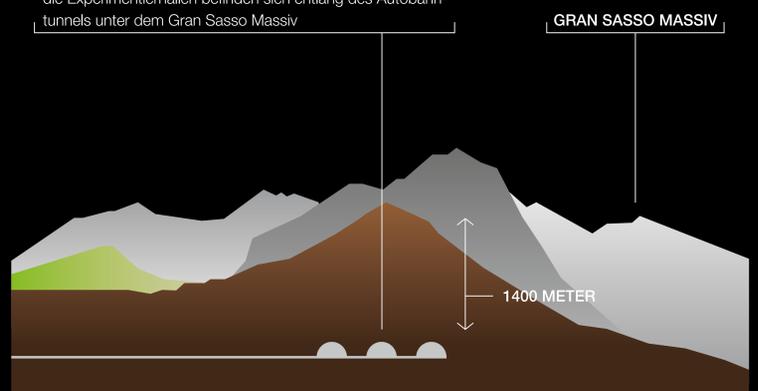
Sollte die Suche nach Dunkler Materie erfolgreich verlaufen, würden einander Astronomie und Teilchenphysik, die beiden Disziplinen der Physik, die sich mit dem ganz Großen und dem ganz Kleinen befassen, ergänzen und uns eine neue Sicht auf die Beschaffenheit des Universums ermöglichen.

CRESST
Cryogenic Rare Event Search
with Superconducting Thermometers



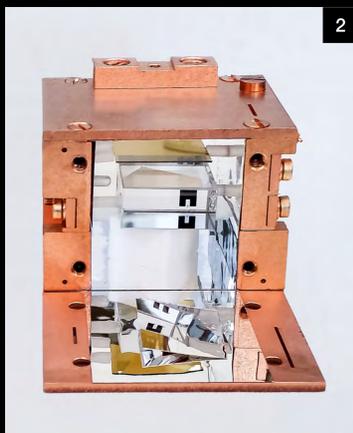
3 GROßE FORSCHUNGSHALLEN

jeweils 100 Meter lang, 20 Meter breit und 18 Meter hoch; die Experimentierhallen befinden sich entlang des Autobahntunnels unter dem Gran Sasso Massiv



STECKBRIEF CRESST-EXPERIMENT

- › Seit 1996 in Betrieb
- › Etwa 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 8 Instituten in 4 Ländern
- › Österreichische Beteiligung: seit 2013
- › www.cresst-experiment.org



- 1 Blick in die Halle A des LNGS; die Container im Vordergrund beherbergen das CRESST-Experiment
- 2 Offenes CRESST-III-Detektormodul
- 3 Regelmäßiges Nachfüllen des Kryostaten mit Helium und Stickstoff, um bei der Datenerfassung eine Temperatur der Detektoren von 15mK gewährleisten zu können.
- 4 Einbau von CRESST-III-Detektormodulen mit unterschiedlichen Kristallen in den CRESST-Aufbau im LNGS.

DAS DANAE-EXPERIMENT

DIREKTE DETEKTION VON LEICHTER DUNKLER MATERIE MIT EINZELELEKTRONEN SENSOREN.

DAS EXPERIMENT

Im DANAE-Experiment werden spezielle Siliziumdetektoren für die Suche nach einer besonders leichten Form der Dunklen Materie eingesetzt. Die Detektoren werden am Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft entwickelt und müssen in der Lage sein, einzelne Elektronen zu messen und zu unterscheiden. Das Experiment befindet sich in der Technologieentwicklung und wird am Wiener Institut für Hochenergiephysik der ÖAW betrieben.

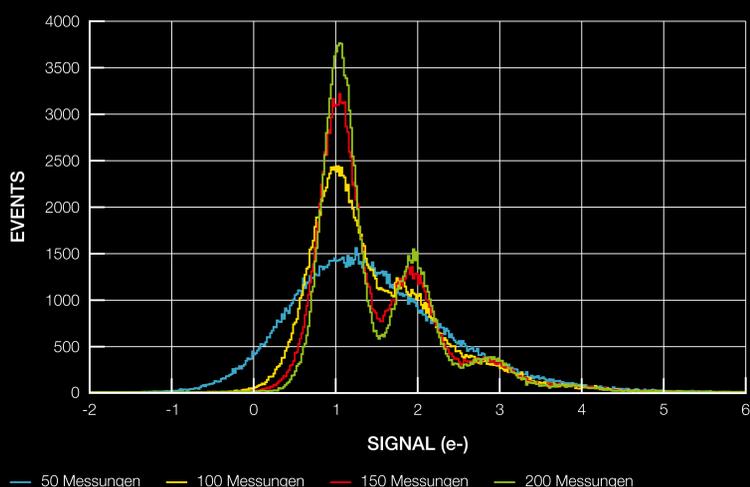
DIE SIGNALE

Derzeit werden unentdeckte Elementarteilchen als Erklärung für Dunkle Materie favorisiert. Diese wurden in einem schweren Massebereich vermutet, motiviert durch Modelle der theoretischen Physik. Als Folge daraus widmen sich große, existierende Experimente vorwiegend diesem Massebereich, indem der Zusammenstoß eines möglichen Dunkle Materie Teilchens mit einem Atomkern untersucht wird. Aufgrund von zahlreichen experimentellen Indizien und neuesten Modellrechnungen begeben sich aktuelle Experimente vermehrt auf die Suche nach leichten Dunkle Materie-Teilchen. Da diese Teilchen nicht mehr schwer genug wären, um ein messbares Signal bei dem Zusammenprall mit massiven Atomkernen zu erzeugen, wird nun die Wechselwirkung mit Elektronen untersucht. Da dabei Signale von nur wenigen Elektronen erwartet werden, müssen Detektoren mit sehr geringem Rauschen eingesetzt werden, so dass einzelne Elektronen unterschieden werden können.



STECKBRIEF DANAE-EXPERIMENT

- › noch in der Technologieentwicklung
- › seit 2018, gegründet durch das HEPHY, gemeinsam mit dem Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft
- › 5 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 4 Institutionen



MESSUNG EINZELNER ELEKTRONEN

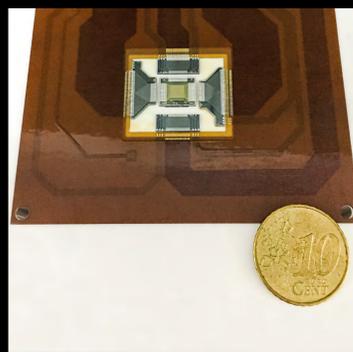
Durch das mehrfache Auslesen und Mitteln des Signals können einzelne Elektronen unterschieden werden. Wird der Sensor schwach beleuchtet und das Signal 50 mal gemittelt (blaues Spektrum), können die einzelnen Elektronen nicht unterschieden werden. Nach 200 Mittelungen können die Anteile von ein, zwei oder drei Elektronen deutlich unterschieden werden.



DANAE

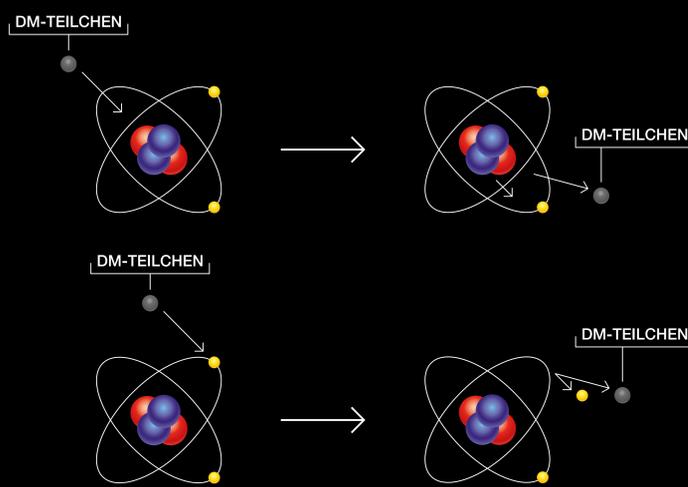
DIE TECHNOLOGIE

Dank einer speziell entwickelten Mehrfachauslese mit anschließender Mittelung, können RNDR-DEPFET (depleted p-channel field effect transistor) Detektor-Verstärker-Strukturen, die bei dem DANAE-Experiment eingesetzt werden, das durchschnittliche Rauschen auf den Bruchteil eines Elektrons reduzieren. Dabei werden die Signalelektronen gesammelt und bis zu 1000-mal zwischen zwei Auslesekonten verschoben und gemessen. Die dadurch erhöhte Empfindlichkeit ermöglicht es, dass mit wenigen kg sensitiven Materials unbekannte Masseregionen für die Suche nach Dunkler Materie erschlossen werden.



DER DANAE PROTOTYP-DETEKTOR

Der empfindliche Siliziumsensor ist durch flexible Leitungen mit der Ausleseelektronik verbunden. Dadurch kann der Sensor in einer massiven Metallschirmung untergebracht werden, um von unerwünschten äußeren Einflüssen geschützt zu sein.



SIGNALE VON LEICHTER DUNKLER MATERIE

Schwere Dunkle Materie (ca. $2 \text{ GeV}/c^2$ bis $120 \text{ TeV}/c^2$) wurde vorwiegend mittels der Wechselwirkung zwischen möglichen Dunkle Materie-Teilchen und Atomkernen gesucht (oben). Um zukünftig für leichte Dunkle Materie (ca. $100 \text{ keV}/c^2$ bis $2 \text{ GeV}/c^2$) empfindlich zu sein, muss die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Dunkle Materie-Teilchen untersucht werden (unten).