

Kirko Stimmer:

# **Suche nach WIMPs**

# Inhaltsverzeichnis

## 1 Einleitung

1.1 Was sind WIMPs?

1.2 WIMPs im Standardmodell?

## 2 Experimenteller Nachweis von WIMPs

2.1 Wo soll man suchen?

2.2 Indirekter Nachweis

2.2.1 Das H.E.S.S. Experiment

2.2.2 Schluss aus indirektem Verfahren

2.3 Direkter Nachweis

2.3.1 Dark Matter Experiment

2.4 Tieftemperatur Detektoren

2.4.1 CDMS II

2.4.2 CRESST

2.5 Szintillations Detektoren

2.5.1 Xenon Experiment

2.6 Liste anderer Experimente

2.7 Vergleich der Wirkungsquerschnitte

## 3 Schluss

## 4 Literaturverzeichnis

# 1 Einleitung

## 1.1 Was sind WIMPs?

WIMP ist die englische Abkürzung für „**w**eakly **i**nteracting **m**assive **p**article“, zu deutsch „schwach Wechselwirkende massenreiche Teilchen“. Das Wort „wimp“ bedeutet im englischen „Schwächling“, was auf die Unfähigkeit der Wechselwirkung mit anderen Teilchen anspielt.

WIMPs sind hypothetische Teilchen und wurden postuliert, um das „Dunkle Materie Problem“ unseres Universums zu lösen. Demnach wechselwirken sie mit anderer Materie nur durch die schwache Wechselwirkung, die Gravitation und womöglich durch andere schwache Kräfte. Außerdem müssten ihre Masse im Bereich von einem TeV liegen. Im Vergleich, die Masse eines Protons beträgt  $\sim 1$  GeV und die Masse eines Elektrons  $\sim 0.5$  MeV. Durch ihre große Masse würden sie sich langsam bewegen, also wären sie „kalt“. Durch ihre geringe Wechselwirkung wären sie nicht sichtbar, also „dunkel“. Demnach sind sie ein Kandidat für die kalte, dunkle Materie (Cold Dark Matter - CDM). Ein anderer CDM Kandidat wären die MACHOs (**m**assive **c**ompact **h**alo **o**bjects). Obwohl die Existenz der WIMPs in unserem Universum zu diesem Zeitpunkt rein hypothetisch ist, würde sie eine ganze Menge astronomischer und kosmologischer Probleme verbunden mit der dunklen Materie lösen. Des Weiteren ergaben Simulationen mit einem Universum gefüllt mit kalter dunkler Materie Galaxieverteilungen ähnlich wie wir sie heute beobachten.

## 1.2 WIMPs im Standardmodell?

Im uns bekannten Standardmodell der Teilchenphysik (SM) findet sich kein Teilchen welches alle Eigenschaften eines WIMPs hat. Alle bekannten Teilchen die nur schwach mit Materie wechselwirken, wie z.B. die Neutrinos, haben eine sehr geringe Masse und würden sich schnell bewegen.

WIMP - artige Teilchen werden durch Supersymmetrie (SuSy), eine verbreitete Erweiterung des Standardmodells, vorhergesagt. Supersymmetrie ist eine Symmetrie der Teilchenphysik, die Bosonen und Fermionen ineinander umwandelt. Dabei werden Teilchen, die sich unter einer SuSy - Transformation ineinander umwandeln, Superpartner genannt.

Das minimale supersymmetrische Standardmodell (MSSM) ist die, bezüglich des Teilcheninhalts, kleinstmögliche Wahl, das Standardmodell der Teilchenphysik zu einem supersymmetrischen Modell zu erweitern.

Bei der Erweiterung des SM zum MSSM wird jedem Feld / Teilchen genau ein Superpartner zugeordnet (Abb. 1).

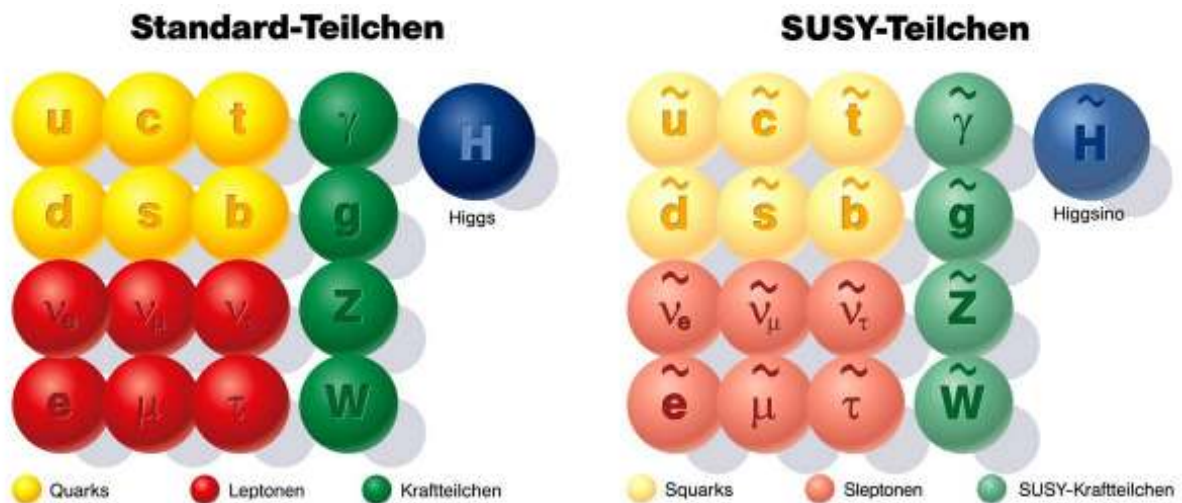


Abb. 1: Teilchen des Standardmodells und ihre Superpartner.

Da die Eichsymmetrien bezüglich des SM unverändert bleiben sind die Eichwechselwirkungen im MSSM auch für die Superpartner bereits durch das SM festgelegt. Es können aber neue Wechselwirkungsterme auftreten, die nicht von einer Eichsymmetrie herrühren. Die Existenz und Stärke dieser Terme ist zunächst unbekannt, wodurch das MSSM im Allgemeinen ein Modell mit vielen neuen und unbekanntenen Parametern ist.

Eigentlich spricht theoretisch nichts dafür, dass sich die Massen der Superpartner von denen der Standardmodellteilchen unterscheiden. Da aber aus dem ganzen Superpartnerteilchen-Zoo bisher kein Teilchen entdeckt wurde, geht man davon aus, dass sie eine sehr viel höhere Masse als ihre „normalen“ Pendanten haben.

## 2 experimenteller Nachweis von WIMPs

### 2.1 Wo soll man suchen?

Da bei den WIMPs die gleiche Wechselwirkung erwartet wird wie bei den Neutrinos, geht man bei der Suche in etwa so vor wie vor 50 Jahren bei der Neutrinosuche. Ein großer Vorteil damals war, dass es Reaktoren gab von welchen man wusste, dass sie eine große Menge Neutrinos erzeugten. Bei WIMPs gibt es diesen Vorteil natürlich nicht.

Trotz des großen experimentellen und finanziellen Aufwands der nötig ist um solch einen Detektor zu betreiben laufen im Moment viele Experimente an, welche versuchen werden die Teilchen nachzuweisen.

Grundlegend gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten zum Nachweis, den direkten und den indirekten. Die vorausgesagten Streuraten für WIMPs an Atomen sind, zumindest für große Detektormassen, erheblich. Allerdings ist das überwachen bzw. das realisieren von großen Detektoren sehr schwierig. Hinzu kommt das Unterdrücken von Hintergrundereignissen, welches eine schwierige experimentelle Anforderung stellt.

### 2.2 Indirekter Nachweis

Durch die vermuteten Eigenschaften der WIMPs könnten diese in großen, massereichen Objekten, wie z.B. unserer Sonne, der Erde oder im Galaktischen Zentrum gefangen werden. Da mit der Zeit immer mehr Teilchen eingefangen werden, wächst die Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei WIMPs treffen und unter Aussendung von hochenergetischen Neutrinos und Photonen zerstrahlen. Der Nachweis dieser Strahlung ist die Grundidee des indirekten WIMP Nachweises.

Jedoch gestaltet sich dies nicht so einfach. Hochenergetische Gammastrahlen aus dem Zentrum der Sonne würden die Sonnenoberfläche nicht erreichen. Auch hochenergetische Gammastrahlung aus dem Erdkern wäre auf der Erdoberfläche nicht nachweisbar. Das Durchdringungsvermögen von Gammastrahlung ist nicht gut genug um durch mehrere tausend Kilometer Masse zu dringen.

Bei den Neutrinos ist es genau andersherum. Sie Wechselwirken nur ganz schlecht mit Materie. Ein weiteres Problem ist, dass pro Sekunde 7 Milliarden Neutrinos jeden  $\text{cm}^2$  unserer Erdoberfläche durchfliegen. Es ist sehr schwierig aus diesem Hintergrund die Neutrinos aus WIMP - Annihilation herauszufiltern.

## 2.2.1 Das H.E.S.S. Experiment

Das H.E.S.S. Experiment, benannt nach dem Entdecker der kosmischen Strahlung (früher auch Höhenstrahlung genannt), Viktor F. Hess, befindet sich in Namibia, 1800m über dem Meeresspiegel (Abb. 2).



Abb. 2: Cherenkov Teleskope des H.E.S.S. Experiments in Namibia

Das H.E.S.S. Experiment kann anhand mehrerer Cherenkov Teleskope hochenergetische Gammastrahlung aus dem All nachweisen. Die Cherenkov Teleskope registrieren das sogenannte Cherenkov Licht, benannt nach seinem Entdecker Pavel Cherenkov. Dieses wird erzeugt, wenn ein Gammaquant in die Erdatmosphäre dringt und dort, in ca. 10 Km Höhe, mit sehr vielen Teilchen wechselwirkt. Es entsteht eine „Teilchendusche“ (Particle shower) von sich sehr

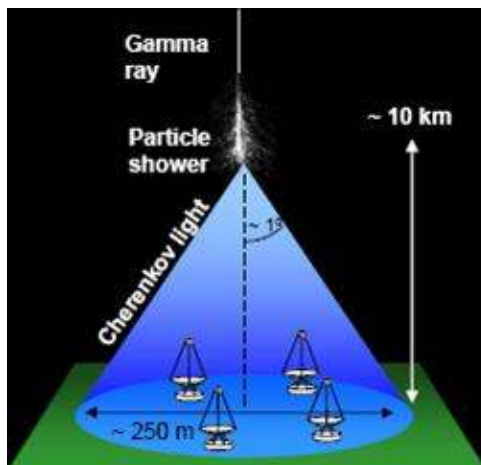


Abb. 3: Entstehung von Cherenkov Licht

schnell bewegenden Teilchen. Bei so schnellen Bewegungen ( $c_{\text{Luft}} < v < c$ ) senden Teilchen Licht aus, das sogenannte Cherenkov Licht (Abb. 3). Die Teleskope stehen auf den Eckpunkten eines Quadrats mit 120m Seitenlänge. Die Fläche des Quadrats ist somit größer als 10.000 m<sup>2</sup>. Damit hat man eine riesige Fläche, und die Wahrscheinlichkeit der Detektion eines Gammaquants steigt erheblich. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, dass man durch den Einsatz mehrerer Teleskope die Teilchendusche, und somit den Gammastrahl und seinen  $\vec{k}$  Vektor komplett rekonstruieren kann. Aus dem  $\vec{k}$  Vektor kann man nun den Ursprung des Gammastrahls ableiten.

Das H.E.S.S. Experiment entdeckte eine hochenergetische Gammastrahlung im TeV Bereich und identifizierte durch seine gute Auflösung als Quelle dieser Strahlung das schwarze Loch der Milchstrasse. Diese Gammastrahlung kann also tatsächlich bei der Annihilation von WIMPs entstanden sein.

## 2.2.2 Schluss aus indirektem Verfahren

Zwar besagen die meisten Modelle das viele WIMPs von großen Objekten eingefangen werden und somit auch oft zerstrahlen. Es ist aber weiterhin möglich, dass all diese Modelle falsch sind, oder nur einen Teil des „Dunkle Materie Problems“ lösen.

Demnach ist ein direkter Nachweis von WIMPs unerlässlich um die Theorien zu bekräftigen.

## 2.3 Direkter Nachweis

Zum direkten Nachweis von WIMPs laufen im Moment viele verschiedene Experimente an. Obwohl sich alle in der Art und dem Aufbau der WIMP Detektoren unterscheiden, ist eine allgemeine Vorgehensweise erkennbar.

Alle Experimente finden sehr tief unter der Erdoberfläche statt. Grund dafür ist die Höhenstrahlung. Man möchte sie so gut wie möglich eliminieren. Sie besteht größtenteils aus Neutronen, Elektronen und ionisierten Atomen, welche Ereignisse auslösen können und somit störend wirken.

Aus dem gleichen Grund werden oft reine Materialien verwendet. Damit wird die Menge radioaktiver Isotope, welche beim Zerfall wiederum Neutronen, Elektronen und Photonen erzeugen, in und um den Detektor gering gehalten. Ganz lässt sich die natürliche Radioaktivität des umliegenden Gesteins aber nicht eliminieren.

Es ist auch üblich mehrere physikalische Größen gleichzeitig zu messen. Zum Beispiel den Rückstoß eines Atoms und die Änderung der Ladungsverteilung in einem Kristall. Nun kann man z.B. für Neutronen, Elektronen und Photonen Eichkurven anlegen, und sie in zukünftigen Experimenten anhand dieser ausschließen.

Des weiteren ist noch auffällig, das alle Experimente Methoden entwickelt haben bei welchen man das Detektorvolumen vergrößern kann. Denn es ist möglich, das man zwar den perfekten Aufbau zur Detektion eines WIMPs gefunden hat, die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis aber so gering ist, dass man in einem Jahr Laufzeit trotzdem nichts detektiert.

### 2.3.1 Dark Matter Experiment

Das Dark Matter Experiment, abgekürzt DAMA, wird im Gran Sasso Tunnel in Italien durchgeführt und verwendet als Detektormaterial 100 Kg NaI:Tl (Thalliumdotiertes Natriumjodid). Dabei werden die Szintillationen im Kristall gemessen. Hintergrundereignisse, wie zum Beispiel eine Szintillation durch die Wechselwirkung eines Elektrons mit dem Kristall, werden mitgemessen. Man geht davon aus, dass der Beitrag zur Zählrate durch alle Teilchen bis auf WIMPs über mehrere Jahre hinweg konstant bleibt. Bei WIMPs würde man eine jahreszeitliche Modulation der Zählrate erwarten, da sich die Sonne relativ zu dem galaktischen Halo bewegt. Die Erde wiederum bewegt sich um die Sonne, so dass man im Sommer, wenn sich die Geschwindigkeit der Erde um die Sonne und die Geschwindigkeit der Sonne in der Galaxie addieren, eine höhere Zählrate erwartet als im Winter, wenn sich die Geschwindigkeiten subtrahieren. So eine jahreszeitliche Modulation der Zählrate fand das DAMA (Abb. 4) und behauptet als erstes Experiment WIMPs direkt nachgewiesen zu haben.

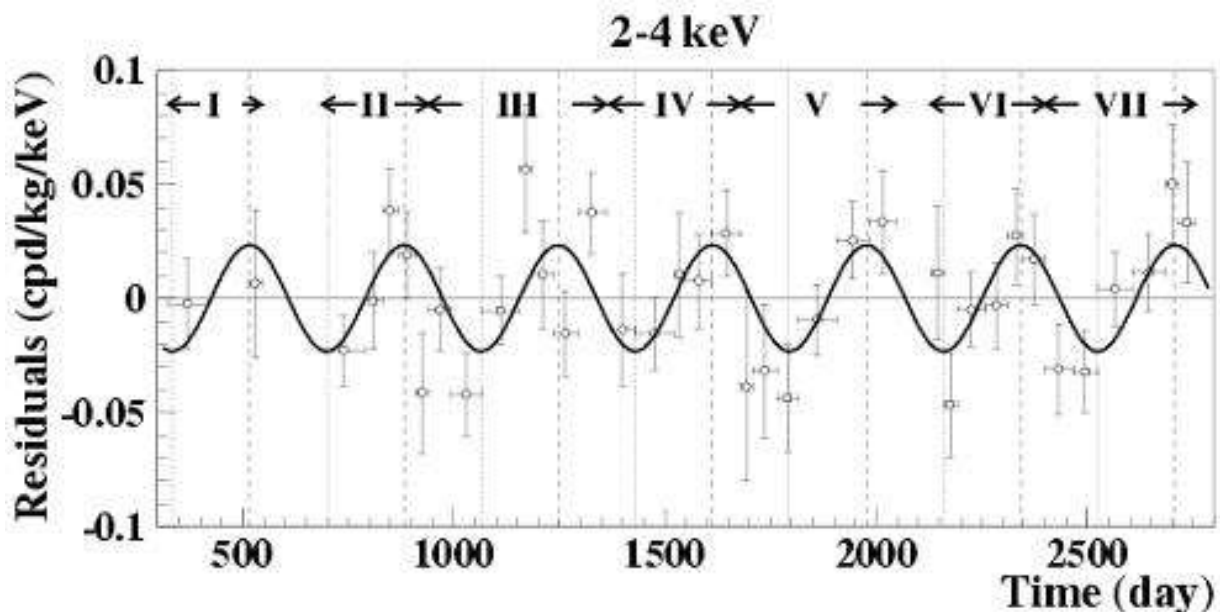


Abb. 4: Jahreszeitliche Modulation der Zählrate gemessen vom DAMA. Erster Nachweis von WIMPs?

Man sollte aber im Kopf behalten, dass es viele jahreszeitabhängige Größen gibt, welche für die Modulation verantwortlich sein können, wie z.B. die Temperatur, den Luftdruck oder die Luftfeuchtigkeit. Hinzu kommt, dass unterdessen andere Experimente mit ähnlichen Methoden, aber einer Herausfilterung von Hintergrundereignissen, nichts gefunden haben. Daher wird der positive Fund ves in der Fachwelt eher angezweifelt, ob durch das DAMA Experiment wirklich ein positiver Fund von WIMPs vorliegt.



## 2.4 Tieftemperatur Detektoren

Viele Experimente versuchen die Gitterschwingungen zu messen, die erzeugt werden wenn ein WIMP mit einem Atom im Detektor schwach wechselwirkt. Das Problem hierbei ist, dass durch die schwache Wechselwirkung nur sehr wenig Energie vom WIMP auf den Detektor übertragen wird. Demnach muss die innere Energie des Detektors sehr gering sein, um Energiebeiträge von ein paar KeV zu einem Detektor überhaupt zu messen. Realisiert wird das durch Abkühlen des Detektors auf bis zu 10 mK mithilfe von Helium-3 / Helium-4 Mischkryostaten. Bei solchen Temperaturen sind die Phononen komplett „ausgestorben“, die Atome halten still. Wird nun ein Atom durch ein WIMP angestoßen, werden Phononen erzeugt. Das messen dieser Phononen ist die Grundidee aller Tieftemperatur Detektoren.

### 2.4.1 CDMS II

CDMS steht für cryogenic dark matter search, was soviel heißt wie Suche nach dunkler Materie bei tiefen Temperaturen. Dieses Experiment ist eine Kooperation mehrerer Universitäten aus den USA. Das CDMS fand noch im Keller der University of Minnesota statt. Das CDMS II hingegen wurde im Soudan Bergwerk in Minnesota aufgebaut. Hier ist der Einfluss der Höhenstrahlung viel geringer. Des Weiteren steht hier viel Platz zur Verfügung, um das Detektorvolumen gegebenenfalls zu erweitern. Früher wurde in diesem Bergwerk Eisen abgebaut, heutzutage finden da viele Experimente statt. Unter anderem wird dort auch ein 6000 Tonnen schwerer Neutrinodetektor untergebracht.

Das CDMS II verwendet 100g Silizium bzw. 250g Germanium pro Detektor. Der Unterschied der Masse erklärt sich in dem Unterschied der Dichte der beiden Stoffe. Ansonsten sind die Detektoren für Silizium und Germanium baugleich. Jeder Detektor kann die Phononen und die Ionisationen im Kristall messen. Die einzelnen Detektoren (Abb. 5) werden dann in Halterungen mit elektrischen Anschlüssen eingebaut und übereinander in einem Turm (Abb. 6) zusammengefügt der dann in den Kryostaten eingelassen wird (Abb. 7).



Abb. 5: Kristall mit Hülle und Phonondetektor auf Oberseite



Abb. 6: Detektoren mit Halterung, Turm im Hintergrund



Abb. 7: Turm im Kryostaten, Kupferlamellen dienen der Datenübertragung

Die Messung der Phononen im Kristall kann vereinfacht anhand Abb. 8 erklärt werden. Der Detektor wird auf einer Temperatur von 10 mK gehalten, also existieren im Si oder Ge Kristall keine Phononen, und die Metalle Aluminium und Wolfram sind supraleitend. Jetzt durchquert ein WIMP Kristall und wechselwirkt schwach mit einem Atom. Dadurch werden Phononen erzeugt, welche sich im Kristall ausbreiten. Einige dieser erreichen die Oberseite, wo sich 4000 Aluminiumlamellen befinden. An der Grenzfläche wird die Energie der Phononen von den Elektronen aufgenommen. Jeweils 2 Elektronen liegen als Cooper Paar im Grundzustand des Leitungsbandes vor und werden durch die

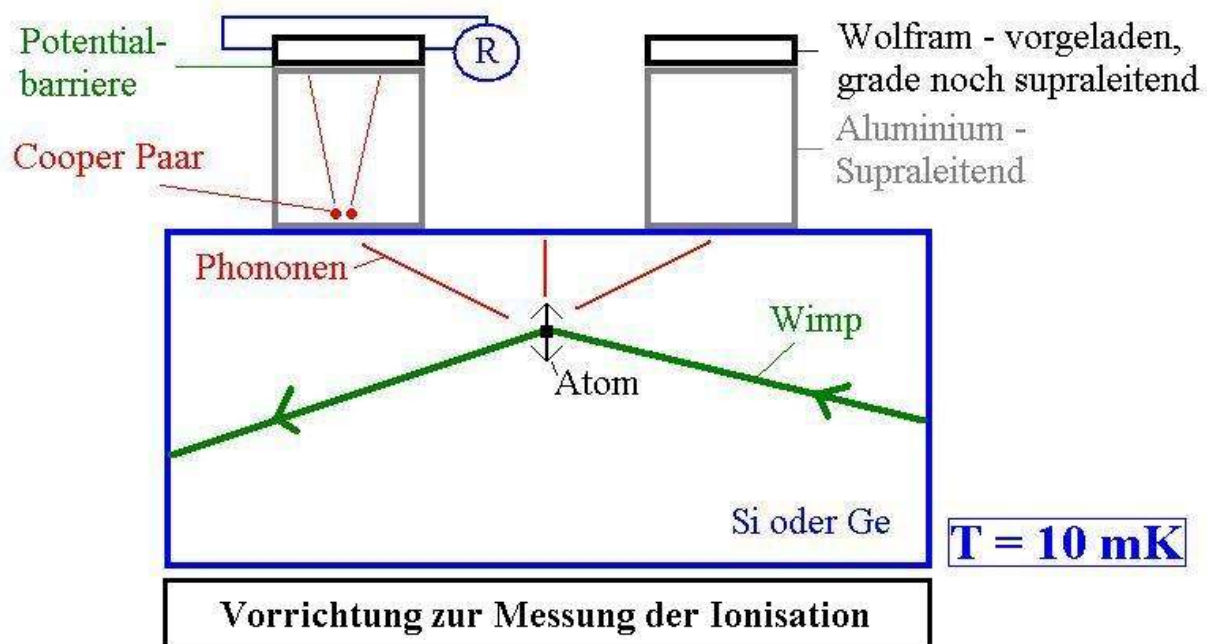


Abb. 8: CDMS Detektor - schematisch

zugeführte Energie getrennt. Dann bewegen sie sich ungestört im Metall, bis sie die obere Grenzfläche zu den Wolframplättchen erreichen. Dort können sie, falls sie genug Energie besitzen durch die Potentialbarriere (bestehend aus Aluminiumoxid) tunneln. Dem Wolfram wurde vorher elektrische Energie zugeführt, damit es kurz vor dem Übergang von supraleitend zu leitend steht. Werden dem Wolfram nun ein paar weitere Elektronen hinzugefügt, führt es den Übergang von supraleitend zu leitend durch und man stellt eine starke Änderung des Widerstands fest.

Um Hintergrundereignissen zu eliminieren wurden beim CDMS II verschiedene Schichten von Materialien um den Detektor gewickelt. Dazu gehört unter anderem eine Schicht aus radioaktiv freiem Blei. Dieses fand man in dem Ballast eines Schiffes aus dem 18. Jahrhundert. Bei Blei solchen Alters sind so gut wie alle radioaktiven Isotope bereits zerfallen.

Da man aber selbst durch Kombination verschiedenster Schichten nie alle ungewollten Ereignisse herausfiltern kann, misst man auch die Ionisationsstärke durch ein einfallendes Teilchen im Kristall. Für verschiedene Elementarteilchen

wurden nun charakteristische Werte aufgenommen (Abb. 9). Mit Hilfe dieser kann man in Zukunft Photonen und andere Teilchen von WIMPs unterscheiden.

Das CDMS und CDMS II wird bis 2009 ca. \$ 24 Millionen Kosten.

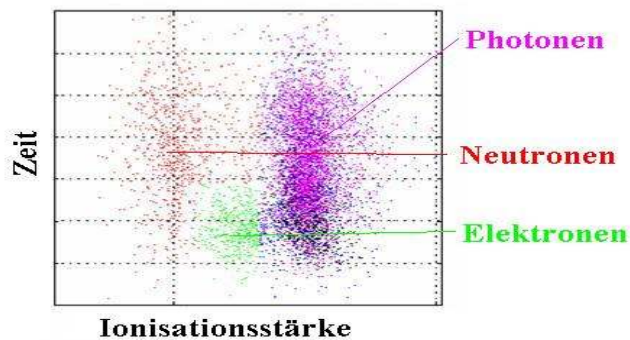


Abb. 9: Charakteristische Ionisationsstärke in Abhängigkeit von der Laufzeit

## 2.4.2 CRESST

CRESST steht für cryogenic rare events search with superconducting thermometers, was soviel bedeutet wie Suche nach seltenen Ereignissen mit Hilfe von supraleitenden Thermometern und tiefen Temperaturen. Es befindet sich auch im Gran Sasso Tunnel, ist aber ein deutsch - britisches Projekt. Als Detektormaterial wurden bisher 2 x 300g Kalziumwolframat benutzt. Es wird aber bereits an der Vergrößerung des Detektors gearbeitet. Beim CRESST werden Phononen und Szintillationen gemessen. Der Schematische Aufbau eines Detektors ist in Abb. 10 dargestellt.

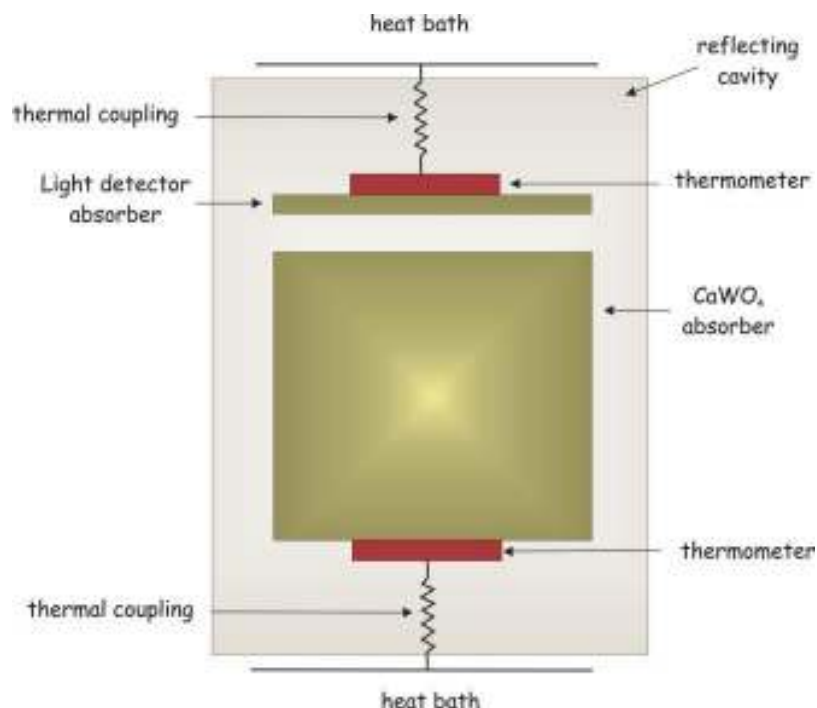
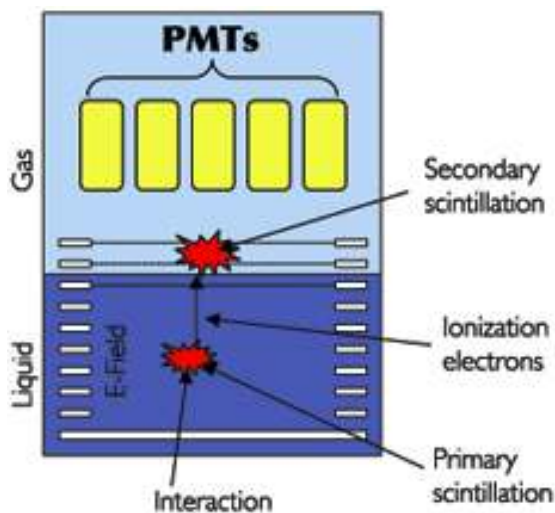


Abb. 10: Schematischer Aufbau eines CRESST Detektors

## 2.5 Szintillations Detektoren

Die Funktionsweise von Szintillationsdetektoren beruht darauf, dass man den Puls einer primären und einer sekundären Szintillation aufzeichnet, und aus der Pulsintensität und der Pulsform auf das eingefallene Teilchen zurück schließt. Die Erzeugung der verschiedenen Szintillationen kann man gut anhand des schematischen Aufbaus des Detektors vom WARP (Wimp Argon Program) erklären (Abb. 11). Der Detektor ist gefüllt mit Argon, welches im flüssigen, als auch gasförmigen Zustand szintillierende Eigenschaften hat. Wenn ein eindringendes Teilchen in der flüssigen Phase mit einem Argon Atom wechselwirkt (interaction), werden einige Elektronen in ein höheres Niveau gehoben. Das Zurückfallen der Elektronen auf tiefer liegende Niveaus erfolgt unter Aussendung von Photonen, welche von Photomultipliern registriert werden. Dies ist die erste Szintillation (primary scintillation). Außerdem ionisiert die Wechselwirkung auch Elektronen (ionization electrons). Diese bewegen sich aufgrund des Elektrischen Feldes (negativer Pol in Grafik unten) nach oben. Wenn sie die gasförmige Phase des Argons erreichen, in welcher der



Strömungswiderstand viel geringer ist als in der flüssigen Phase, werden sie schlagartig beschleunigt. Wenn sie nun mit Atomen Wechselwirken erzeugen sie eine weitere Szintillation (secondary scintillation) die von den Photomultipliern registriert wird.

Das WARP wurde bisher nur mit 2.3 L Argon getestet. Es soll aber demnächst auf 100 L aufgerüstet werden, um die Streurate erheblich zu steigern.

Abb. 11: Schematischer Aufbau des WARP Detektors

## 2.5.1 Xenon Experiment

Das Xenon Experiment ist ein internationales Projekt und wird auch im Gran Sasso Tunnel durchgeführt. Jeder der 10 Detektoren enthält 100 Kg von teils flüssigen und teils gasförmigen Xenon. Man hat die Variante von 10 „kleinen“ Detektoren mit 100 Kg der Variante eines Detektors mit einer T vorgezogen, da im Falle eines Defektes nicht das ganze Experiment zum Stillstand kommt, sondern nur einer von 10 Detektoren ausfällt. Es wird sehr reines Xenon genommen, um den Anteil von Radon und Krypton so gering wie möglich zu halten. Ra und Kr haben viele radioaktive Isotope. Ein durch radioaktiven Zerfall erzeugtes Elektron würde sofort Szintillationen auslösen, was logischerweise unerwünscht ist. Der Schematische Aufbau eines Detektors des Xenon Experiments ist in Abb. 12 zu sehen. Hier werden 3 Szintillationen gemessen (Abb. 13). Die ersten beiden Szintillationen werden genauso wie beim

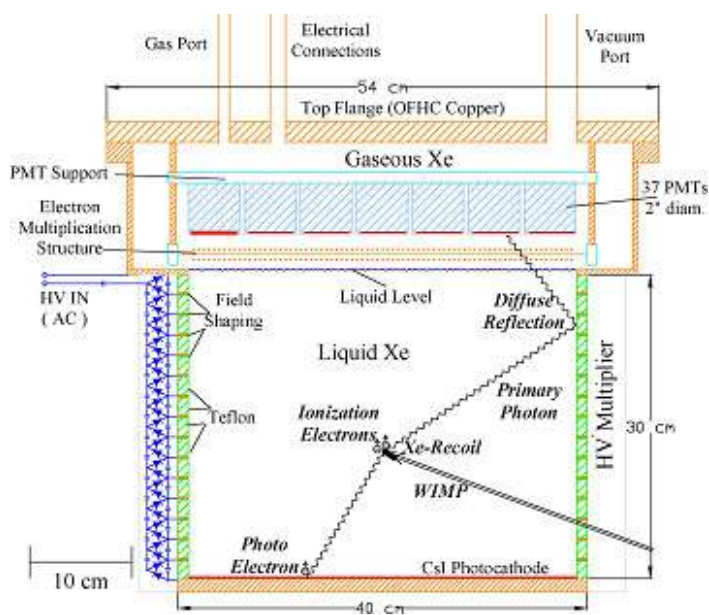


Abb. 12: Aufbau eines Xenon Detektors

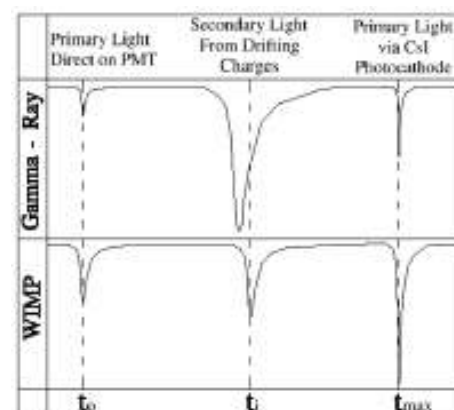


Abb. 13: Verschiedene Szintillationspulse

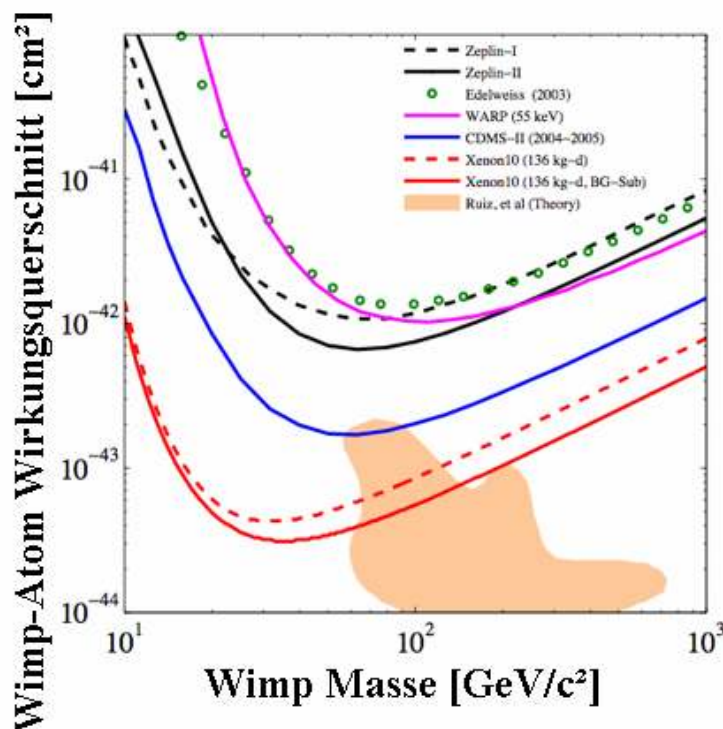
WARP erzeugt. Die dritte Szintillation stammt von der Aussendung eines Photons nach unten. Dort befindet sich eine CsI Photokathode, welche Photoelektronen auslöst, die sich im Elektrischen Feld nach oben bewegen, und dann in der gasförmigen Phase eine dritte Szintillation erzeugen. Wie unterschiedlich die verschiedenen Pulse, z.B. von einem Gammastrahl und einem WIMP sind, zeigt Abb. 13. Mit dieser Hilfe lassen sich nun die verschiedensten Teilchen voneinander unterscheiden.

## 2.6 Liste anderer Experimente

- Edelweiss Experiment: - deutsch-französisches Projekt  
 - Tieftemperaturdetektor gefüllt mit Germanium
- HDMS: - Heidelberg Dark Matter Search  
 - Tieftemperaturdetektor gefüllt mit Germanium
- Zeplin I, II, III: - britisches Projekt  
 - Szintillationsdetektor mit Xenon
- DEAP: - kanadisches Projekt  
 - befindet sich im SNOLAB laboratory of physics  
 - Szintillationsdetektor mit 7 Kg Argon
- COUPP: - amerikanisches Projekt  
 - versucht mit Blasenkammer WIMPs nachzuweisen

## 2.7 Vergleich der Wirkungsquerschnitte

Aufgetragen ist in Abb. 14 der Wirkungsquerschnitt in Abhängigkeit von der WIMP Masse. Die Linien sind die jeweiligen Detektionsgrenzen der verschiedenen Experimente. Wie man sieht dringt das Xenon Experiment bereits



weit in den von der Theorie vorausgesagten Bereich ein. Das CDMS II könnte auch schon WIMPs nachweisen. Nennenswert ist, dass das DAMA, welches die Modulation der Zählrate festgestellt hat, bei einem WQ von  $7 \cdot 10^{-41} \text{ cm}^2$  und einer WIMP Masse von  $30 \text{ GeV}/c^2$  gemessen hat. Der Bereich wurde bereits von allen anderen Experimenten abgedeckt. Außerdem stimmt er mit dem theoretisch vorhergesagten Bereich nicht überein.

Abb. 14: Vergleich der Wirkungsquerschnitte in Abhängigkeit von der WIMP Masse

### 3 Schluss

Wie man an all den verschiedenen Methoden, verwendeten Materialien und gemessen Größen um WIMPs nachzuweisen merkt, wird im Moment mehr probiert, als gerichtet geforscht. Das liegt vor allem daran, dass man nicht genau weiß, wo und wie man nach den WIMPs suchen soll. Obwohl man also noch keine genaueren Vorgaben durch die Theorie hat, beginnen viele Experimente, und andere werden erweitert. Denn das Interesse am Lösen des „Dunkle Materie Problems“ ist groß. Mit ihm könnten viele kosmologische und astronomische Rätsel gelöst werden.

Jedoch, wie man an Abb. 14 sieht, nähert man sich experimentell dem Gebiet, wo die WIMPs theoretisch erwartet werden.

Dazu kommt, dass der Large Hadron Collider in Genf vll. den Nachweis erster supersymmetrischer Teilchen bringt. Erkenntnisse daraus könnten die WIMP Suche stark beschleunigen oder auch in eine ganz andere Richtung lenken. Jedoch wird es noch ein wenig dauern bis in Genf die ersten Testläufe des LHC ausgewertet sind, und vielleicht wurden bis dahin die WIMPs bereits von einem der genannten Experimente nachgewiesen.

## 4 Literaturverzeichnis

- Wolfgang Gebhardt, Skript zur Vorlesung Kosmologie WS 06/07
- CDMS Homepage, <http://cdms.berkeley.edu>
- CRESST Homepage, <http://www.cresst.de>
- Xenon Homepage, <http://xenon.astro.columbia.edu/>
- HESS Homepage, <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/HESS.html>
- WARP Homepage, <http://warp.lngs.infn.it/>
- Wikipedia, The Free Encyclopedia