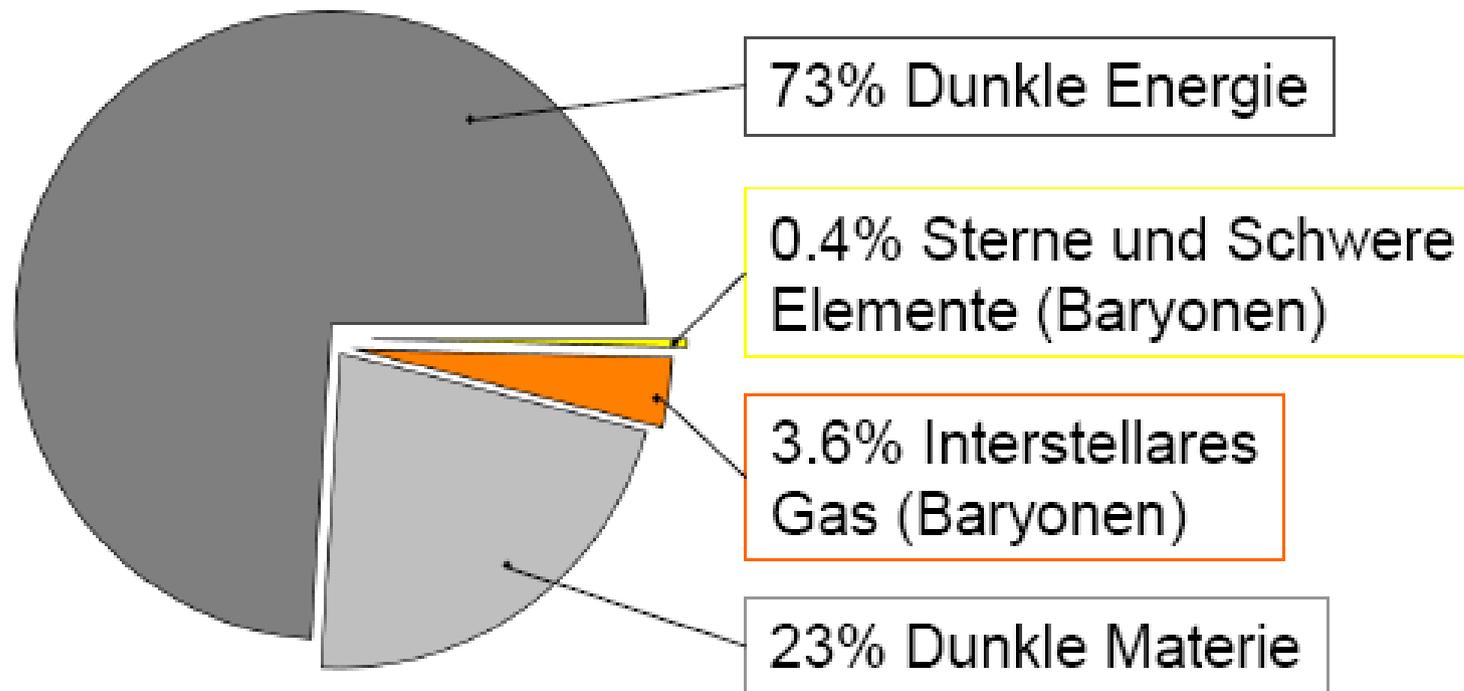


Experimentelle Suche nach Dunkler Materie

Überblick

- Allgemeine Einführung
- Direkte Suche nach DM
- Experimente zur Direkten Suche
- Indirekte Suche nach DM
- Experimente zur Indirekten Suche
- Ausblick

Zusammensetzung des Universums



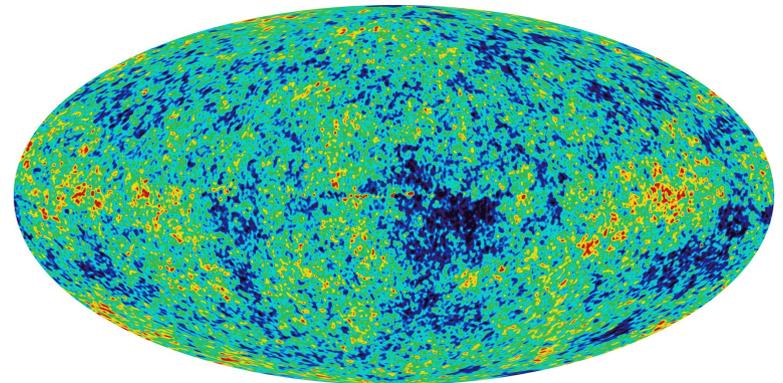
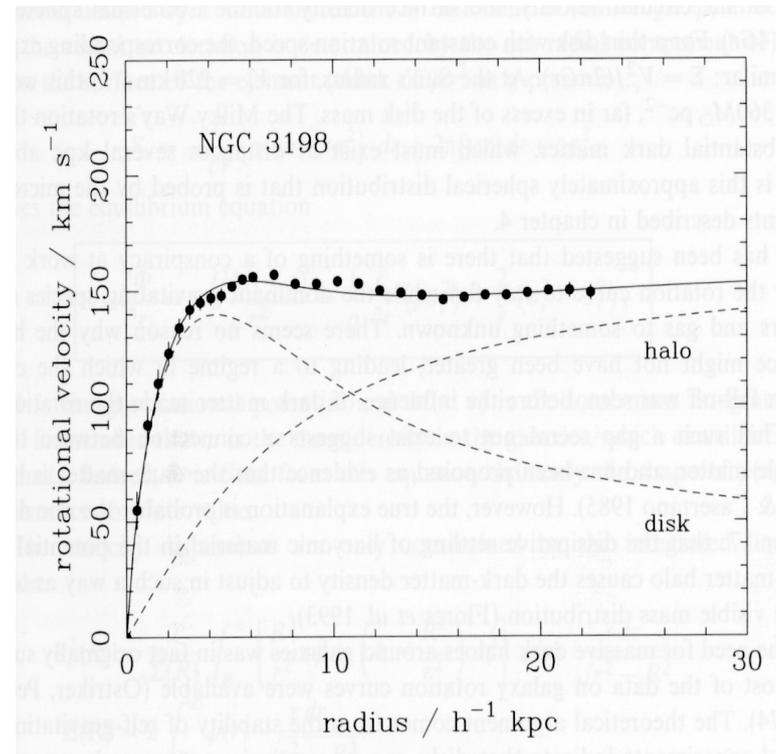
Evidenzen für DM

Bisherige Vorträge:

- Rotationskurven von Galaxien
- Gravitationslinsen

Darüber hinaus:

- Kosmische Hintergrundstrahlung, Modelle zur Strukturbildung



Was ist DM nicht?

- weiße/braune Zwerge
 - MACHO-Suche durch Microlensing ≤ 20 %
- Staub/ Interstellares Gas
 - Sichtbar (Absorption/Emission)
 - zu geringer Anteil
- Primordiale schwarze Löcher
 - sehr leicht oder sehr schwer

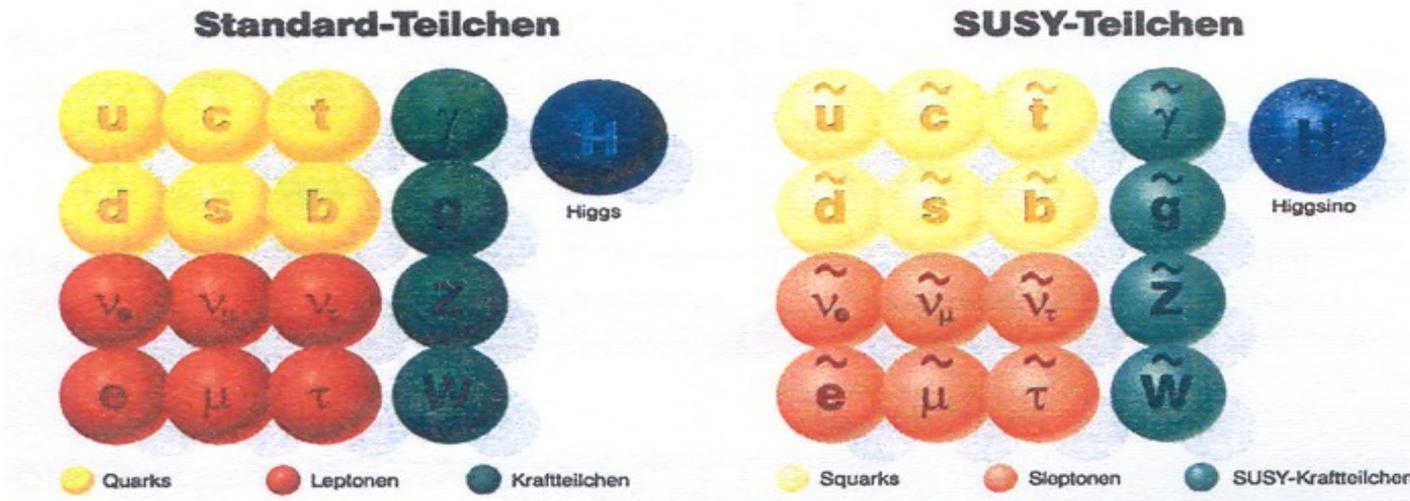
Kandidaten für DM

notwendige Eigenschaften:

- stabil auf kosmologischen Zeitskalen
 - nicht elm.-wechselwirkend
 - Schwer
-
- Neutrinos (heiße DM)
 - zu leicht, zu schnell
 - WIMPs (kalte DM)
 - Axion (theoretisch postuliertes Teilchen)

Standardmodell

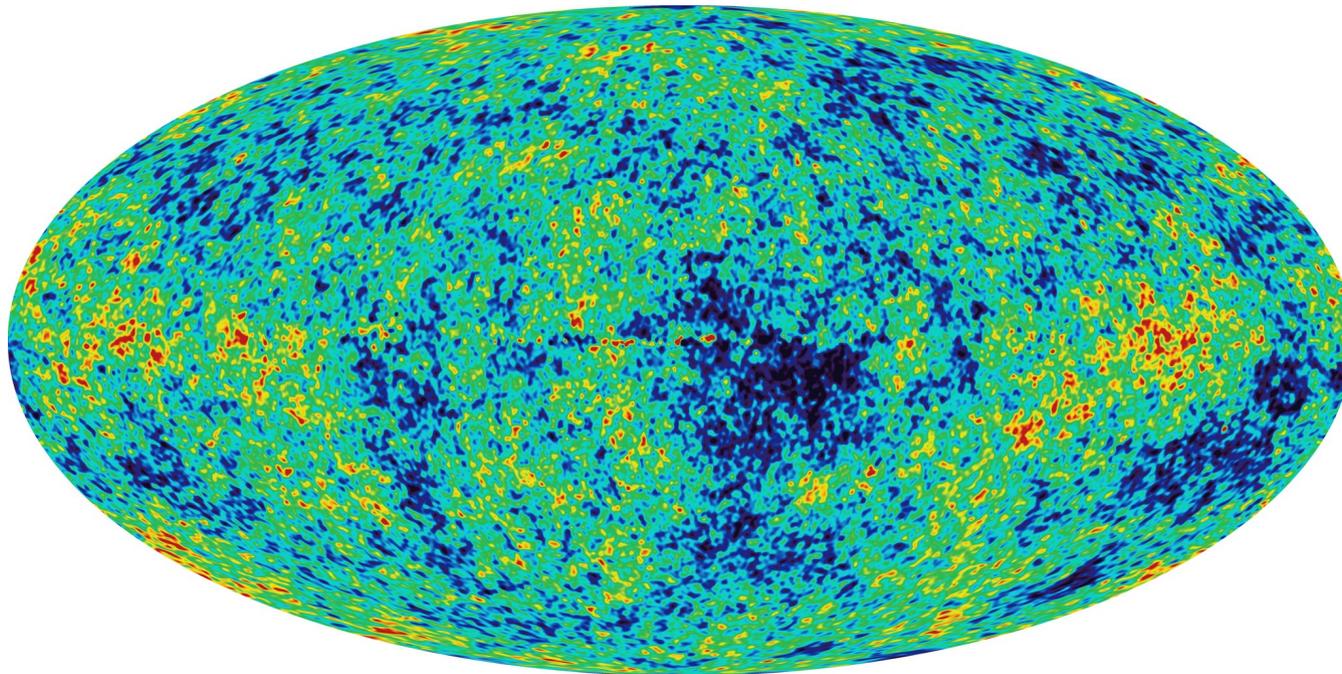
Erweiterung durch super-symmetrische Teilchen (SUSY-Teilchen):



- Schwerer als bekannte Teilchen
- Seit dem Urknall: Zerfall von schweren SUSY-Teilchen in leichtere SUSY-Teilchen
- Leichtester Superpartner heute noch übrig
- Masse: $\geq 100 m_p$ und stabil

Primordiale Nukleosynthese

- Theorie zur Entstehung der leichten Elemente: primordiale Nukleosynthese (3 Minuten)
- Limitiert Baryonen-Menge durch Verhältnis zu Photonen

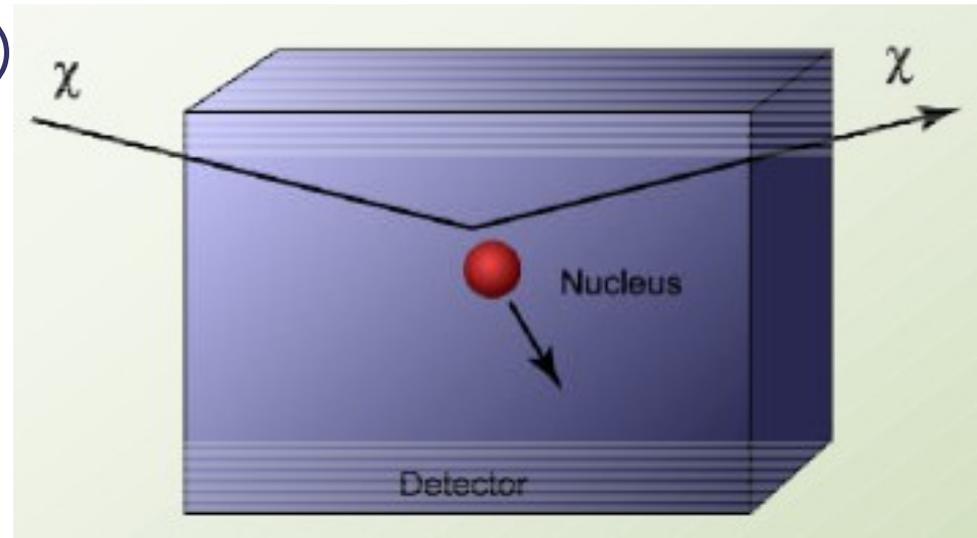


WIMPs

- **W**eakly **i**nteracting **m**assive **p**articles
- favorisierte Kandidaten für die Kalte DM
- Schwache WW: \Rightarrow schlecht detektierbar (WI)
- nicht-relativistische massive Teilchen (MP)
- elektrisch neutral
- Masse im 10 GeV - TeV -Bereich
- Entstehung in der Frühphase des Universums
- Eigenschaften erfüllbar in SUSY-Modell: χ

Direkte Suche

- Schwache WW mit baryonischer Materie:
elastische Kernrückstöße (E_{kin})
- Nachweismöglichkeiten
 - Wärme
 - Ionisation
 - Szintillationslicht
- $10\text{GeV} \leq m_{\text{WIMP}} \leq 1\text{TeV}$
- Rückstoßenergien: 10 bis 100keV



Direkte Suche

Probleme:

- Niedrige Streurrate

WIMPs erzeugen nur Detektierungsrate von 10^{-1} bis 10^{-5} Ereignissen pro Tag pro kg Detektormaterial

⇒ viel Detektormaterial benötigt

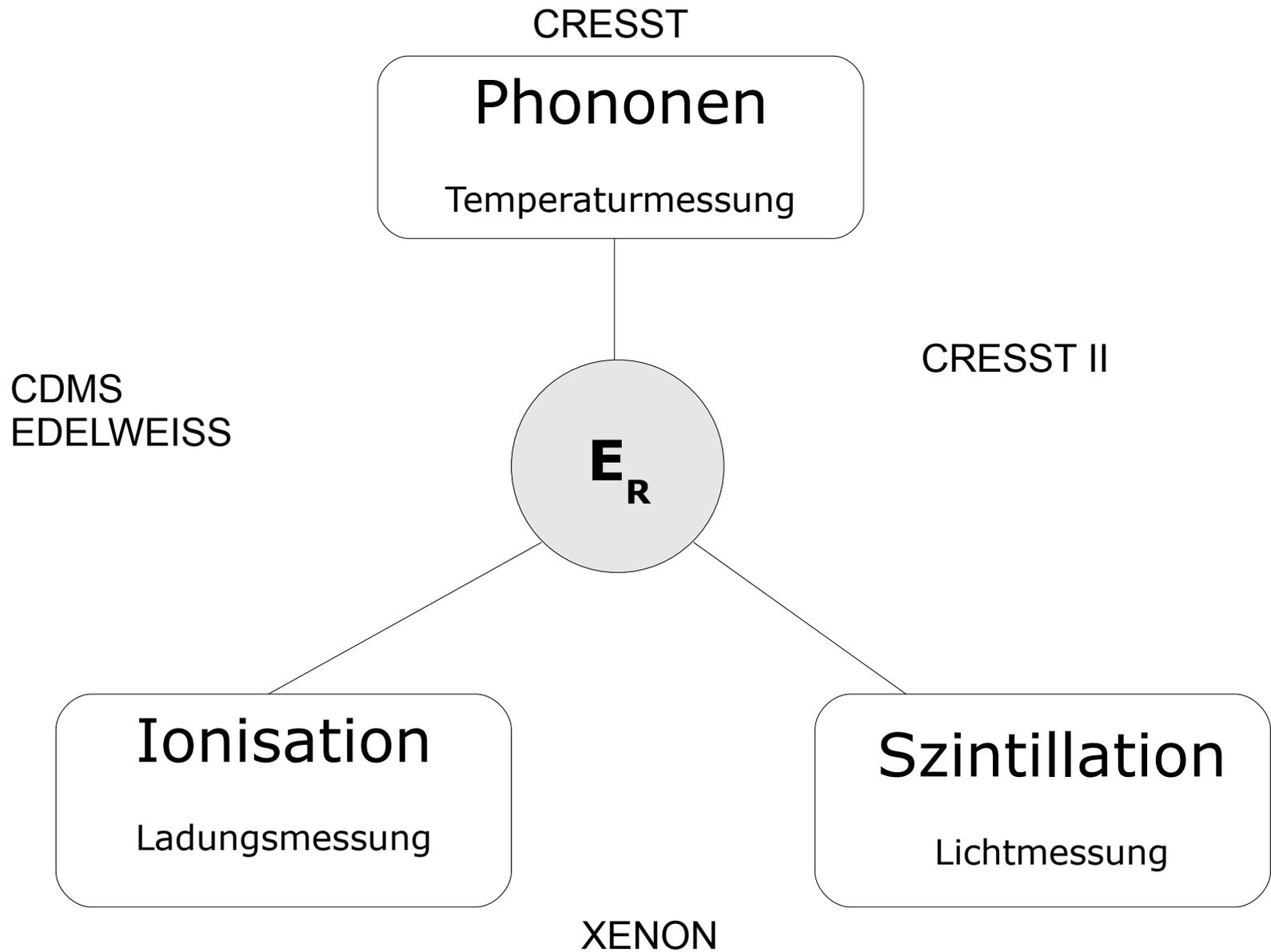
- Untergrund:

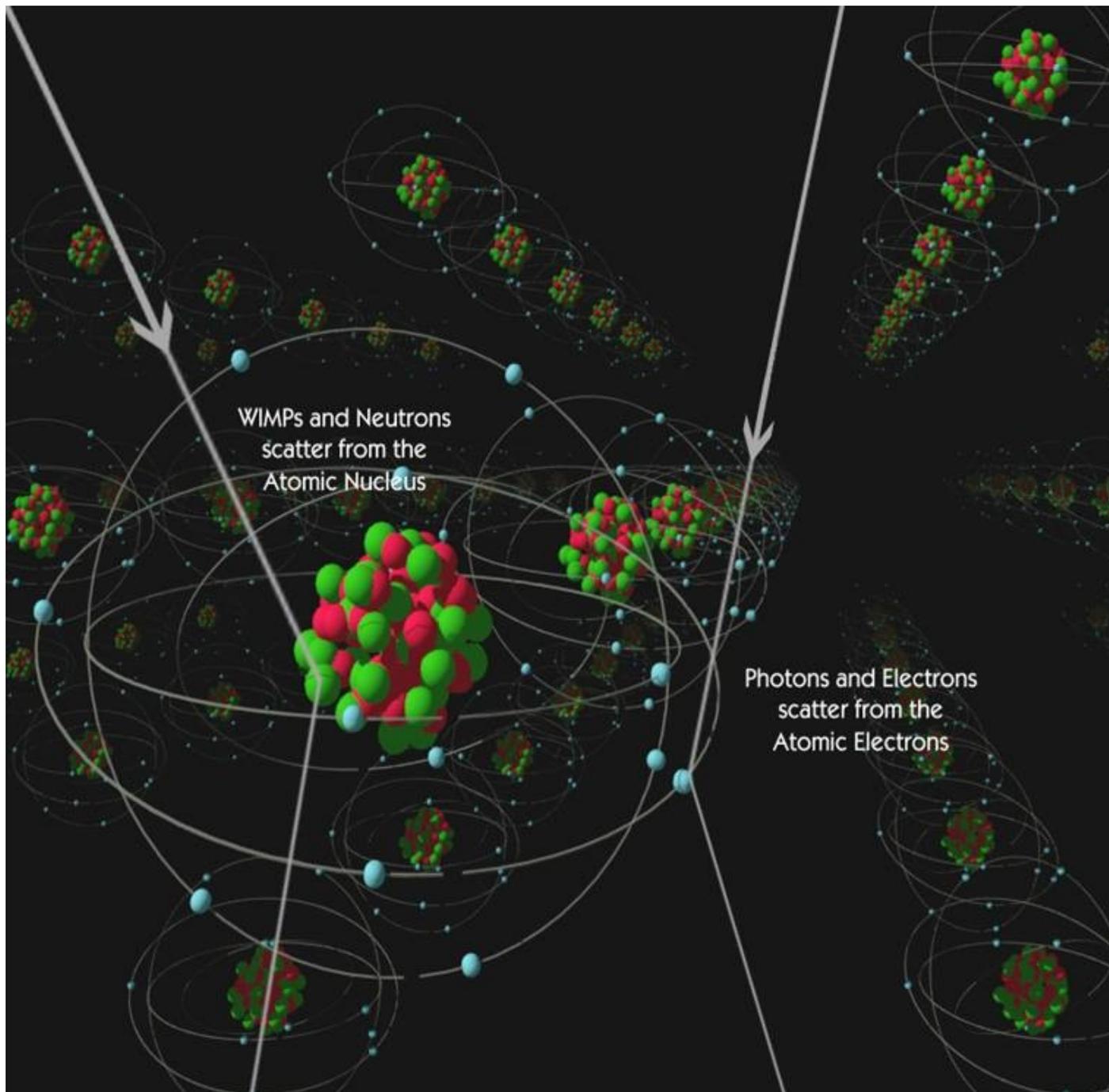
Natürliche Radioaktivität + kosmische Strahlung

wenige WIMP-Ereignisse und schwache Signale erfordern niedrigen Untergrund

Höhenstrahlung → unterirdisch

⇒ vor Radioaktivität abschirmen
sehr reine Detektormaterialien



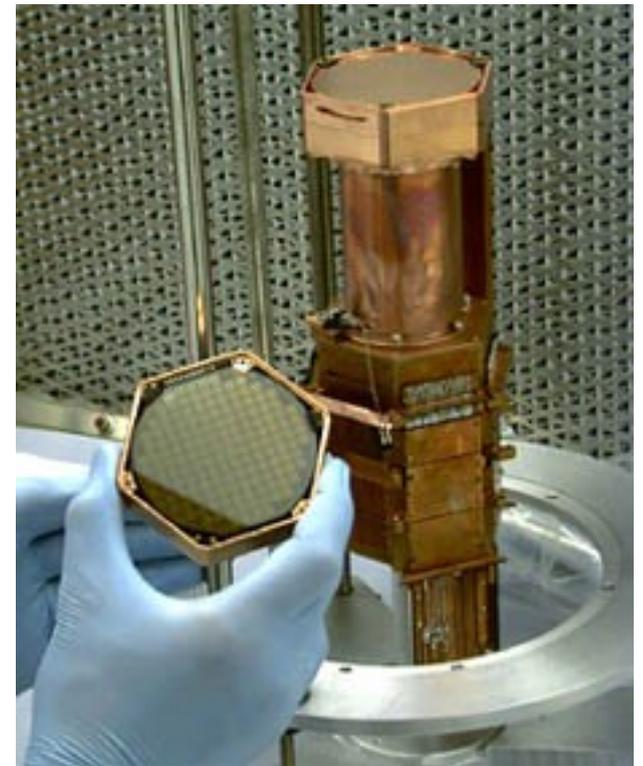


Funktionsweise der Kryogenik-Technik

- Nachweis der übertragenen Rückstoßenergie der WIMPs
 - Stoß an einzelnerm Atom (\Rightarrow zusätzliche Gitterschwingungen) nur bei sehr niedrigen Temperaturen nachweisbar
 - Messung der Temperaturerhöhung des Detektormaterials
 - Temperaturbereich 10mK bis 50mK

CDMS (II)

- **Cryogenic Dark Matter Search**
- I: Stanford
- II: Soudan Underground Laboratory
- 1kg Ge + 200g Si
- Detektionskanäle: Ionisation, Phononen
- ZIP: Ionisation und Phononen Detektor
- bei 10mK, messbare Temperaturdifferenz: $\approx 2\mu\text{K}$
- Aktives Myon-Vetosystem, Schutzschicht (Polyethylen + Pb)



CDMS (II)

Ergebnis:

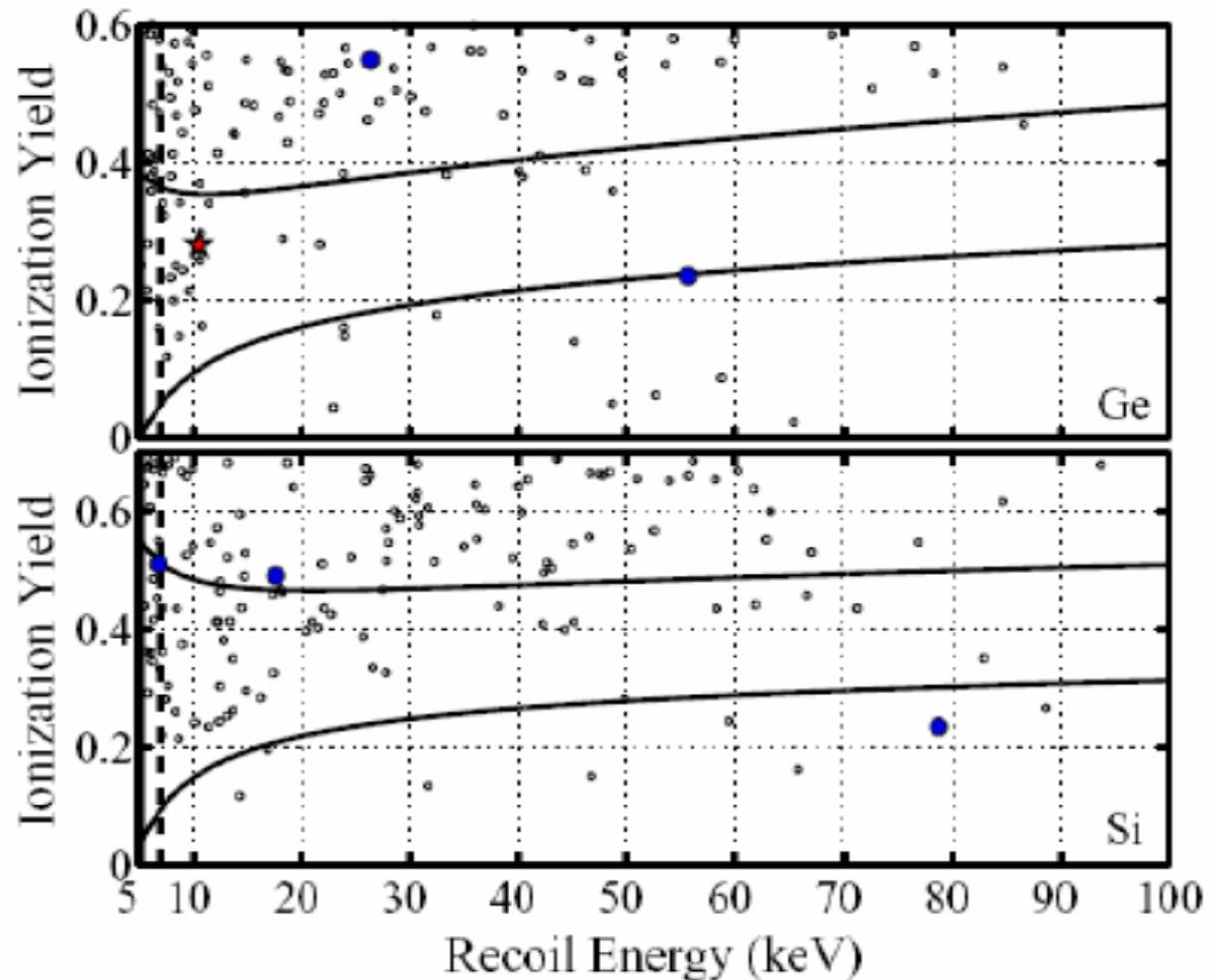
2 Türme, 74.5 Tage aktive Messzeit

schwarze Kreise:
mit e^- Rückstöße

blaue Kreise:
ohne e^- Rückstöße

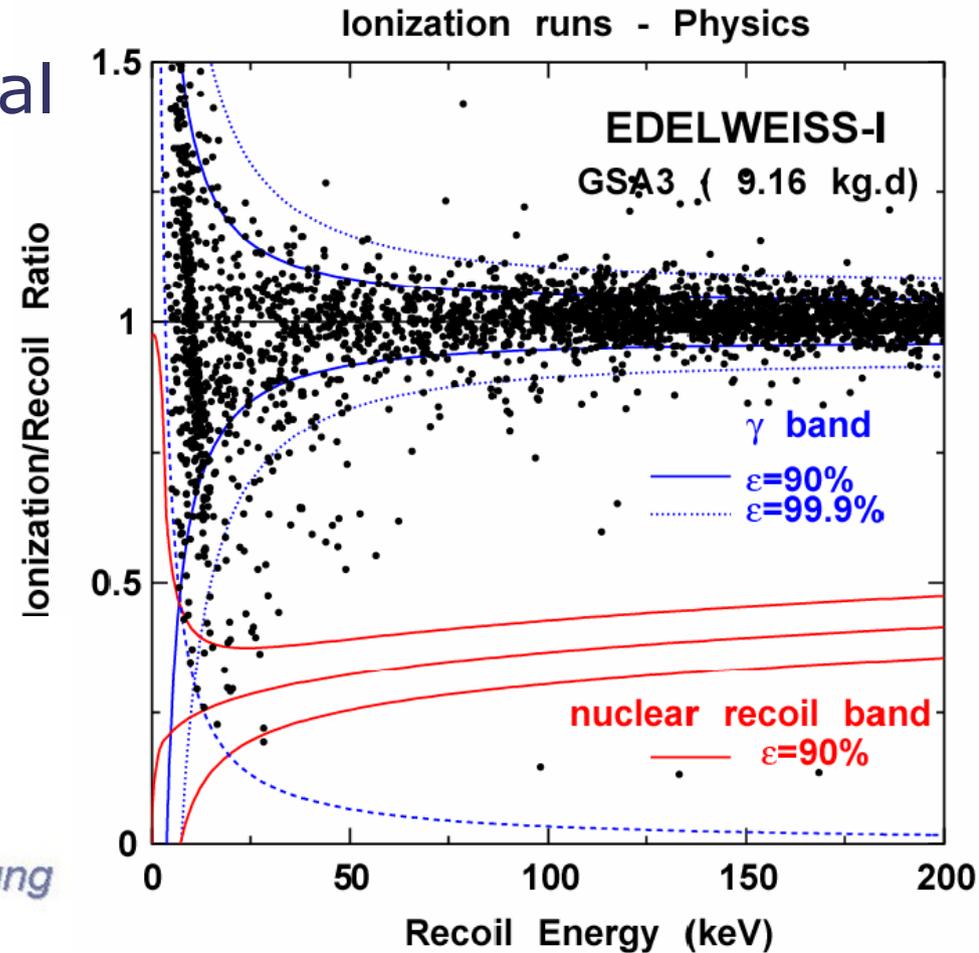
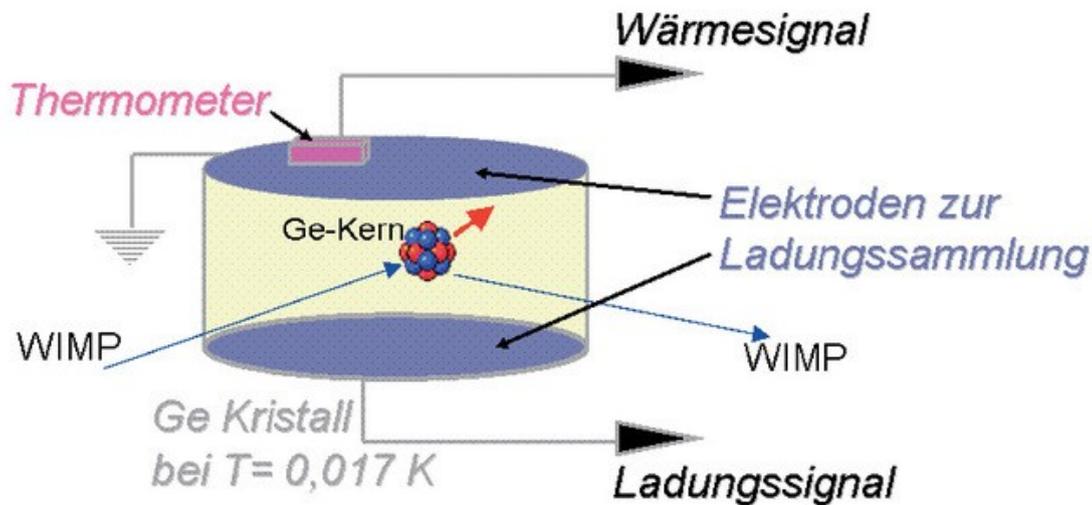
roter Stern:

WIMP Kandidat



EDELWEISS

- Modane, Frejus-Tunnel
- Wärme- und Ionisationssignal
- Kryogenik-Detektor
- Detektormasse: 10kg Ge
- EDELWEISS I:
62 kg Tage, 59 Events



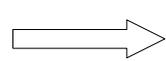
CRESST (II)

- **C**ryogenic **R**are **E**vent **S**earch with **S**uperconducting **T**hermometers
- Phononen, Szintillationslicht (CRESST II)
- Gran Sasso (1400m)
- Tieftemperaturtechnik ($\leq 14\text{mK}$)
- CRESST II: CaWO_4 als Detektormasse (bis zu 10kg in je 262g Modulen)
- Wolfram aufgrund ähnlicher Kernmasse wie zu erwartende WIMPS => günstig für Energieübertrag bei Stoß

CRESST (II)

Phononen und Szintillationslicht:

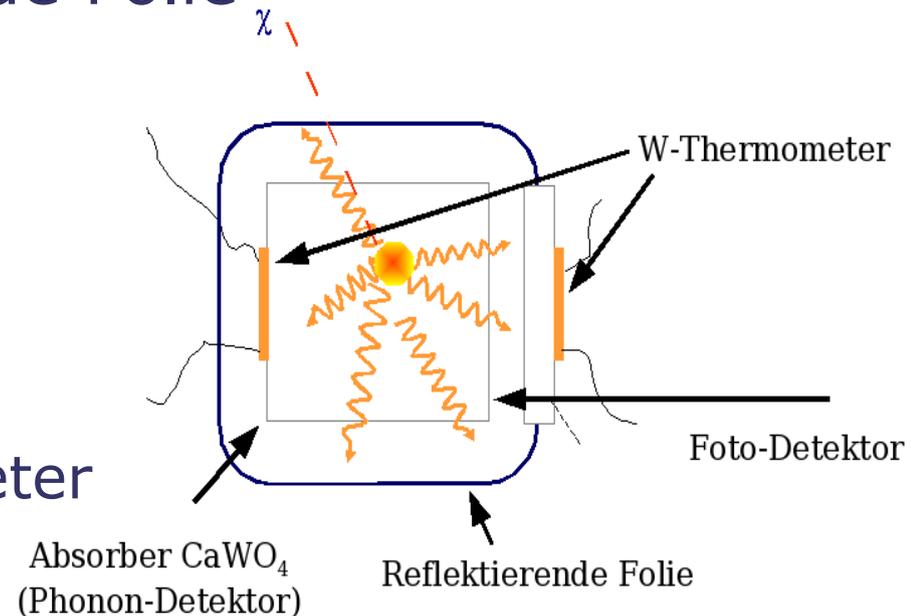
- licht- und wärme reflektierende Folie
- Signale ausgelesen durch
 - Photodetektor
 - Wolfram-Thermometer
 - supraleitendes Phasenübergangsthermometer
 - betrieben bei 10mK



Grenze zur Supraleitung



starke Widerstandsänderung bei Temperaturänderung



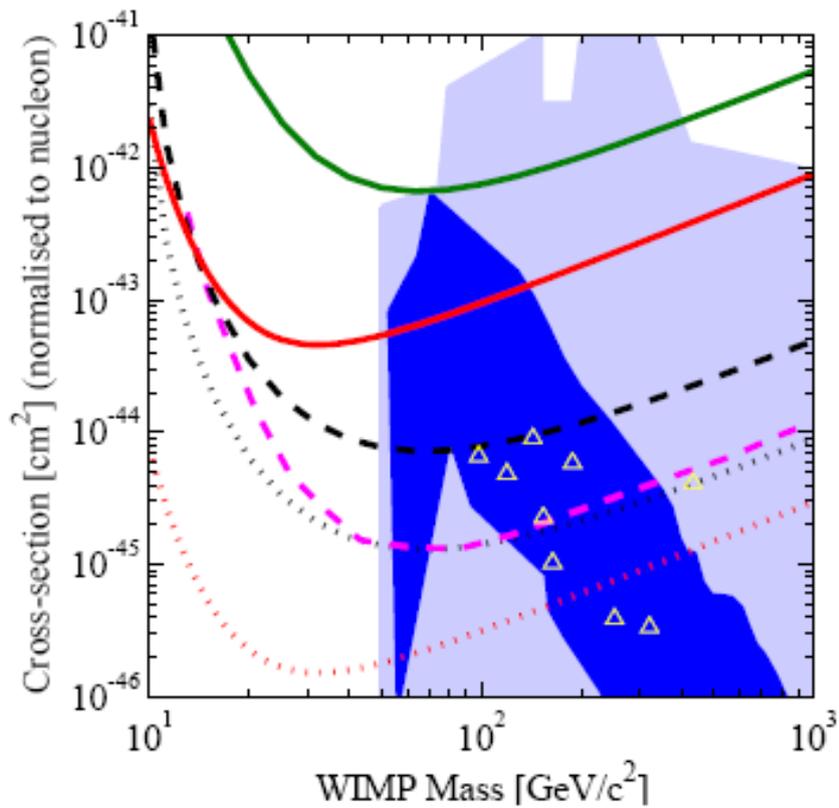
CRESST (II)

Untergrundausschluss:

- Lage \Rightarrow unterirdisch
- 50cm PE-Schutzschild vor Neutronen um Kryostaten
- Myon Veto Detektor
- Pb und Cu
- Faradayscher Käfig

Xenon

- Gran Sasso
- Ionisation und Szintillation
- Detektormaterial: flüssiges Xenon (15kg)
- Sensibilität: 1 Ereignis pro 100kg pro Jahr
- Aktive Abschirmung durch flüssiges Xenon-Veto
- Passive Abschirmung: PE und Pb

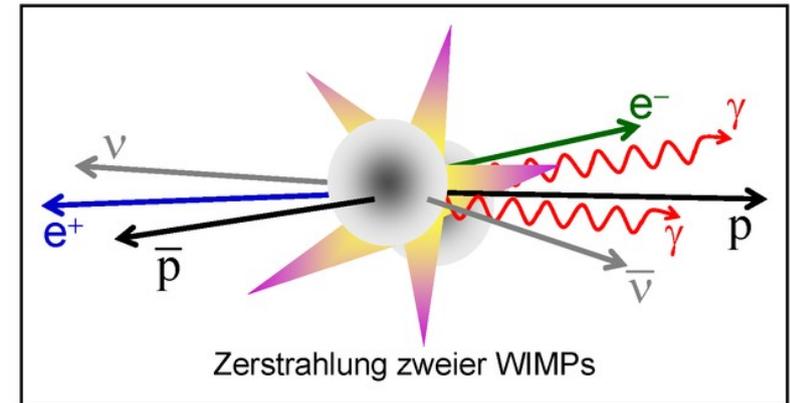
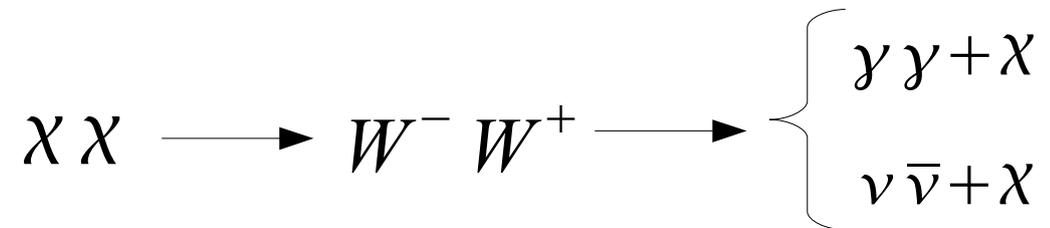


- DATA listed top to bottom on plot
- ZEPLIN II (Jan 2007) result
- XENON10 2007 (Net 136 kg-d)
- SuperCDMS (Projected) 2-ST@Soudan
- WARP 140kg (proj)
- SuperCDMS (Projected) 25kg (7-ST@Snolab)
- XENON1T (proj)
- Ellis et. al 2005 CMSSM ($\mu > 0$, pion Sigma=64 MeV)
- Ellis et. al Theory region post-LEP benchmark points
- Baltz and Gondolo 2003

Sensibilität aktueller und geplanter Experimente (direkte Suche)

Indirekte Suche

- Suche nach Sekundärteilchen der Annihilation von WIMPs



- Experimente suchen nach:
 - ν : Erde als Filter für kosmische Strahlung
 - γ : Atmosphäre \Rightarrow Teilchenschauer

Indirekte Suche

Anreicherung innerhalb großer Massen wie Erde, Sonne

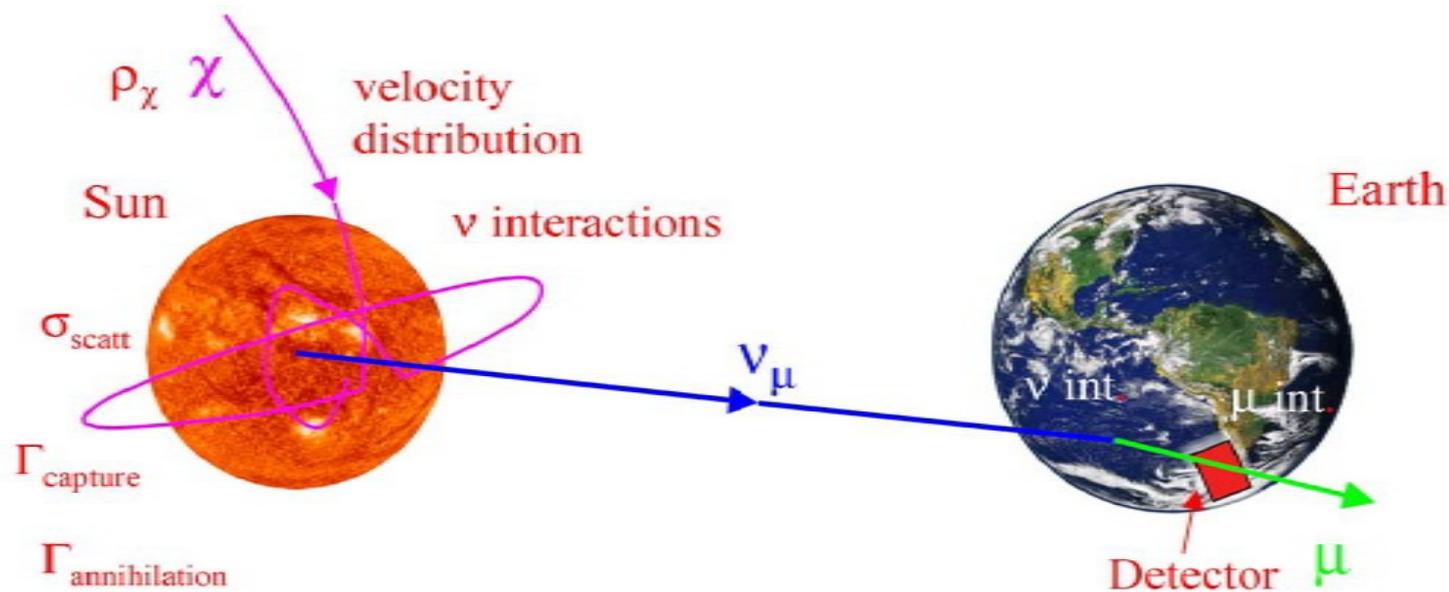
⇒ nur über Neutrinos nachweisbar, umgebende Materie absorbiert andere Teilchen

$$m_{\text{WIMP}} \approx E_{\text{kin},\nu}$$

Indirekte Suche

WW durch Stöße mit Material der Sonne

- Abbremsen
- Einfangen im Gravitationsfeld der Sonne
- erhöhte WIMP-Dichte: Annihilation



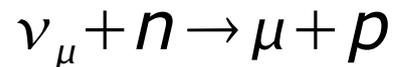
H.E.S.S.

- **H**igh **E**nergy **S**tereoscopic **S**ystem (Namibia)
- Cherenkovteleskop
 - Nachweis von Gammastrahlung (100GeV bis einige TeV)
- südliche Hemisphäre => galaktisches Zentrum
- 4 Teleskope mit 13 m Spiegeldurchmesser (seit 2004)



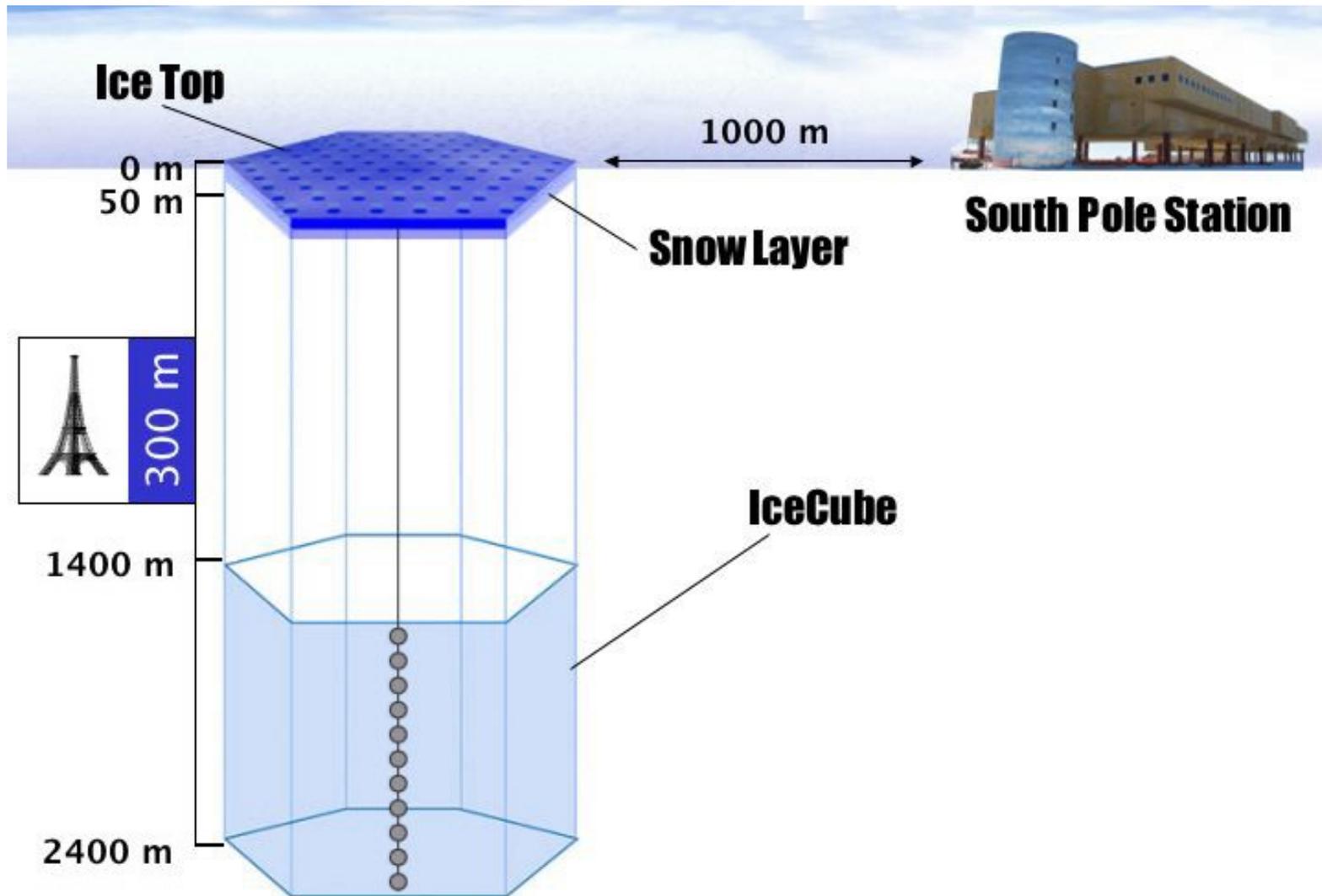
AMANDA, IceCube

- **Antarctic Muon and Neutrino Detector Array**
- Nachweis von hochenergetischen Neutrinos
- Detektormasse: 1 km³ Eis (Antarktis)
- Myon und Tauon erzeugt => Nachweis



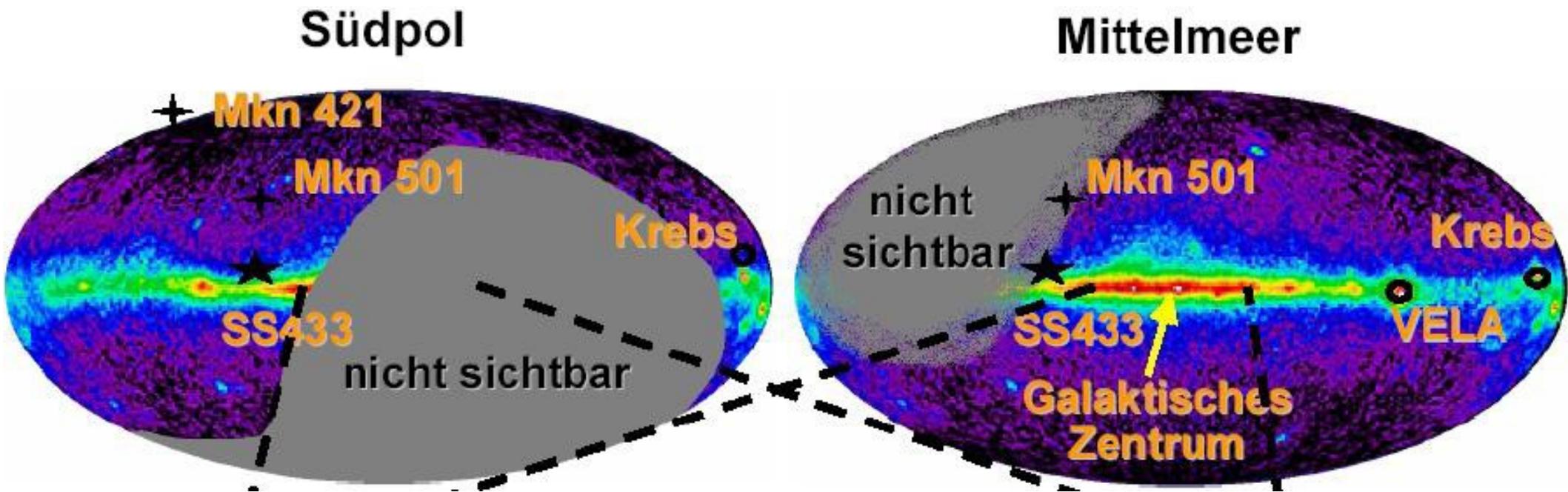
- Photomultiplier (Cherenkovlicht)
- Blickrichtung: Nordhalbkugel
- Herkunftsort-Bestimmung durch Richtung

AMANDA, IceCube



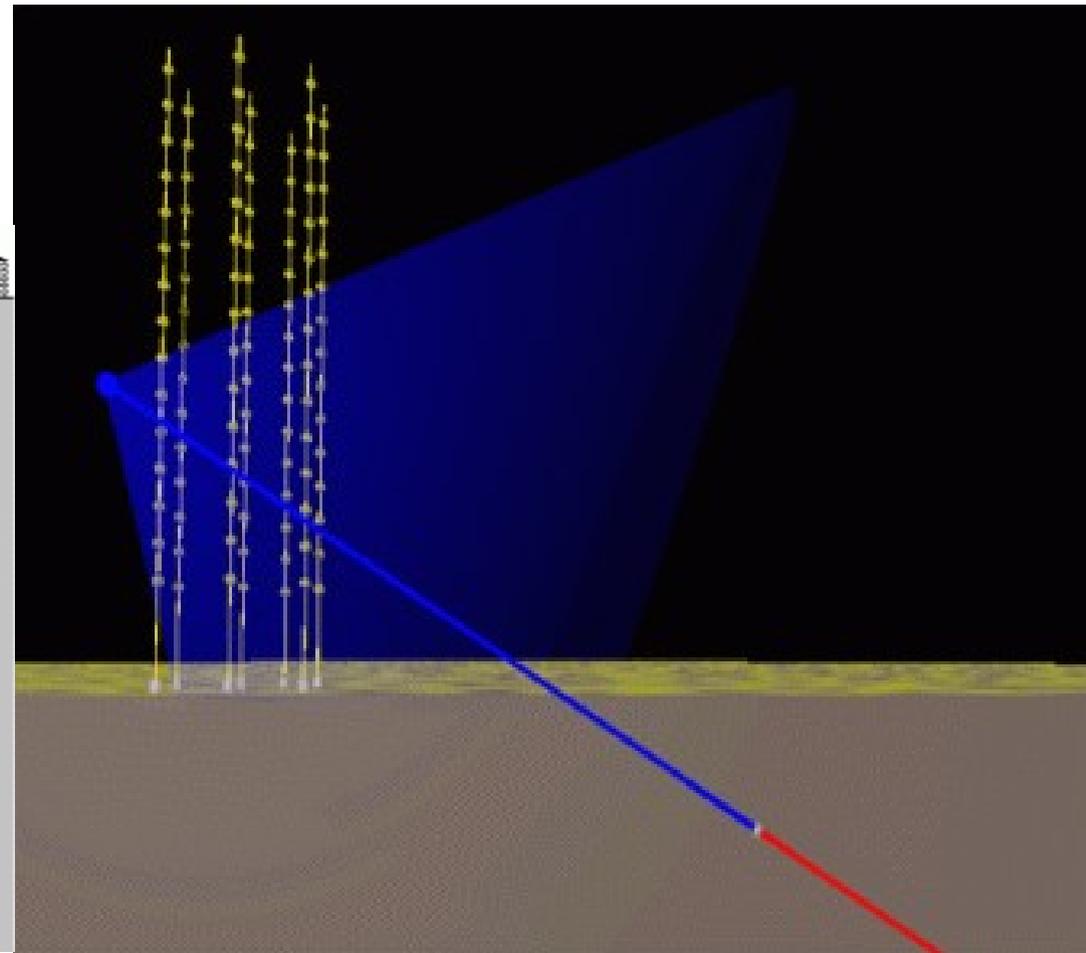
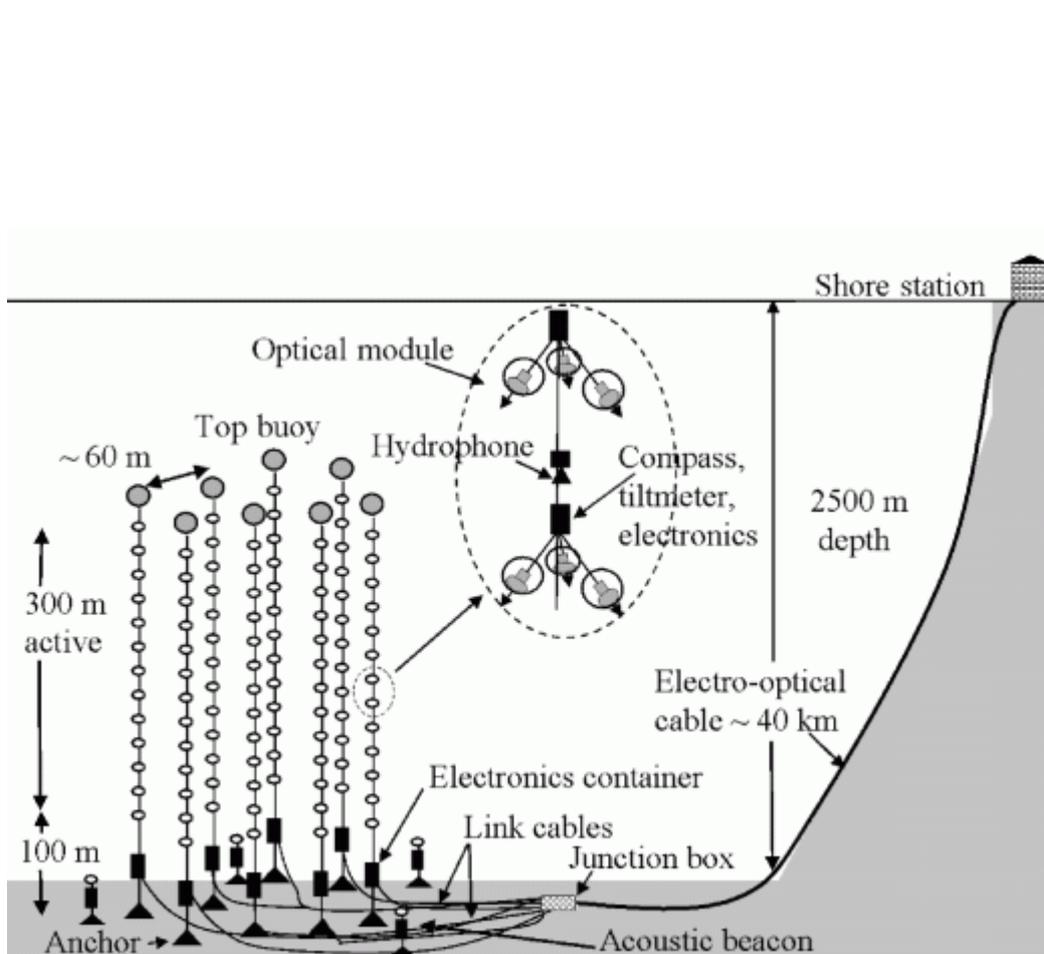
ANTARES, KM3NeT

- **A**stronomy with a **N**eutrino **T**elescope and **A**byss environmental **RE**search
- Nachweis von hochenergetischen Neutrinos
- Detektormaterial: Wasser (Mittelmeer, 2400m)
- Blickrichtung: Südhalbkugel (Galaxiezentrum!)



ANTARES, KM3NeT

- Photomultiplier (Cherenkovlicht)
- 1000 Photomultiplier, 12 Strings



Ausblick

Fazit:

- Bisher keine signifikanten Signale von WIMPs gefunden
 - Größer, weniger Untergrund
- Suche an Beschleunigern im TeV-Bereich (direkte Suche):
 - LHC
 - Tevatron
- Fund von WIMPs an Beschleunigern würde Existenz der DM im Universum nicht beweisen

