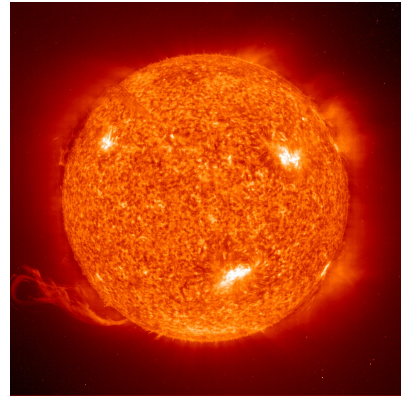


RADIOAKTIVE EDELGASE

„Untergrund“ oder die Frage: „Was sehe ich, wenn ich etwas sehe?“

Es gibt weltweit eine handvoll Experimente, die sich mit der Messung von Sonnenneutrinos befassen. Doch was bedeutet „Sonenneutrinoexperiment“ im Alltag eines Physikers?

Von der Sonne erreichen uns 60 Milliarden Neutrinos pro Sekunde auf einer Fläche von Daumennagelgröße (1 cm²). Die Neutrinos reagieren aber so gut wie gar nicht! Unser Meßsignal ist folglich sehr schwach und muß von starken Störsignalen unterschieden werden.



Die Aufgabe ist vergleichbar damit, das Licht eines Glühwürmchens neben einem Brillantfeuerwerk nachzuweisen. Die beste Chance das Glühwürmchen zu sehen hat man dann, wenn gerade kein Feuerwerkskörper explodiert.

Was ist „das Glühwürmchen“ - was ist „das Feuerwerk“?

Ganz einfach: Das Glühwürmchen steht für das Neutrinosignal, das von der Sonne kommt. Es ist das Signal, das wir nicht so gut kennen und das wir genauer untersuchen wollen. Und abhängig von den Meßergebnissen wird die Physik ihre Theorien weiterentwickeln können und müssen.

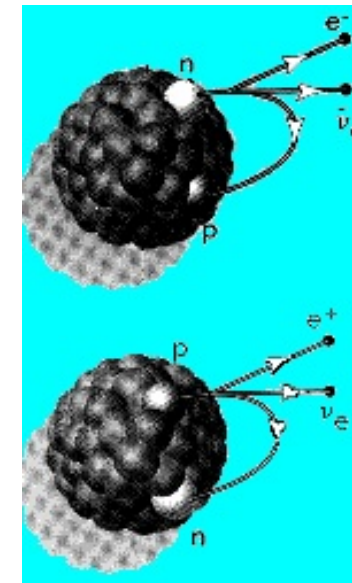
Das „Feuerwerk“ ist die natürliche Radioaktivität, also die Form der natürlichen Strahlung, die uns alle täglich umgibt und uns Menschen im Alltag nicht stört. Neutrinoexperimente sind aber so empfindlich, daß sie von dieser Form der Strahlung geblendet werden.

Das Neutrinosignal und das Untergrundsignal sind oft nur schwer oder teilweise gar nicht unterscheidbar. Die beste Strategie ist deshalb, alle Verunreinigungen von Anfang an konsequent zu vermeiden.

Was ist Radioaktivität?

Radioaktivität läßt sich nicht abschalten

Mit dem Begriff Radioaktivität beschreiben Physiker allgemein Prozesse, bei denen Atomkerne zerfallen oder sich ineinander umwandeln. Dabei werden Energie (z.B. α -Strahlung) oder Teilchen (β - oder γ -Strahlung) abgestrahlt. Diese Prozesse sind ein natürliches Phänomen. Sie lassen sich nicht abschalten oder irgendwie anders beeinflussen.



Radioaktivität ist überall

Die Quelle der radioaktiven Strahlung sind Atomkerne. Wo immer Atome sind, also überall wo Materie existiert, sind auch einzelne (oft nur sehr wenige!) von ihnen radioaktiv. Das gilt für alle Metalle, Gestein, Wasser, ja selbst für die Umgebungsluft und auch für den menschlichen Körper. Die Frage ist nicht, ob Radioaktivität auftritt, sondern wieviel auftritt und ob man geeignete Geräte zum Nachweis hat.

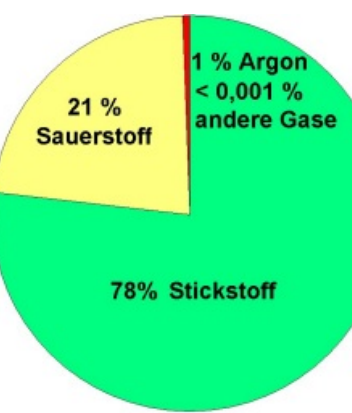


Neutrinodektoren sind sehr empfindlich

Die Detektoren der Sonnenneutrino-Experimente sind die weltweit empfindlichsten Nachweisgeräte für Radioaktivität. Je nach Quelle können mit den Neutrinodektoren Verunreinigungen mit Konzentrationen von 10⁻¹⁸ (also 1 Milliardstel Milliardstel) nachgewiesen werden.

Uns stört selbst die Luft

Bei diesen Empfindlichkeiten ist klar, daß auch die radioaktiven Bestandteile der Luft ein deutlich sichtbares Signal liefern, das dem Neutrinosignal überlagert ist. Luft ist ein Gasgemisch. Sie besteht zu ca. 78% aus Stickstoff, 21% aus Sauerstoff und ca. 1% aus Argon. Alle anderen Gase sind nur in Spuren vertreten. Besonders störend für die Neutrinoexperimente sind die radioaktiven Edelgase.



Radioaktive Edelgase

Eine Quelle des radioaktiven Untergrundes sind die radioaktiven Edelgase:

Radon, Krypton und Argon

- Sie selbst und/oder ihre Zerfallsprodukte geben beim radioaktiven Zerfall ein Signal, das sich oftmals nicht vom Neutrinosignal unterscheidet („den Detektor blendet!“).
- Sie entstammen teilweise den natürlichen Zerfallsreihen (z.B. Uran), entstehen aber auch durch kosmische Strahlung („Höhenstrahlung“) oder durch industriell-kerntechnische Prozesse (Nuklearmedizin, Kernkraftwerke, Wiederaufbereitung, Waffen, etc.).
- Sie sind überall in der Umgebungsluft und haben relativ lange Lebensdauer (mindestens einige Tage), so daß sie durch Luftbewegung in der Atmosphäre (Wind und Wetter) auch fast überall hingelangen können.

Wie stören die radioaktiven Edelgase den Meßbetrieb?

- Sie können z.B. durch Lecks in die Detektoren eindringen.
- Sie sind löslich in Wasser und organischen Flüssigkeiten.
- Da es sich um Edelgase handelt, ist es fast nicht möglich, sie chemisch zu extrahieren. Hier helfen nur noch physikalische Methoden wie die Reinigung mit sauberem Spülgas.

Eine besondere Herausforderung

Es ist heutzutage keine besondere Kunst, Radioaktivität zu messen – dazu gibt es eine umfangreiche Palette preisgünstiger kommerziell verfügbarer Messgeräte.

Die Besonderheit bei der Messung der Radioaktivität im Umfeld der Sonnenneutrino-Detektoren liegt in den geringen Zählraten: teilweise mißt man nur einige wenige Neutrinosignale am Tag, in der Woche oder gar in einem Monat. Deshalb sind besondere Anstrengungen nötig. Alle eingesetzten Meßgeräte, brauchen eine sehr hohe Nachweisempfindlichkeit.

Wir messen einzelne Atome.
Das macht die Sache spannend!

Apparaturen und Prozesse

Die Meßapparaturen und Prozesse dürfen die Messung nicht beeinflussen. Die Materialien für die Meßapparaturen müssen deshalb selbst besonderen Reinheitsanforderungen genügen. Durch umfangreiche systematische Messungen hat sich herausgestellt, daß bestimmte Sorten Glas sowie Edelstahl als Konstruktionsmaterial geeignet ist. Bei der Entwicklung und Anfertigung neuer Meßapparaturen werden ausschließlich diese Materialien benutzt.

Regelmäßige Prüfung

Im Laufe der Zeit werden die Materialien und Apparaturen immer wieder auf ihre Reinheit und Vakuum-Dichtigkeit überprüft und Verbesserungen sukzessiv eingearbeitet. Durch regelmäßige Wiederholung werden die Prozesse optimiert.

Edelgasmessungen am Beispiel von Radon



Gaschromatographie mit Kühlfallen

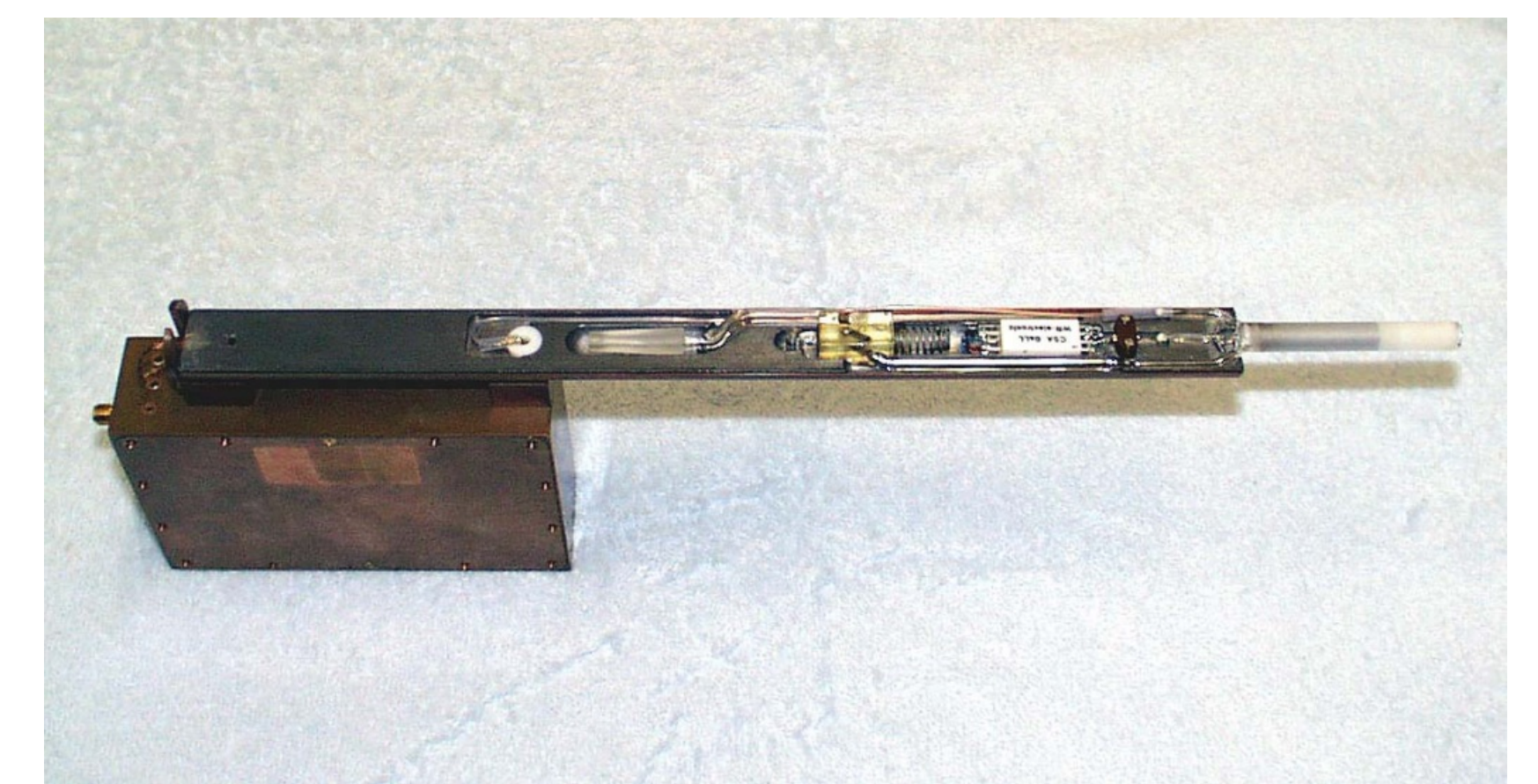
Eine Möglichkeit, Gasgemische in ihre Bestandteile aufzutrennen, ist die *Gaschromatographie*. Ein Gasgemisch, z.B. Stickstoff mit einer kleinen Verunreinigung, wird an einer großen Oberfläche vorbeigeleitet. Die bremst den Gasstrom. Die Verunreinigung (z.B. Radon) wird mit einer anderen Geschwindigkeit an der Oberfläche vorbeistreichen oder möglicherweise ganz festgehalten. Diesen Prozeß nennt man „Adsorption“.

Man kann verschiedene Parameter verändern, um die Adsorption zu verbessern, wie etwa die Gesamtoberfläche, die Temperatur oder die Trägergas-Geschwindigkeit.

Auch die Materialauswahl spielt eine entscheidende Rolle. Beispielsweise sollte das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen möglichst groß sein. Welches Material geeignet ist, hängt vom geplanten Prozeß ab und muß im Einzelfall entschieden werden. Je nach Anwendung verwendet man z.B. Aktivkohle, Kupferspäne oder Glas- oder Quarzwolle.

Die besonderen Zählrohre

Der Nachweis des radioaktiven Zerfalls geschieht mit miniaturisierten Proportionalzählrohren, die am MPI für Kernphysik entwickelt worden sind. Sie bestehen aus besonders sauberen Materialien und werden an eine eigens angefertigte Elektronik angeschlossen, die das Signal möglichst wenig beeinflusst.

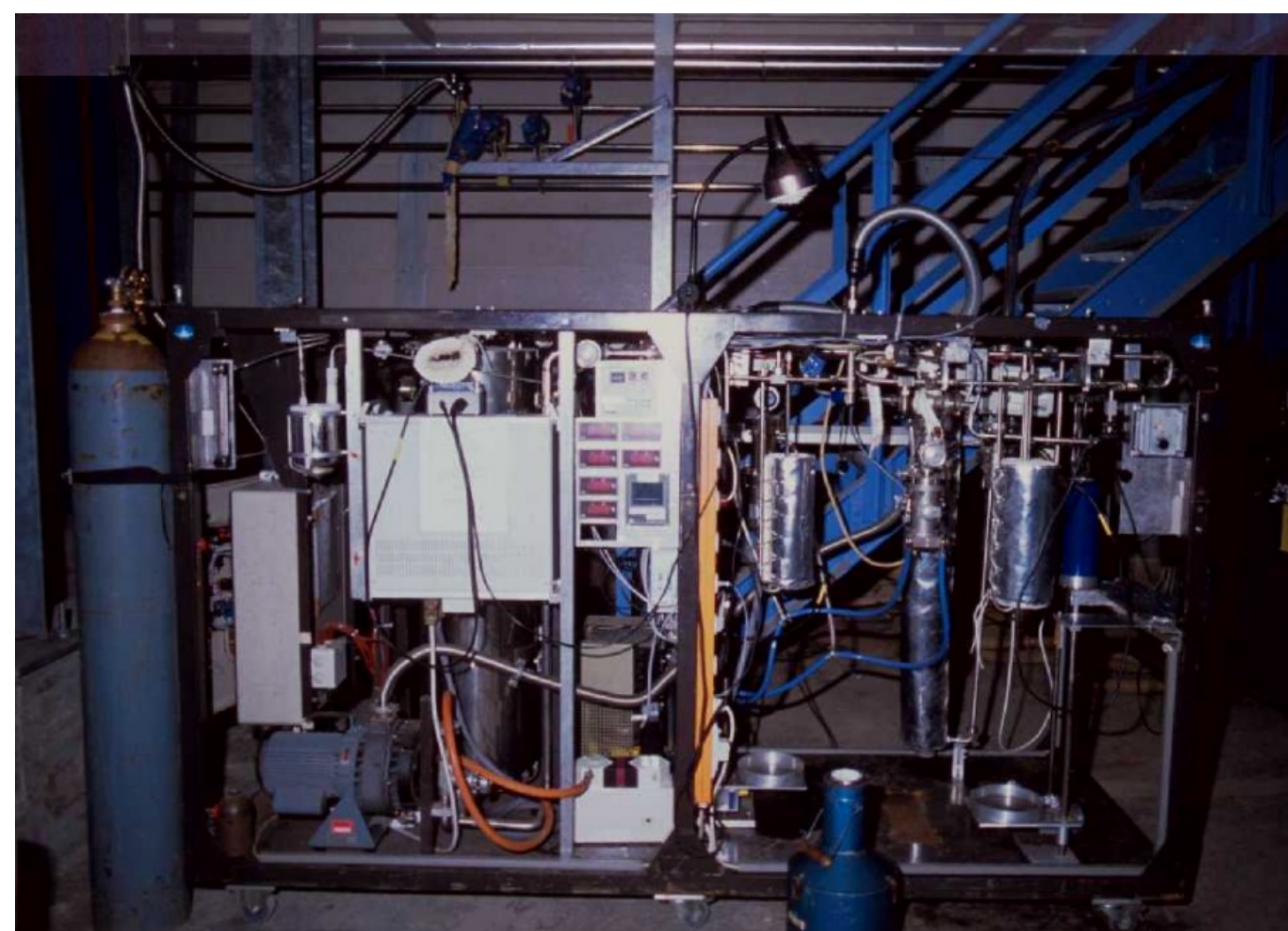


Detektorreinigung mit Stickstoff

Um Neutrino-Detektoren von den radioaktiven Verunreinigungen zu reinigen, gibt es verschiedene Strategien. Eine Möglichkeit die radioaktiven Edelgase zu entfernen ist, die Komponenten des Detektors mit einem Reinigungsgas, z.B. Stickstoff, zu spülen. Das funktioniert besonders gut bei großen Flüssigkeitsmengen.

Reinigung des Stickstoffs

Die besonderen Reinheitsanforderungen, die bei Neutrinodektoren erfüllt werden müssen, gelten auch für die Reinigungsmittel, also auch für das Spülgas Stickstoff. Wir haben einen neuen Ansatz verfolgt: der Stickstoff wird flüssig angeliefert und gelagert, in flüssigem Zustand durch eine Aktivkohle gefallt geleitet und dort gereinigt („Flüssigchromatographie“) und erst anschließend in einem elektrischen Verdampfer zu Gas umgewandelt.



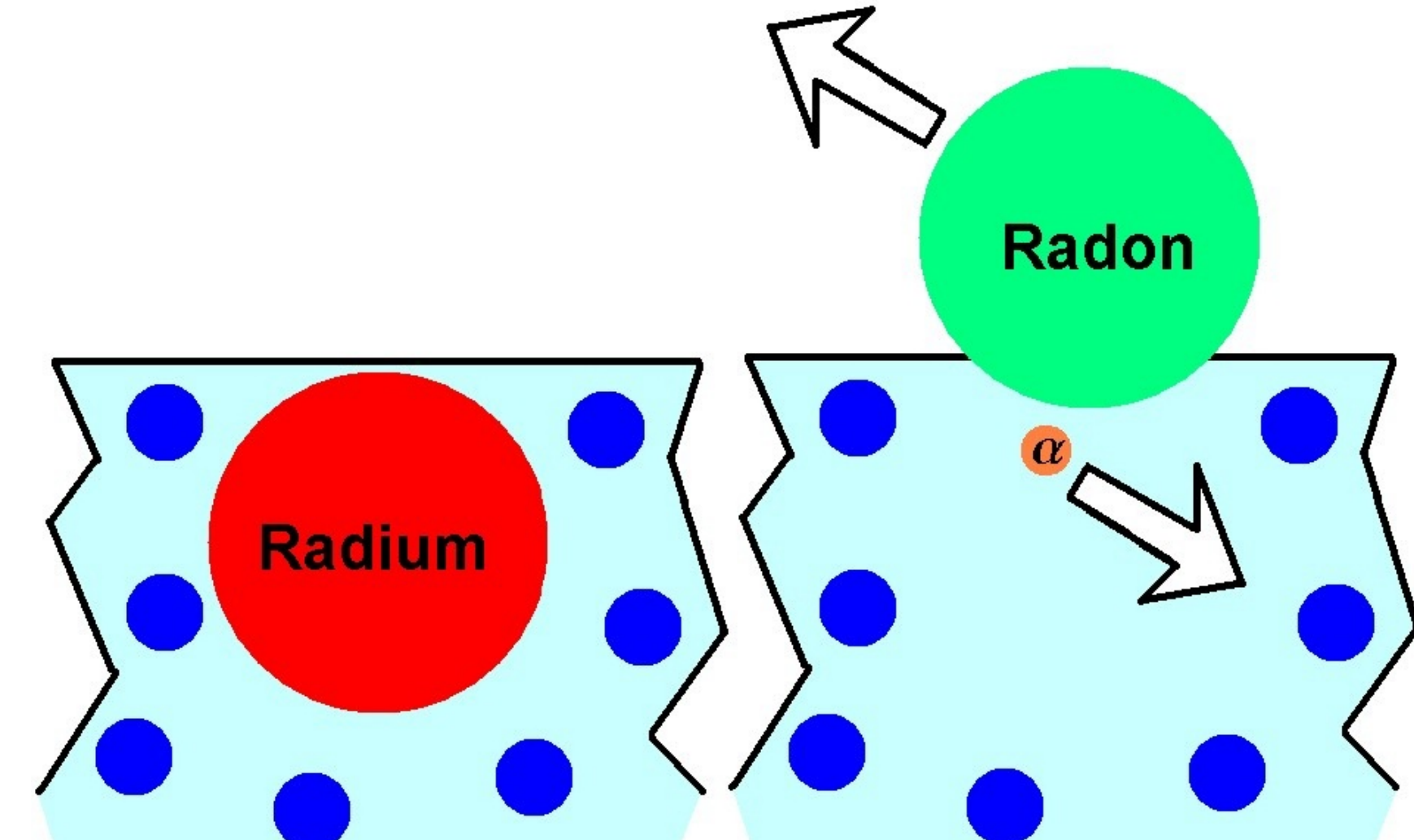
Überwachung der Stickstoffqualität

Die Qualitätskontrolle erfolgt durch regelmäßige Probenahme. Dafür gibt es seit 1998 die „Mobile Radon-Extraktionseinheit“, kurz „Morex“. Damit können große Mengen Stickstoff (bis zu 500 Kubikmeter) durch eine Gaschromatographieanordnung mit verschiedenen Aktivkohle-Kühlfallen geleitet werden, um die Verunreinigungen (besonders das Radon) aufzukonzentrieren. Diese Anlage ist mobil einsetzbar, man kann folglich an verschiedenen Stellen im Umfeld des Detektors Proben nehmen.

Emanationsmessungen

Alle Materialien, die zum Detektorbau benutzt werden, sind mehr oder weniger stark mit radioaktiven Atomen verunreinigt. Besonders gefährlich ist dabei Radon. Wenn ein Radium-Atom zerfällt, dann wird daraus das gasförmige Radon. Dieses Radon kann das Material verlassen, wenn es nahe genug an der Oberfläche sitzt.

Das bedeutet in der Realität, daß alle benutzten Materialien an ihrer Oberfläche in unterschiedlichem Maße Radon abgeben – man nennt diesen Prozeß „Emanation“.



Nicht nur die Spülgase oder kleine Materialproben sind Ziel unserer Untersuchungen. Manche Bauteile von Neutrinodektoren sind selbst aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt. Ein solches Beispiel sind die Photomultiplier, also die Geräte, die letztlich den Lichtblitz einer Neutrino-reaktion im Detektor nachweisen. Sie können nur noch als komplette Baugruppe untersucht werden. Dafür braucht man eine Meßanordnung, die groß genug ist und vakuumdicht verschlossen werden kann.

Die Emanationskessel

Neben verschiedenen kleineren Probengefäßen wurden zwei Edelstahlkessel aufgebaut. Sie haben ein Volumen von 20 Liter bzw. 80 Liter und können vakuumdicht verschlossen werden. In ihnen können Proben in trockenem oder feuchtem Zustand in Hinblick auf die Radonemanation untersucht werden.

Untersuchung flüssiger Proben

Bei einigen Neutrinodektoren werden große Mengen Flüssigkeit benutzt. Sie sind entweder das Targetmaterial, in dem die Neutrino-reaktionen stattfinden oder dienen als Abschirmung gegen Störstrahlung, oder zu Reinigungszwecken in verschiedenen teils sehr umfangreichen Prozessen.

Deshalb existieren auch hier sehr hohe Reinheitsanforderungen, die regelmäßig überprüft werden müssen.



Für diese regelmäßigen Kontrollen steht ein 480 Liter großer „Wasserkessel“ aus Edelstahl zur Verfügung. Er kann vakuumdicht verschlossen und mit verschiedenen geeigneten Spülgasen, z.B. Stickstoff oder Helium, betrieben werden.

Füllt man eine Wasserprobe ein, kann man sofort das darin enthaltene Radon extrahieren. Wenn man einige Tage wartet, ist das ursprünglich im Wasser enthaltene Radon zerfallen. Dafür ist neues Radon hinzugekommen, das aus dem im Wasser befindlichen Radium stammt. Mit einer erneuten Extraktion läßt sich daher auch der Radiumgehalt des Wassers bestimmen.



Max-Planck-Institut für Kernphysik Heidelberg

