



## Doctoral Thesis

# Helium and neon in presolar silicon carbide grains and in relict chromite grains from fossil meteorites and micrometeorites as tracers of their origin

**Author(s):**

Heck, Philipp Reza

**Publication Date:**

2005

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005068578> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 16251

**HELIUM AND NEON IN PRESOLAR SILICON CARBIDE GRAINS AND  
IN RELICT CHROMITE GRAINS FROM FOSSIL METEORITES AND  
MICROMETEORITES AS TRACERS OF THEIR ORIGIN**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
PHILIPP REZA HECK  
Dipl. Natw. ETH, ETH Zürich

*born 03.07.1973*

*citizen of Zollikon ZH*

*accepted on the recommendation of:*

*Prof. Dr. Rainer Wieler, ETH Zürich, examiner  
PD Dr. Peter Hoppe, MPI Chemie, Mainz, co-examiner  
Prof. Dr. Birger Schmitz, University of Lund, co-examiner  
Prof. Dr. Judith McKenzie, ETH Zürich, co-examiner  
Prof. Dr. Peter Bochsler, Universität Bern, co-examiner*

*Zürich 2005*

# Abstract

This Ph.D. thesis is dedicated to the study of noble gases, in particular helium and neon, from dust-sized extraterrestrial samples, to gain insight on their provenance. The noble gas analyses were conducted with an ultra-high sensitivity noble gas mass spectrometer coupled with an infrared laser gas extraction system. The two main parts of this dissertation are devoted to noble gases in two different kinds of sample materials: presolar silicon carbide (SiC) stardust from primitive meteorites and relict chromite grains from fossil meteorites and micrometeorites.

The main goal of the first study was to improve our understanding of the stellar sources of presolar stardust grains. Helium and neon isotopes in submicron to micron-sized, single presolar SiC grains from primitive meteorites were investigated. The primary objective was to determine the fraction of grains containing nucleosynthetic noble gases detectable with an ultra-high sensitivity mass spectrometer. This was combined with NanoSIMS ion-microprobe analyses of silicon, carbon and nitrogen isotopes to constrain the origin of the presolar grains. About 40 percent of the samples studied contain nucleosynthetic noble gases. The majority of them formed as circumstellar condensates around evolved, late-stage, low-mass carbon stars (C-rich stars on the Asymptotic Giant Branch, AGB). A small fraction of the gas-rich grains might have originated in the winds of intermediate-mass AGB stars, other particular types of carbon stars (J-type carbon stars and born-again giants) and in the ejecta of supernova and arguably nova explosions.

The second major study is dedicated to noble gases in tiny chromite grains from fossil meteorites and sediment-dispersed extraterrestrial chromite grains from 480 Myr old (Ordovician) marine sediments from Sweden to constrain the delivery modes and times of extraterrestrial material from the asteroid belt to Earth.

An important result of this work are the unusually low cosmic-ray exposure ages (about 100 kyrs to 1 Myr) of a suite of fossil meteorites, determined from noble gas concentrations in relict chromite grains. Furthermore, the exposure ages of the meteorites increase in younger sediments. The exposure age difference between the meteorites found in the youngest sediments and the ones from oldest sediments is about 1 Myr and corresponds to the age difference of the host sediments. The short cosmic-ray exposure ages are in agreement with dynamical model predictions of space residence times of meteorites generated by a major asteroid collision close to regions where orbits are unstable due to resonances with Jupiter and Saturn. Such a region occurs for example where the orbital period of an object is a third of the one of Jupiter. The timing of one of the largest asteroid collisions in recent solar system history, the L chondrite parent body break-up event, coincides with the age of the meteorite-bearing sediments and

makes this event the most likely source for the Ordovician fossil meteorites. In particular, the low exposure ages indicate this major asteroid collision occurred near an important orbital resonance in the inner asteroid belt.

Surprisingly, extraterrestrial chromite grains dispersed in the same sediments as the fossil meteorites are very rich in solar noble gases. This prevented the determination of their cosmic-ray exposure ages. However, the solar gas-richness suggests they were produced as dust in the L chondrite parent body break-up and came to Earth as sub-mm sized micrometeorites. Their solar gas concentrations and compositions are similar to the values reported for gas-rich micrometeorites and gas-poor stratospheric interplanetary dust particles (IDPs).

In a pilot study, helium and neon isotopes in stratospheric IDPs were also analyzed. The aim was to test feasibility and to optimize experimental methods to IDP noble gas analyses, for possible future studies on “cluster IDPs”. For the latter, other research groups reported unusual helium isotopic ratios, which are difficult to explain. The IDPs studied in this thesis have solar noble gases comparable in concentration and composition to other, “non-cluster” IDPs collected in the stratosphere. The analytical methods developed here are therefore well suited to analyze different types of IDPs.

# Zusammenfassung

Die vorliegende Doktorarbeit ist dem Studium von Edelgasen, insbesondere von Helium und Neon, aus extraterrestrischen Staubproben gewidmet, um mehr über ihre Herkunft zu erfahren. Die Edelgasanalysen wurden mit einem ultra-hochempfindlichen Edelgasmassenspektrometer durchgeführt. Im Hauptteil der Dissertation werden Edelgase von zwei verschiedenen Probenarten behandelt: Präsolarer Sternenstaub aus Siliziumkarbid von urtümlichen Meteoriten und kaum veränderte Chromitkörner aus fossilen Meteoriten und Mikrometeoriten.

Das Hauptziel der ersten Studie besteht darin, Ergebnisse von Laboranalysen präsolaren Sternenstaubs mit theoretischen Sternmodellen zu vergleichen, um dadurch das Verständnis der verschiedenen Typen der Ursprungsterne der Staubkörner zu verbessern.

Im Wesentlichen wurden Helium- und Neon-Isotope in einzelnen präsolaren Siliziumkarbid-Körnern im Grössenbereich von sub-Mikrometern bis Mikrometern untersucht. In erster Linie ist der Anteil der Körner bestimmt worden, welche messbare Mengen an Edelgasen enthalten, die in ihren Ursprungsternen produziert wurden. Um zu bestimmen, von welchen Sterntypen die Körner stammen, wurden die Edelgasanalysen mit Isotopenmessungen von Kohlenstoff, Stickstoff und Silizium ergänzt. Diese Analysen wurden mit einer Ionenmikrosonde (NanoSIMS) durchgeführt.

Etwa 40 Prozent der untersuchten Staubkörner enthalten messbare Mengen an stellaren Edelgasen. Die meisten von ihnen sind als zirkumstellare Kondensate von relativ Masse-armen, Kohlenstoff-reichen Sternen in ihren letzten Entwicklungsphasen entstanden sind (Sterne auf dem asymptotischen Riesenast im Hertzsprung-Russel Diagramm, AGB Sterne). Ein kleiner Teil der Körner stammt möglicherweise aus Sternwinden von AGB Sternen etwas höherer Masse und anderen speziellen Typen von Kohlenstoffsternen (J-Typ C-Sterne und sog. „wiedergeborene“ Riesen wie Sakurais Objekt). Eine noch kleinere Anzahl Körner sind Produkte von Supernova- und möglicherweise auch Novaexplosionen.

Die zweite Hauptstudie widmete sich den Edelgasen in Chromitkörnern, die aus fossilen Meteoriten aus etwa 480 Millionen Jahre alten, ordovizischen Meeressedimenten aus Schweden gewonnen wurden und von winzigen extraterrestrischen Chromitkörnern, die einzeln verteilt in denselben Sedimenten gefunden wurden. Das Ziel war in erster Linie die Dauer, sowie die Art und Weise des Transfers der Meteorite von ihrem Ursprungasteroiden zur Erde mittels Edelgasen in Chromiten zu bestimmen.

Eine entscheidende Erkenntnis dieses Forschungsprojekts ist, dass die Transferzeiten (Bestrahlungsdauer im Weltraum) aller untersuchten fossilen Meteorite aussergewöhnlich kurz waren (etwa 100000 bis 1 Million Jahre). Ausserdem erhöhen sich die Transferzeiten

gleichermassen wie sich das Alter der Sedimente verjüngt, in dem die Meteoriten abgelagert wurden. Die niedrigen Bestrahlungsalter stimmen mit Vorhersagen dynamischer Modelle von Transferzeiten der Trümmer einer grossen Asteroidkollision überein, wenn letztere nahe einer Bahnresonanz mit Jupiter oder Saturn stattgefunden hat. Eine solche Resonanz entsteht zum Beispiel, wenn die Umlaufzeit eines Körpers ein ganzzahliges Vielfaches von Jupiters Umlaufzeit ist. Dort erfährt das Objekt periodische Bahnstörungen durch Jupiter, durch die seine Bahn schnell verändert wird und es rasch auf Kollisionskurs mit der Erde gelangen könnte. Der Zeitpunkt einer der grössten Asteroidenkollisionen, der Zerstörung des Mutterkörpers der L Chondriten, fällt mit dem Alter der meteoritreichen Sedimente zusammen und macht dieses Ereignis zur wahrscheinlichsten Quelle der ordovizischen, fossilen Meteorite. Die kurzen Bestrahlungsalter der Meteorite weisen darauf hin, dass die für sie verantwortliche Asteroidenkollision nahe einer Bahnresonanz im inneren Asteroidengürtel stattgefunden hat. Die im Sediment verteilten Chromitkörner haben überraschenderweise ungewöhnlich hohe Konzentrationen an solaren Edelgasen. Das verunmöglichte die Bestimmung ihrer Bestrahlungsalter, lässt jedoch darauf schliessen, dass die Chromitkörner Staub-grosse Fragmente der Asteroidenkollision sind und als sub-Millimeter-kleine Mikrometeorite auf die Erde gefallen sind. Die gemessenen Edelgaskonzentrationen und Zusammensetzungen sind vergleichbar mit denjenigen der Gas-reichsten Mikrometeoriten und Gas-ärmsten interplanetaren Staubteilchen (IDPs).

In einer Pilotstudie wurden ausserdem Helium- und Neonisotope in stratosphärischen IDPs gemessen. Das Ziel war die experimentellen Methoden auf Edelgasanalysen von IDPs zu optimieren. Dies im Hinblick auf zukünftige Untersuchungen an sog. „Cluster IDPs“. In letzteren haben andere Forschungsgruppen eine ungewöhnliche, schwer erklärbare Heliumisotopenzusammensetzung beobachtet. Die IDPs, die hier untersucht wurden, haben vergleichbare Edelgaskonzentrationen und -zusammensetzungen wie andere, nicht-cluster IDPs. Aus diesem Grund lässt sich festhalten, dass die in dieser Dissertation entwickelten analytischen Methoden sehr gut für das Studium von IDPs geeignet sind.