

LABORATÓRIUM URÝCHĽOVAČOVEJ HMOTNOSTNEJ SPEKTROMETRIE

Peter HYBLER, Ján CHRAPAN

*Katedra environmentálneho inžinierstva FEE TU vo Zvolene,
so sídlom v Banskej Štiavnici*

Úvod

Vo svojom príspevku chceme poukázať na súčasný stav snažení o vybudovanie laboratória vybaveného moderným zariadením na meranie stopových obsahov rádiouhlíka v prírodných prostrediach. Podávame stručný prierez vývoja rádiouhlíkových metód. Medzi riadkami nášho príspevku vyslovujeme nádej, že sa spoločnými silami podarí tímu nadšených odborníkov prelomiť bariéry spôsobené nedostatkom financií a pozitívneho myslenia a Cyklotrónové centrum SR, ktorého súčasťou má byť aj Laboratórium urýchľovačovej hmotnostnej spektrometrie bude dokončené.

Vývoj rádiouhlíkových meracích metód

Rozvoj experimentálnych zariadení na meranie nízkych aktivít v 50-tych rokoch bol iniciovaný vývojom rádiouhlíkovej metódy určovania veku archeologických objektov. Po veľmi krátkej dobe touto metódou začali datovať mnohé laboratória na celom svete. Pôvodná Libbyho aparátúra a aparatúry tohto obdobia využívali techniku Geigerových-Müllerových a proporcionálnych detektorov, tienených látkovými krytmi a GM detektormi v antikoincencii. Z meranej vzorky sa extrahoval uhlík a tento sa nanášal na steny detektorov [1]. Iná cesta viedla cez spálenie vzoriek. Faktó získaný, rádiouhlíkom značený oxid uhličitý, poslužil ako pracovná náplň proporcionálnych detektorov. Fyzikálne podmienky merania si vyžadujú zvýšenie obsahu uhlíka v pracovnej náplni. Dosahuje sa to zvyšovaním tlaku náplne detektorov alebo premenou vzorky na značený metán. Zavedenie scintilačných metód detekcie ^{14}C v šesťdesiatych rokoch viedlo k syntéze značeného benzénu ako rozpúšťadla v scintilačných detektoroch [2].

V šesťdesiatych a v prvej polovici sedemdesiatych rokov sa naplno rozvinula metodika interných plynových proporcionálnych detektorov rozmanitých konštrukcií. Využívali sa proporcionálne detektory, tienené samostatnými detektormi plynovými aj scintilačnými v rozmanitej geometrii rovnako, ako detektory so spoločnou náplňou ^{14}C a bezstenové koaxiálne a mnohovláknové detektory. V druhej polovici sedemdesiatych rokov sa rozvinuli principiálne nové metódy merania obsahu ^{14}C , založené na využití urýchľovačov [3] a laserovej spektrometrie [4], ale aj na obohatení vzoriek využitím laserov. Klasické metódy

plynových a scintilačných detektorov pokročili využívaním miniatúrnych detektorov (mikrosystémov) a komôr s veľkým účinným objemom (megasystémov).

Základná myšlienka detekcie ^{14}C pomocou urýchľovačov [5] spočívala v nahradení registrácie β^- častíc, ktoré produkujú nestabilné jadrá rádiouhlíka, registráciou samotných iónov ^{14}C . Realizácie tejto myšlienky, opierajúce sa o využitie upravených hmotnostných spektrografov, neboli úspešné. Nová aplikácia urýchľovačov - ako ultracitlivých hmotnostných spektrometrov, bola navrhnutá nezávisle Purserom a Mullerom. Špecifické využitie cyklotrónu ako presného detektora ^{14}C a iných rádioizotopov bolo prvýkrát publikované Mullerom v roku 1976 [6]. Experimentálne overenie uskutočnili Hary Gove (Univerzita v Rochesteri), Tedy Litherland (Torontská univerzita) a Ken Purser (firma General Ionex – výrobca urýchľovačov) v máji 1977 na tandemovom lineárnom urýchľovači [7, 8]. Vďaka výhodám tejto aplikácie – zníženie doby merania na stotinu doby, potrebnej pri „klasickej“ meracej technike a faktom, že hmotnosť potrebnej vzorky sa znížila až tisíckrát, dochádza koncom sedemdesiatych rokov k rýchlemu vývoju „urýchľovačovej metódy“ detekcie rádiouhlíka na viacerých pracoviskách v USA, vo Veľkej Británii (Oxford), Francúzku (Grenoble), v Holandsku (Utrecht), vo Švajčiarsku (Bern) a Kanade (Toronto) [9].

Odvtedy prešla táto špecifická aplikácia urýchľovačov obrovským vývojom a v súčasnosti je Urýchľovačová hmotnostná spektrometria - UHS (Accerelated Mass Spectrometry – AMS) bežnou komerčnou technológiou.

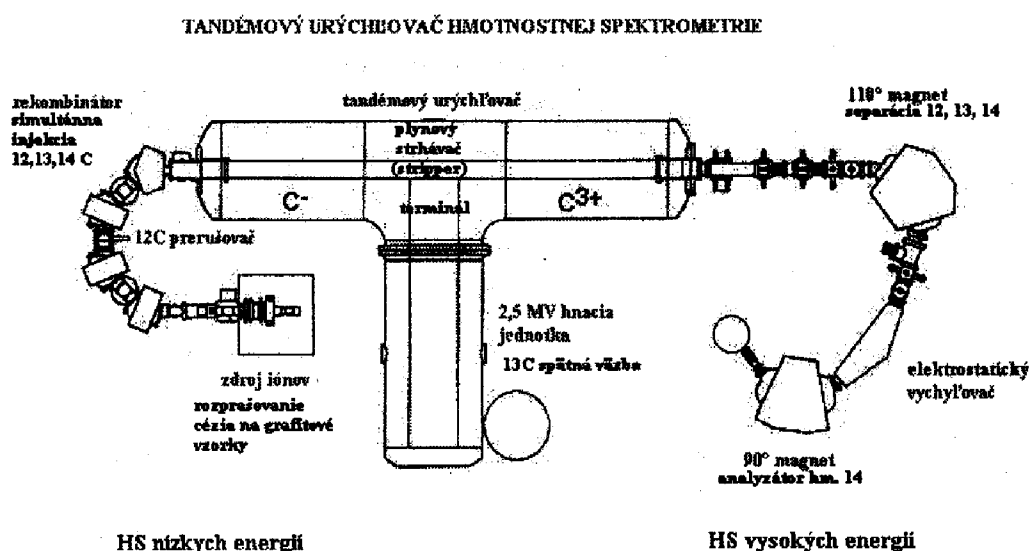
Základný princíp činnosti UHS

UHS pracuje na princípe injekcie záporne nabitých iónov uhlíka analyzovaného materiálu do jadrovej časti elektrostatického tandemového urýchľovača. Tento pozostáva z dvoch koncovo zapojených lineárnych urýchľovačov (nazývaných terminál) nabitých na vysoký kladný potenciál ($2-3 \cdot 10^6$ V a viac), ktorým sú negatívne ióny urýchľované. V terminále záporné ióny prechádzajú buď cez veľmi tenkú uhlíkovú vrstvu alebo tubou naplnenou plynom (väčšinou Ar) pod nízkym tlakom (tzv. stripper-strhávač elektrónov, „ochudobňovač“), kde kolíziou s atómami uhlíka alebo plynu sa strhávaním niekoľkých elektrónov mení ich polarita zo zápornej na kladnú. Kladne nabité ióny prechádzajúce druhou časťou urýchľovača, dosahujú kinetickú energiu $10 - 30 \cdot 10^6$ eV. Význam tohto procesu pri meraní ^{14}C je v tom, že záporné ióny dusíka ^{14}N sú nestabilné a nedosahujú tak k terminálu urýchľovača, čím dochádza k ich účinnej eliminácii. Zariadenie, ktoré produkuje záporné ióny, zdroj iónov, nevyhnutne produkuje negatívne nabité molekuly, ktoré môžu „napodobňovať“ atómy ^{14}C (majú rovnakú hmotnosť); sú to predovšetkým $^{13}\text{CH}^-$ a $^{12}\text{CH}_2^-$. Tieto ióny môžu „zaplaviť“ a potlačiť tak ióny ^{14}C , avšak v stripperovom kanáli dochádza k ich disociácii až na jednotlivé atómy a distribúcii pôvodnej kinetickej energie molekuly medzi ne; tým

je možné ich odlíšiť od atómov rádiouhlíka. Ióny ^{14}C sú nakoniec privádzané do koncového detektora, ktorým môže byť zariadenie na princípe ionizačnej komory.

Hlavnou výhodou metódy UHS je omnoho menšia veľkosť vzorky potrebnej na meranie. UHS extrahuje a počíta atómy ^{14}C vo vzorke a súčasne určuje aj množstvo stabilných izotopov ^{12}C a ^{13}C . Meranie, ktoré môže trvať 12 hodín a vyžaduje niekoľko gramov vzorky využívajúc rádioaktívny rozpad atómov môže prebehnúť za 30 minút a spotrebovať pár miligramov vzorky využívajúc UHS [10].

V súčasnosti existuje a vykonáva rádiouhlíkové merania vyše 130 laboratórií po celom svete (viď príloha – [11]).



Obr. 5 Šchéma systému UHS v Groningene

Logistika prípravy LUHS pri TU vo Zvolene

Vedenie TU vo Zvolene a vedenie CC SR zhodnotilo na základe Zmluvy o spolupráci medzi ÚNMS SR a TU vo Zvolene z mája 2001 možnosti realizácie Laboratória hmotnostnej urýchľovačovej spektrometrie (LUHS) pri FEE v Banskej Štiavnici. Po jednaní garantov realizácie LUHS s rektorom TU vo Zvolene boli prijaté východiská ďalšieho postupu. TU vo Zvolene sa zaviazalo vytvoriť maximálne predpoklady pre urýchlené spustenie predmetného pracoviska tým, že vedenie univerzity personálne pokryje prevádzku LUHS 6 pracovnými miestami, zo skladbou dve osoby VŠ a tri osoby SŠ, pričom ďalšia – šiesta osoba VŠ už pôsobí na FEE. Na zaškolení obsluhy bazového zariadenia sa finančne budú podieľať obidve strany.

Vedenie FEE sa zaviazalo poskytnúť vyhovujúce zázemie pre zriadenie kompletného pracoviska LUHS v zrekonštruovaných priestoroch Belházyho domu, ktorý je pod správou FEE.

Dodávku bázoového zariadenia – komerčného urýchľovača iónov s energiou 0,5 MeV model 1.5SDH-1 dodávaný firmou National Electrostatics Corporation USA v aktuálnej cene 1.5 mil. USD zabezpečí z prostriedkov zadĺženosti Ruskej federácie voči Slovenskej republike Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR.

Predpokladané personálne potreby LUHS (zabezpečuje TU Zvolen)

- 1) vedúci laboratória (1 VŠ; TT 12)
- 2) sekretariát laboratória (1 VŠ; TT 10)
- 3) obsluha urýchľovača (1 SŠ; TT 8)
- 4) príprava a vykonávanie analýz (1 VŠ + 1 SŠ; TT 10/8)
- 5) pomocný personál (1 SŠ; TT 7)

S uvedených pracovníkov je jeden VŠ už v pracovnom pomere na FEE TU vo Zvolene. V pracovnom pomere je aj sowltarový špecialista vhodný ako riadiaci pracovník počítačového spracovania nameraných dát.

Predpokladané priestorové potreby LUHS (zabezpečuje TU Zvolen)

Rozmery urýchľovača 1.5SDH-1 sú (5,03 x 5,79)m, čo si vyžaduje vzhľadom na obsluhu a údržbu miestnosť s pôdorysom cca (6 x 7)m.

Miestnosť č. 1.

Umiestnenie obslužnej a vyhodnocovacej elektroniky.

Miestnosť č. 2, rozmery cca (2,5 x 2)m.

Chemická príprava vzoriek a nabíjanie karuselu.

Miestnosť č. 3, cca (3 x 4)m.

Mechanická očista vzoriek - mechanická dielňa.

Miestnosť č. 4, cca (3 x 3)m.

Príručná elektronická dielňa.

Miestnosť č. 5, cca (2,5 x 3,5)m.

Sklad kalibračných žiaričov.

Miestnosť č. 6, cca (2 x 2)m.

Archív vzoriek.

Miestnosť č. 7, cca (1,5 x 4)m.

pôsobí na FEE. Na zaškolení obsluhy bázoového zariadenia sa finančne budú podieľať obidve strany.

Vedenie FEE sa zaviazalo poskytnúť vyhovujúce zázemie pre zriadenie kompletného pracoviska LUHS v zrekonštruovaných priestoroch Belházyho domu, ktorý je pod správou FEE.

Dodávku bázoového zariadenia – komerčného urýchľovača iónov s energiou 0,5 MeV model 1.5SDH-1 dodávaný firmou National Electrostatics Corporation USA v aktuálnej cene 1.5 mil. USD zabezpečí z prostriedkov zadĺženosti Ruskej federácie voči Slovenskej republike Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR.

Predpokladané personálne potreby LUHS (zabezpečuje TU Zvolen)

- 1) vedúci laboratória (1 VŠ; TT 12)
- 2) sekretariát laboratória (1 VŠ; TT 10)
- 3) obsluha urýchľovača (1 SŠ; TT 8)
- 4) príprava a vykonávanie analýz (1 VŠ + 1 SŠ; TT 10/8)
- 5) pomocný personál (1 SŠ; TT 7)

S uvedených pracovníkov je jeden VŠ už v pracovnom pomere na FEE TU vo Zvolene. V pracovnom pomere je aj softwarový špecialista vhodný ako riadiaci pracovník počítačového spracovania nameraných dát.

Predpokladané priestorové potreby LUHS (zabezpečuje TU Zvolen)

Rozmery urýchľovača 1.5SDH-1 sú (5,03 x 5,79)m, čo si vyžaduje vzhľadom na obsluhu a údržbu miestnosť s pôdorysom cca (6 x 7)m.

Miestnosť č. 1.

Umiestnenie obslužnej a vyhodnocovacej elektroniky.

Miestnosť č. 2, rozmery cca (2,5 x 2)m.

Chemická príprava vzoriek a nabíjanie karuselu.

Miestnosť č. 3, cca (3 x 4)m.

Mechanická očista vzoriek - mechanická dielňa.

Miestnosť č. 4, cca (3 x 3)m.

Príručná elektronická dielňa.

Miestnosť č. 5, cca (2,5 x 3,5)m.

Sklad kalibračných zariadení.

Miestnosť č. 6, cca (2 x 2)m.

Archív vzoriek.

Miestnosť č. 7, cca (1,5 x 4)m.

Pracovňa vedúceho laboratória a prijímacia kancelária obchodných partnerov – objednávateľov prác.

Miestnosť č. 8, cca (5 x 5)m.

Sekretariát LUHS.

Miestnosť č. 9, cca (2,5 x 3 m).

TU vo Zvolene vytvorí podmienky pre realizáciu samostatnej organizačnej jednotky v rámci TU Zvolen s vlastným rozpočtom a s vlastnou organizačnou štruktúrou tak, aby LUHS bolo integrálnou súčasťou CC SR.

Využitie LUHS

Environmentálne aplikácie

Výsledky analýz uskutočnených v Laboratóriu hmotnostnej urýchľovačovej spektrometrie majú široké uplatnenie v environmentalistike a ochrane životného prostredia. Sú modernou aplikáciou nukleárnych high-tech pri riešení globálnych environmentálnych problémov – znečistení atmosféry skleníkovými plynmi a likvidácii nebezpečných odpadov.

Veľmi perspektívnou sa ukazuje využitie UHS v biochemickom inžinierstve. Pracovisko umožní dosiahnuť európsku úroveň základného výskumu v SR v uvedených oblastiach.

Technické aplikácie

Technické aplikácie sa týkajú najmä energetiky, hutníckeho, elektrotechnického, strojníckeho a chemického priemyslu. Jedná sa najmä o kontrolu čistoty materiálov a štúdia ich zloženia.

Datovacie práce

V oblasti určovania absolútneho veku organických a anorganických vzoriek je UHS v súčasnej dobe vzhľadom na efektivitu a citlivosť neprekonateľnou metódou. Z dôvodu minimálnej spotreby vzorky (mg) je pri datovaní a určovaní pravosti vzácnych umeleckých diel jedinou použiteľnou metódou. Uplatnenie nájde aj v oblasti tovaroznaectva, prírodnej chémie a kriminalistiky.

Výskumné, vývojové a vzdelávacie aplikácie

Výhodou LUHS je jeho multidisciplinárne využitie v mnohých priemyselných rezortoch a vedných odboroch. Výsledky prác možno využiť v základnom výskume aj v praxi. Keďže v európskych postkomunistických štátoch nie je zariadenie tohto typu je reálny predpoklad na medzinárodnú spoluprácu - grantové projekty, výskumné práce a pod.

[11] Halačová T.: Vývoj rádiouhlíkovej metódy, Diplomová práca, KEI FEE, TU vo Zvolene, Banská Štiavnica, 2002

SVETOVÉ LABORATÓRIÁ UHS

Argentína

Nuclear Regulatory Authority AMS Facility

Autoridad Regulatoria Nuclear

Avenida del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires, Argentina

Kontakt: Cayetano Pomar (cpomar@sede.am.gov.ar)

Tel.: +54 11 4704 1324 Fax: +54 11 4704 1171

TANDAR Laboratory

Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica

Avenida del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires, Argentina

Kontakt: Jorge Fernández Niello (fniello@tandar.cnea.gov.ar)

Tel.: +54 11 4754 7058 Fax: +54 11 4754 7121

Austrália

ANTARES (Australian National Tandem for Applied Research)

Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)

PMB 1 Menai, NSW 2234 Australia

Tel.: +61 2 9717 3493 Fax: +61 2 9717 3257

Kontakt: Claudio Tuniz (tuniz@ansto.gov.au)

AUSTRALIS (AMS for Ultra Sensitive Trace Element and Isotope Studies)

HIAF Laboratory, CSIRO Exploration and Mining

P.O. Box 136, North Ryde, NSW 2113, Australia

Kontakt: Suey Sie (s.sie@dem.csiro.au)

Tel.: +61 2 9490 8648 Fax: +61 2 9490 8921

14UD Accelerator Laboratory

Department of Nuclear Physics, Research School of Physical Sciences
and Engineering, Australian National University

ACT-0200 Canberra, Australia

Kontakt: Keith Fifield (keith.fifield@anu.edu.au)

Tel.: +61 2 6249 2095 Fax: +61 2 6249 0748

Brazília

8UD Pelletron Laboratory

Departamento de Física Nuclear

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

C.P. 66318, 05315-970 São Paulo, SP, Brazil

Kontakt: Raphael Liguori Neto (rliguori@if.usp.br)

Tel.: +55 11 818 6823 Fax: +55 11 211 2742

Čína

PKUAMS (Peking University Accelerator Mass Spectrometer)

Institute of Heavy Ion Physics, Peking University

Beijing 100871, China

Kontakt: Zhiyu Guo (zhyguo@pku.edu.cn)

Tel.: +86 10 6275 1880 Fax: +86 10 6275 1875

SMCAMS (Shanghai Mini Cyclotron AMS)
Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica
P.O. Box 800-204, Shanghai 201800, China
Kontakt: Maobai Chen (maobaichen@yahoo.com)
Tel.: +86 21 5955 3998 Fax: 86 21 5955 3021

Tandem Accelerator at CIAE (China Institute of Atomic Energy)
Department of Nuclear Physics, CIAE
P.O. Box 275-80, Beijing 102413, China
Kontakt: Shan Jiang (jiangss@mipsa.ciae.ac.cn)
Tel.: +86 10 69358150 Fax: +86 10 6935 7787

Dánsko
AMS 14C Dating Laboratory
Institute of Physics and Astronomy, University of Aarhus
DK-8000 Aarhus C
Kontakt: Jan Heinemeier (jh@ifa.au.dk)
Tel.: +45 8942 3718 Fax: +45 8612 0740

Francúzsko
Gif-sur-Yvette Tandetron Accelerator
Laboratoire mixte CNRS-CEA, Domaine du CNRS
Avenue de la Terrasse BP1, F-91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France
Kontakt: Grant Raisbeck (raisbeck@csnsm.in2p3.fr)
Tel.: +33 1 6915 5264 Fax: +33 1 6915 5268

Holandsko
Centre for Isotope Research
Groningen University, Nijenborgh 4,
9747 AG Groningen, The Netherlands
Kontakt: Hans van der Plicht (plicht@phys.rug.nl)
Tel.: +31 50 3634 730 Fax: +31 50 3634 738

Robert. J. van de Graaff Laboratorium
Institute of Subatomic Physics, Utrecht University
P.O. Box 80 000, 3508 TA Utrecht, The Netherlands
Kontakt: Klaas van der Borg (k.vanderborg@phys.uu.nl)
Tel.: +31 30 2532 238 Fax: +31 30 2532 532

India
MUDRA (Multi Disciplinary Research Accelerator)
Institute of Physics
Sachivalaya Marg, Bhubaneswar-751005, India
Kontakt: D. P. Mahapatra (dmp@iopb.res.in)
Tel.: +91 674 581770 Fax: +91 674 581142

Izrael
Weizmann Institute Accelerator Laboratory
The Weizmann Institute of Science, 76100 Rehovot, Israel
Kontakt: Michael Paul (paul@vms.huji.ac.il)
Tel.: +972 2 658 4795 +972 2 658 6347

Japonsko
JAERI-AMS Facility at Mutsu
Marine Research Laboratory, Mutsu Establishment,

Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

4-24 Minato-machi, Mutsu, Aomori, 035-0064 Japan

Kontakt: Takafumi Aramaki (aramaki@popsvv.tokai.jaeri.go.jp)

Tel.: +81 175 28 2614 Fax: +81 175 22 4213

JNC Tono Geoscience Center AMS FacilityTono Geoscience Center, **Japan Nuclear Cycle Development Institute**

959-31 Jorinji, Izumi-cho, Toki-shi, Gifu, 509-5102 Japan

Kontakt: Sheng Xu (xu@tono.jnc.go.jp)

Tel.: +81 572 54 2178 Fax: +81 572 54 2178

Kyoto University AMS System

Department of Physics, Kyoto University

Kitashirakawa, Kyoto 606-8502 Japan

Kontakt: Masanobu Nakamura (nakamura@ne.scphys.kyoto-u.ac.jp)

Tel.: 81 75 753 3853 Fax: 81 75 753 3887

Kyushu University Tandem Accelerator

Department of Physics, Faculty of Science, Kyushu University,

6-10-1 Kakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581 Japan

Kontakt: Shoro Mitarai (shiro@kutl.kyushu-u.ac.jp)

Tel.: +81 92 642 2707 Fax: +81 92 642 2710

MALT (Micro Analysis Laboratory Tandem Accelerator)Research Center for Nuclear Science and Technology, The University
of Tokyo, 2-11-16 Yayoi, Bunkyo-ku; Tokyo, 113-0032 JapanKontakt: Koichi Kobayashi (kobayashi@malt.rcnst.u-tokyo.ac.jp)

Tel.: +81 3 5841 2945 Fax: +81 3 5841 2952

Nagoya University Tandetron AMS System

Dating and Materials Research Center, Nagoya University

Nagoya, 464-8602 Japan

Kontakt: Toshio Nakamura (g44466a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp)

Tel.: +81 52 789 2578 Fax: +81 52 789 3092

NIES-TERRA (Tandem Accelerator for Environmental Research and Radiocarbon Analysis)

Environmental Chemistry Division

National Institute for Environmental Studies (NIES)

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-0053 Japan

Kontakt: Yasuyuki Shibata (yshibata@nies.go.jp)

Tel.: +81 298 50 2450 Fax: +81 298 50 2574

RILAC (RIKEN Linear Accelerator Complex)

Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198 Japan

Kontakt: Masanori Kidera (kidera@kindex.riken.go.jp)

Tel.: +81 48 467 9465 Fax: +81 48 461 5301

Tsukuba Tandem Accelerator Center

University of Tsukuba

Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

Kontakt: Yasuo Nagashima (nagashima@tac.tsukuba.ac.jp)
Tel.: +81 298 53 3433 Fax: +81 298 53 3411

Kanada

IsoTrace Laboratory

University of Toronto, Ontario, Canada, M5S 1A7
Kontakt: Ted Litherland (ted.litherland@utoronto.ca)
Tel.: +1 416 978 3785, Fax: +1 416 978 4711

Kórea

ICNSRF (Inter-University Center for Natural Science Research Facility)

Department of Physics, Seoul National University
Kwanak-ku, Seoul 151-742, Korea
Kontakt: Jong Chan Kim (jckim@phya.snu.ac.kr)
Tel.: +82 2 880 5775 Fax: +82 2 884 3002

Nemecko

Beschleunigerlaboratorium München

Fakultät für Physik E15, Technische Universität München
James-Frank-Strasse 1, D-85748 Garching, Germany
Kontakt: Eckehart Nolte (nolte@physik.tu-muenchen.de)
Tel.: +49 89 289 12554 Fax: +49 89 289 14280

Erlangen AMS facility

Physikalisches Institut, Universität Erlangen-Nürnberg
Erwin-Rommel-Strasse 1, D-91058 Erlangen, Germany
Kontakt: Wolfgang Kretschmer (kretschmer@physik.uni-erlangen.de)
Tel.: +49 9131 8527075 Fax: +49 9131 15249

Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung

Christian-Albrechts-Universität Kiel
Max-Eyth Strasse 11, D-24118 Kiel, Germany
Kontakt: Pieter Grootes (pgrootes@leibniz.uni-kiel.de)
Tel.: +49 431 880 3894 Fax: +49 431 880 3356

Rosendorf Tandetron Accelerator

Institute of Ion Beam Physics and Materials Research

Forschungszentrum Rossendorf, P.O. Box 51 01 19
D-01314 Dresden, Germany
Kontakt: Manfred Friedrich (M.Friedrich@fz-rossendorf.de)
Tel.: +49 351 260 3284 Fax: +49 351 269 3285

Nový Zéland

Rafter Radiocarbon Laboratory

Institute of Geological and Nuclear Sciences
30 Gracefield Road, P.O. Box 31-312
6315 Lower Hutt, New Zealand
Kontakt: Rodger Sparks (r.sparks@gns.cri.nz)
Tel.: +64 4 570 4644 Fax: +64 4 570 4657

Rakúsko

VERA (Vienna Environmental Research Accelerator)

Institut für Isotopenforschung und Kernphysik der Universität Wien
Währinger Strasse 17, A-1090 Wien, Austria

Kontakt: Walter Kutschera (walter.kutschera@univie.ac.at)

Tel.: +43 1 4277 51700 Fax: +43 1 4277 9517

Rumunsko

IFIN-HH (National Institute of Nuclear Physics and Engineering), Division of Applied Physics

P.O. Box MG-6, Bucharest-Magurele, Romania

Kontakt: Catalin Stan-Sion (stansion@ifin.nipne.ro)

Tel.: +401 7807040/4405 Fax: +401 4231701

Švajčiarsko

ETH/PSI AMS Facility Zürich

Institute of Particle Physics, ETH Hönggerberg

Building HPK, CH-8093 Zürich, Switzerland

Kontakt: Martin Suter (suter@particle.phys.ethz.ch)

Tel.: +41 1 633 2033 Fax: +41 1 633 1067

Švédsko

Lund AMS Facility

Department of Physics, Lund University

Sölvegatan 14, S-22362 Lund, Sweden

Kontakt: Ragnar Hellborg (ragnar.hellborg@nuclear.lu.se)

Uppsala Tandem Laboratory

Uppsala University, Box 533, S-75121 Uppsala, Sweden

Kontakt: Göran Possnert (goran.possnert@material.uu.se)

Tel.: +46 18 471 3059 Fax: +46 18 555736

Taliansko

Naples TTT-3 Tandem Accelerator

Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Universita "Federico II" di Napoli, and INFN-Napoli

Mostra d'Oltremare, pad. 20, I-80125 Napoli, Italy

Kontakt: Filippo Terrasi (terrasi@na.infn.it)

Tel.: +39 823 279898 Fax: +39 823 279899

Veľká Británia

Oxford Radiocarbon Accelerator Unit

Research Laboratory for Archaeology and the History of Art

Oxford University, 6 Keble Road, Oxford OX1 3QJ, United Kingdom

Kontakt: Robert Hedges (robert.hedges@rlaha.ox.ac.uk)

Tel.: +44 1865 273930 Fax: +44 1865 273932

CBAMS Ltd (Centre for Biomedical Accelerator Mass Spectrometry)

Sand Hutton, York YO41 1LZ, United Kingdom

Kontakt: Colin Garner (colin.garner@cbams.co.uk)

Tel.: +44 1904 462701 Fax: +44 1904 462710

USA

ATLAS (Argonne Tandem Linear Accelerator System)

Physics Division 203, Argonne National Laboratory

9700 S. Cass Ave. Argonne, IL 60439, USA

Kontakt: Ernst Rehm (rehm@anlphy.phy.anl.gov)

Tel.: +1 630 252 4037 Fax: +1 630 252 6210

CAMS Livermore (Center for Accelerator Mass Spectrometry)

Lawrence Livermore National Laboratory

7000 East Avenue 397, Livermore, CA 94551, USA

Kontakt: John Knezovich (knezovich1@llnl.gov)

Tel.: +1 925 422 3431 Fax: +1 925 423 7884

IBMAL Denton (Ion-Beam Modification and Analysis Laboratory)

Department of Physics, University of North Texas

Denton, TX 76203, USA

Kontakt: Floyd McDaniel (mcdaniel@cas.unt.edu)

Tel.: +1 940 565 3251 Fax:

Naval Research Laboratory AMS Facility

Code 6370, Naval Research Laboratory, Washington, DC 20375, USA

Kontakt: Kenneth Grabowski (grabowski@nrl.navy.mil)

Tel.: +1 202 767 5738 Fax: +1 202 767 5301

NOSAMS (National Ocean Sciences AMS Facility)

Woods Hole Oceanographic Institution, McLean Laboratory, MS#8

Woods Hole, MA 02543-1539, USA

Kontakt: John Hayes (jhayes@whoi.edu)

Tel.: +1 508 289 3345 Fax: +1 508 457 2183

NSCL Michigan

National Superconduction Cyclotron Laboratory

Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824-1321, USA

Kontakt: Brad Sherrill (sherrill@nscl.msu.edu)

Tel.: +1 517 333 6322 Fax: +1 517 353 5967

NSF-Arizona AMS Facility

University of Arizona, Physics Bldg. 81,

1118 E. 4th Street, Tucson, AZ 85721-0081, USA

Kontakt: Doug Donahue (djd@physics.arizona.edu)

Tel.: +1 520 621 2480 Fax: +1 520 621 9619

PRIME Lab (Purdue Rare Isotope Measurement Laboratory)

Purdue University, 1396 Physics Building

West Lafayette, IN 47907-1396, USA

Kontakt: David Elmore (elmore@purdue.edu)

Tel.: +1 765 494 6516 Fax: +1 765 494 0706