Analytické vlastnosti ICP-MS

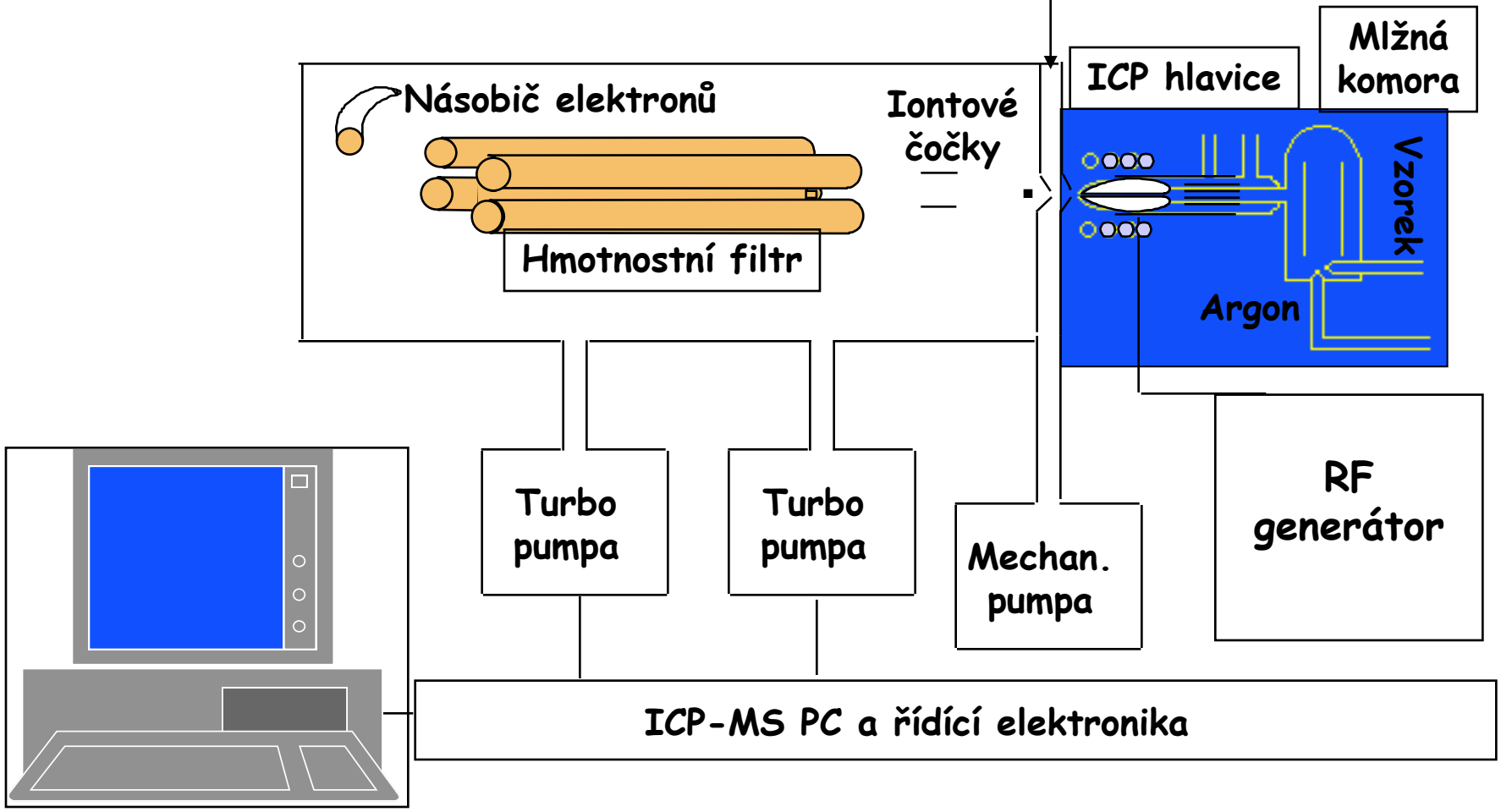
Viktor Kanický
Laboratoř atomové spektrochemie
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita v Brně

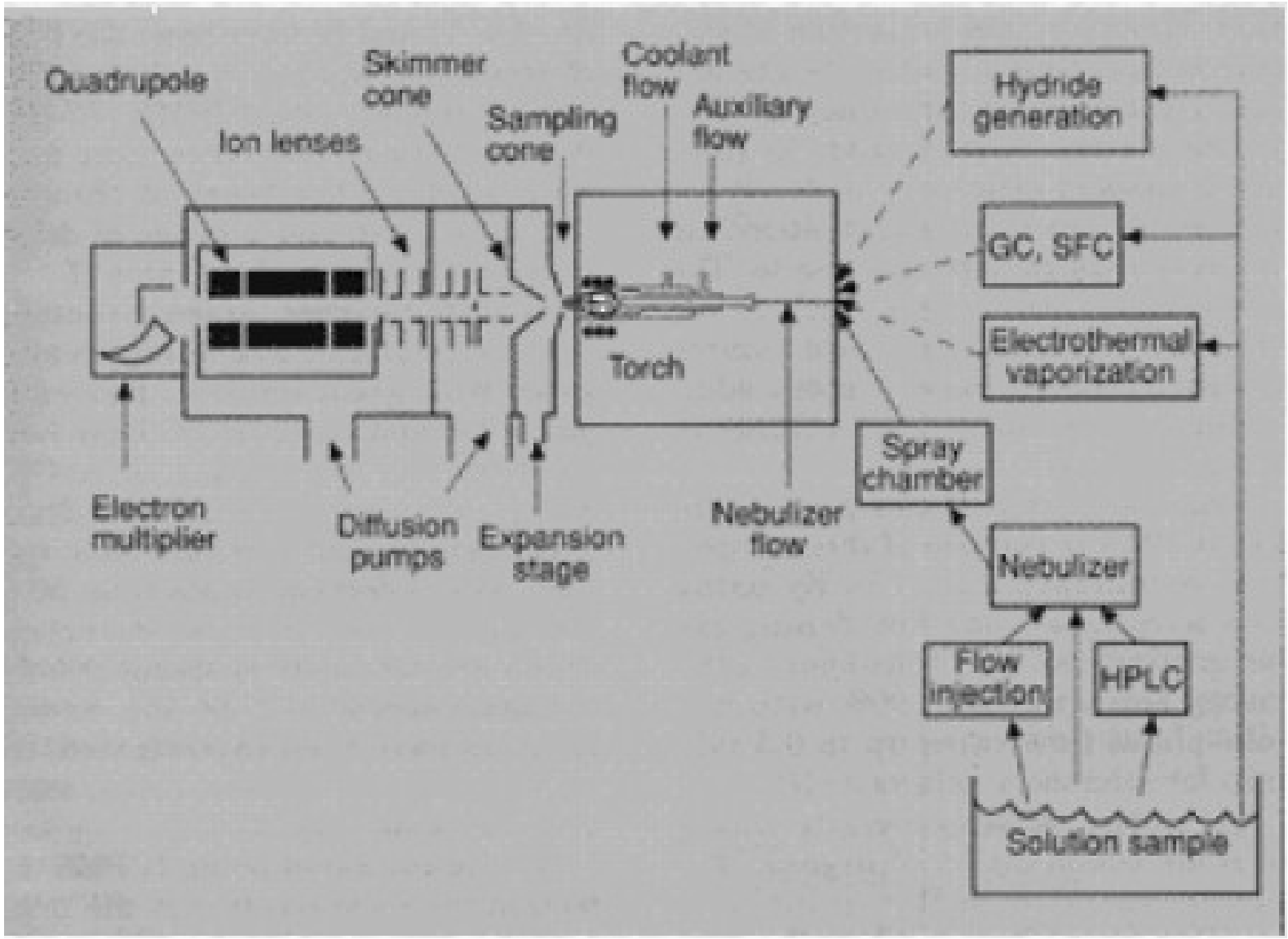
Kurs ICP

25.5.2009 – 28.5.2009

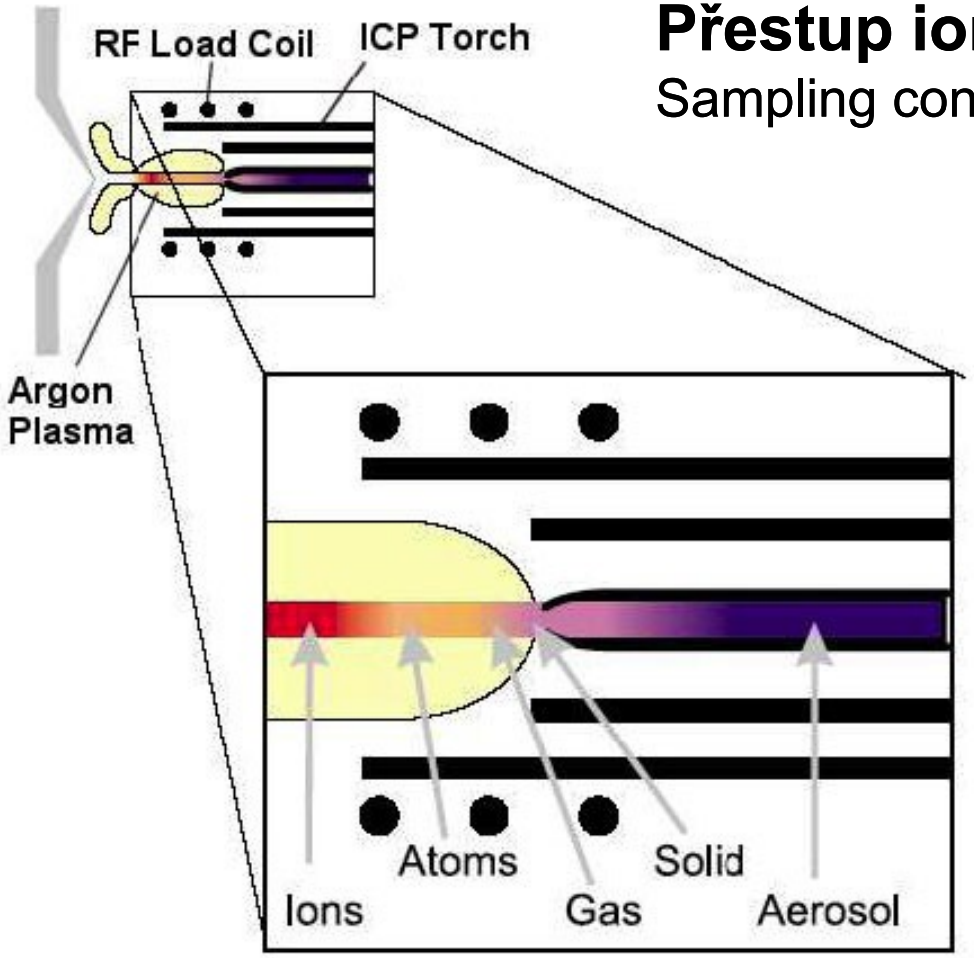
ICP-MS

Interface Plasma Spektrometr




Quadrupole
Skimmer cone
Coolant flow
Sampling cone
Auxiliary flow
Ion lenses
Hydride generation
GC, SFC
Electrothermal vaporization
Torch
Spray chamber
Electron multiplier
Diffusion pumps
Expansion stage
Nebulizer flow
Nebulizer
Flow injection
HPLC
Solution sample

ICP- odpaření, atomizace a ionizace

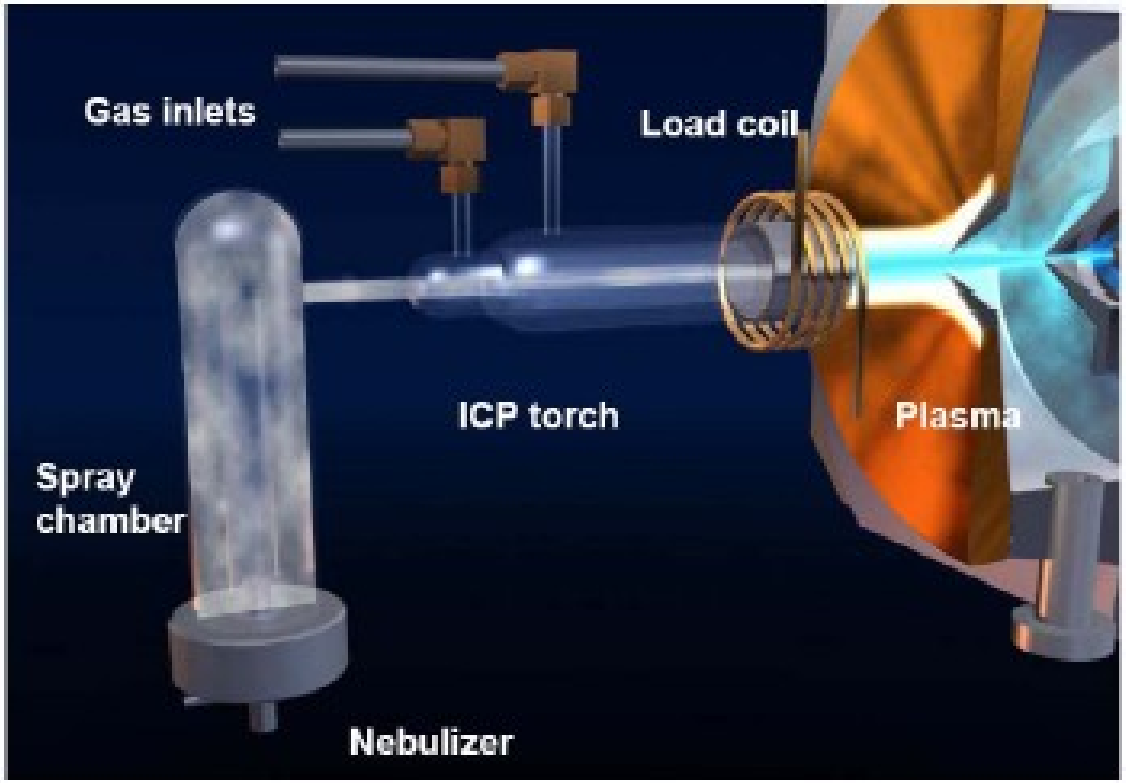


Přestup iontů z ICP do MS:
Sampling cone (sampler) vzorkovací kužel

Vnášení vzorku – aerosol:
- Vlhký: zmlžování roztoků
- Suchý:
  - Laserová ablace
  - Elektrotermická vaporizace

Plazmová hlavice

Zmlžování roztoku a plzmová hlavice



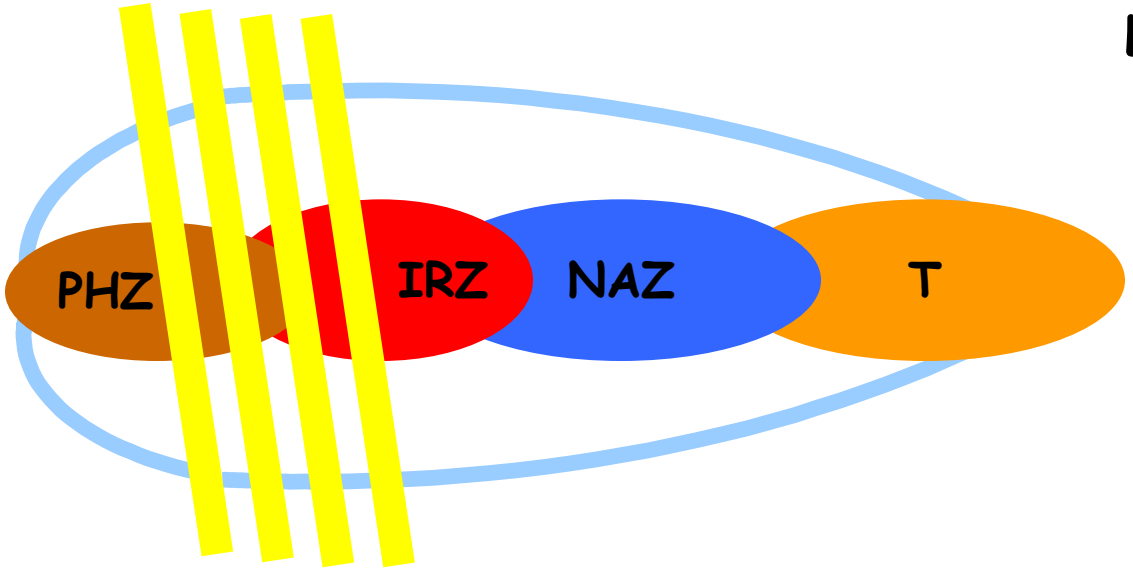
HPST

Fyzikální vlastnosti ICP

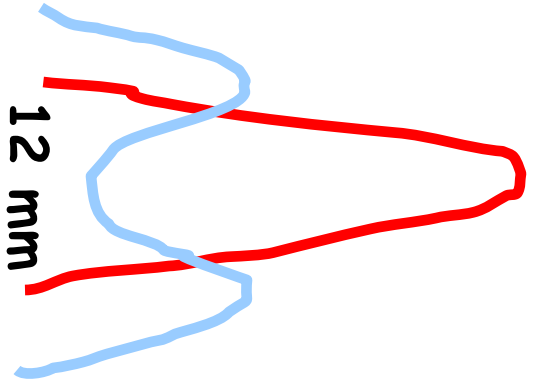
- Anulární (toroidální) plazma
- Indukční oblast (10 000 K), skin-efekt
- Centrální analytický kanál (5000-6000 K)
- Vysoká teplota a dostatečná doba pobytu vzorku v plazmatu (3 ms) $\Rightarrow$ účinná atomizace
- Vysoká koncentrace Ar^+, Ar^*, Ar^m $\Rightarrow$ účinná ionizace/excitace ($E_{i(Ar)}$= 15.8 eV)
- Vysoká koncentrace elektronů 10^{20}-10^{21} m^{-3} (0.1% ionizace Ar)>>v plameni (10^{14}-10^{17} m^{-3}) $\Rightarrow$ malý vliv ionizace osnovy vzorku na posun ionizačních rovnováh

Zóny centrálního (analytického) kanálu ICP

ODBĚR IONTŮ (MS)



Laterální rozdělení Ar^+



Laterální rozdělení Mn^+

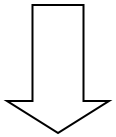
Preheating Zone – PHZ
Initial Radiation Zone – IRZ
Normal Analytical Zone – NAZ
Tailflame T

Excitační a ionizační procesy v ICP

- $Ar^+ + X \rightarrow Ar + X^{+*} \pm \Delta E$ přenos náboje
- $Ar^m + X \rightarrow Ar + X^{+*}$ Penningův efekt
- $e^- + X \rightarrow e^- + e^- + X^+$ srážková ionizace
- $e^- + X \rightarrow e^- + X^*$ srážková excitace

(X - atom analytu)

supratermická koncentrace X^{+*} a X^+



preferenční excitace iontových čar

Ionizace v ICP

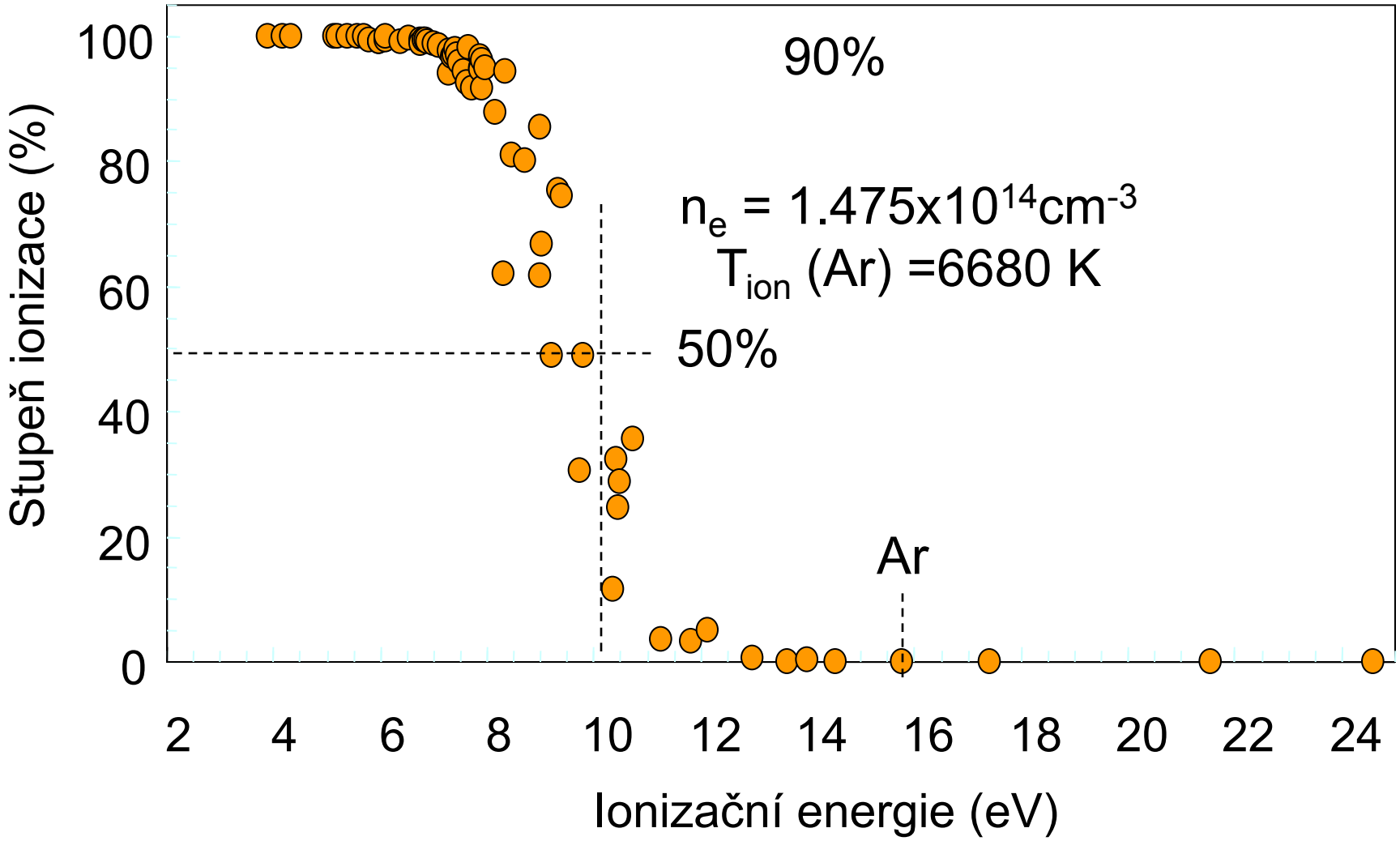
- Ionizační rovnováha je popsána Sahovou rovnicí

$$K_M = \frac{n_i n_e}{n_a} = \left(\frac{2\pi m_e kT_{ion}}{h^3} \right)^{3/2} 2\frac{Z_i}{Z_a} \exp\left(-\frac{E_i}{kT_{ion}} \right)$$

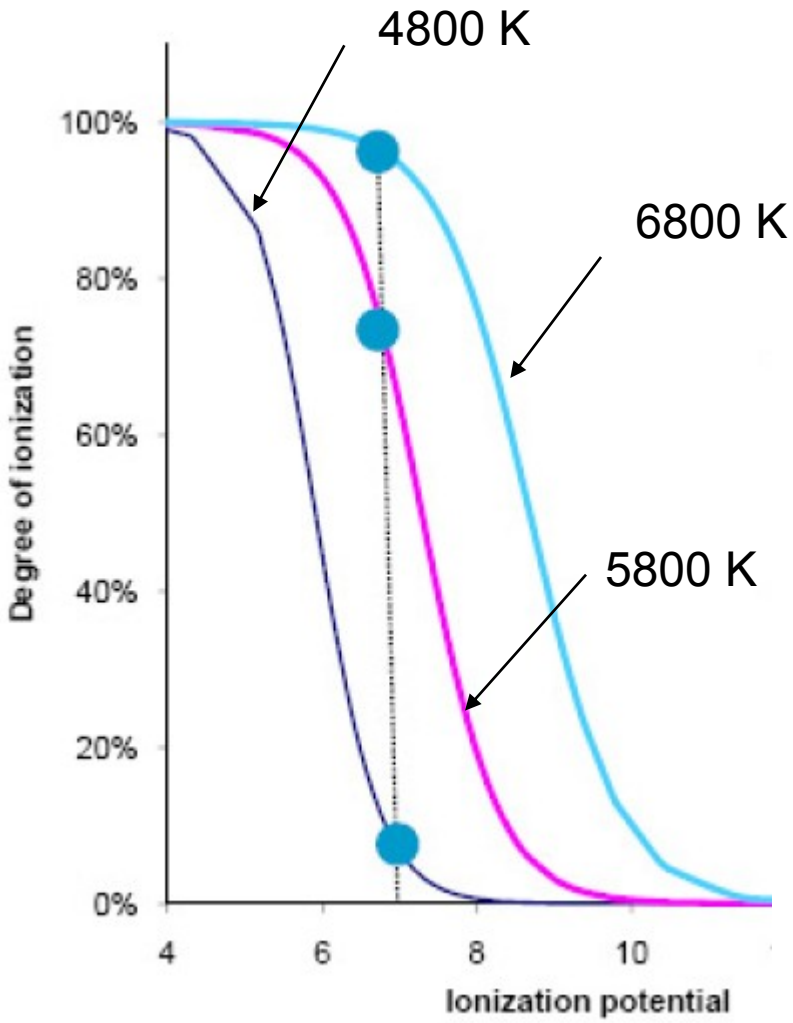
kde Z_a a Z_i jsou partiční funkce atomových a iontových stavů, n_i, n_e a n_a jsou koncentrace iontů, elektronů a neutrálních atomů, m_e – hmotnost elektronu, T_{ion} – ionizační teplota a E_i ionizační energie. Stupeň ionizace je definován

$$\alpha = \frac{n_i}{n_a + n_i} = \frac{(n_i \cdot n_e)/n_a}{n_e + (n_i \cdot n_e)/n_a} = \frac{K_M}{n_e + K_M}$$

Závislost stupně ionizace na ionizační energii



Vliv teploty na ionizaci



Prvek s 1. IE = 7 eV
6800 K ~ 98 % ionizace
5800 K ~ 72 % ionizace
4800 K ~ 8 % ionizace

<u>Zvýšení teploty plazmatu</u>
- zvýšením výkonu
- snížením průtoku nosného plynu
- snížením množství zaváděného vzorku

Agilent INNOVATION SEMINARS 08

Ionizace v ICP výboji

- Ionizace v Ar ICP je v určována $E_{i1}(Ar)=15.76$ eV
- Kromě F, Ne a He mají všechny prvky $E_{i1} < 16$ eV $\Rightarrow$ ICP produkuje ionty X^+ pro všechny zájmové prvky
- 87 prvků ze 103 má $E_{i1} < 10$ eV a tedy $\alpha > 50\%$
- 69 prvků ze 103 má $E_{i1} < 8$ eV a tedy $\alpha > 95$ (90)%
- S výjimkou Ca, V, Sr, Y, Zr, Sn, Ba, Pb a lanthanoidů jsou ionizační energie do 2. stupně $E_{i2} > 16$ eV; tvorba X^{2+} je významná pouze v případě Sr, Ba (Pb)

Výhody ICP jako ionizačního zdroje

- ICP ionizuje téměř všechny prvky pouze do 1. stupně a polovina prvků periodické soustavy je ionizována téměř na 100%
- ICP je současně účinným atomizačním zdrojem
- Ionty zůstávají vymezeny v centrálním kanálu výboje, což usnadňuje jejich vzorkování do MS

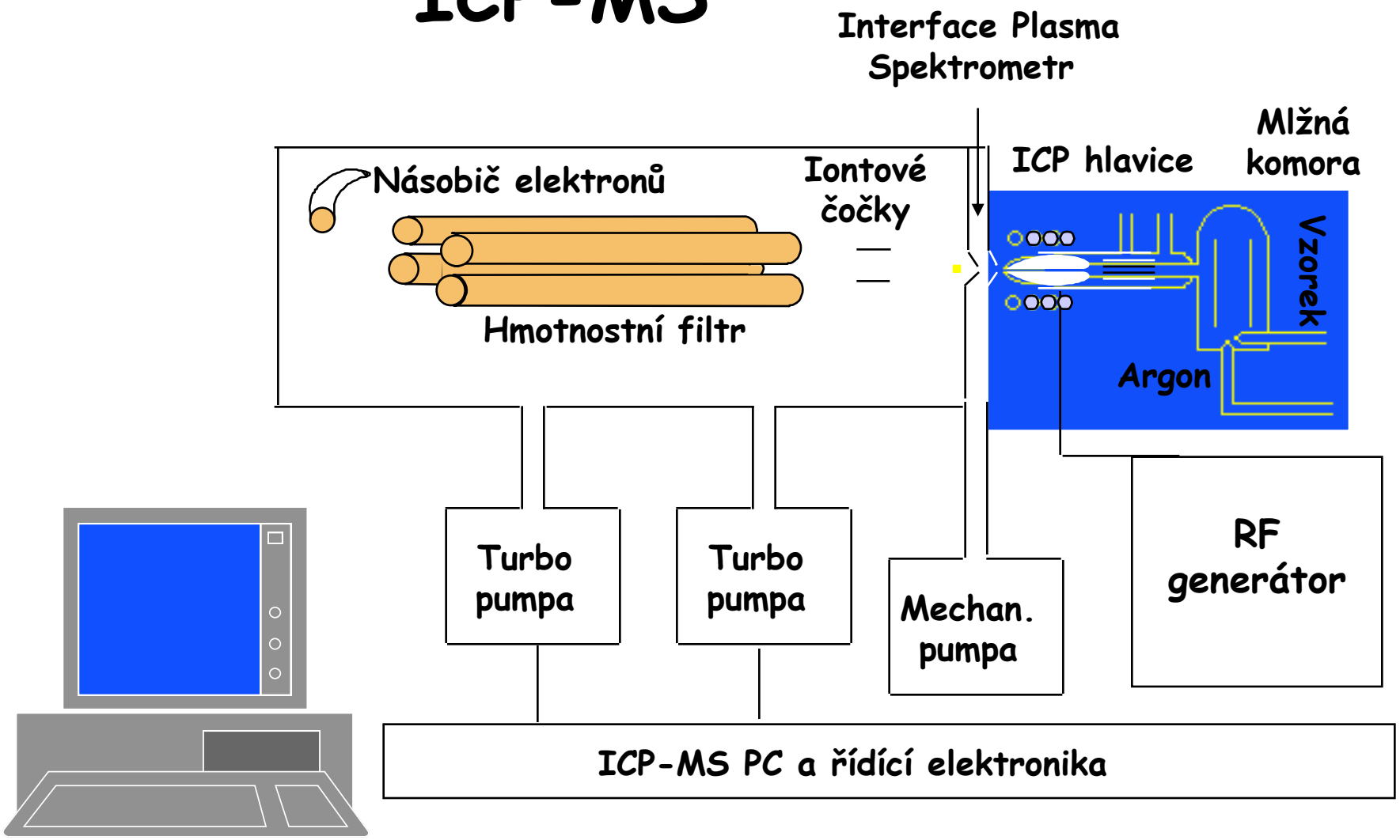
Proč ICP-MS ?

- ICP-OES má některé nedostatky:
  - Některé prvky (např. Cd, Pb, U, As, Se) nemají dostatečně nízké meze detekce pro stanovení jejich (i celkových) obsahů.
  - Meze detekce většiny prvků jsou příliš vysoké pro použití ICP-OES jako prvkově specifického detektoru pro separační techniky (HPLC, GC, CZE) včetně speciace chemických forem
  - Technika ICP-OES je zatížena četnými spektrálními interferencemi, zejména v případě osnovy, jako je U, W, Fe, Co,...

Meze detekce v ICP-OES/MS

Technika	ICP - AES	ICP - MS
Zmlžovaný roztok	1 μg ml^{-1}	1 μg ml^{-1}
Signál (pulsy s^{-1})	6×10^{6} fotonů /s	10^{6}-10^{7} iontů /s
Pozadí (pulsy s^{-1})	6×10^{4} fotonů /s	10 iontů /s
Šum pozadí (s^{-1}) N_b	6×10^{2} fotonů /s	1 ion/s
S/N_b	10^{4}	10^{6}-10^{7}
Meze detekce	0,1 μg l^{-1}	≤ ng l^{-1}

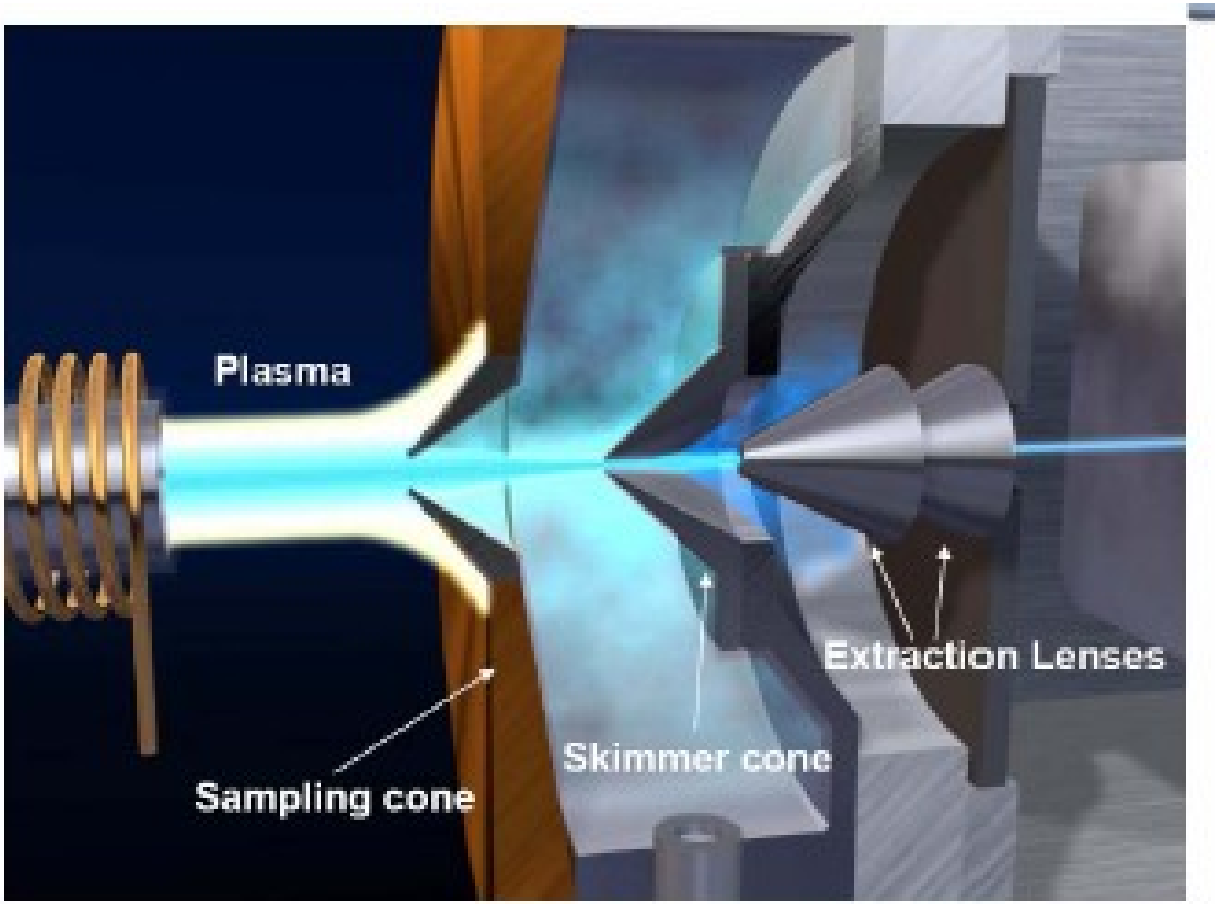
ICP-MS


Interface Plasma Spektrometr
Mlžná komora
ICP hlavice
Iontové čočky
Násobič elektronů
Hmotnostní filtr
Vzorek
Argon
Turbo pumpa
Turbo pumpa
Mechan. pumpa
RF generátor
ICP-MS PC a řídící elektronika

Specifikace ICP-MS

- Spojení (interface) zdroje ICP a hmotnostního spektrometru musí vykonávat následující funkce a splňovat tyto požadavky:
  - Vzorkovat ionty v místě jejich vzniku, tj. v ICP.
  - Převést ionty z oblasti atmosférického tlaku do vakua.
  - Snížit teplotu z 6000 K na laboratorní teplotu.
  - Zachovat stechiometrii analytů při transportu iontů.

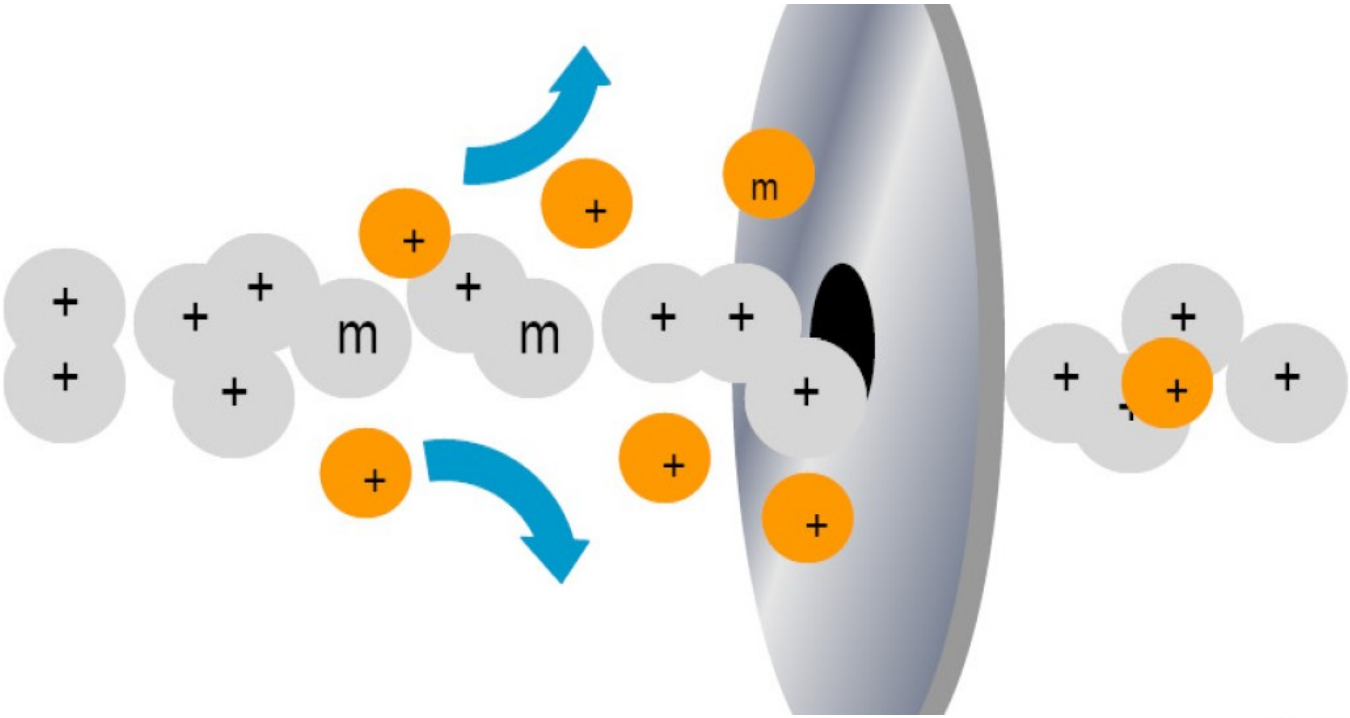
Přestup inotů z ICP do MS



Iontová optika

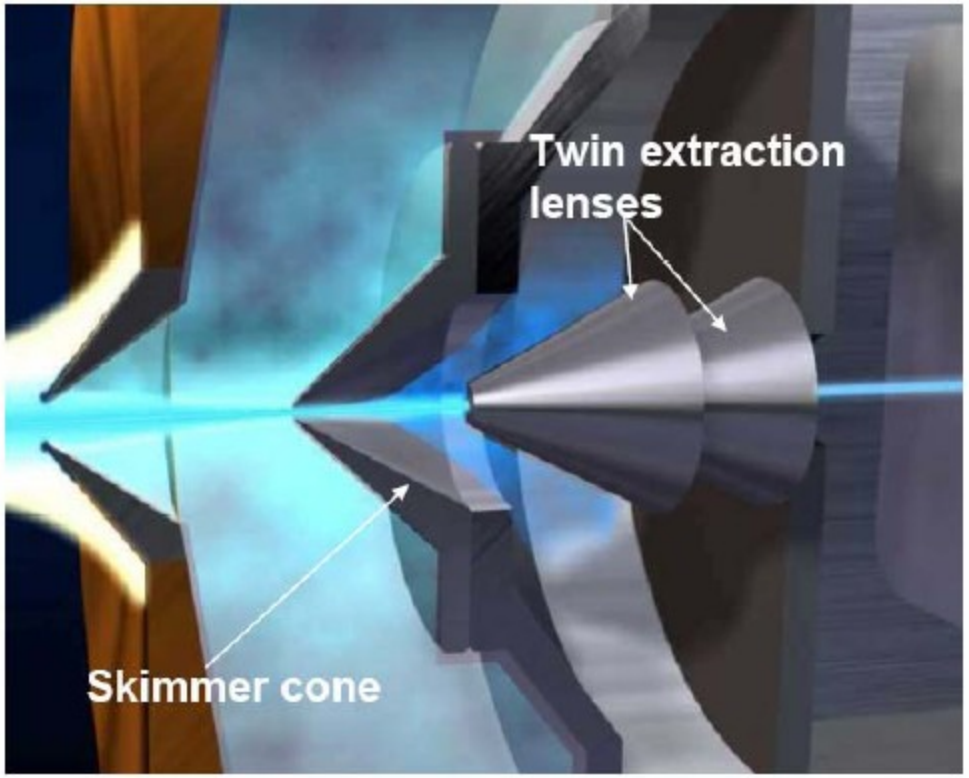
- Paprsek vystupující ze skimmeru je divergentní (space charge effect). Před vstupem paprsku do vlastního spektrometru je třeba vytvořit kolineární paprsek, jehož ionty mají energii v úzkém pásmu.
- Je třeba odstranit fotony, aby nevyvolávaly parazitní signál na detektoru.Toto řeší iontová optika.

Space charge effect



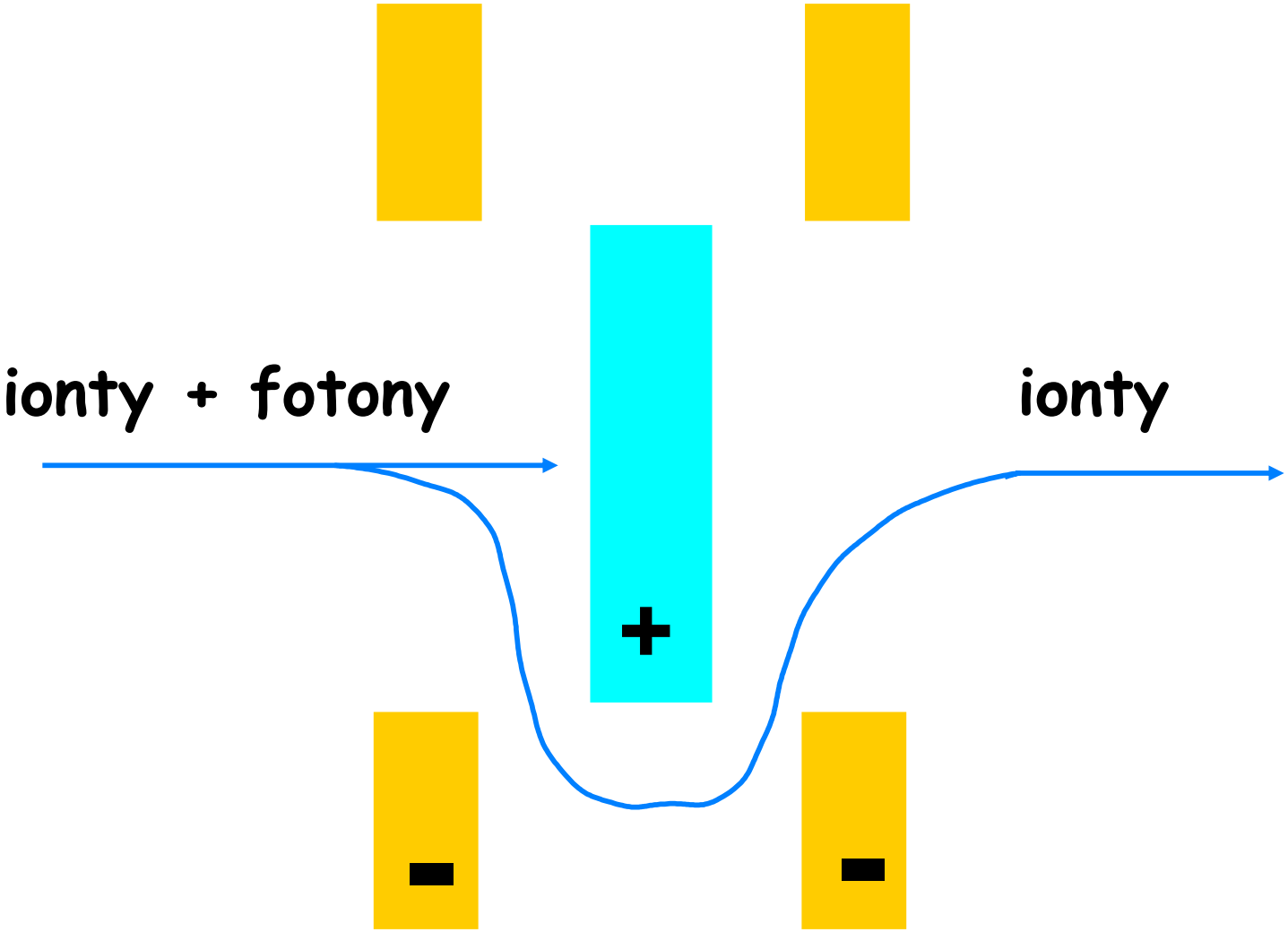
Agilent
INNOVATION SEMINARS
08

Iontová optika

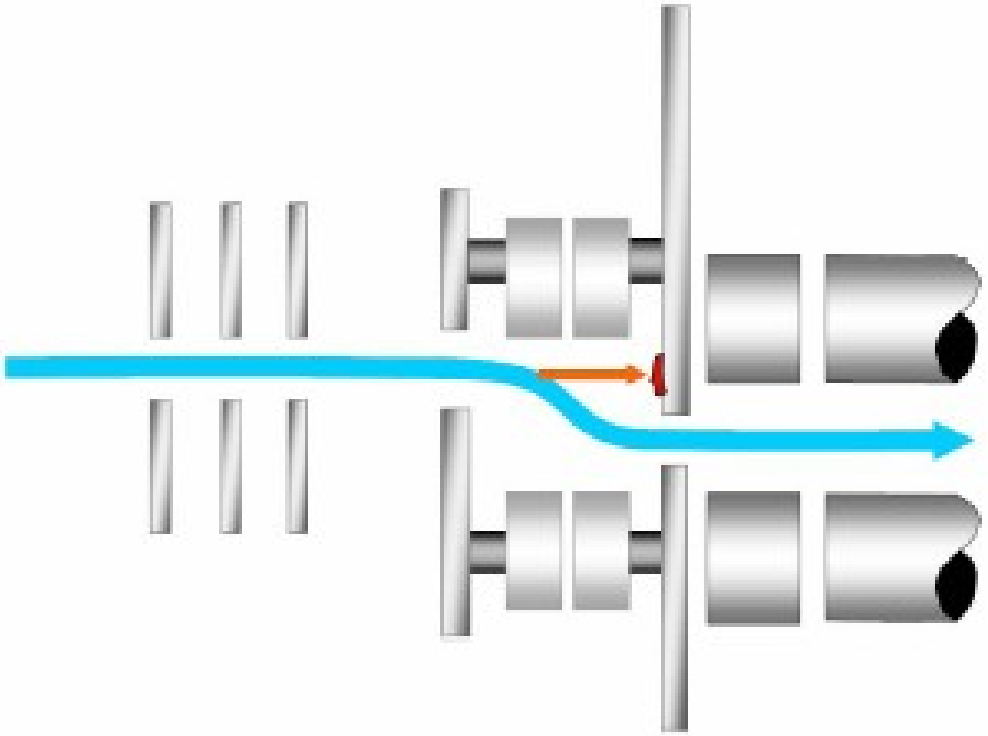


HPST
High Performance Separation Technologies

Photon stop: Bessel box



Eliminace fotonů



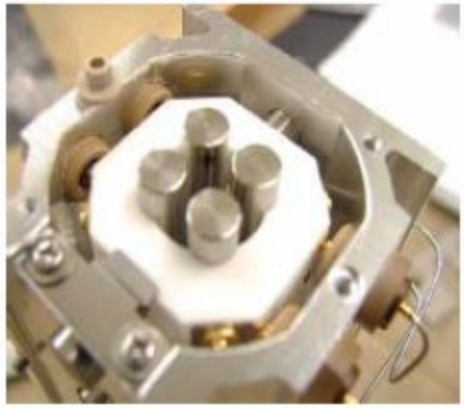
MS používané s ICP zdrojem

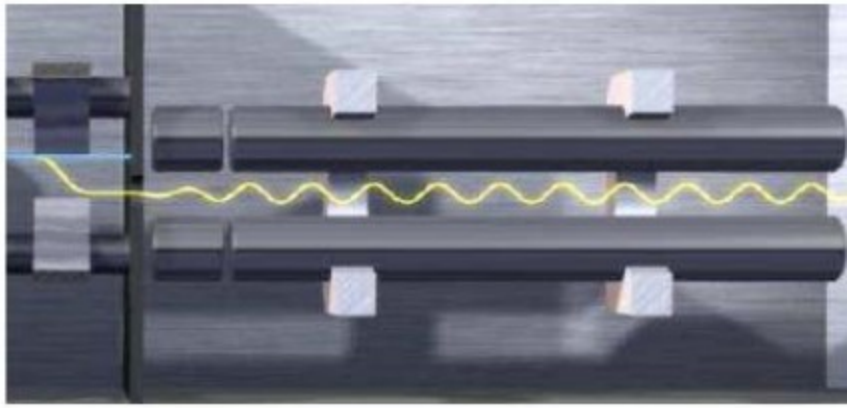
Tytéž systémy jako pro org. analýzu, jen rozsah hmotností je < 300 amu.

- Kvadrupólový filtr (QMS)
- Sektorový analyzátor (SFMS), single a multicollector
- Průletový analyzátor (TOF-MS)
- Iontová past (IT-MS)

Kvadrupólový spektrometr

- Quadrupole is precisely aligned square array of 2 pairs of rods
- Ions travel down central space between the rods and are filtered by mass



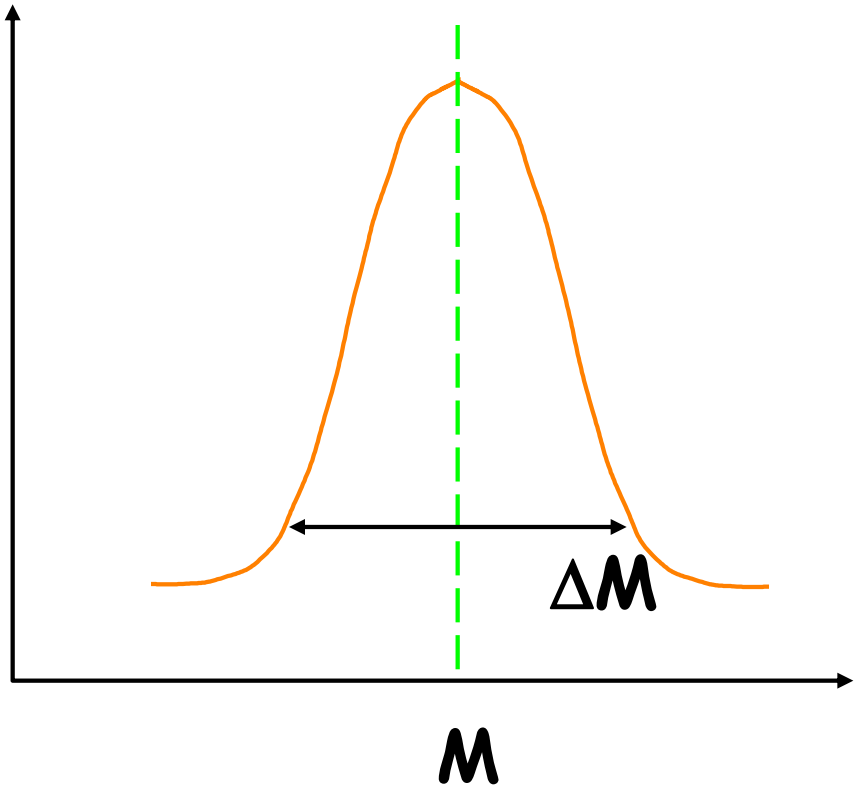


REQUIREMENTS -

- good (low) vacuum ->low scattering -> less peak spreading
- ions should be subjected to a large number of RF cycles -> efficient filtering - function of rod length and quadrupole RF frequency (3MHz rf on the 7500)
- RF field should be hyperbolic for best peak shape, from hyperbolic profile rods Round rods are cheaper to manufacture, but cannot achieve the same peak separation unless resolution is varied for specific masses

HPST
High Performance
Separation Technologies

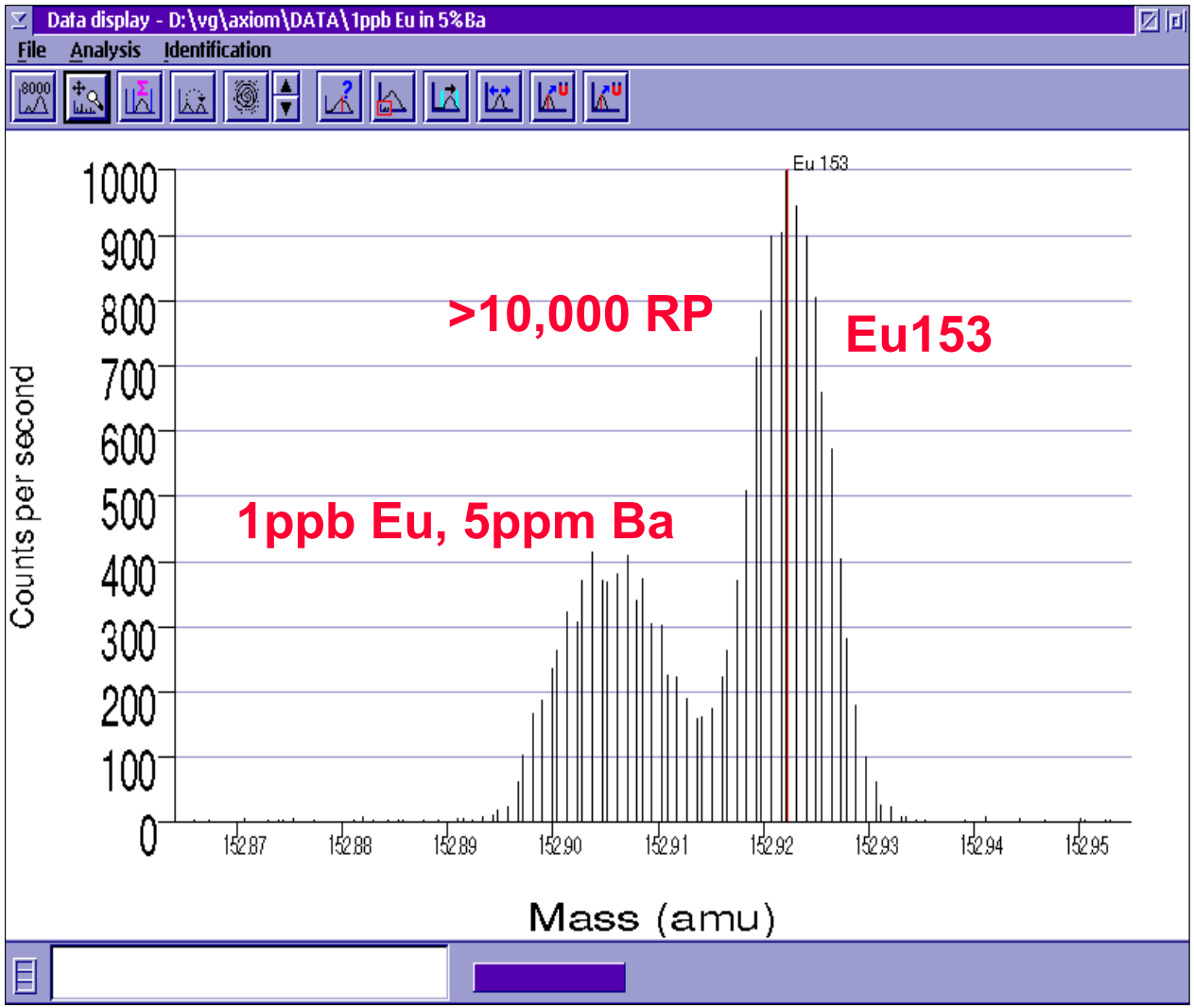
Rozlišovací schopnost (resolving power)



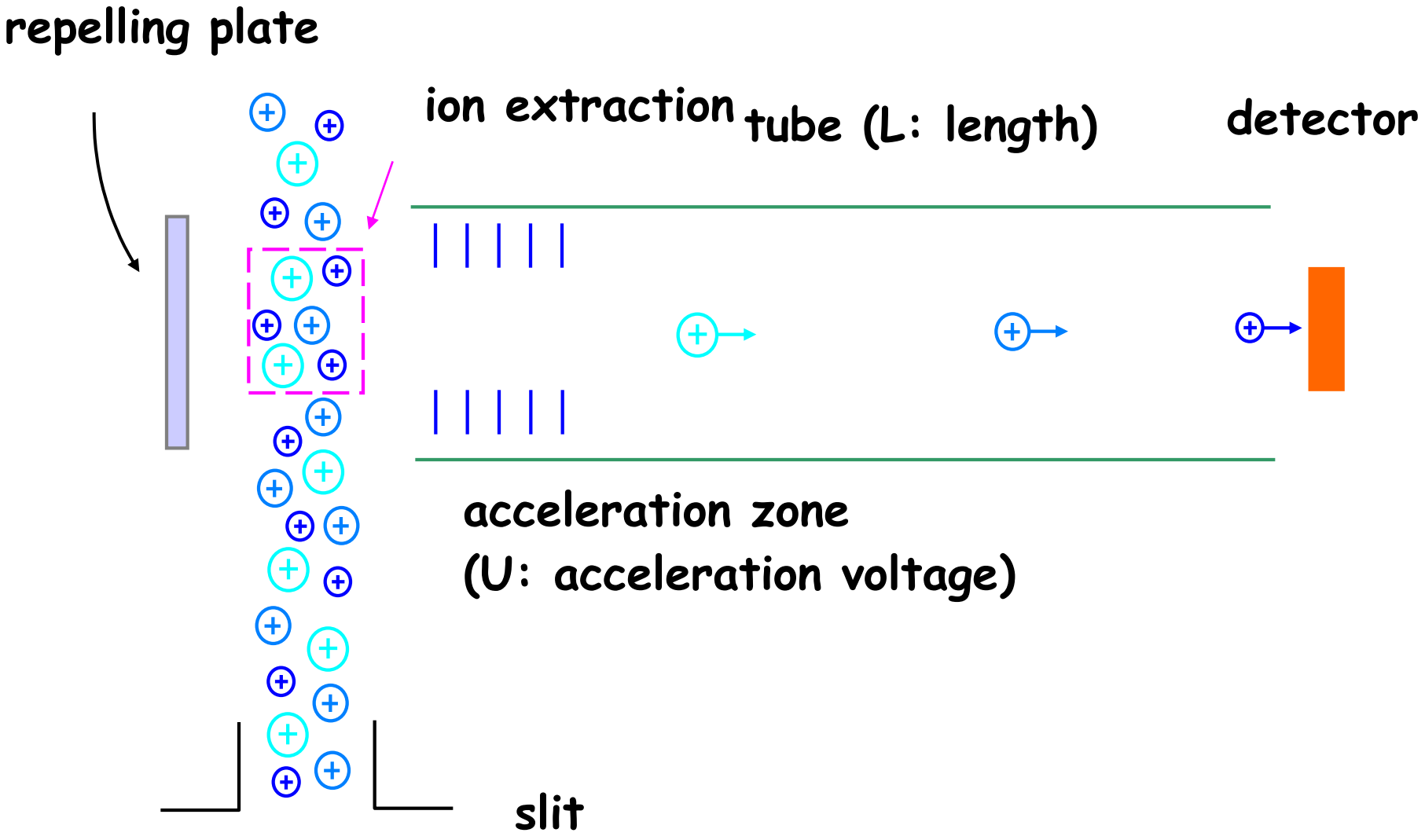
$$R = \frac{M}{\Delta M}$$

ΔM se měří při 50% nebo 10% maximální intenzity píku

Separace BaO^+/Eu^+

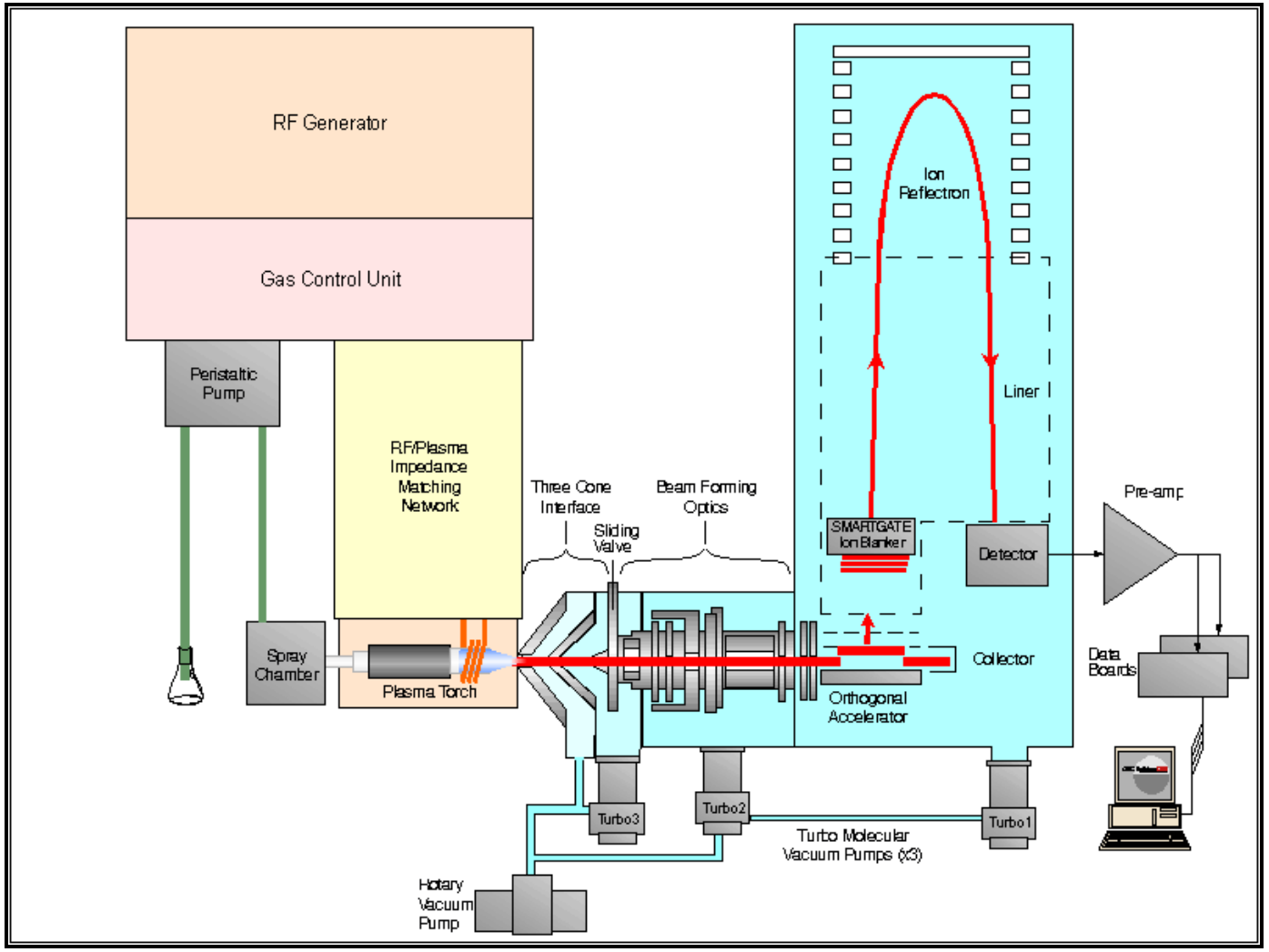


TOF-MS s ortogonální extrakcí

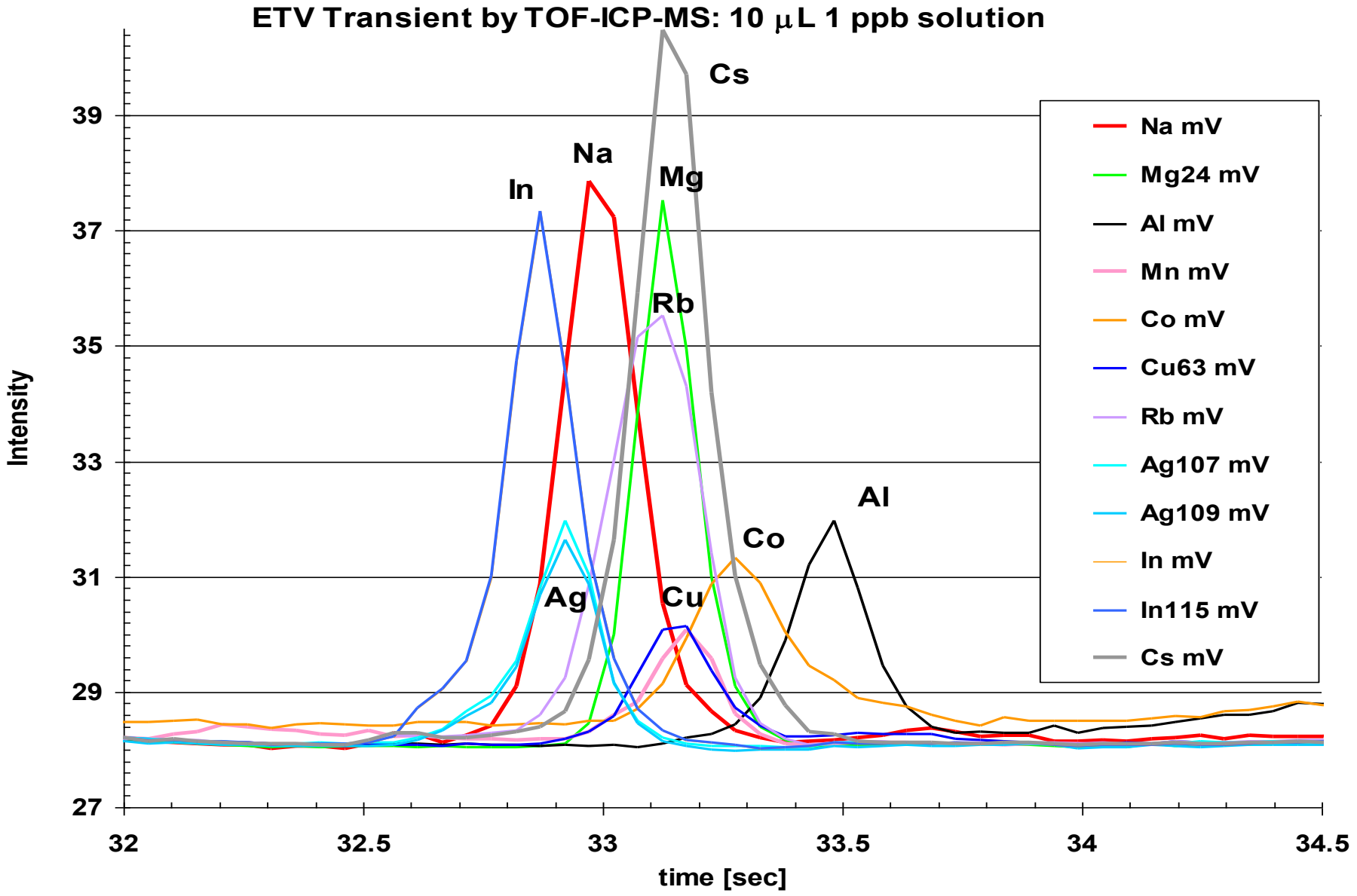


ICP time-of-flight MS (GBC)

Schema orthogonálního uspořádní



RENAISSANCE ICP-TOF-MS



Analytické vlastnosti

- Spektra/molekulární ionty
- Dynamický rozsah
- Tolerovaní koncentrace solí
- Přesnost určení izotopových poměrů
- Správnost/izotopové ředění
- Meze detekce
- Aplikace

SPEKTRÁLNÍ INTERFERENCE

- Izobarické překryvy I

Interferent	analyt	korekce
$^{48}Ca^{+}$	$^{48}Ti^{+}$	$^{44}Ca^{+}$
$^{58}Fe^{+}$	$^{58}Ni^{+}$	$^{56}Fe^{+}$
$^{64}Ni^{+}$	$^{64}Zn^{+}$	$^{60}Ni^{+}$

Isobarické překryvy II

- Prvky tvořící stabilní oxidy : Ca, Ti, Cr, Sr, Zr, Mo, Nb, Ba, Ce, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Tb, Er, Ho, Yb, Tm, Hf, Lu, Ta, W, Th, U.
- Prvky tvořící 2x nabité ionty : Ca, Sc, Ti, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U.

➢Překryvy iontů oxidů

Izotop (%)	Interferent	Analyt
^{46}Ti (7,99)	$^{46}Ti\ ^{16}O^{+}$	$^{62}Ni^{+}$
^{47}Ti (7,32)	$^{47}Ti\ ^{16}O^{+}$	$^{63}Cu^{+}$
^{48}Ti (73,98)	$^{48}Ti\ ^{16}O^{+}$	$^{64}Zn^{+}$
^{49}Ti (5,46)	$^{49}Ti\ ^{16}O^{+}$	$^{65}Cu^{+}$
^{50}Ti (5,25)	$^{50}Ti\ ^{16}O^{+}$	$^{66}Zn^{+}$

Další polyatomické interference

- Ar: monomer a dimer, kombinace mezi izotopy 36, 38 a 40.
- voda: O, OH, kombinace s Ar
- vzduch: N_2, N_2H, N
- kyseliny, Cl, S, kombinace s Ar, O, H
- Další specie.

Překryvy polyatomických iontů

Interference pozadí: argon, voda, kyseliny

Ion	(%)	H_2O/5%HNO_3	5% H_2SO_4	5% HCl
$^{28}Si^+$	92,21	$^{14}N^{14}N$, $^{12}C^{16}O^+$		
$^{31}P^+$	100	$^{14}N^{16}OH^+$		
$^{32}S^+$	95,02	$^{16}O^{16}O^+$		
$^{35}Cl^+$	75,77	$^{16}O^{18}OH^+$	$^{34}SH^+$	
$^{39}K^+$	93,08	$^{38}ArH^+$		
$^{40}Ca^+$	96,97	$^{40}Ar^+$		
$^{45}Sc^+$	100	$^{12}C^{16}O^{16}OH^+$		
$^{48}Ti^+$	73,98		$^{34}S^{14}N^+$	
$^{51}V^+$	99,76			$^{35}Cl^{16}O^+$
				$^{37}Cl^{14}N^+$
$^{52}Cr^+$	83,76	$^{40}Ar^{12}C^+$, $^{36}Ar^{16}O^+$	$^{36}S^{16}O^+$	$^{35}Cl^{16}OH^+$
$^{55}Mn^+$	100	$^{40}Ar^{14}NH^+$		
$^{56}Fe^+$	91,66	$^{40}Ar^{16}O^+$		
$^{64}Zn^+$	48,89		$^{32}S^{16}O^{16}O^+$	
$^{69}Ga^+$	60,16			$^{37}Cl^{16}O^{16}O^+$
$^{75}As^+$	100			$^{40}Ar^{35}Cl^+$
$^{79}Br^+$	50,54	$^{38}Ar^{40}ArH^+$		
$^{80}Se^+$	49,82	$^{40}Ar^{40}Ar^+$	$^{32}S^{16}O^{16}O^{16}O^+$	

Potlačení spektrálních interferencí

- Použitím lepšího rozlišení
- Použitím « cold » podmínek v ICP pro snížení tvorby iontů s argonem.
- Použitím reakční/kolizní cely pro disociaci/odstranění rušících iontů

$^{40}Ar^{16}O^{+}$ vs $^{56}Fe^{+}$

- Cold plasma:

  Snížení tvorby Ar^{+} a tedy i ArO^{+}

- High resolution:

  Separace píků ArO^{+} and Fe^{+}

- Reakce v plynné fázi/kolize v cele:

  $ArO^{+} + NH_3 \rightarrow ArO + NH_3^{+}$

Rozlišení polyatomických interferencí

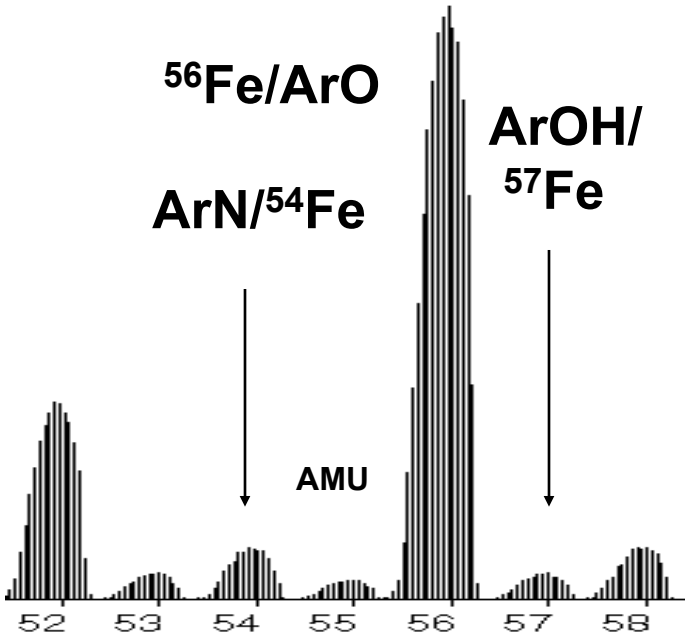
Analyt	Interferent	Požadovaná roz. schop.
$^{56}Fe^{+}$	$^{40}Ar^{16}O^{+}$	2500
$^{28}Si^{+}$	$^{14}N_2^{+}$	960
$^{32}S^{+}$	$^{16}O_2^{+}$	1800
$^{51}V^{+}$	$^{35}Cl^{16}O^{+}$	2570
$^{52}Cr^{+}$	$^{40}Ar^{12}C^{+}$	2370
$^{80}Se^{+}$	$^{40}Ar_2^{+}$	9640
$^{39}K^{+}$	$^{38}Ar^{1}H^{+}$	5700
$^{40}Ca^{+}$	$^{40}Ar^{+}$	199000
$^{75}As^{+}$	$^{40}Ar^{35}Cl^{+}$	8000

Podmínky „studeného (cold, cool)“ ICP

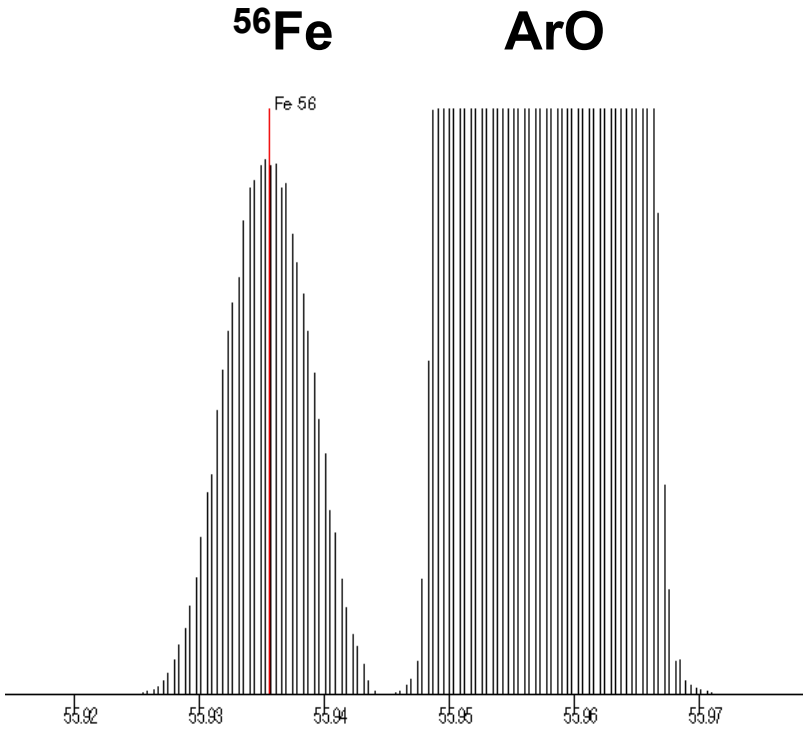
- Nízký příkon, vysoký průtok nosného plynu.
- Vhodné pro roztoky s malým obsahem rozpuštěných látek.
- Eliminuje interference Ar^+, ArO^+, ArH^+, $ArCl^+$, ArC^+, C_2^+.
- Zvyšuje úroveň MO^+ z <1% až na >20%.
- Významné matrix efekty (nerobustní podmínky v ICP).

Separace signálů analytu a interferentu

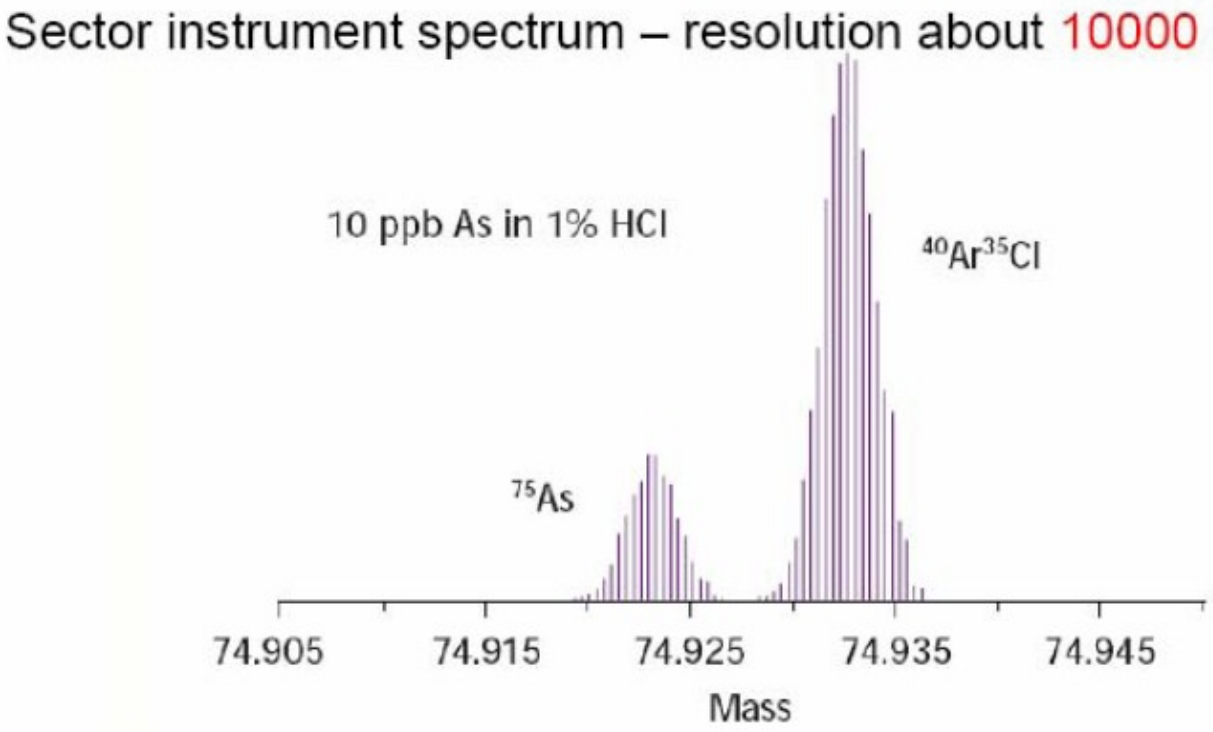
Quadrupole ICP-MS



High Resolution ICP-MS



Separace signálů analytu a interferentu



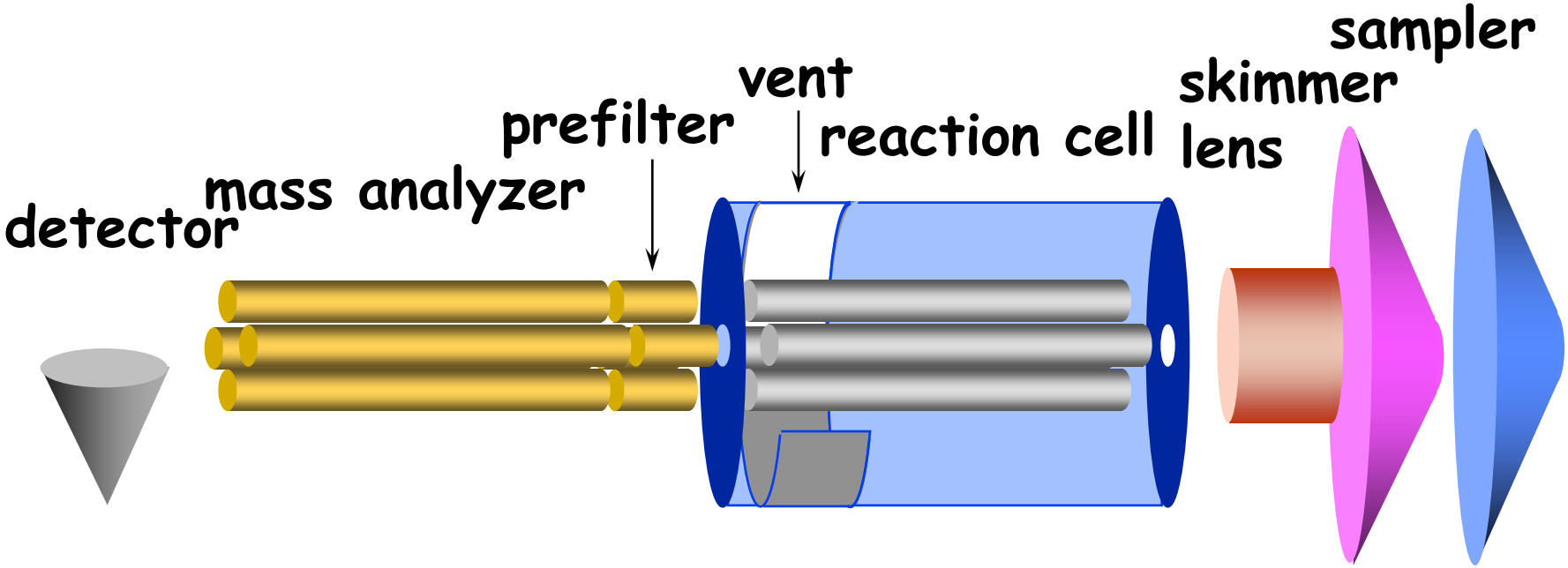
ICP/MS/TOF, resolution 2000 at mass 75 gives 0.04 amu difference - not enough for As in Cl matrix

HPST
High Performance Separation Technologies

Reakční/kolizní cely

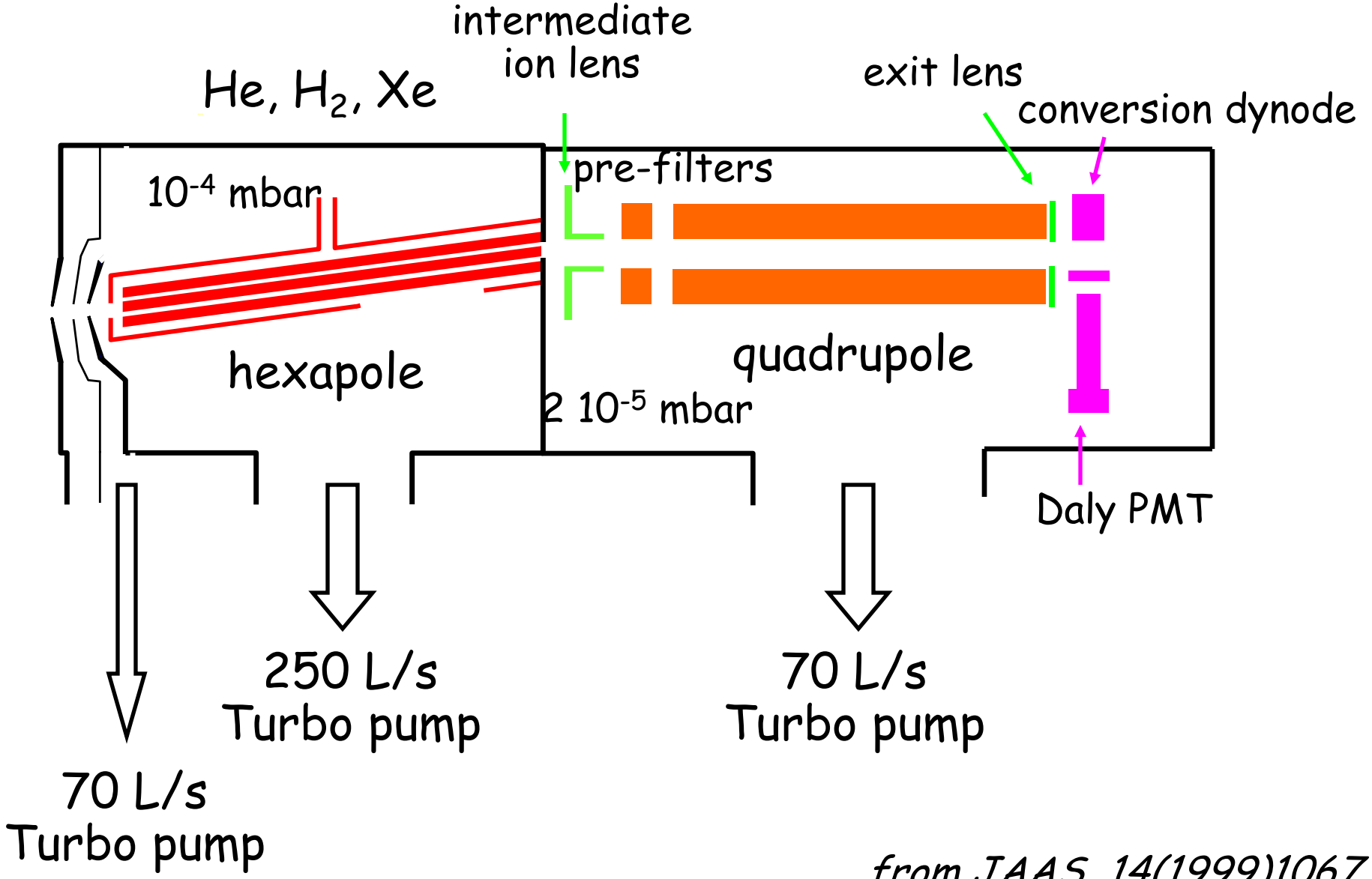
- Reakce v rf-kvadrupólové cele (DRC, dynamic reaction cell),
- Kolize v rf- rf-hexapólové cele

ELAN 6100DRC



Courtesy of S. Tanner

Kolizní cela, Micromass Platform



from JAAS, 14(1999)1067

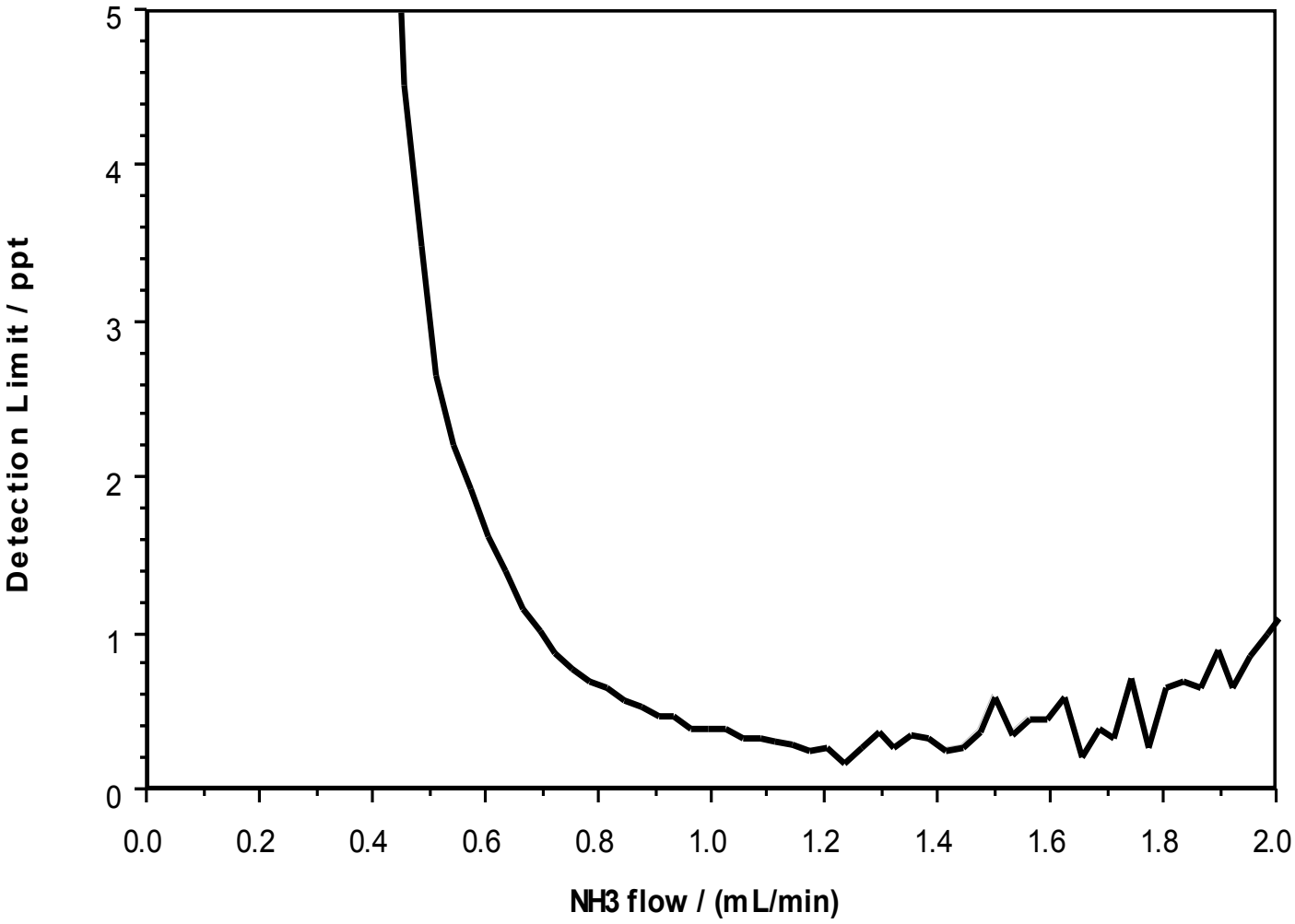
Selektivita reakce: $^{40}Ar^{16}O^+$ and $^{56}Fe^+$

- $ArO^+ + NH_3 \rightarrow ArO + NH_3^+$

  s rychlostní konstantou 1.4×10^{-9} $cm^{-3}\,s^{-1}$.
- $Fe^+ + NH_3 \rightarrow Fe + NH_3^+$

  s rychlostní konstantou 0.91×10^{-11} $cm^{-3}\,s^{-1}$.
- Reakce je tedy selektivní.

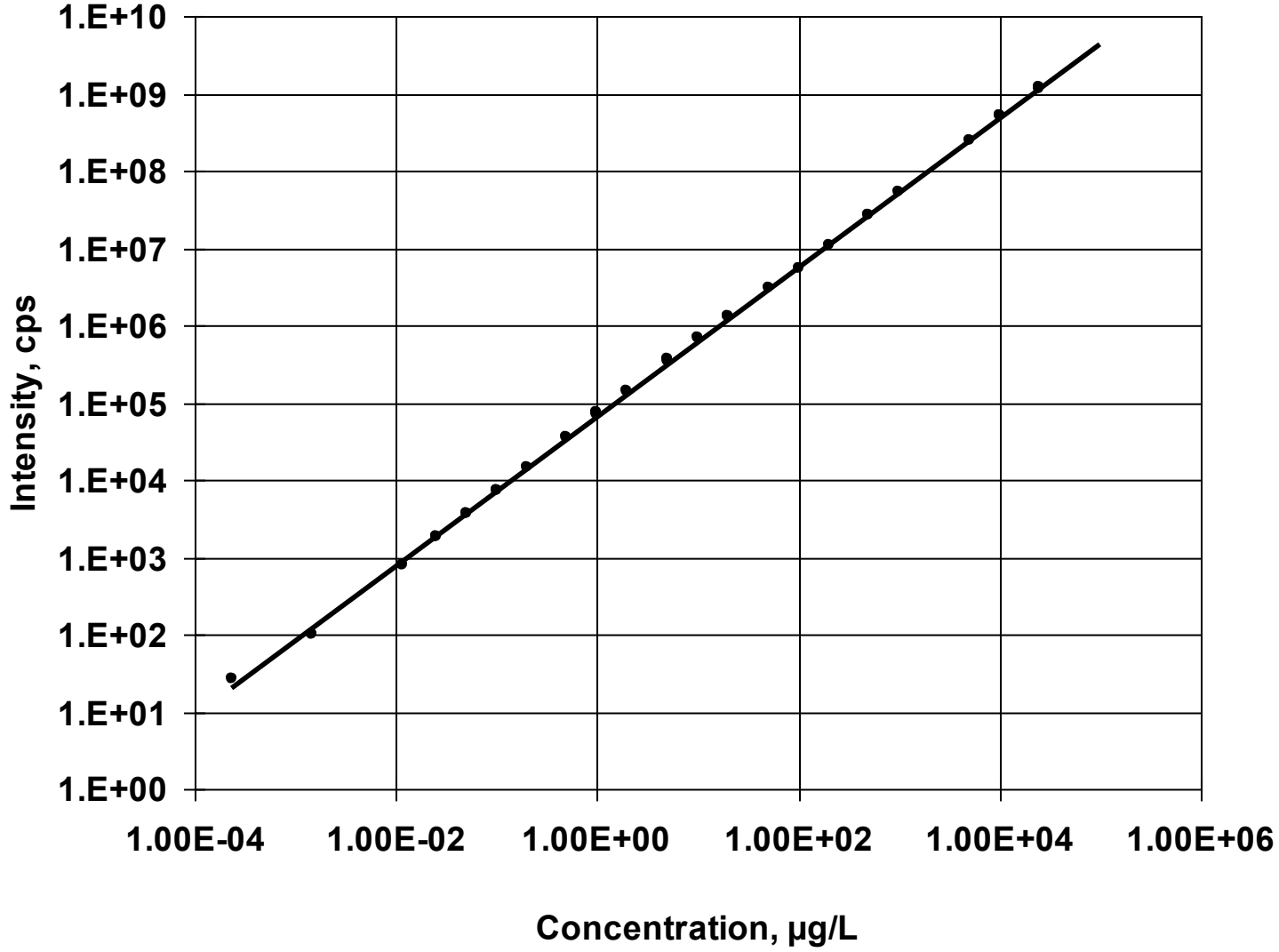
Meze detekce pro $^{56}Fe^{+}$ jako funkce průtoku NH_3 v reakční cele (S. Tanner)



Dynamický rozsah

- Zvýšení dynamického rozsahu kombinací čítání pulsů a analogového měření.
- Použití dvoustupňového elektronového násobiče.

Příklad dynamického rozsahu



Použitelné koncentrace rozpuštěného vzorku

- Prakticky použitelné limitní koncentrace
  - 0.1% $AlCl_3$
  - 0.3% NaCl
  - 20% ve vodě rozpustné organiky
- Postupné blokování konusů způsobuje drift; lze jej ovlivnit:
  - Minimalizovat vhodnou délkou doby proplachu zmlžovače
  - Kompenzovat porovnávacím prvkem
  - Eliminovat použitím Flow injection

Isotopové poměry

- QMS je sekvenční, kdežto TOF-MS a multikolector SFMS jsou simultánní.
- Nejlepší %RSD:
  - ICP-QMS: < 0.1%
  - ICP-TOFMS: < 0.1%
  - ICP-MC-SFMS: < 0.01%

Meze detekce ICP-MS

- IDL – instrumental detection limit $3\sigma_{BL}$
- MDL – method detection limit (až 2x vyšší)
- PQL – practical quantitation limit (až 10x vyšší)

Skutečné meze detekce závisejí na:

- Hodnotě „pozadí“ –laboratoře a přístroje
- Osnově vzorku
- Metodě odběru vzorku a jeho zpracování
- Zručnosti operátora

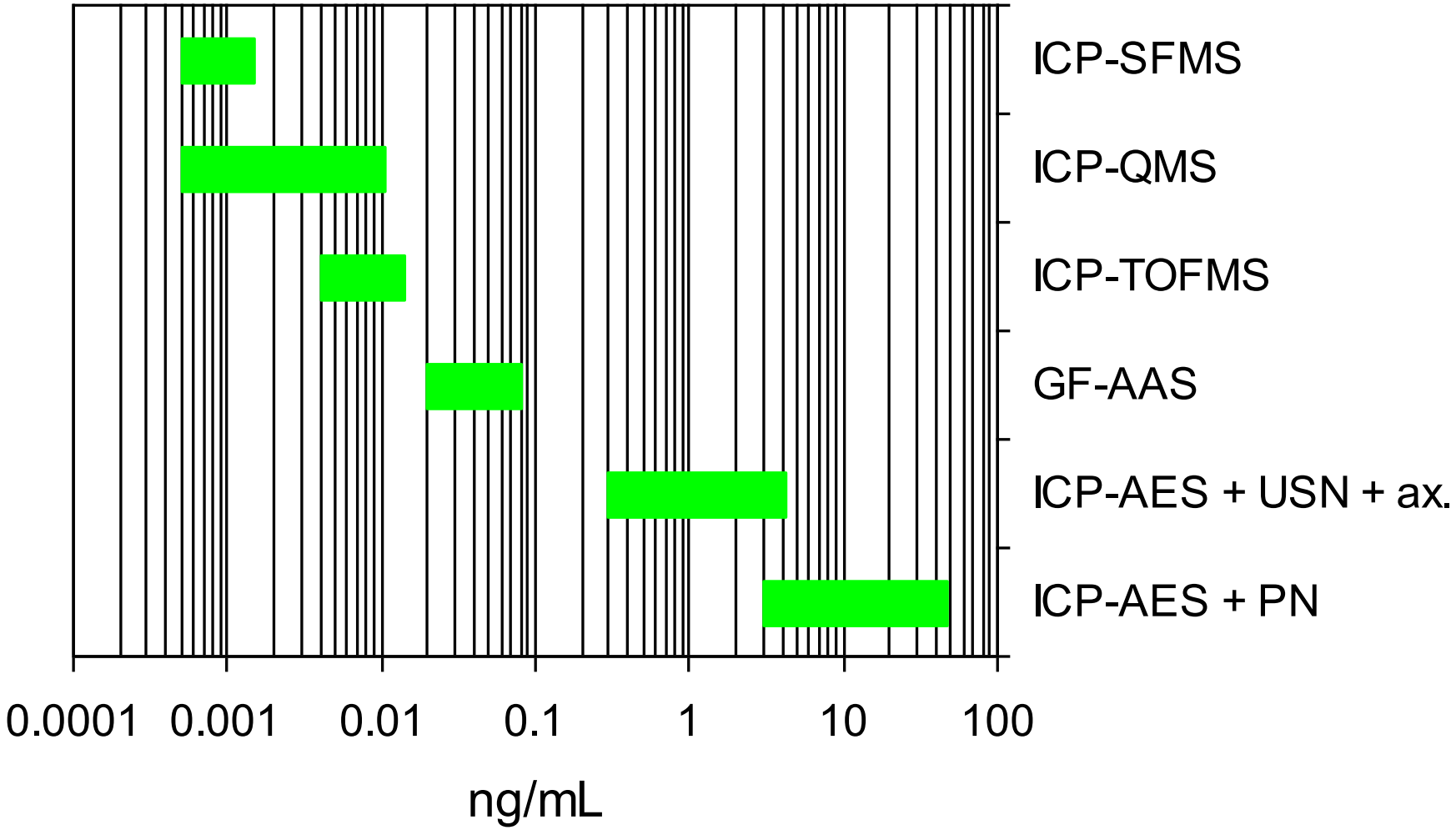
Přístrojové (IDL) meze detekce ICP-MS $3\sigma_{BL}$

Přibližné meze detekce ELAN 6000/6100 ICP-QMS (Courtesy of PerkinElmer, Inc.)

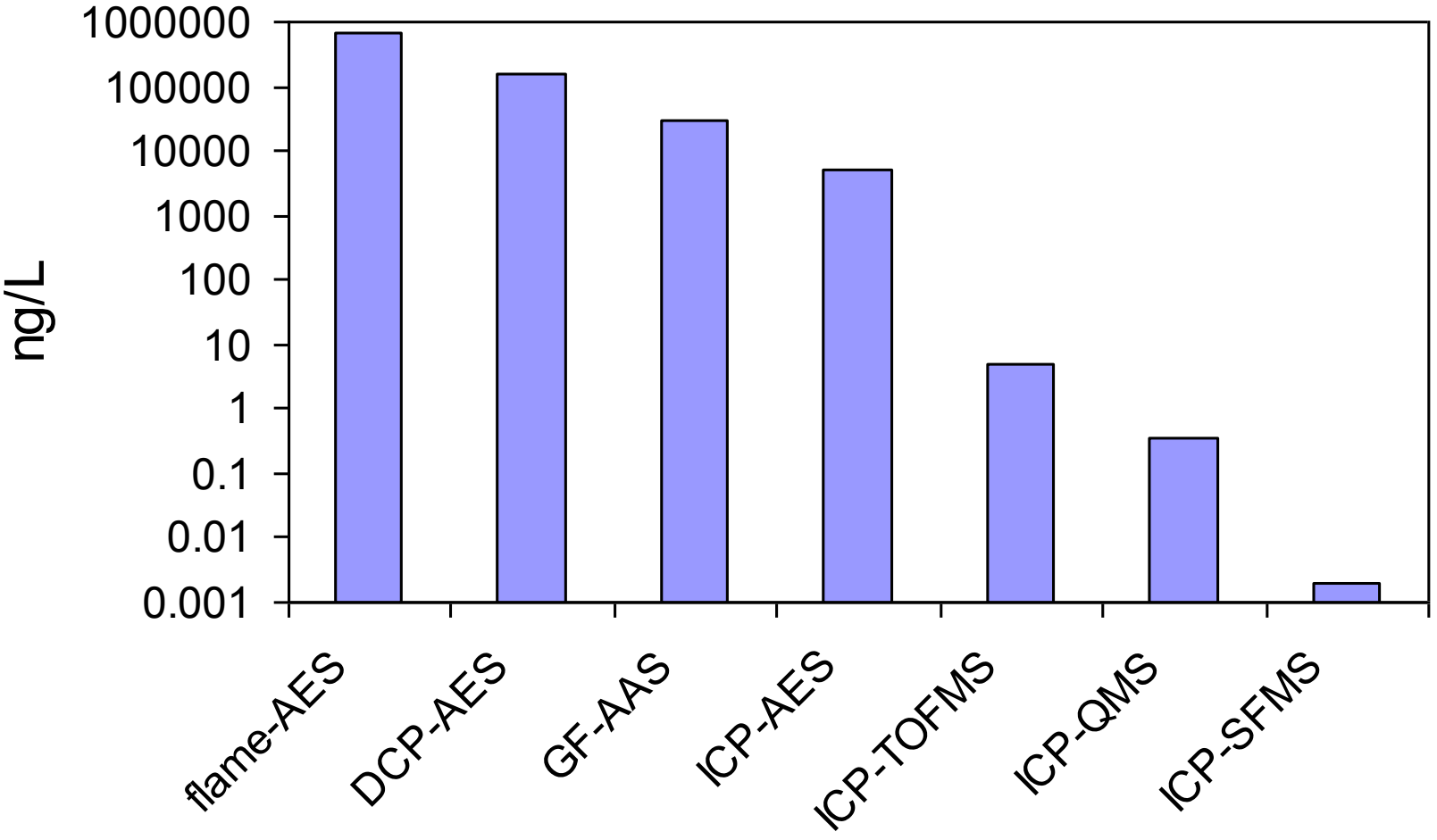
Výhody ICP-MS ve srovnání s relevantními technikami

- Meze detekce ICP-MS jsou pro většinu prvků lepší než u ET-AAS
- Rychlost provedení analýz je vyšší než u ETAAS
- Minimální nespektrální interference osnovy „matrix effect“ ICP-MS díky vysoké teplotě ICP umožňují spolehlivou analýzu vzorků i se složitou osnovou
- ICP-MS vykazuje nižší meze detekce než ICP-OES a současně srovnatelnou rychlost měření
- ICP-MS umožňuje stanovení izotopů

Meze detekce (μg/L) pro Pb



Trend meze detekce U (ng/L) s vývojem nových technik



Aplikace

Aplikace na kvalitu surovin a produktů

- Potraviny, pitná voda, léčiva:
  - Analyty: Pb, Cd, As, Ni, Be, Hg
- Průmysl: elektrotechnický, sklářský, metalurgický, jaderná energetika:
  - polovodiče, vysoce čistý křemík, mikroprocesory, termočlánky,
  - optická skla pro náročné aplikace (teleskopy, fotografická technika, optovodiče),
  - „čtyřdevítkové“ a „pětidevítkové“ kovy , např. Au.

Analýzy vzorků životního prostředí

- Analyty: Pb, Cd, As, Hg.
- Koncentrátory kovů: mechy, lišejníky, houby
- Moře a oceány: lastury a ulity měkkýšů, mořský korál
- Nízké meze detekce ICP-MS ⇒ malé množství vzorku ⇒ sledování růstu (vrstvy) korálů (As, Hg)
- Potravní řetězec: predátoři (draví ptáci, jejich vejce, skořápky)

Geologie

- Prvky vzácných zemin – poměry koncentrací
- Uran
- Jod v podzemních vodách
- Izotopové poměry

Měření izotopových poměrů

- **Olovo:** ^{204}Pb (1,4 %); ^{206}Pb (24,1 %); ^{207}Pb (22,1 %); ^{208}Pb (52,3 %).
- ^{204}Pb přirozený x (^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb) radioaktivní rozpadové řady U a Th
- Využití:
  - archeologie (kovové předměty, pigmenty historických obrazů
  - environmentální chemie (říční a mořské sedimenty, polétavý prach)
- **Uran:** ^{238}U (99,28 %); ^{235}U (0.72 %); ^{234}U (0,06 %)

Obohacování uranu, odpad ^{238}U (99,28 %) – vysoká hustota (výroba střeliva), environmentální studie.

Prvková a izotopová analýza

CRITICAL REVIEW www.rsc.org/jaas | Journal of Analytical Atomic Spectrometry

Determination of Pu isotope concentrations and isotope ratio by inductively coupled plasma mass spectrometry: a review of analytical methodology

Cheol-Su Kim,*[a] Chang-Kyu Kim,[b] Paul Martin[b] and Umberto Sansone[b]

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007 *J. Anal. At. Spectrom.*, 2007, **22**, 827–841

^{237}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu, monitorování v životním prostředí

- **v okolí jaderných elektráren,**
- **úložišť jaderného odpadu (JO),**
- **zařízení na zpracování JO.**

Původ: jaderné zkoušky : 15 TBq (239 + 240), n GBq – zpracování JO
Metody:α-spektrometrie, LSC, MS (TIMS, AMS, SIMS, RIMS, ICP-MS)
ICP-MS: separace Aexg, Cexg, SPE, LC, HPLC, koprecip., m.d. 10^{-18} g, interference $^{238}U^{1}H^{+}$

Prvková a izotopová analýza

PAPER www.rsc.org/jaas | Journal of Analytical Atomic Spectrometry

Space charge and mass discrimination effects on lead isotope ratio measurements by ICP-QMS in environmental samples with high uranium content

Rui Santos,*[a] M. J. Canto Machado,[a] Izabel Ruiz,[b] Kei Sato[b] and M. T. S. D. Vasconcelos[c]

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007 *J. Anal. At. Spectrom.*, 2007, **22**, 783–790

Izotopové složení ^{204}Pb, ^{206} Pb, ^{207}Pg, ^{207}Pb, závisí na zdroji:

- **spalování uhlí nebo benzínu,**
- **metalurgická výroba, hutě**

a informuje o zdroji (přírodní, antropogenní). Analýza: Sedimenty, půda, vegetace, lidská krev, aersoly. Přesnost izotopových poměrů (TIMS 0,005%) je SFDF ICP-MS, MC-ICP-MS, < 0,01%. Problém: hm. diskriminace (prostor. náboj, iontová optika, mrtvá doba detektoru)

Prvková a izotopová analýza

PAPER www.rsc.org/jem | Journal of Environmental Monitoring

Assessing depleted uranium (DU) contamination of soil, plants and earthworms at UK weapons testing sites

Ian W. Oliver,*[a] Margaret C. Graham,[b] Angus B. MacKenzie,[a] Robert M. Ellam[a] and John G. Farmer[b]

748 | *J. Environ. Monit.*, 2007, **9**, 740–748 This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007

Monitorování použití střeliva na bázi ochuzeného uranu (DU)
„izotopové podpisy“ nalezeny v půdě, rostlinách, žížalách na místech palebných postavení a palebných cílů.
^{238}U, $t_{1/2}=4{,}5\times10^{9}$ r, ^{235}U, $t_{1/2}=7{,}0\times10^{8}$ r, ^{234}U, $t_{1/2}=2{,}5\times10^{5}$ r,
Poměry $^{234}U/^{238}U$ a $^{235}U/^{238}U$ pro monitorování.
$^{235}U/^{238}U= 0{,}046$, konst., $^{234}U/^{238}U = 0{,}8\text{-}1{,}2$ (proměnlivý, mobilita ^{234}U)
DU $^{235}U/^{238}U= 0{,}013$

Prvková a izotopová analýza

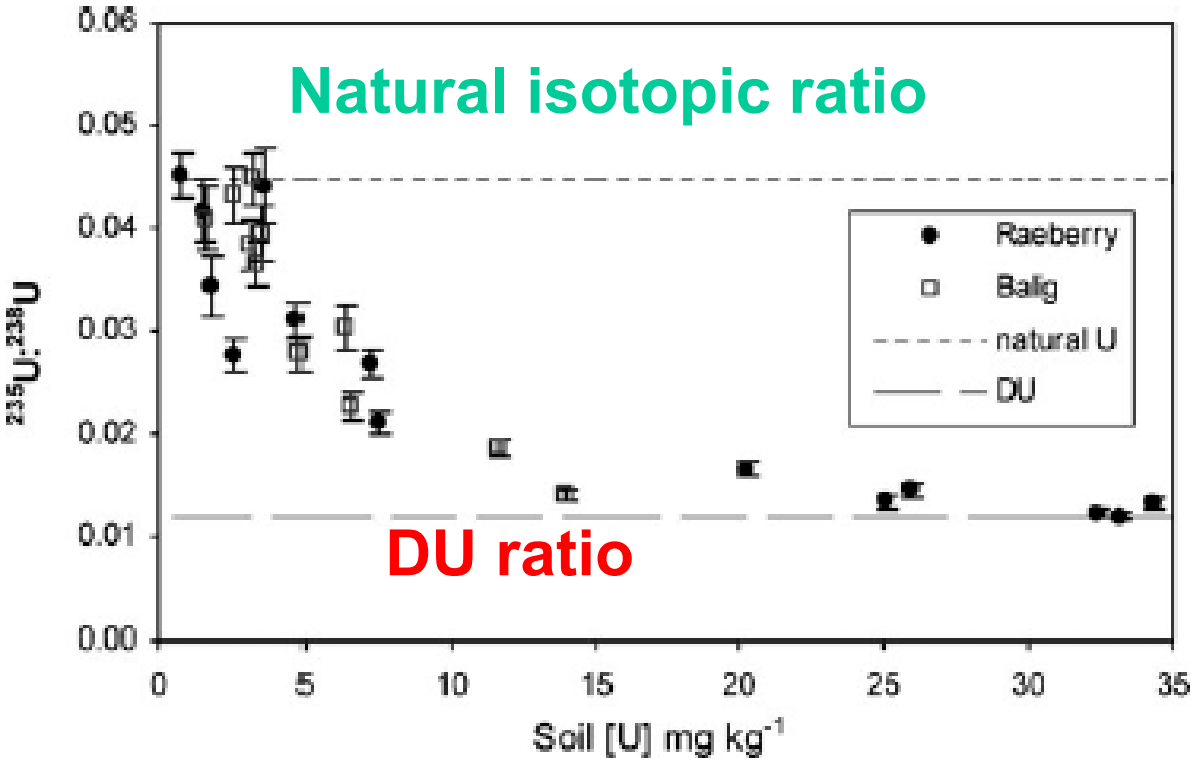


Fig. 5 Soil U concentration *vs.* ^{235}U : ^{238}U isotope activity ratio for Raeberry and Balig Gun soil samples. Natural and DU isotope ratio lines indicated. Error bars, where they exceed symbol margins, show uncertainties associated with tracer activity (^{232}U), counting statistics, sample weighing and sample replication.

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007

Prvková a izotopová analýza

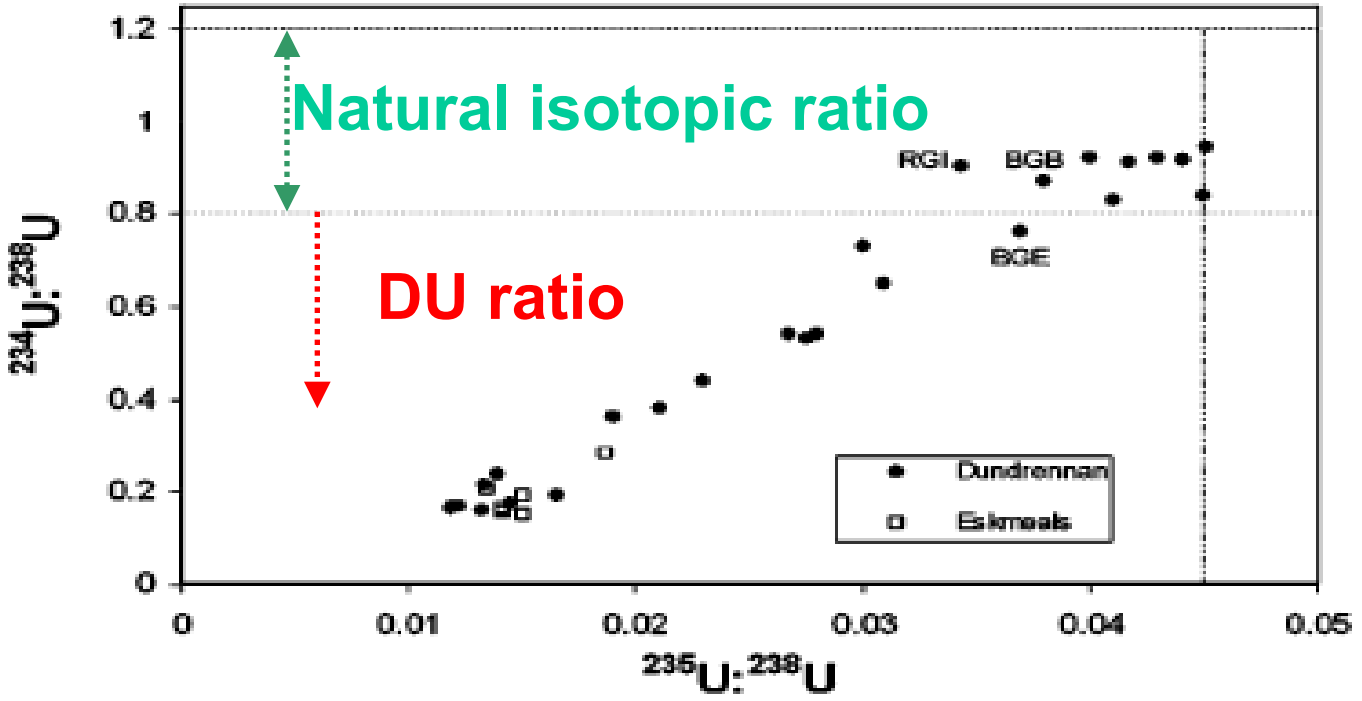


Fig. 6 ^{235}U : ^{238}U *vs.* ^{234}U : ^{238}U ratios for Dundrennan and Eskmeals soils. The horizontal dashed lines indicate the range (upper and lower limits) of the ^{234}U : ^{238}U ratio observed for natural U in soils, thus values below are indicative of DU affected soils. The vertical dashed line indicates the natural ^{235}U : ^{238}U ratio, thus all values to the left identify soils as DU affected. Samples Balig Gun B (BGB), Raeberry Gun I (RGI) and Balig Gun E (BGE) are indicated.

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007

3. Přírodní bio- & geo- procesy

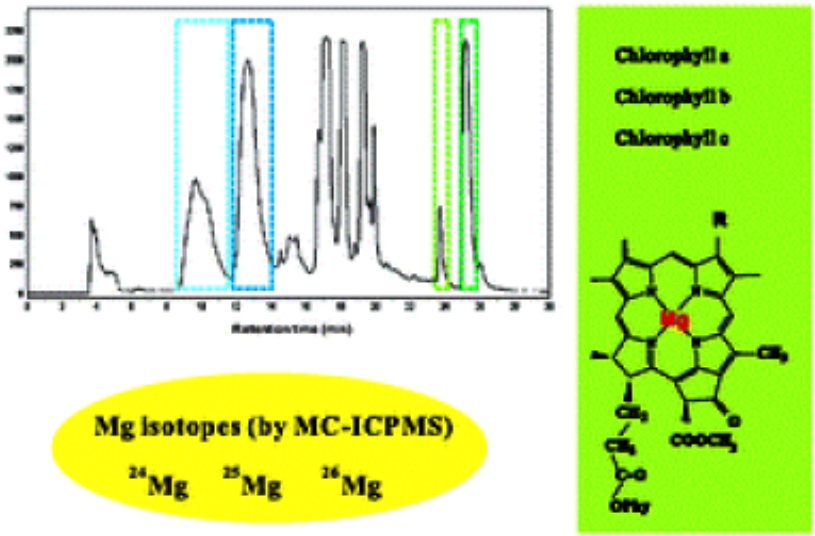
TECHNICAL NOTE www.rsc.org/jaas | Journal of Analytical Atomic Spectrometry

Magnesium isotope analysis of different chlorophyll forms in marine phytoplankton using multi-collector ICP-MS

Kongtae Ra* and Hiroyuki Kitagawa

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007

J. Anal. At. Spectrom., 2007, **22**, 817–821



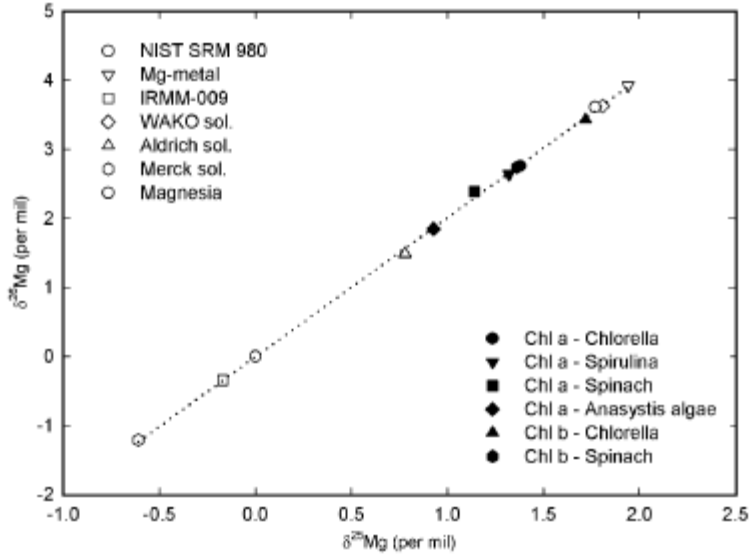


Fig. 1 Three-isotope representation of the Mg isotope ratios for Mg reagents (open) and commercially available pure chlorophylls (closed). Dotted line shows the regression line of all data.

Bio- & Geo- procesy:
Fytoplankton, Chlorofyl, speciace Mg a jeho izotopy

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007 *J. Anal. At. Spectrom.*, 2007, **22**, 817–821

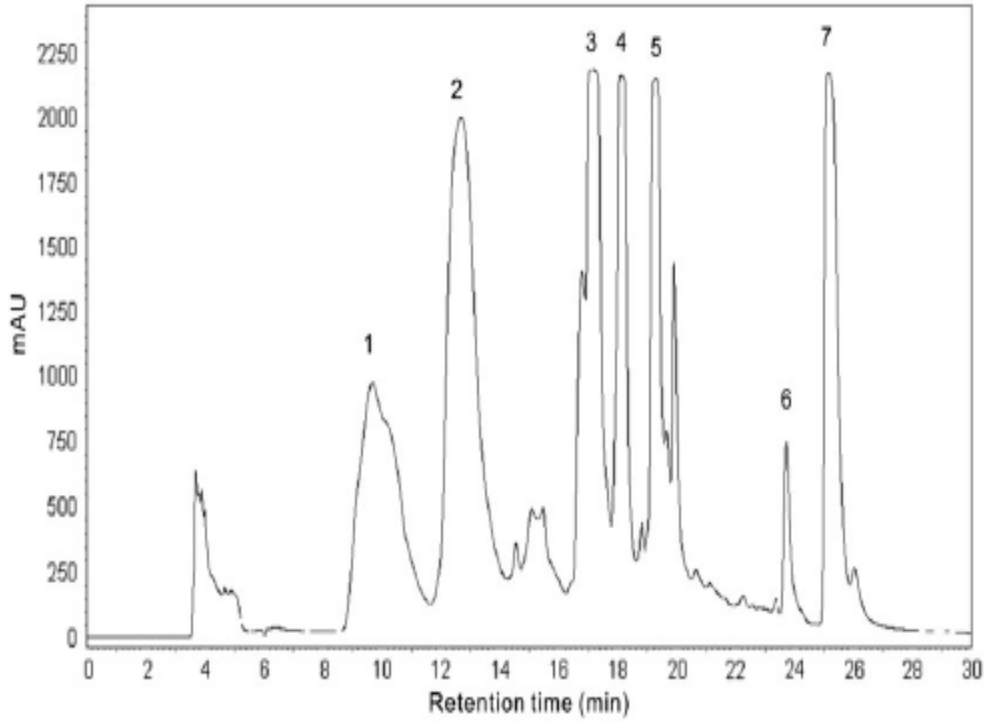


Fig. 2 Chlorophyll separation with an Inertsil ODS-3 column for phytoplankton sample (1, chlorophyll c1 + c2, 2, chlorophyll c3, 3, peridinin, 4, fucoxanthin, 5, diadinoxanthin, 6, chlorophyll b and 7, chlorophyll a).

Bio- & Geo- procesy:
Fytoplankton, Chlorofyl, speciace Mg a jeho izotopy

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007 *J. Anal. At. Spectrom.*, 2007, **22**, 817–821

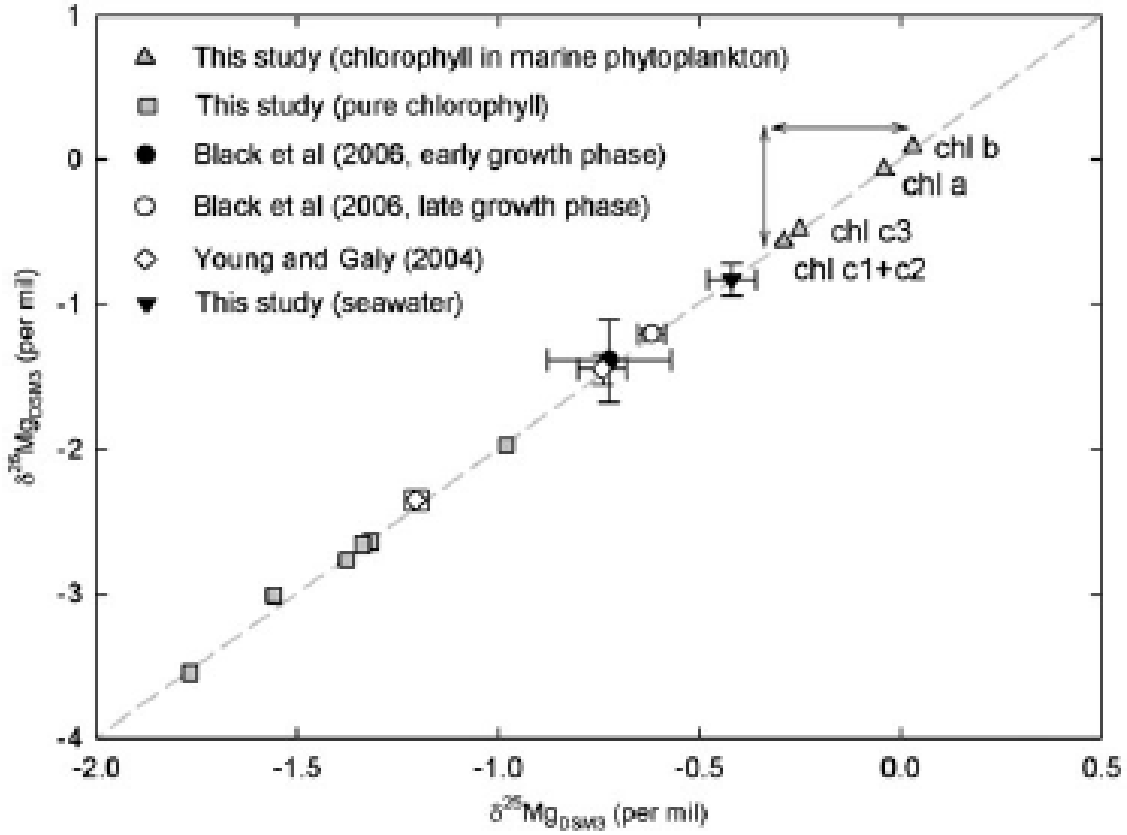


Fig. 3 Three-isotope plot of the Mg isotope ratios expressed on DSM3 standard scale (see text).

Bio/med – aplikace

PERSPECTIVE www.rsc.org/jaas | Journal of Analytical Atomic Spectrometry

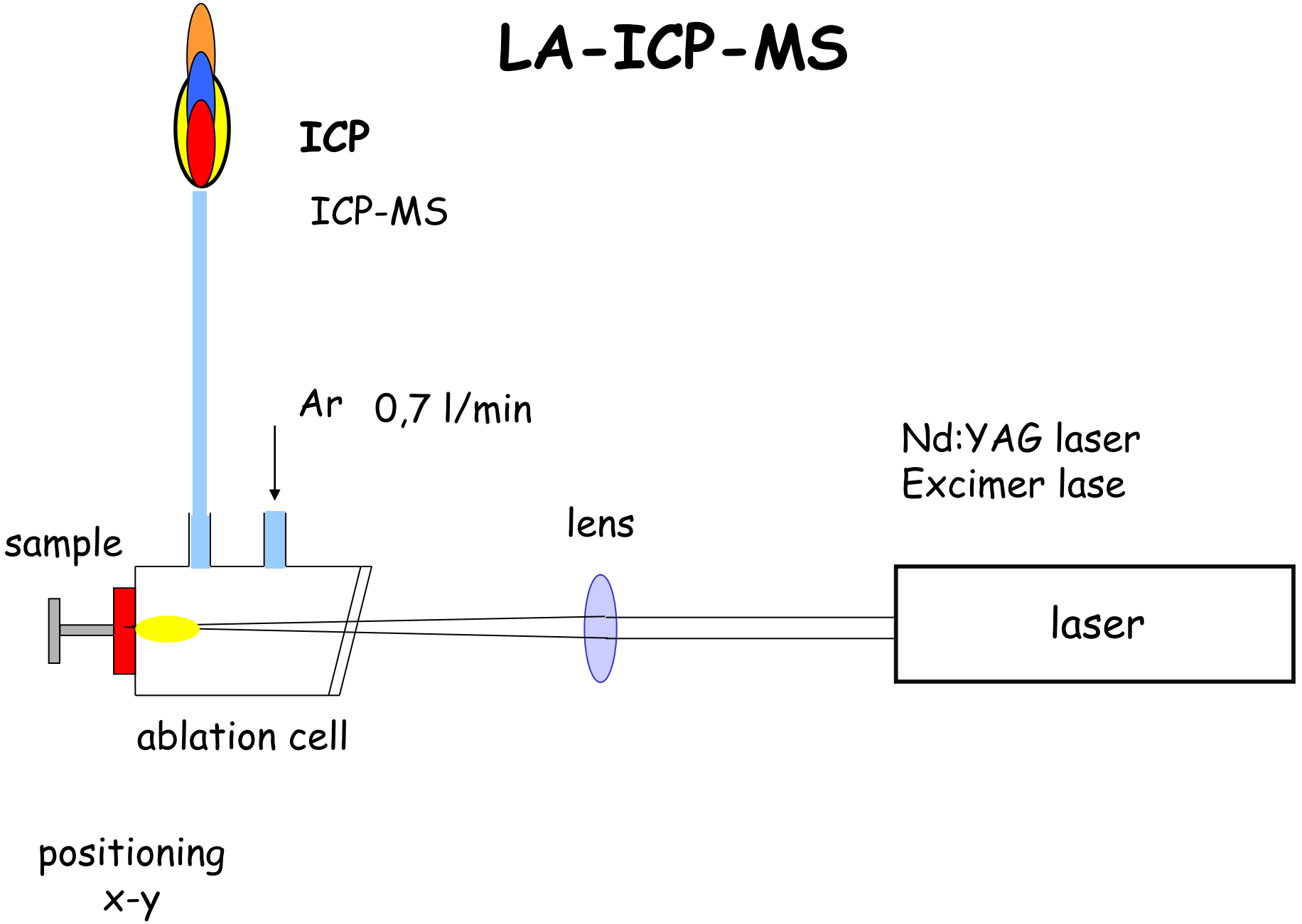
Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) in elemental imaging of biological tissues and in proteomics†

J. Sabine Becker,[a] Miroslav Zoriy,[a] J. Susanne Becker,*[c] Justina Dobrowolska[a] and Andreas Matusch[b]

| J. Anal. At. Spectrom., 2007, 22, 736–744 This journal is © The Royal Society of Chemistry 2007

Multielementární a stopová/ultrastopová analýza biologických tkání s využitím ICP-MS

LA-ICP-MS


ICP
ICP-MS
Ar 0,7 l/min
Nd:YAG laser
Excimer lase
sample
lens
laser
ablation cell
positioning
x-y

LA-ICP-MS INSTRUMENTACE

LAS, Masarykova univerzita, Brno

Nd:YAG laser UP-213 (New Wave Resaerch)

- 213 nm
- frekvence: 1-20 Hz
- délka pulzu: 4.2 ns
- spot size 4-300 μm

ICP-MS Agilent 7500ce

- generátor: 27.12 MHz
- kvadrupólový hmotnostní analyzátor
- detektor: elektronový násobič

Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) in elemental imaging of biological tissues and in proteomics†

J. Sabine Becker,[a] Miroslav Zoriy,[a] J. Susanne Becker,*[c] Justina Dobrowolska[a] and Andreas Matusch[b]

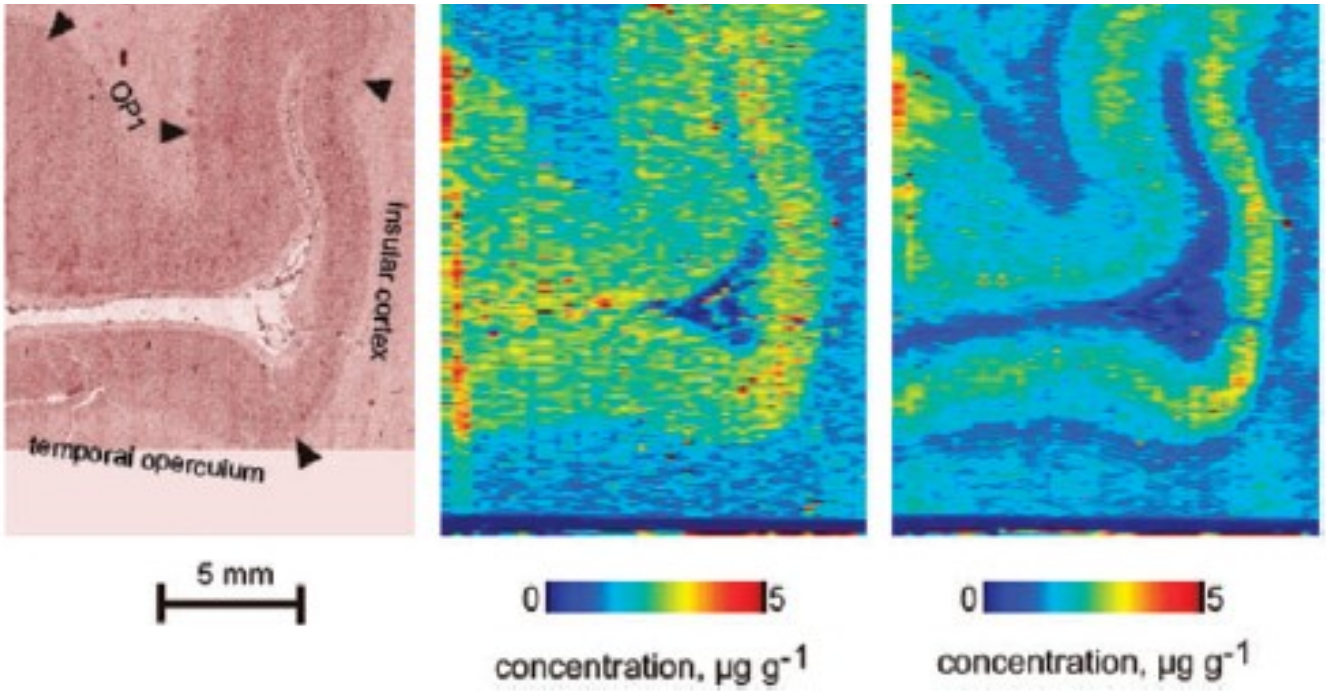


Fig. 1 Quantitative images of Zn and Cu in the posterior insular region measured by LA-ICP-MS, and light photograph (left) of the slice.

Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) in elemental imaging of biological tissues and in proteomics†

J. Sabine Becker,[a] Miroslav Zoriy,[a] J. Susanne Becker,*[c] Justina Dobrowolska[a] and Andreas Matusch[b]

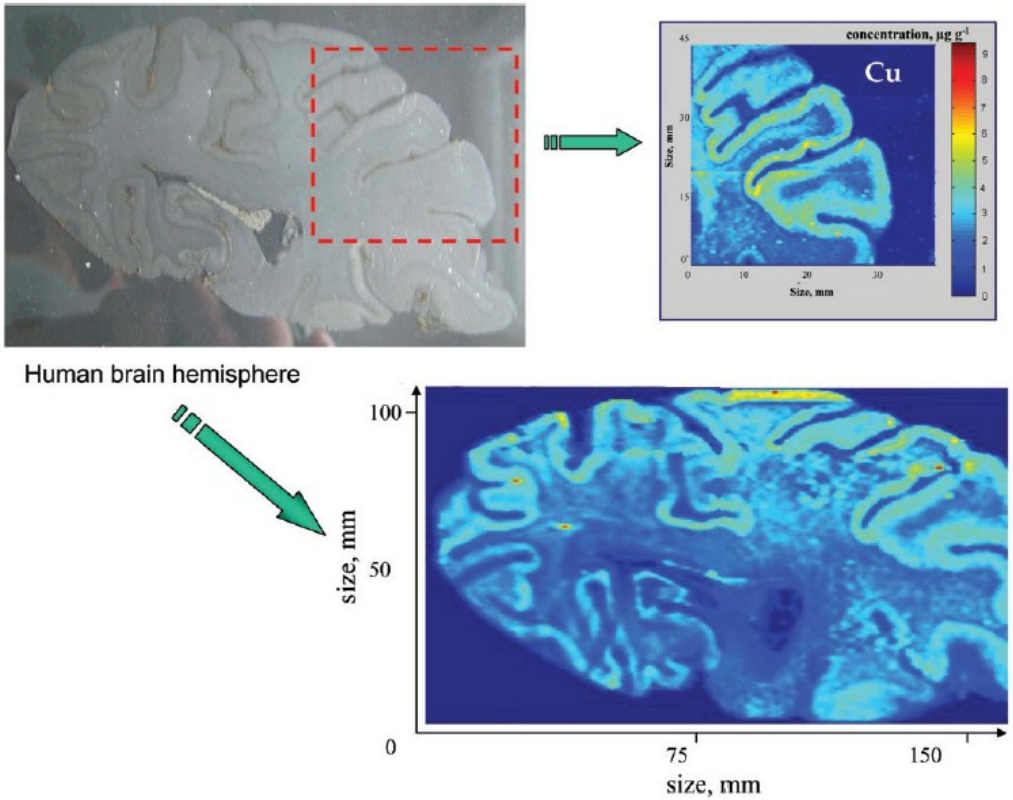


Fig. 2 Cu images in part of (top, right) and the whole (bottom, right) human hemisphere measured by LA-ICP-MS compared with the light photograph of the thin tissue section.

Děkuji Vám za pozornost