

**Исследование изотопов  $^{191-218}\text{Po}$  в  
лазерном ионном источнике на  
установке ISOLDE (ЦЕРН).**

**Статус нового лазерного комплекса  
ИРИС.**

**Д.В. Федоров**

Лаборатория короткоживущих ядер, ОФВЭ, ПИЯФ

# ПЛАН

**Эксперимент IS 456 по лазерной спектроскопии ядер полония на установке ISOLDE (ЦЕРН). Работы в 2007 и 2009, предварительные результаты 2010.**

**Новая лазерная установка комплекса ИРИС. Описание, запуск, off-line и on-line тесты в 2009.**

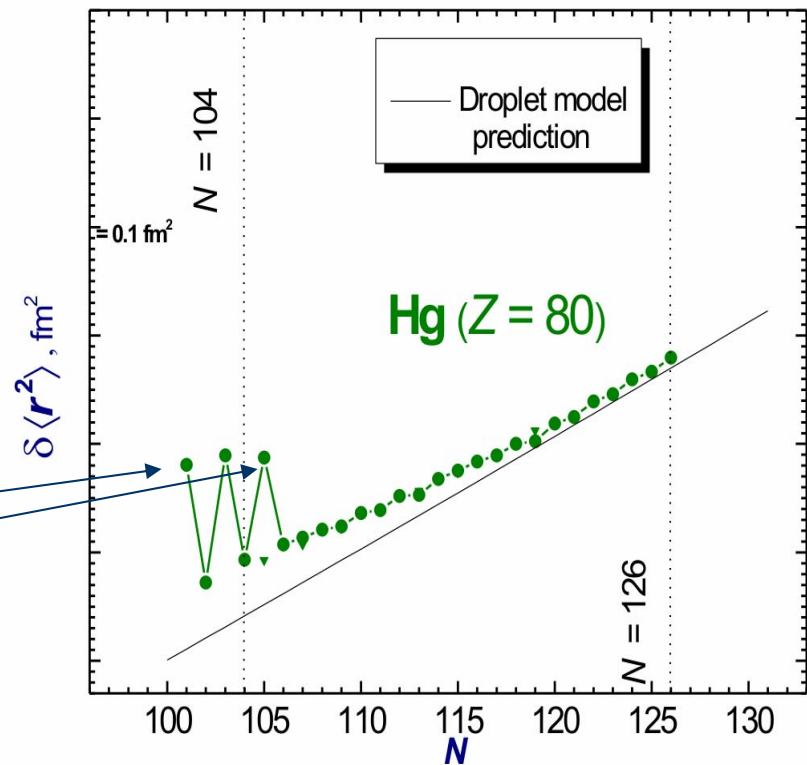
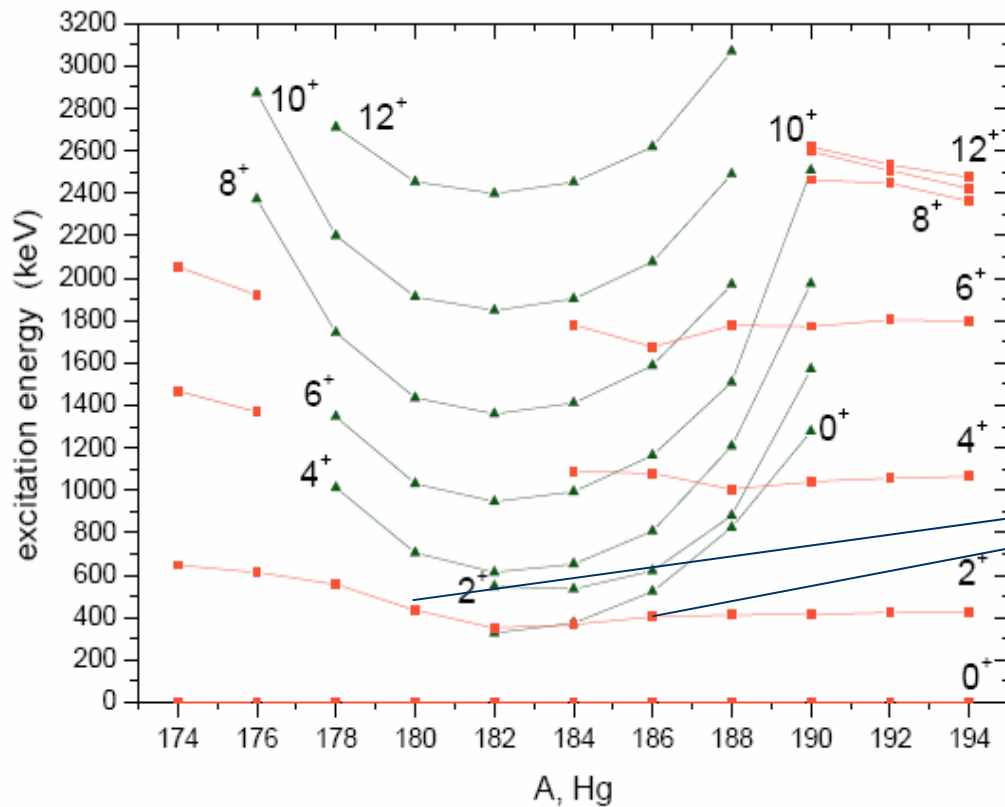
IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties  
by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy

2008

A.N. Andreyev, S. Antalic, **A.E. Barzakh**, B. Bastin, J. Billowes, J. Büscher, T.E. Cocolios, I. Darby, W. Dexters, **D.V. Fedorov**, **V.N. Fedosseev**, K. Flanagan, **S. Franchoo**, S. Fritzsche, G. Huber, M. Huyse, M. Keupers, **U. Köster**, **Yu. Kudryavtsev**, B.A. Marsh, **P. Molkanov**, **M.D. Seliverstov**, M. Sjödin, J. Van de Walle, P. Van Duppen, M. Venhart, **S. Zemlyanoy**, **Yu. Volkov**

# IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy

## Motivations

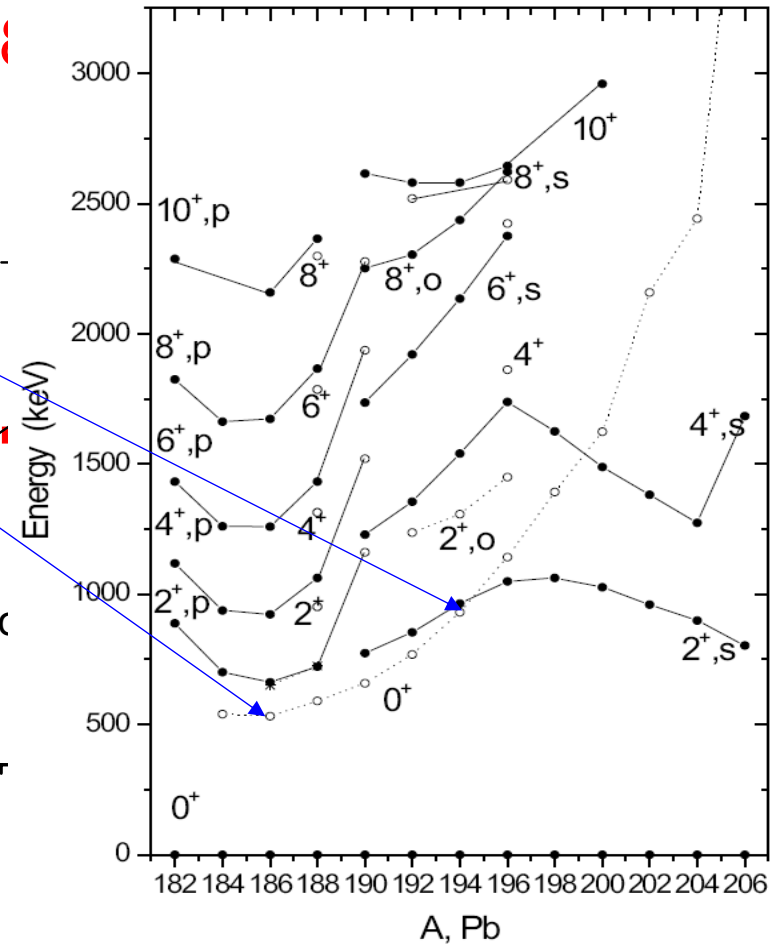
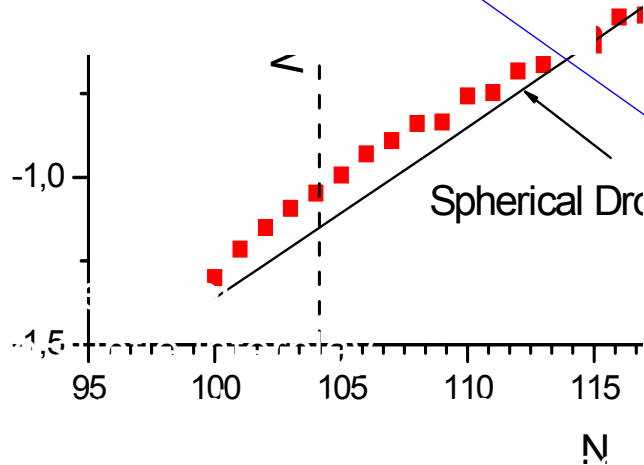
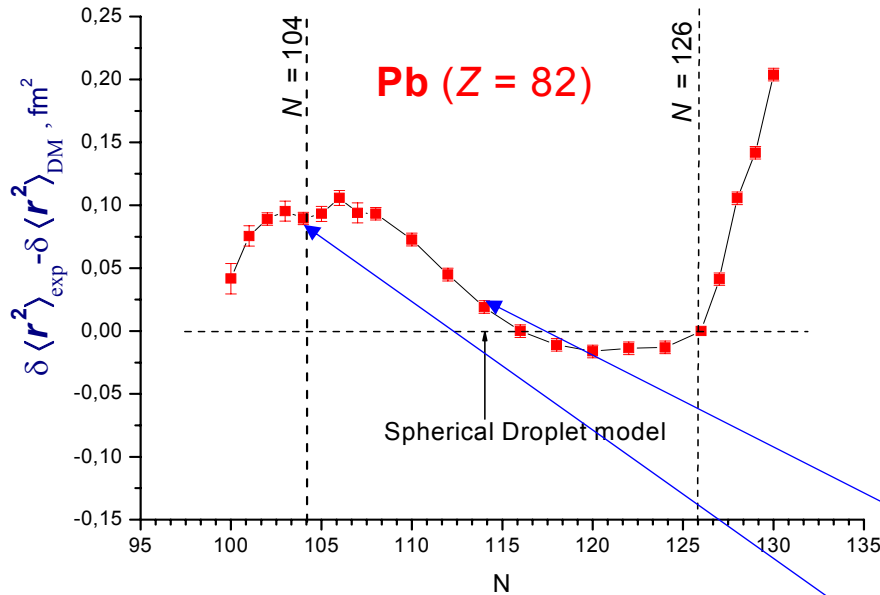


G. Ulm et al., Z. Phys. A 325 (1986) 247.

D. Fedorov PNPI, 15.06.2010

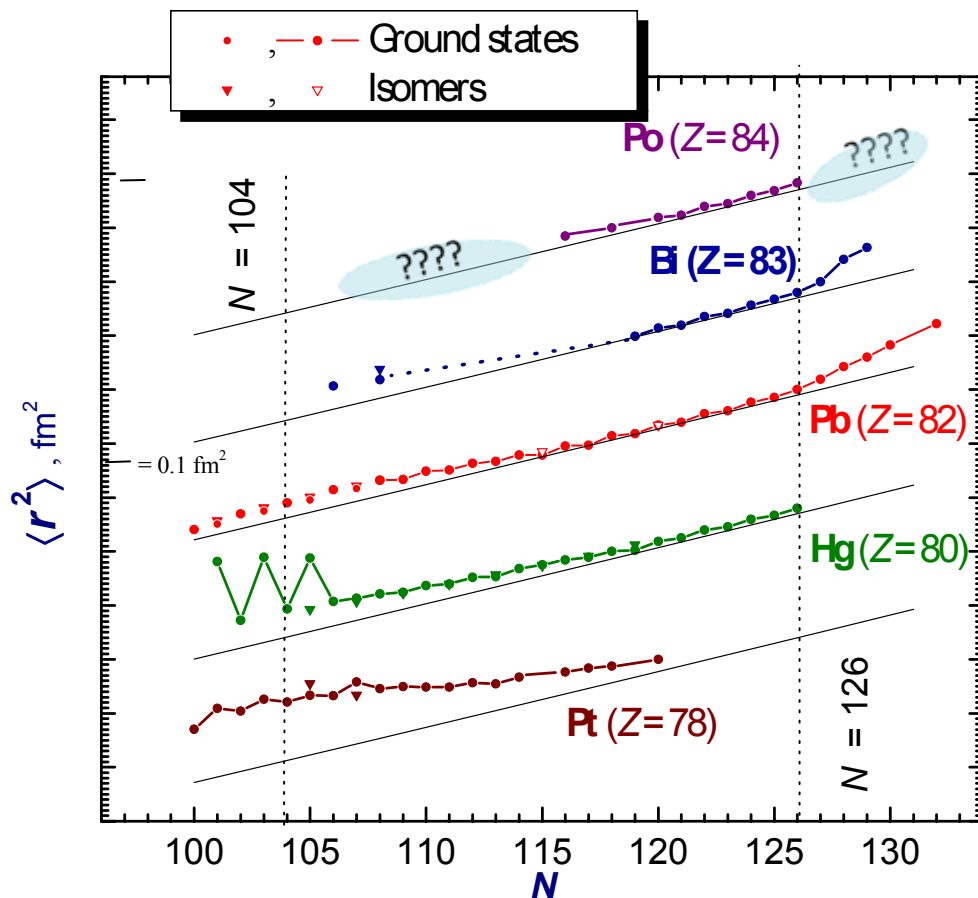
# IS-407: " Study of the Neutron Deficient $^{182-190}\text{Pb}$ Isotopes by Simultaneous Atomic and Nuclear Spectroscopy"

05, 430 (2000)



This  
cause  
of the  
with c

# IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy



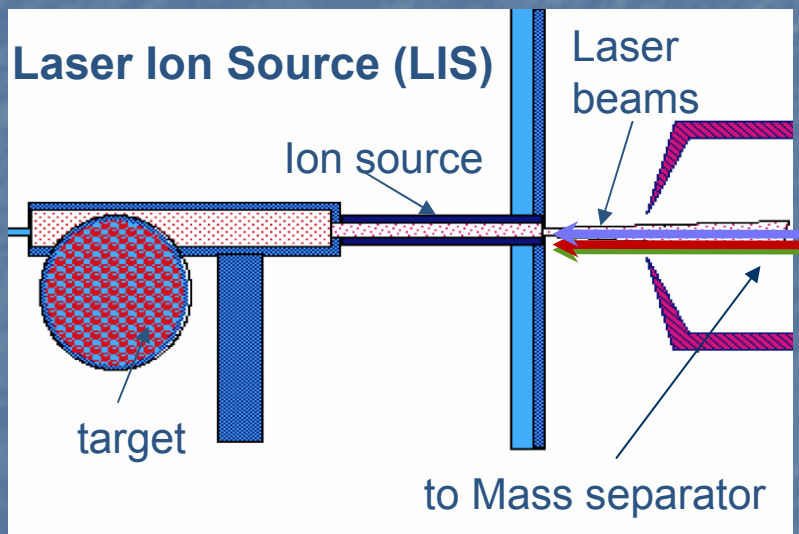
1. Intruder states and shape coexistence in Po at  $N=110$  ?

*A.N. Andreyev et al., Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 1819.*

2. Mean square charge radii behavior at  $N=126$  and  $N=104$ ?

3. Electromagnetic moments of the odd Po isotopes in this region?

# IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy

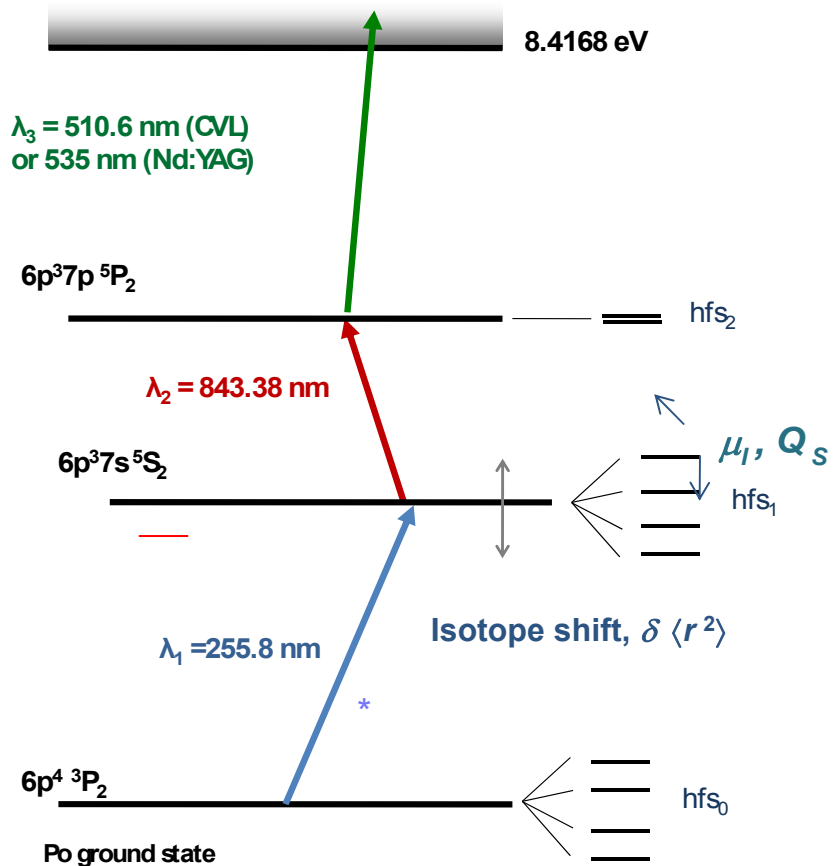


Detection:  
 Faraday Cup  
 $\alpha$ -detection (Windmill)  
 $\beta$ -detection (tape-station)  
 $\gamma$ -detection (tape-station)

## Photoionization scheme for Po

T.E. Cocolios et al. *NIM B* 266 (2008) 4403

Continuum



\*This transition was already used for optical spectroscopy (Kowalewska et al, *Phys. Rev. A*, **44** R1442, 1991.)

# IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy

## Использование ускорительного времени для IS456:

Ноябрь 2006 . Поиск наиболее эффективной схемы ионизации полония on-line.

4 суток

Июль-август 2007. Измерены изотопические сдвиги и сверхтонкая структура для цепочки изотопов  $^{194-204}\text{Po}$ .

9 суток

Июль 2009. Измерены дополнительно изотопические сдвиги и сверхтонкая структура для  $^{191-193}\text{Po}$ ,  $^{204-212}\text{Po}$  и  $^{216, 218}\text{Po}$ .

9 суток



# Isotope shifts of the even-A Po isotopes

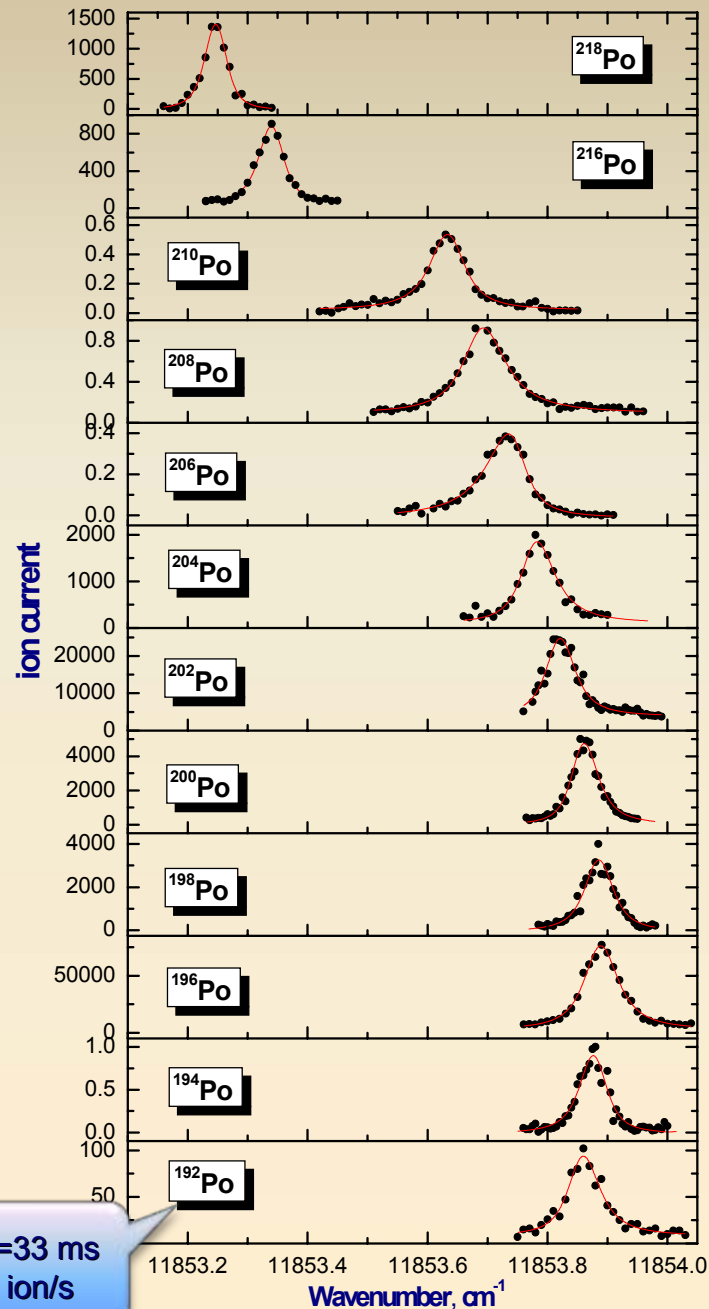
A	$\Delta\nu_{A,196}$ / MHz	$T_{1/2}$ / s	Detection
192	-1037(150)	32 ms	$\alpha$
194	-372(120)	392 ms	$\alpha$
196	0	5.56 s	$\alpha$
198	-162 (130)	1.77 m	$\alpha$
200	-905(40)	11.5 m	$\gamma$
202	-2009(100)	44.7 m	$\beta$
204	-3315(50)	3.53 h	$\gamma$
206	-4692(60)	8.8 d	FC
208	-6104(60)	2.9 a	FC
210	-7735(45)	138 d	FC
216	-16555(55)	145 ms	$\alpha$
218	-19259(75)	3.1 m	$\alpha$

Isotope shift  $\Delta\nu_{A,A'}$ :

$$\delta\nu_{A,A'} = F * \lambda_{A,A'} + (\text{NMS} + \text{SMS})$$

Rms charge radius :

$$\lambda_{A,A'} \approx 0.93 \delta\langle r^2 \rangle$$



# Isotope shifts for $^{200-210}\text{Po}$ : $\lambda=255\text{ nm}$ and $\lambda=843\text{ nm}$

255 nm - Kowalewska *et al*, *Phys. Rev. A*, 44 R1442, 1991      843 nm – *this experiment*

Limited knowledge on the atomic structure of polonium: the electronic  $F$ -factor for the transition of interest is unknown.

Large-scale electronic computations by S. Fritzsche using the GRASP code also give the  $F$ -factor from a theoretical approach for both transitions.

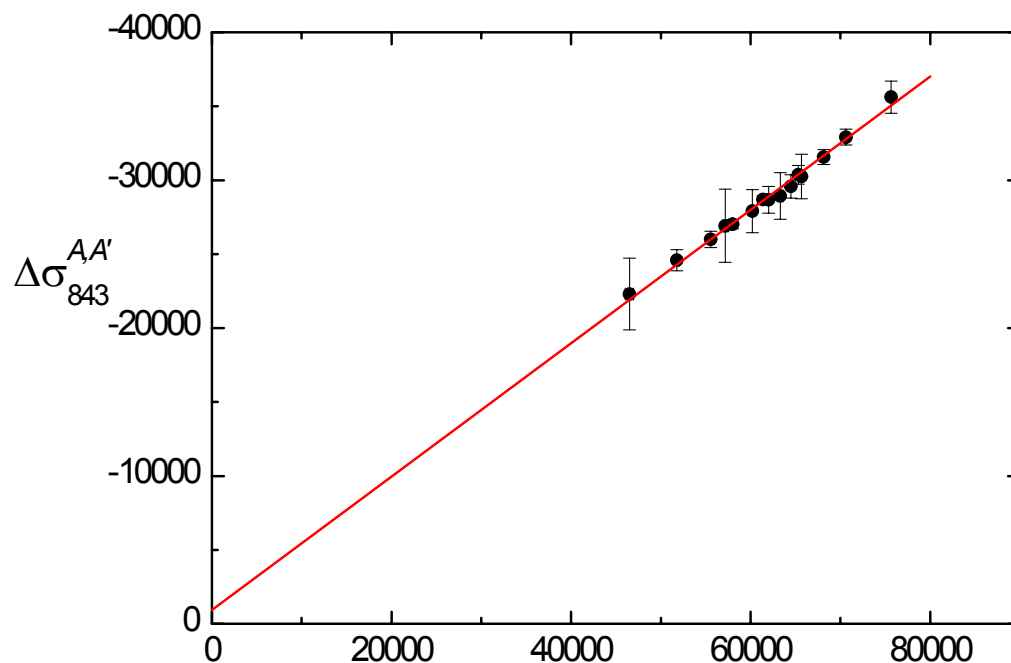
$$F_{255} = 29140 \text{ MHz/fm}^2$$

$$F_{843} = -12976 \text{ MHz/fm}^2$$

$$F_{843}/F_{255} = 0.44$$

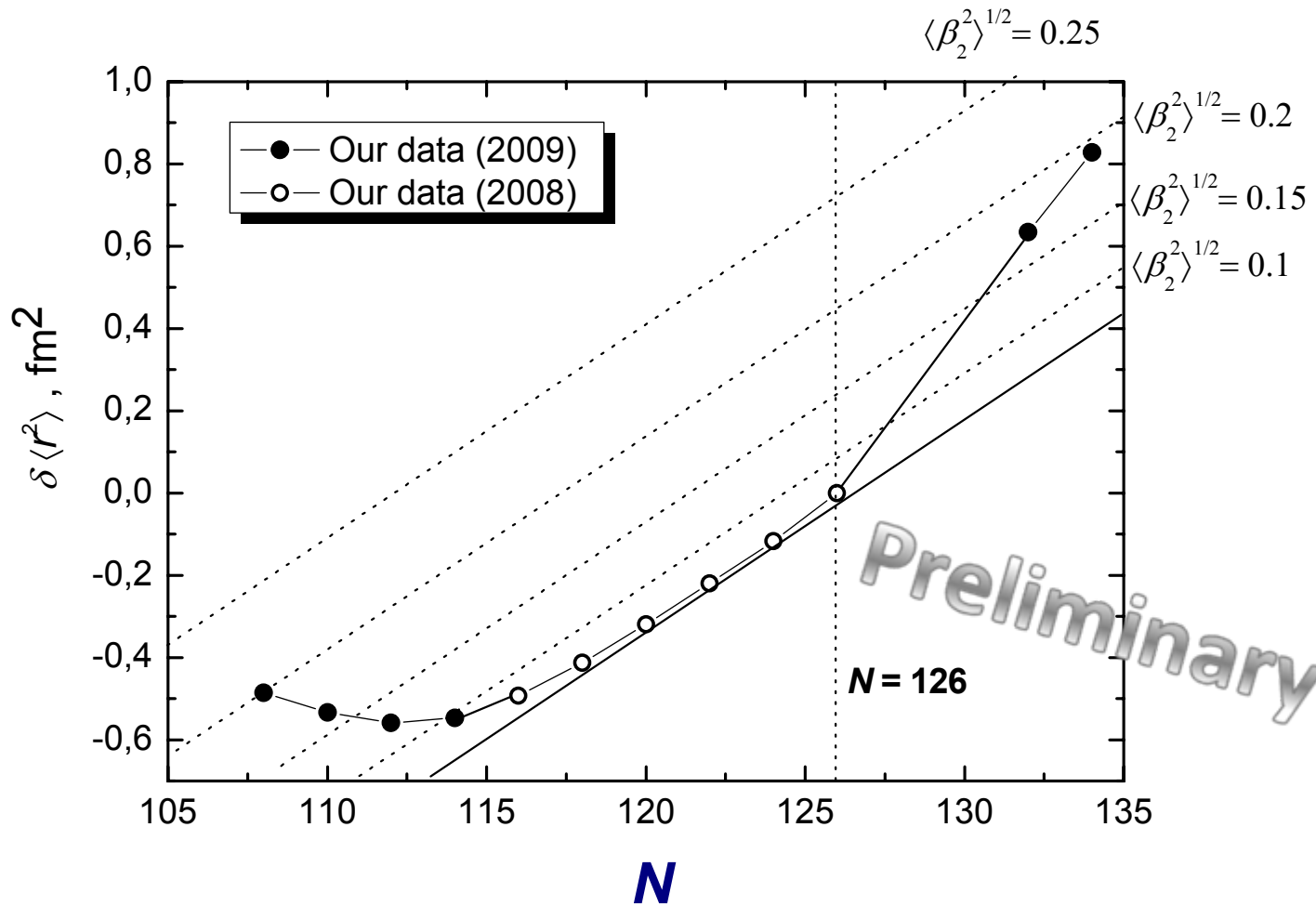
$$F_{843}/F_{255} = 0.45(3) \text{ from King plot}$$

King plot:



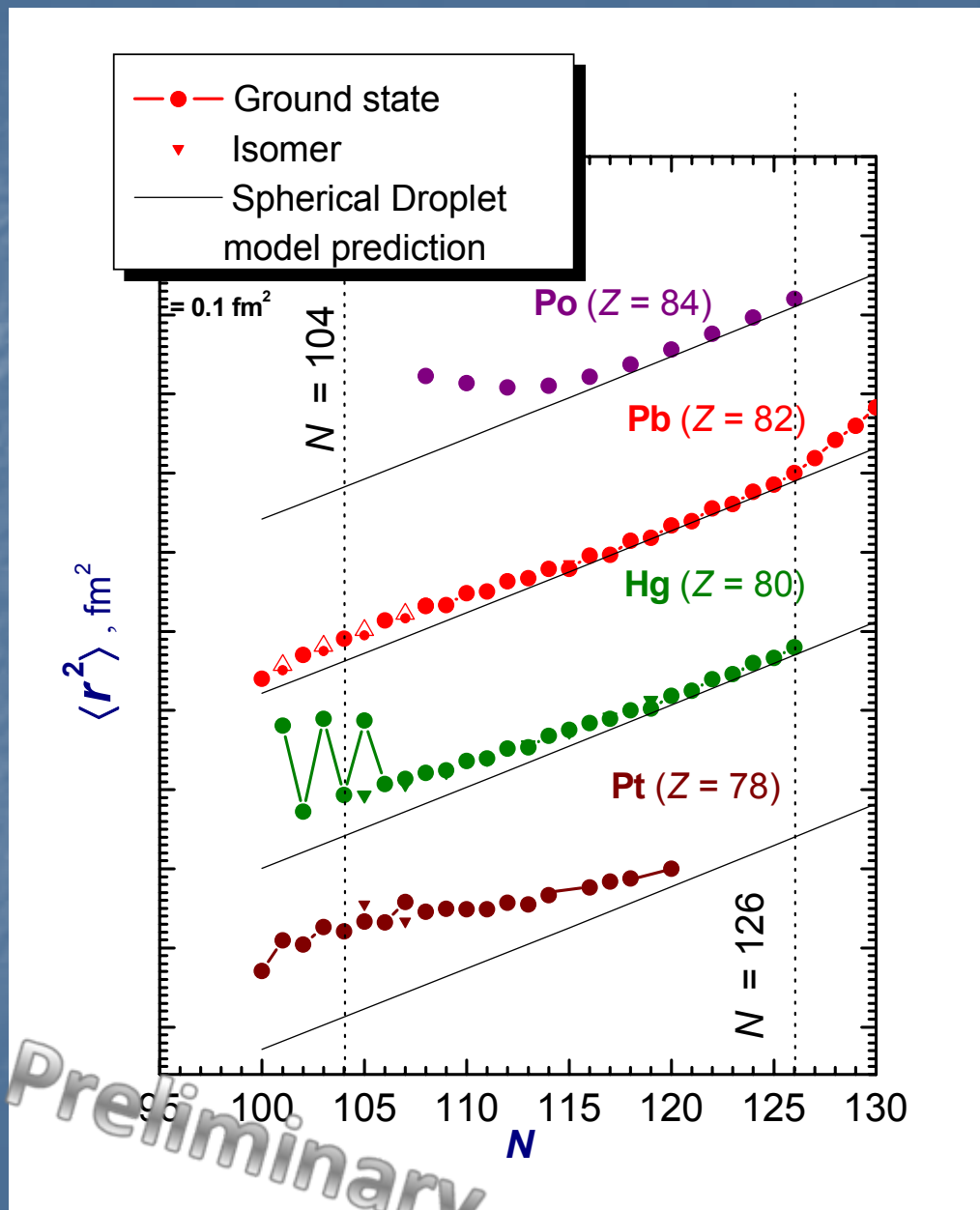
$$\Delta\sigma_{A,A'} = \Delta v_{A,A'} AA' / (A - A')$$

# Charge radii for $^{192-218}\text{Po}$



The experimental error bars are smaller than the symbol size.

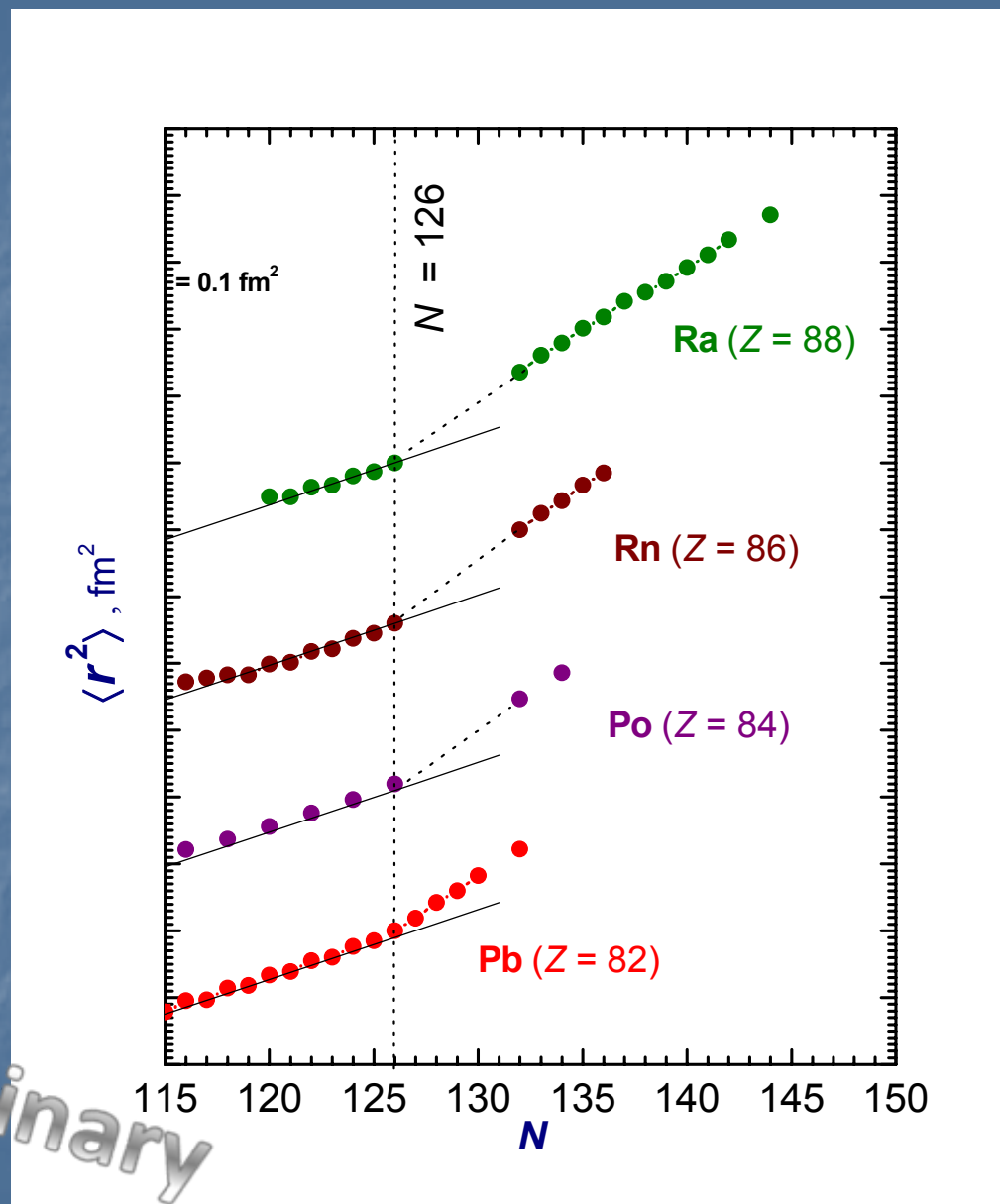
# Charge radii of neutron-deficient Po isotopes



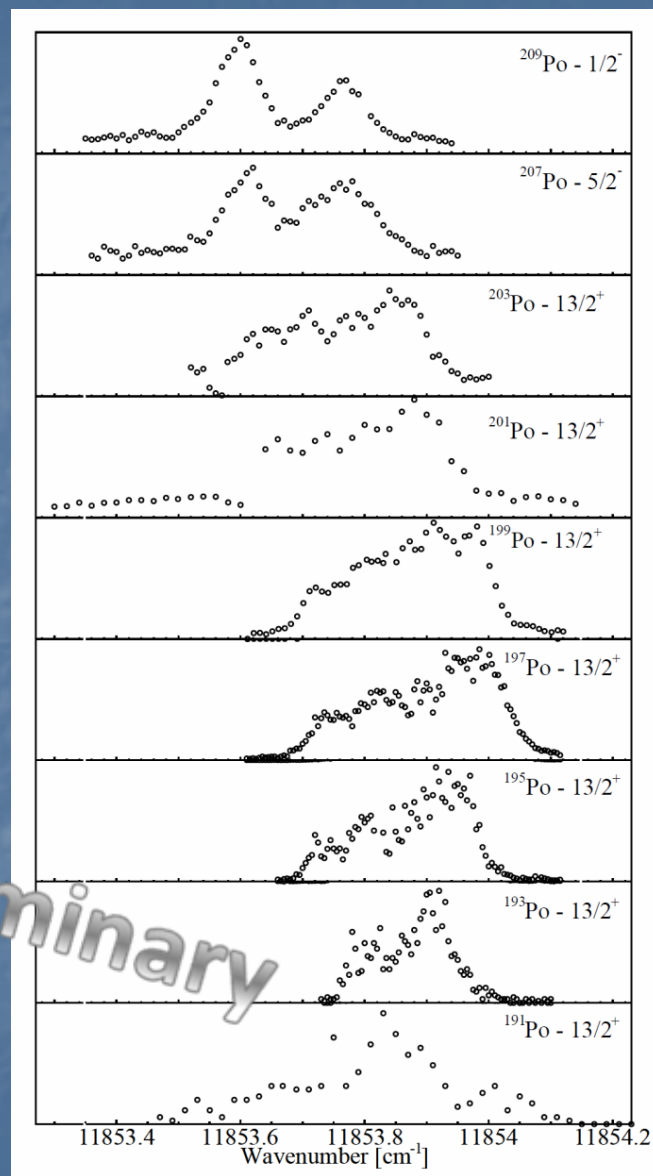
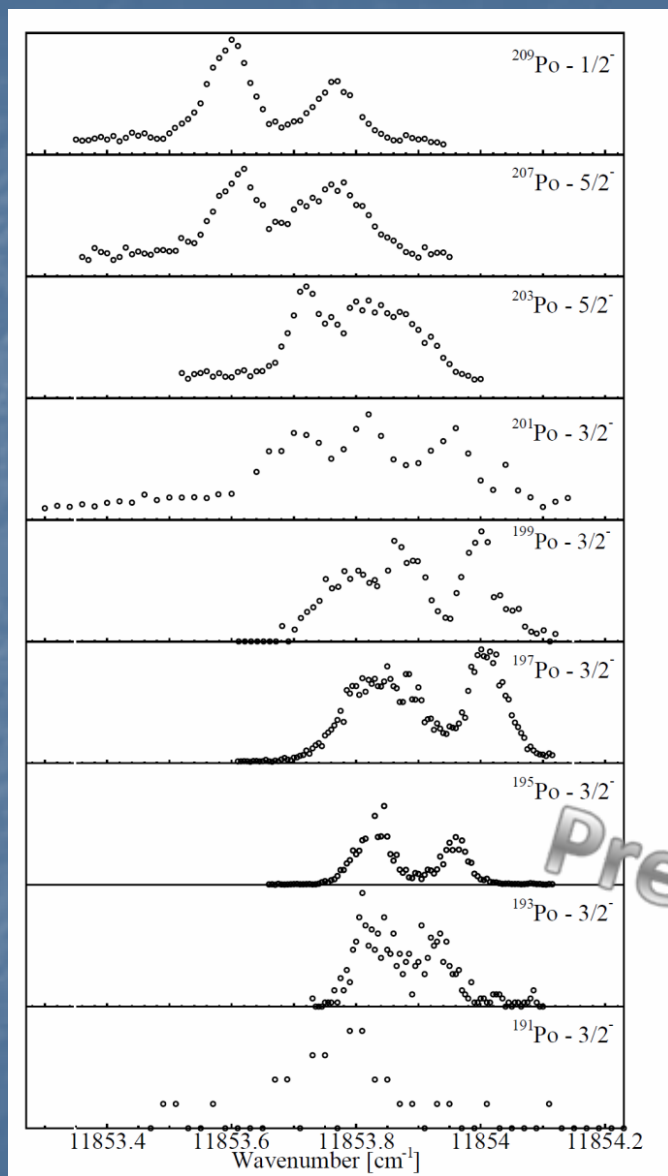
The experimental error bar is smaller than the symbol size. The distance between the different chains is chosen arbitrarily for better display. One minor division on the vertical scale corresponds to 0.1 fm<sup>2</sup>.

# Charge radii of neutron-deficient Po isotopes: shell-closure effect at $N = 126$

Element	$\frac{\Delta\langle r^2 \rangle_{N, N-2} (N > 126)}{\Delta\langle r^2 \rangle_{N, N-2} (N < 126)}$
Pb	1.9
Po	2.1
Rn	2.2
Ra	2.2

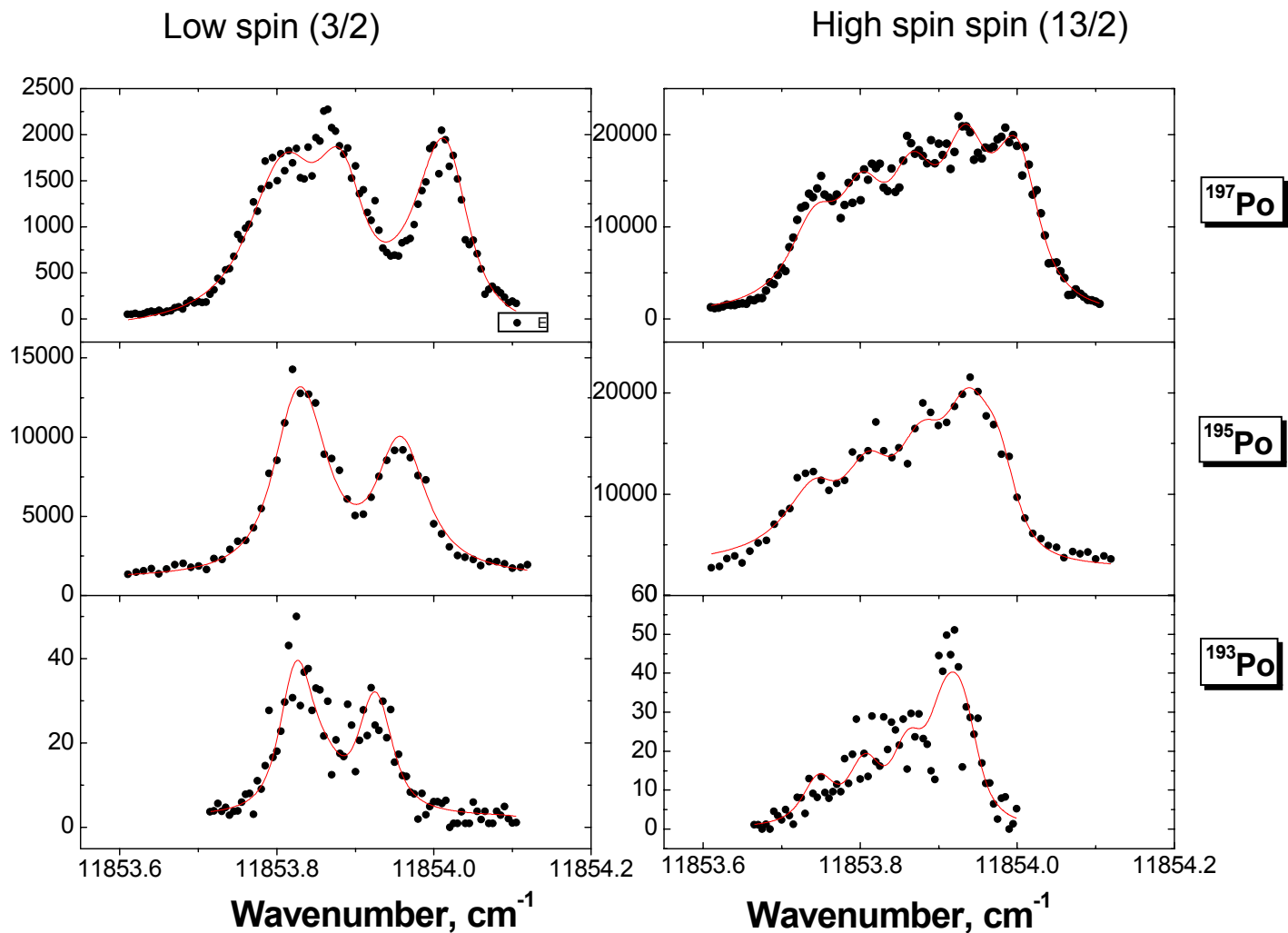


# Hyperfine structure of the odd-A Po isotopes



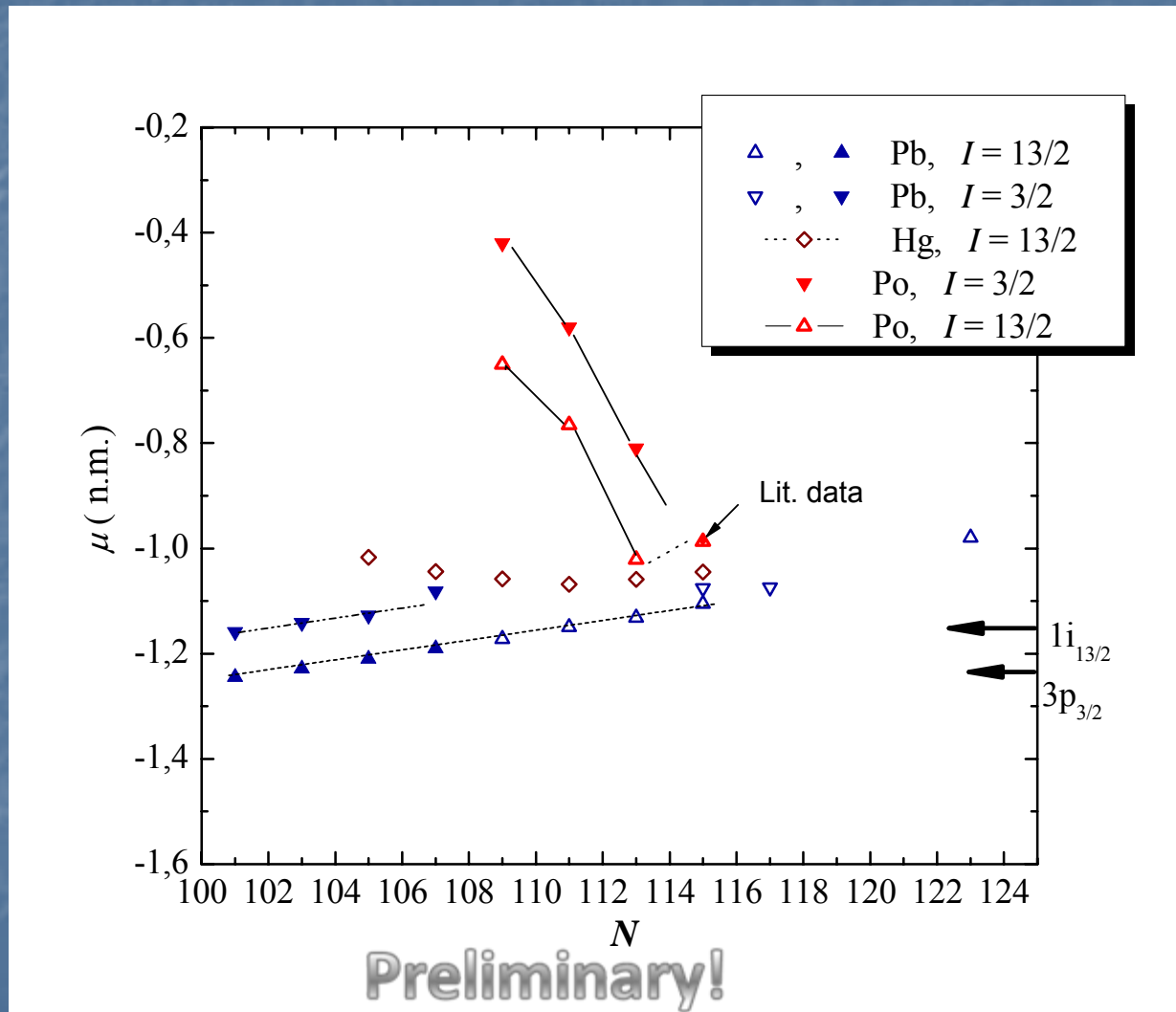
Preliminary

# Odd-A Po isotopes: preliminary analysis



# Odd-A Po isotopes: preliminary analysis

Estimations (preliminary) of magnetic moments ( $^{193-197}\text{Po}$ ):



Preliminary!



# IS 456: Study of polonium isotopes ground state properties by simultaneous atomic- and nuclear-spectroscopy

## Заклучение

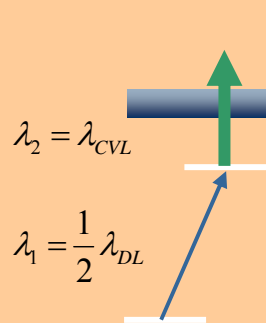
- Проведены лазерно-спектроскопические исследования длинной цепочки изотопов в рамках одного эксперимента - с  $^{191}\text{Po}$  по  $^{218}\text{Po}$ .
- Получены данные по изотопическим сдвигам четных изотопов полония ( $^{192-218}\text{Po}$ ).
- Извлечены значения среднеквадратичных зарядовых радиусов. Работа продолжается.
- Наблюдается значительное и «раннее» отклонение хода изотопической зависимости СКЗР от предсказаний «капельной модели» в области нейтронодефицитных изотопов полония.
- В области  $N = 126$  напротив наблюдается полное соответствие известной систематике. Присутствует оболочечный эффект, аналогичный другим известным изотопическим цепочкам
- Получены спектры сверхтонкой структуры нечетных изотопов  $^{191-211}\text{Po}$ . Продолжается работа по извлечению изотопических сдвигов и констант сверхтонкого расщепления.
- По предварительным данным наблюдается значительное отклонение изотопической зависимости дипольных магнитных моментов  $^{193-197}\text{Po}$  от аналогичных зависимостей Pb и Hg.

# Статус нового лазерного комплекса ИРИС.

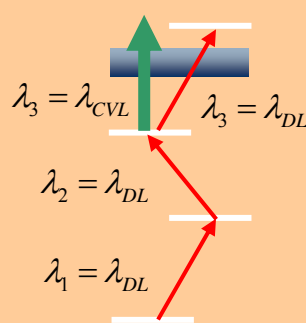
Новая лазерная установка для лазерно-ядерного комплекса ИРИС проектировалась с целью:

- Значительно расширить область получаемых на масс-сепараторе ИРИС изотопов. *Необходимо обеспечить резонансную ионизацию атомов элементов с потенциалами ионизации вплоть до 9.4 эВ.*
- Обеспечить проведение экспериментов по лазерной спектроскопии в ионном источнике. *В составе установки должен быть узкополосный лазер с возможностью сканирования длины волны.*

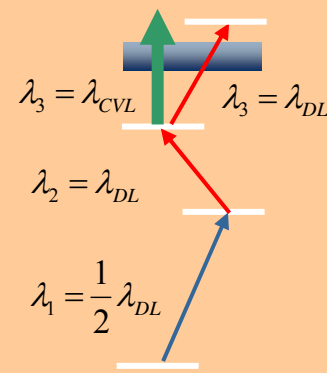
# Схемы лазерной ионизации атомов



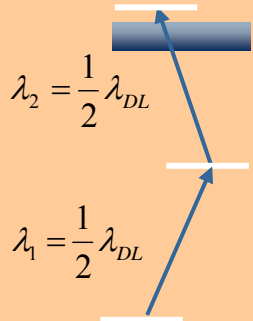
Al (5.99 eV)  
Ca (6.11 eV)  
Ga (6.00 eV)  
In (5.79 eV)  
Tl (6.11 eV)



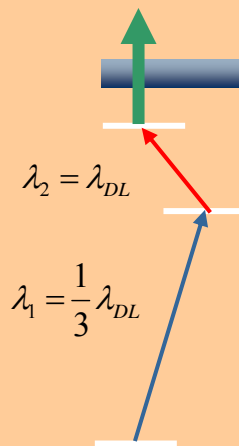
Li (5.39 eV)  
Na (5.14 eV)  
Sr (5.69 eV)  
Ce (5.54 eV)  
Nd (5.52 eV)  
Sm (5.64 eV)  
Eu (5.67 eV)  
Gd (6.15 eV)  
Tb (5.86 eV)  
Ho (6.02 eV)  
Tm (6.18 eV)  
Yb (6.25 eV)  
Lu (5.43 eV)  
Actinides...



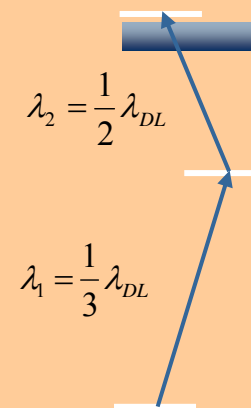
Mg (7.65 eV)  
Sc (6.56 eV)  
Mn (7.43 eV)  
Co (7.86 eV)  
Ni (7.64 eV)  
Cu (7.73 eV)  
Y (6.22 eV)  
Ag (7.58 eV)  
Tc (7.28 eV)  
Sn (7.34 eV)  
Pb (7.42 eV)  
Bi (7.29 eV)



Cu (7.73 eV)  
Bi (7.29 eV)



Be (9.32 eV)  
Zn (9.39 eV)  
Cd (8.99 eV)  
Sb (8.61 eV)



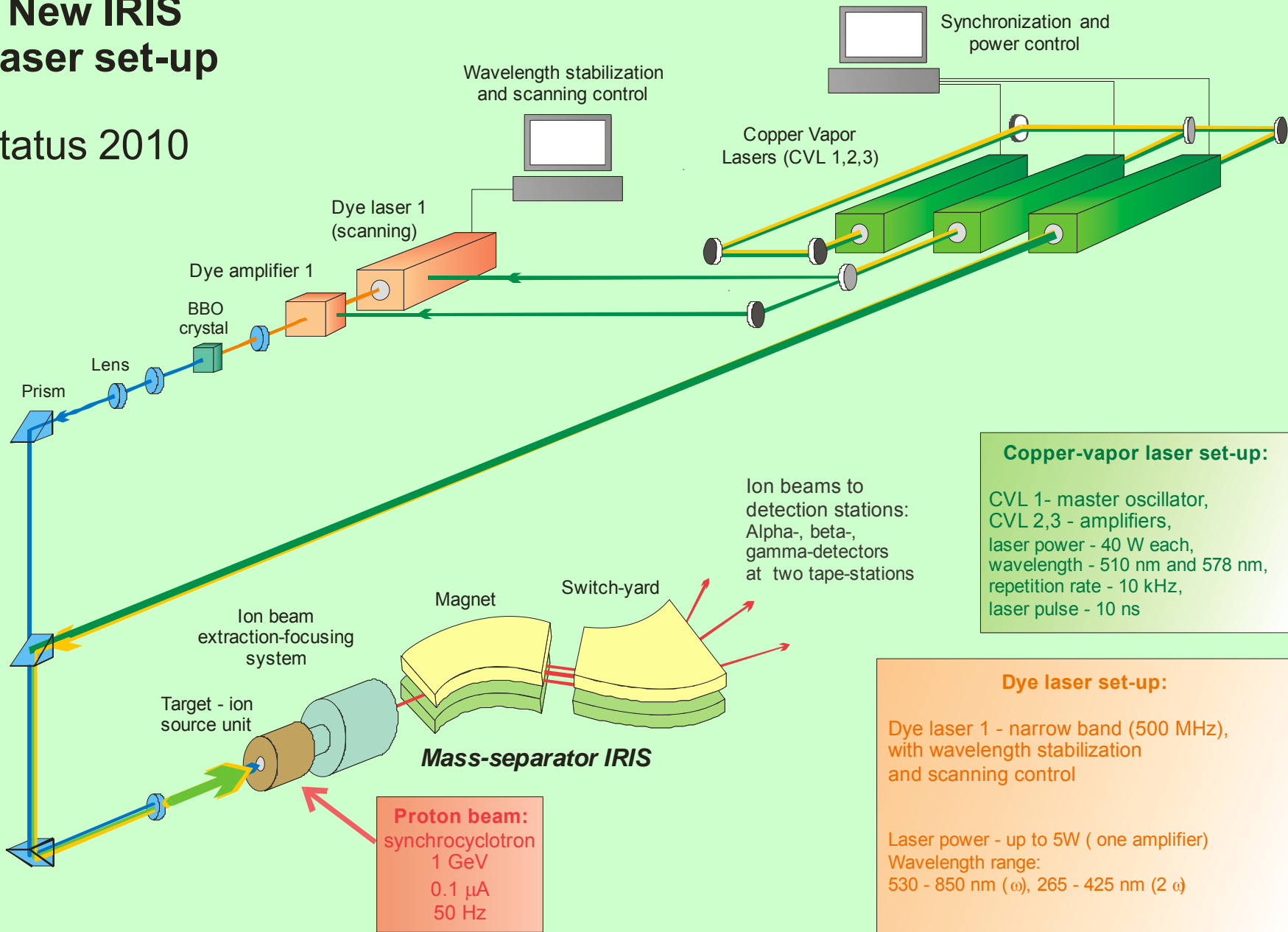
Be (9.32 eV)

# Сравнение параметров лазерных установок для резонансной ионизации

Parameters	ISOLDE	IRIS (old)	IRIS (new)
Repetition rate	11 kHz	9-12 kHz	9-12 kHz
Pulse width	15 ns	10 ns	8-10 ns
Pump power	60 – 80 W	30 W	100-110 W
Dye power	≤8 W	≤1.5 W	≤10 W
UV power $2\omega$	≤1.5 W	no	≤2 W
UV power $3\omega$	≤0.15 W	no	≤0.2 W
Wavelength range	217 – 425 nm 530 – 850 nm	540-670 nm	210 – 425 nm 530 – 850 nm

# New IRIS Laser set-up

Status 2010



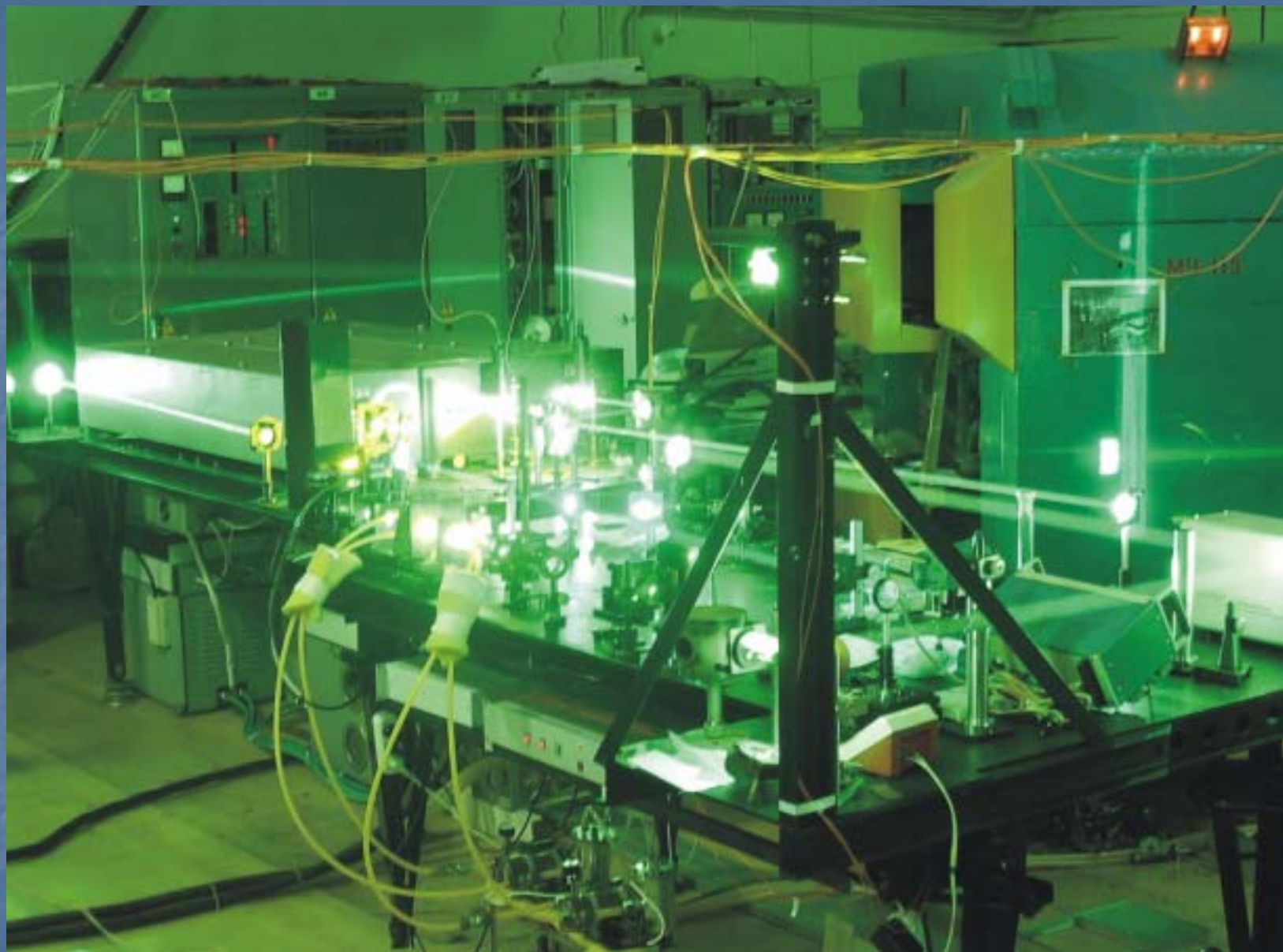
**Copper-vapor laser set-up:**  
 CVL 1- master oscillator,  
 CVL 2,3 - amplifiers,  
 laser power - 40 W each,  
 wavelength - 510 nm and 578 nm,  
 repetition rate - 10 kHz,  
 laser pulse - 10 ns

**Dye laser set-up:**  
 Dye laser 1 - narrow band (500 MHz),  
 with wavelength stabilization  
 and scanning control  
 Laser power - up to 5W ( one amplifier)  
 Wavelength range:  
 530 - 850 nm (α), 265 - 425 nm (2 α)

# IRIS laboratory hall

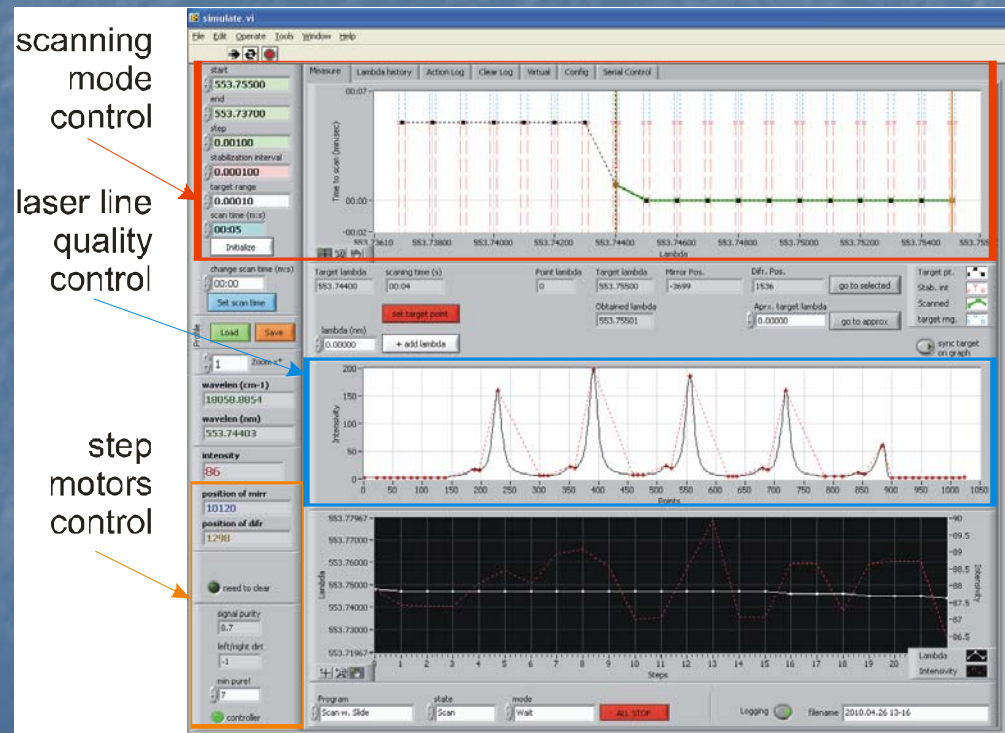
IRIS is Investigation of Radioactive Isotopes on Synchrocyclotron





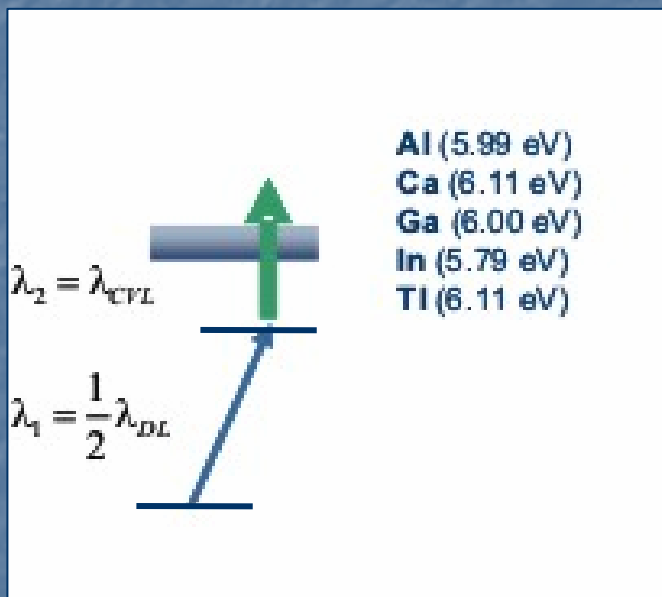
# Новая система автоматического сканирования и стабилизации длины волны лазерного излучения

Система сканирования способна в автоматическом режиме управлять шаговыми двигателями приводов дифракционной решетки и интерферометра Фабри-Перо резонатора узкополосного лазера по критериям данной длины волны и чистоты оптической линии на анализаторе спектра.

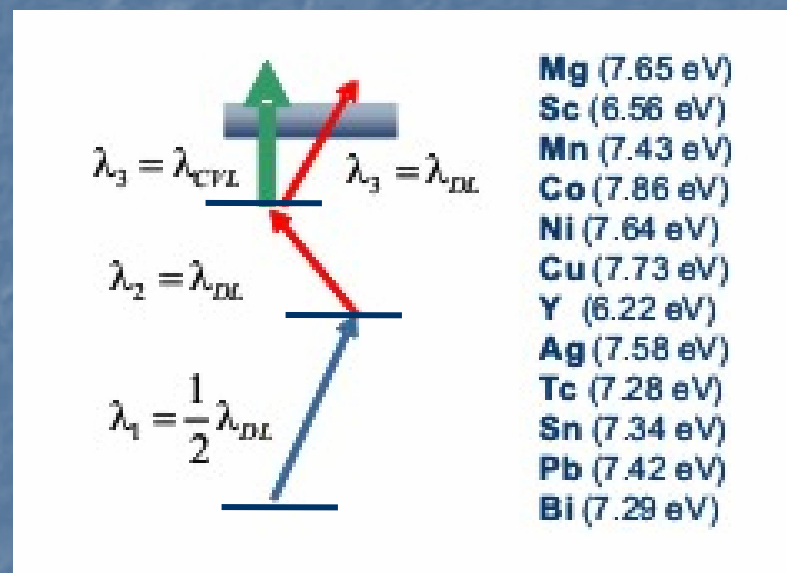




# Схемы ионизации, доступные к 2010

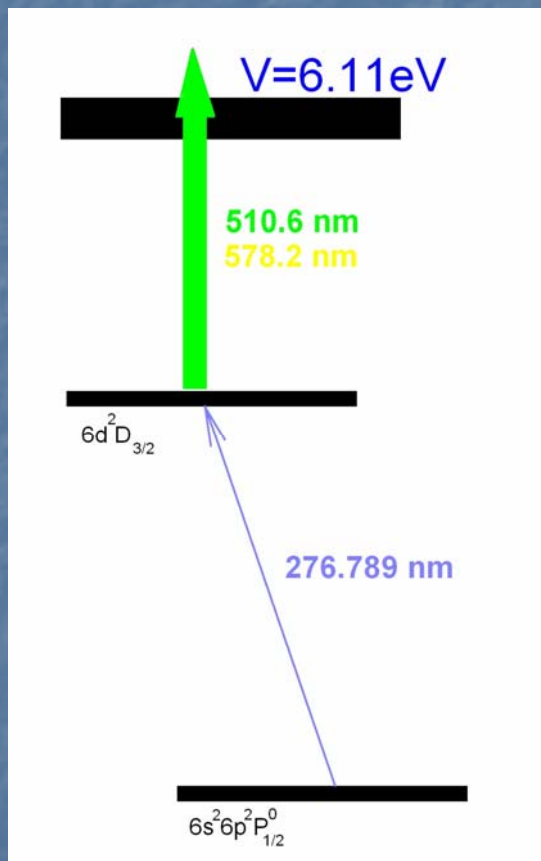


# Схемы ионизации, требующие наименьших дополнительных вложений

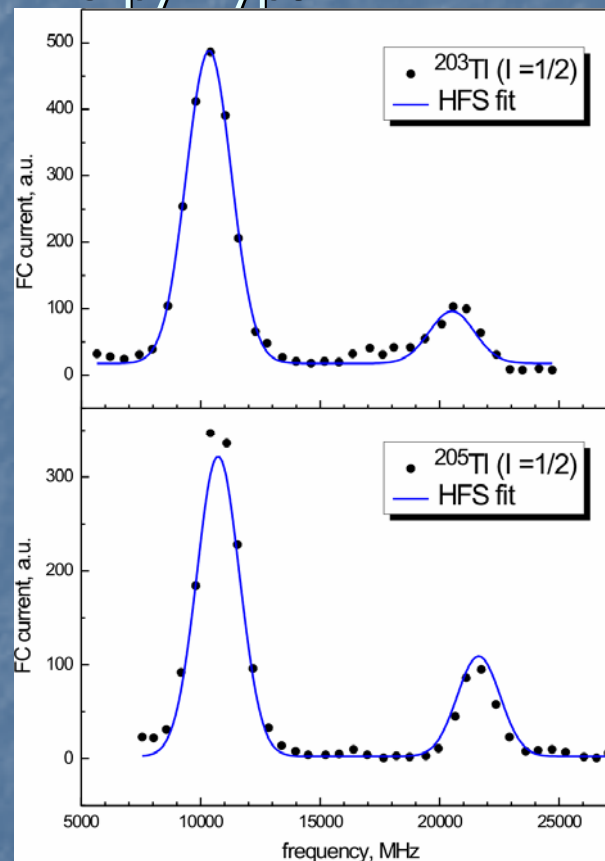


# Off-line тест. Ноябрь 2009

## Лазерная ионизация Tl



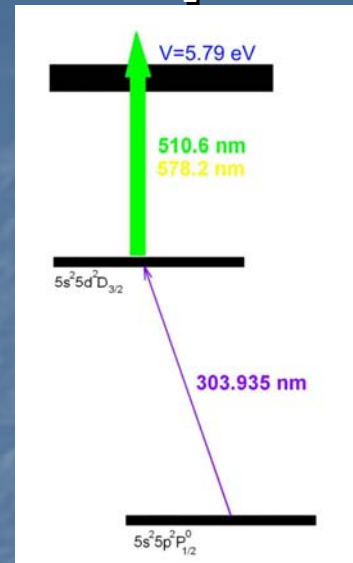
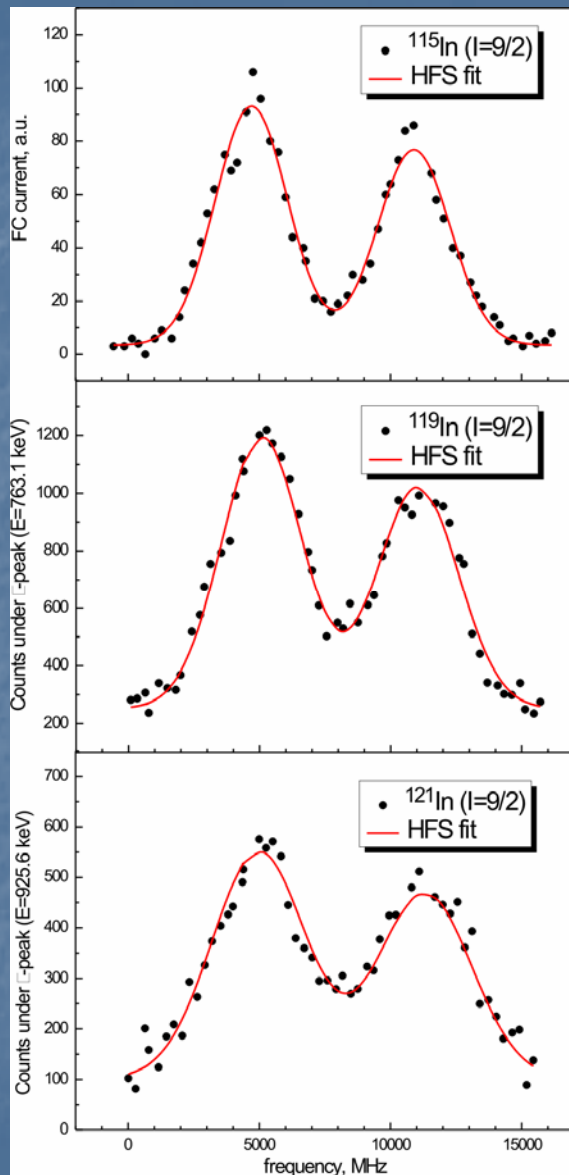
## Изотопический сдвиг и сверхтонкая структура $^{203}\text{Tl}$ $^{205}\text{Tl}$



TI results:  $IS_{205,203} = 1170(200) \text{ MHz}$  from our fit,

$IS_{205,203} = 1038.5(1) \text{ MHz}$  from G.Hermann et al., Z.Phys. D28, 127 (1993)

# On-line тест. Декабрь 2009



Изотопические сдвиги и сверхтонкая структура изотопов In

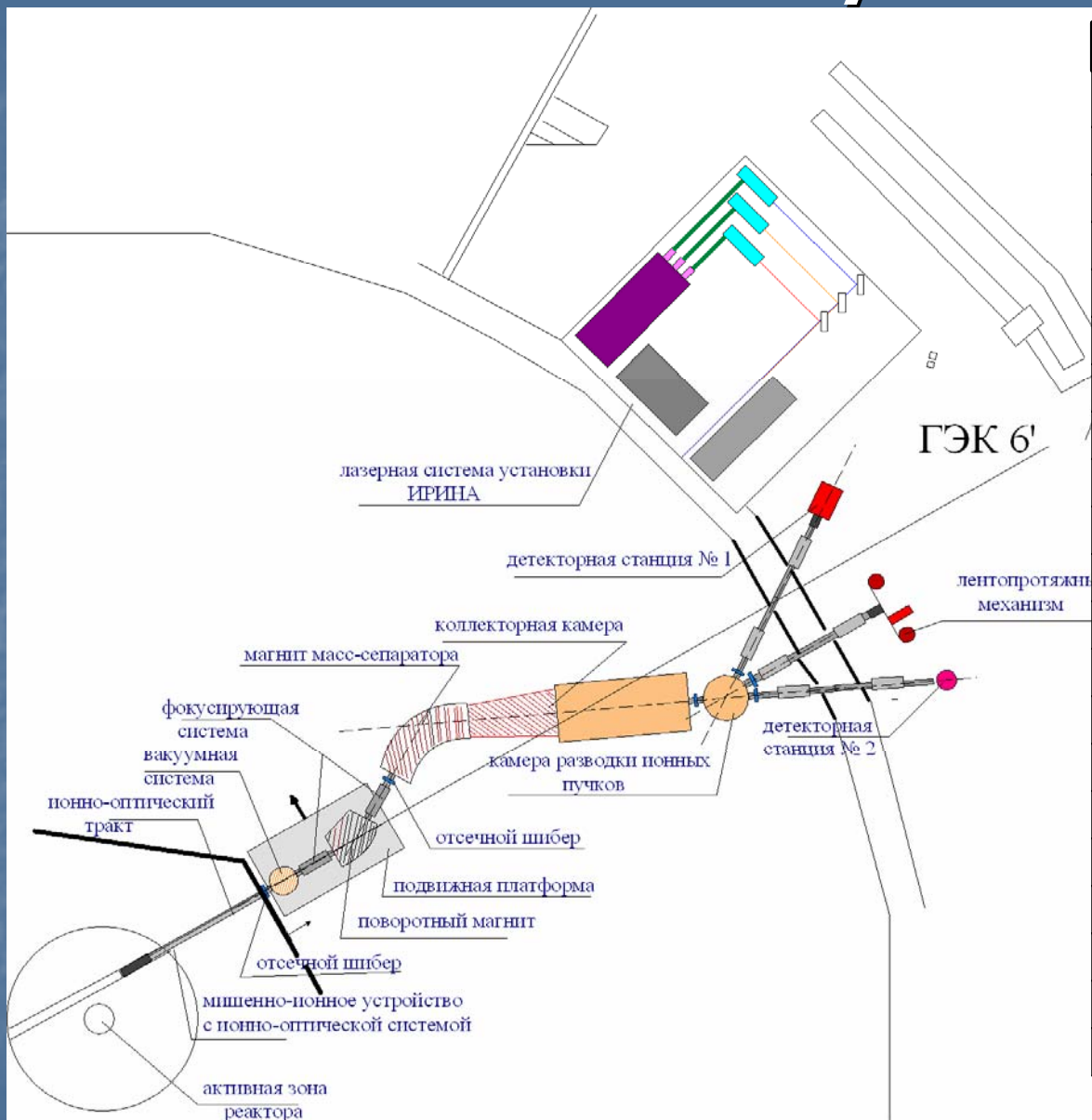
Indium nuclide	$T_{1/2}$	IS from fit (303.9 nm), MHz	IS from [1] (451.1 nm), MHz	A from fit, MHz	A from [1], MHz
$^{115}\text{In}$	stable	0	0	2384(80)	2282
$^{119}\text{In}$	2.4 min	550(130)	441.6(6)	2304(80)	2271(1)
$^{121}\text{In}$	23.1 s	680(160)	610(5)	2444(120)	2266(2)

[1] J. Eberz, U. Dinger, G. Huber, et al., Nucl. Phys. A464, 9-28 (1987)

# Заключение

- Запущена первая очередь новой лазерной установки комплекса ИРИС. Получена принципиальная возможность исследования короткоживущих изотопов некоторых элементов, недоступных ранее.
- Проведены off-line тесты системы для исследования изотопов Tl.
- Проведен on-line эксперимент по измерению изотопических сдвигов и сверхтонкой структуры для изотопов  $^{119, 120, 121}\text{In}$ . При этом - впервые на переходе 303 нм.
- Анализ полученных данных показывает удовлетворительное соответствие с ранее измеренными, что указывает на отсутствие значительных систематических погрешностей схемы эксперимента.

# Канал ГЭК 6-6' – установка ИРИНА



Нуклид	Z	$T_{1/2}$	ИРИНА	SPiRAL2
		сек	ат./сек	ат./сек
74Ni	28	0,9	4,58E+06	2,75E+05
78Cu	29	0,342	1,09E+07	1,15E+06
80Zn	30	0,545	2,42E+08	2,64E+09
84Ga	31	0,085	1,11E+10	1,24E+07
85Ge	32	0,535	2,13E+09	4,09E+08
87As	33	0,49	5,27E+10	8,60E+09
91Se	34	0,27	6,66E+08	2,71E+08
93Br	35	0,102	3,09E+09	3,35E+09
95Kr	36	0,78	7,19E+09	4,45E+09
100Rb	37	0,051	3,48E+10	1,79E+07
102Sr	38	0,069	1,73E+08	9,02E+07
102Y	39	0,3	2,68E+11	1,02E+10
120Pd	46	0,5	2,71E+09	1,06E+10
127Ag	47	0,109	1,58E+02	1,71E+01
130Cd	48	0,195	8,78E+10	8,03E+04
133In	49	0,18	1,71E+08	1,06E+08
134Sn	50	1,12	1,77E+10	2,62E+09
120Pd	46	0,5	2,71E+09	1,06E+10
127Ag	47	0,109	1,58E+02	1,71E+01
130Cd	48	0,195	8,78E+10	8,03E+08