

EuNPC2025

SEPTEMBER 25TH, 2025

Implementation of Laser Resonance Chromatography @ S3

*M. Laatiaoui (GANIL)
on behalf of the S3 collaboration*



The LRC project has received funding for the period 2019-2024 from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement No. 819957)

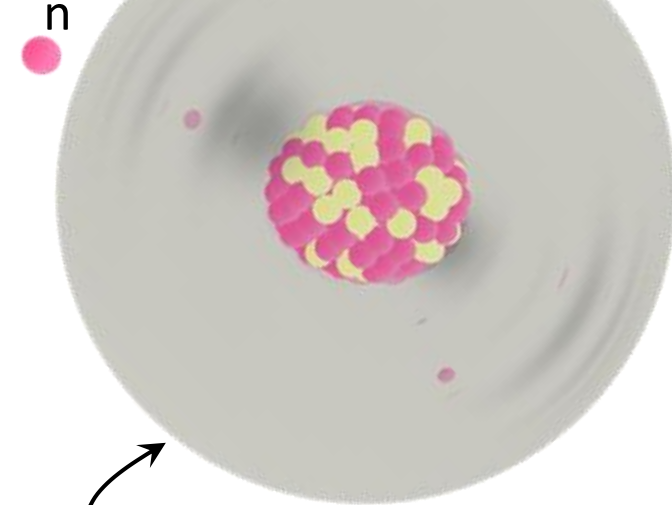
Outline

- Motivation
- Objectives
- Laser Resonance Chromatography (LRC)
 - The LRC technique
 - Proof-of-principle results from LRC on lutetium
- Prospects towards LRC on actinium & lawrencium
- Summary & Outlook

Motivation

	1 IA 11A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</
--	----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

^{255}Lr



^{209}Bi



^{48}Ca



Which radionuclides can exist?

What chemical, atomic & nuclear properties do they have?

How robust is our understanding of atomic & nuclear structure?

Are these radionuclides being produced in the universe?

Motivation

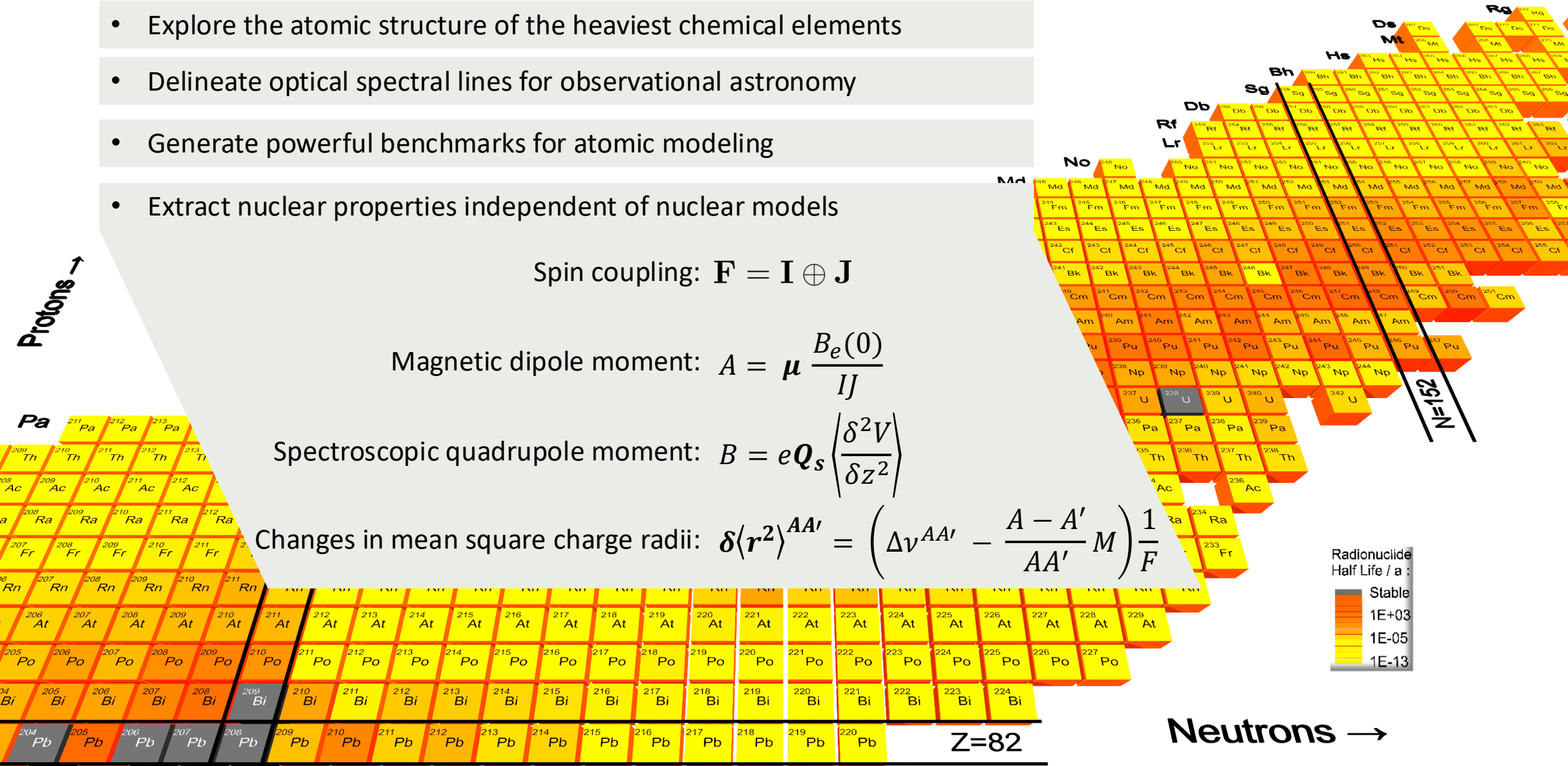
- Explore the atomic structure of the heaviest chemical elements
- Delineate optical spectral lines for observational astronomy
- Generate powerful benchmarks for atomic modeling
- Extract nuclear properties independent of nuclear models

Spin coupling: $\mathbf{F} = \mathbf{I} \oplus \mathbf{J}$

Magnetic dipole moment: $A = \mu \frac{B_e(0)}{IJ}$

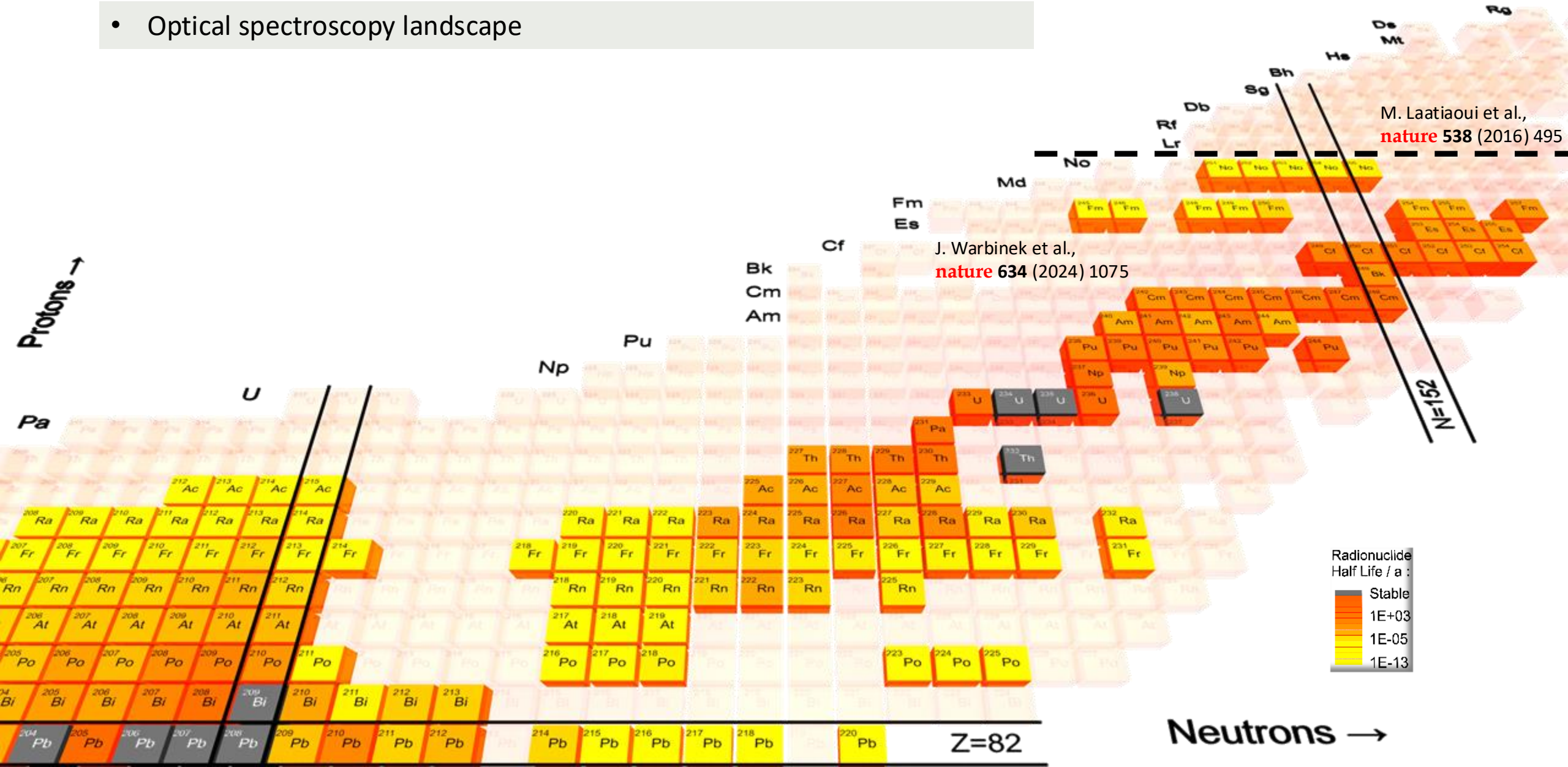
Spectroscopic quadrupole moment: $B = eQ_s \left\langle \frac{\delta^2 V}{\delta Z^2} \right\rangle$

Changes in mean square charge radii: $\delta \langle r^2 \rangle^{AA'} = \left(\Delta v^{AA'} - \frac{A - A'}{AA'} M \right) \frac{1}{F}$



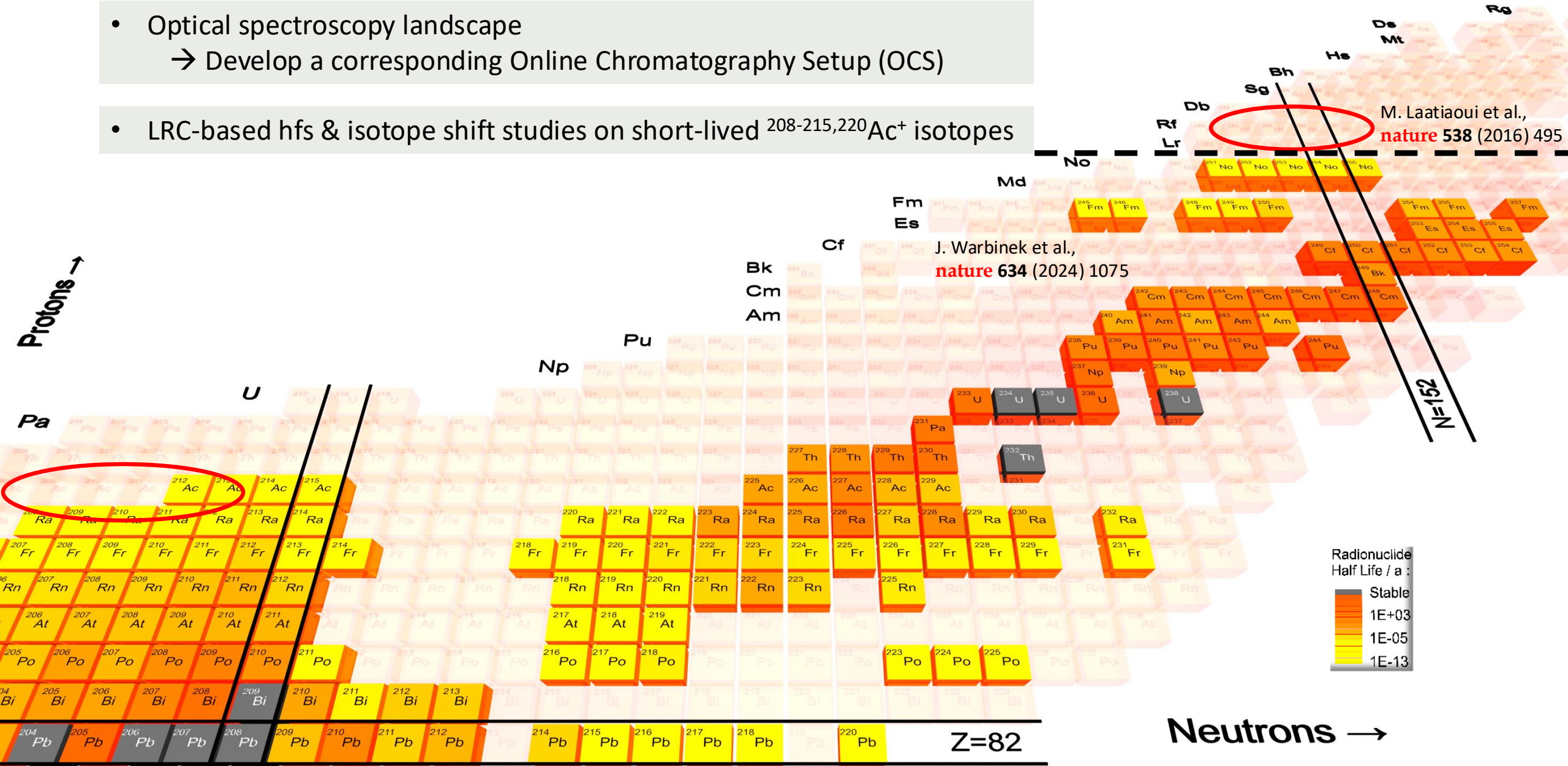
Motivation

- Optical spectroscopy landscape

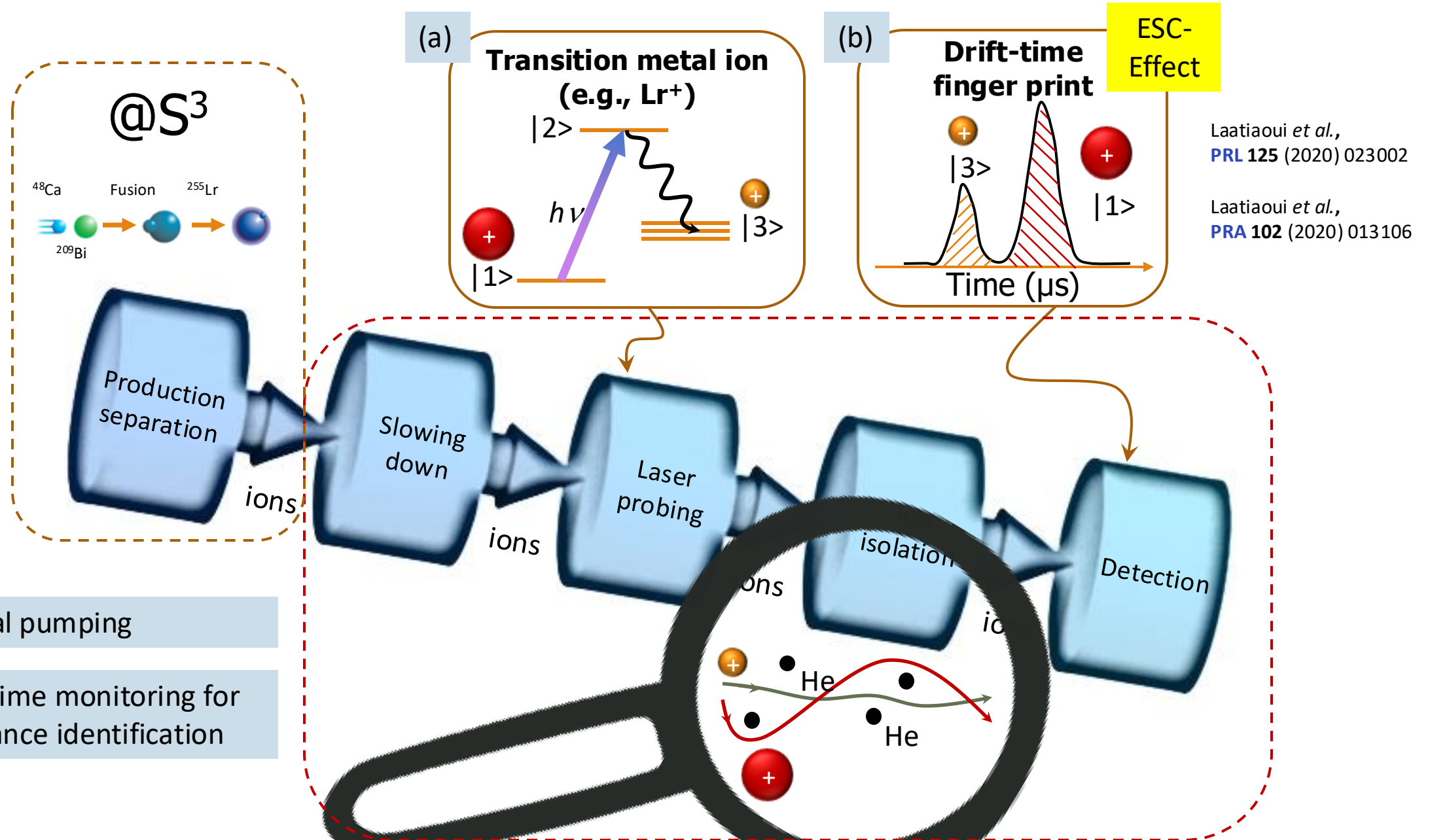


Objectives

- Optical spectroscopy landscape
→ Develop a corresponding Online Chromatography Setup (OCS)
- LRC-based hfs & isotope shift studies on short-lived $^{208-215,220}\text{Ac}^+$ isotopes



Laser Resonance Chromatography (LRC)



Accessible elements

	1 IA 11A																	18 VIII 8A
1	1.00794 1 H Hydrogen 1.008	1 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	4.002602 2 He Helium 2372.3
2	6.941 3 Li Lithium 6.941	9.012182 4 Be Beryllium 9.012											10.811 5 B Boron 10.811	12.0107 6 C Carbon 12.011	14.0067 7 N Nitrogen 14.007	15.9994 8 O Oxygen 15.999	18.998403 9 F Fluorine 18.998	20.1797 10 Ne Neon 20.180
3	22.989769 11 Na Sodium 22.990	24.30409 12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	26.981538 13 Al Aluminium 26.982	28.0855 14 Si Silicon 28.086	30.973762 15 P Phosphorus 30.974	32.065 16 S Sulfur 32.065	35.453 17 Cl Chlorine 35.453	39.948 18 Ar Argon 39.948
4	39.0983 19 K Potassium 39.098	40.078 20 Ca Calcium 40.078	44.95591 21 Sc Scandium 44.956	47.867 22 Ti Titanium 47.867	50.9415 23 V Vanadium 50.942	51.9962 24 Cr Chromium 51.996	54.93804 25 Mn Manganese 54.938	55.845 26 Fe Iron 55.845	58.93319 27 Co Cobalt 58.933	58.6934 28 Ni Nickel 58.693	63.546 29 Cu Copper 63.546	65.38 30 Zn Zinc 65.38	69.723 31 Ga Gallium 69.723	72.64 32 Ge Germanium 72.64	74.92160 33 As Arsenic 74.922	78.96 34 Se Selenium 78.96	79.904 35 Br Bromine 79.904	83.798 36 Kr Krypton 83.798
5	85.4678 37 Rb Rubidium 85.468	87.62 38 Sr Strontium 87.62	88.90585 39 Y Yttrium 88.906	91.224 40 Zr Zirconium 91.224	92.90638 41 Nb Niobium 92.906	95.96 42 Mo Molybdenum 95.96	(98) 43 Tc Technetium 98	101.07 44 Ru Ruthenium 101.07	102.9055 45 Rh Rhodium 102.906	106.42 46 Pd Palladium 106.42	107.8682 47 Ag Silver 107.868	132.441 48 Cd Cadmium 132.44	134.918 49 In Indium 134.918	137.307 50 Sn Tin 137.307	127.760 51 Sb Antimony 127.76	127.60 52 Te Tellurium 127.6	126.9044 53 I Iodine 126.905	131.293 54 Xe Xenon 131.29
6	132.9054 55 Cs Caesium 132.905	137.327 56 Ba Barium 137.327	174.9668 71 Lu Lutetium 174.967	178.49 72 Hf Hafnium 178.49	180.9478 73 Ta Tantalum 180.948	183.84 74 W Tungsten 183.84	186.207 75 Re Rhenium 186.207	190.23 76 Os Osmium 190.23	192.227 77 Ir Iridium 192.22	195.084 78 Pt Platinum 195.08	196.9665 79 Au Gold 196.967	200.59 80 Hg Mercury 200.59	204.3823 81 Tl Thallium 204.38	207.2 82 Pb Lead 207.2	208.9804 83 Bi Bismuth 208.98	(210) 84 Po Polonium 210	(210) 85 At Astatine 210	(220) 86 Rn Radon 220
7	(223) 87 Fr Francium 223	(226) 88 Ra Radium 226	(262) 103 Lr Lawrencium 262	(261) 104 Rf Rutherfordium 261	(262) 105 Db Dubnium 262	(266) 106 Sg Seaborgium 266	(264) 107 Bh Bohrium 264	(277) 108 Hs Hassium 277	(268) 109 Mt Meitnerium 268	(271) 110 Ds Darmstadtium 271	(272) 111 Rg Roentgenium 272	(285) 112 Cn Copernicium 285	(284) 113 Uut Ununtrium 284	(280) 114 Fl Flerovium 280	(228) 115 Uup Ununpentium 228	(292) 116 Lv Livermorium 292	(294) 117 Uus Ununseptium 294	(294) 118 Uuo Ununoctium 294

The diagram shows a single element box from the periodic table for Hydrogen. The box contains the following information:

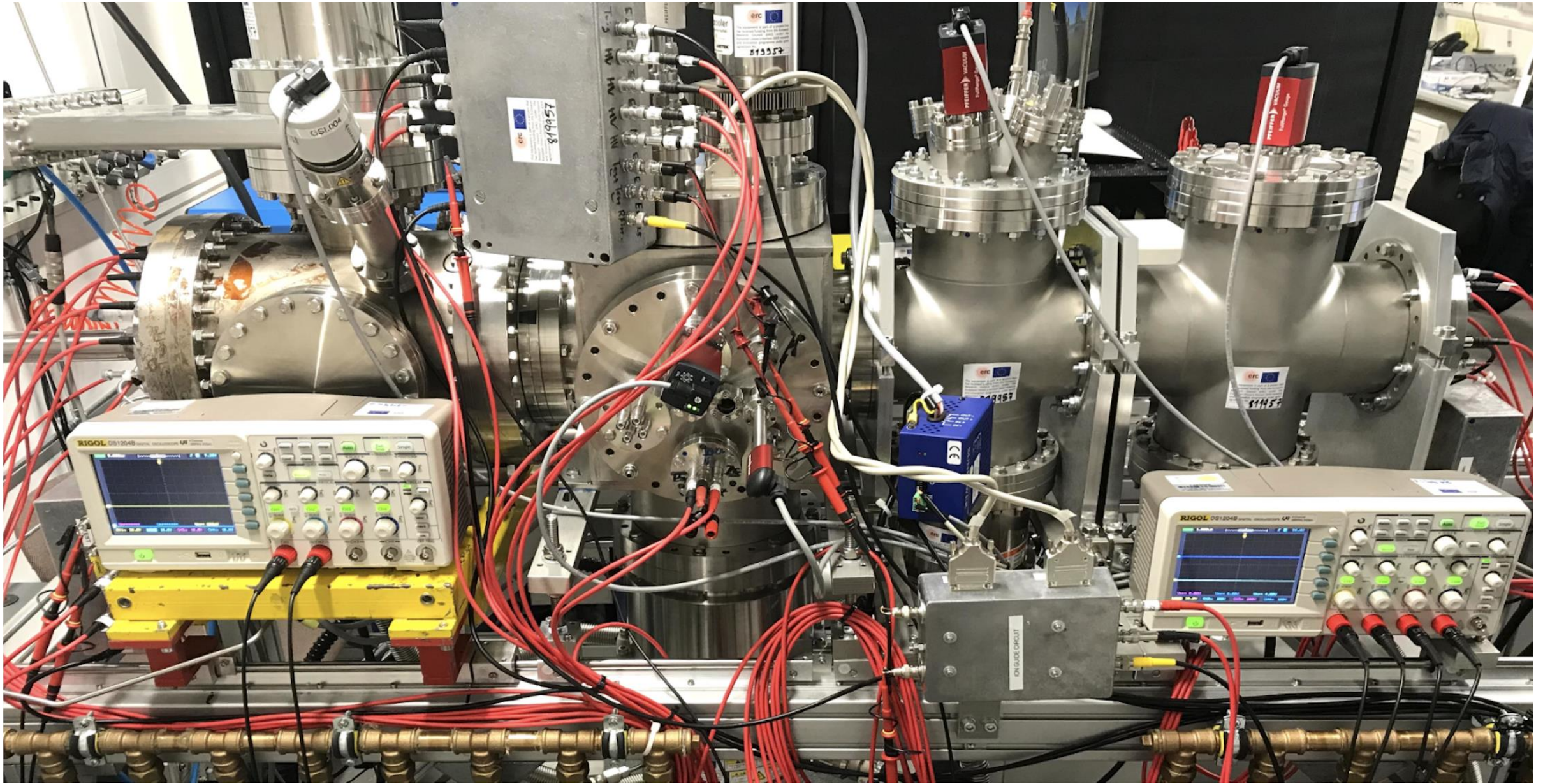
- Atomic mass:** 1.00794 (top left)
- Atomic number:** 1 (top right)
- Chemical symbol:** H (center)
- Name:** Hydrogen (below the symbol)
- First ionization energy:** 1312.0 (bottom left)
- Electronegativity:** 2.20 (bottom right)

Arrows point from each label to its corresponding value in the box.

138.9054 La Lanthanum 57	140.116 Ce Cerium 58	140.9076 Pr Praseodymium 59	144.242 Nd Neodymium 60	[145] Pm Promethium 61	150.36 Sm Samarium 62	151.964 Eu Europium 63	157.25 Gd Gadolinium 64	158.9253 Tb Terbium 65	162.500 Dy Dysprosium 66	164.9303 Ho Holmium 67	167.259 Er Erbium 68	168.9342 Tm Thulium 69	173.054 Yb Ytterbium 70
[227] Ac Actinium 89	[232.0380] Th Thorium 90	[231.0358] Pa Protactinium 91	[238.0289] U Uranium 92	[237] Np Neptunium 93	[244] Pu Plutonium 94	[243] Am Americium 95	[247] Cm Curium 96	[247] Bk Berkelium 97	[251] Cf Californium 98	[252] Es Einsteinium 99	[257] Fm Fermium 100	[258] Md Mendelevium 101	[259] No Nobelium 102

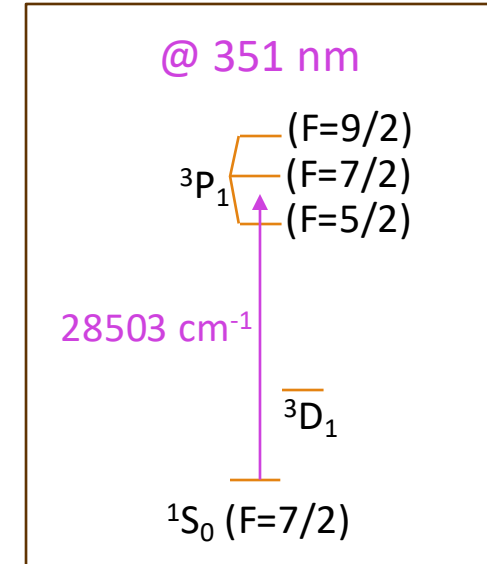
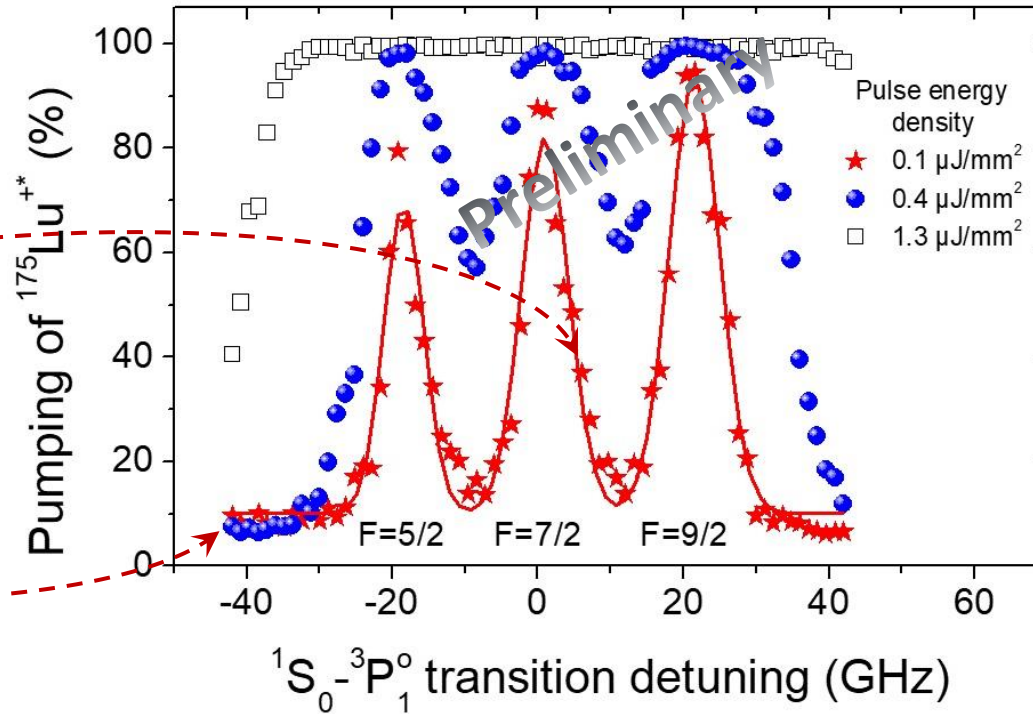
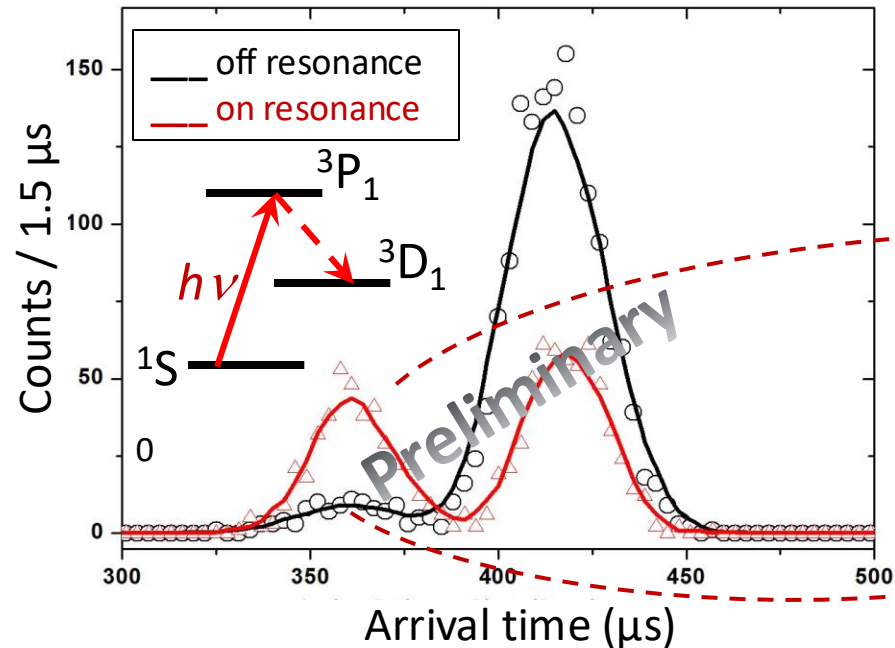


LRC offline setup



Proof of principle for ^{175}Lu

137.327 Ba Barium 56	174.9668 Lu Lutetium 71	178.49 Hf Hafnium 72
502.9	523.5	558.5

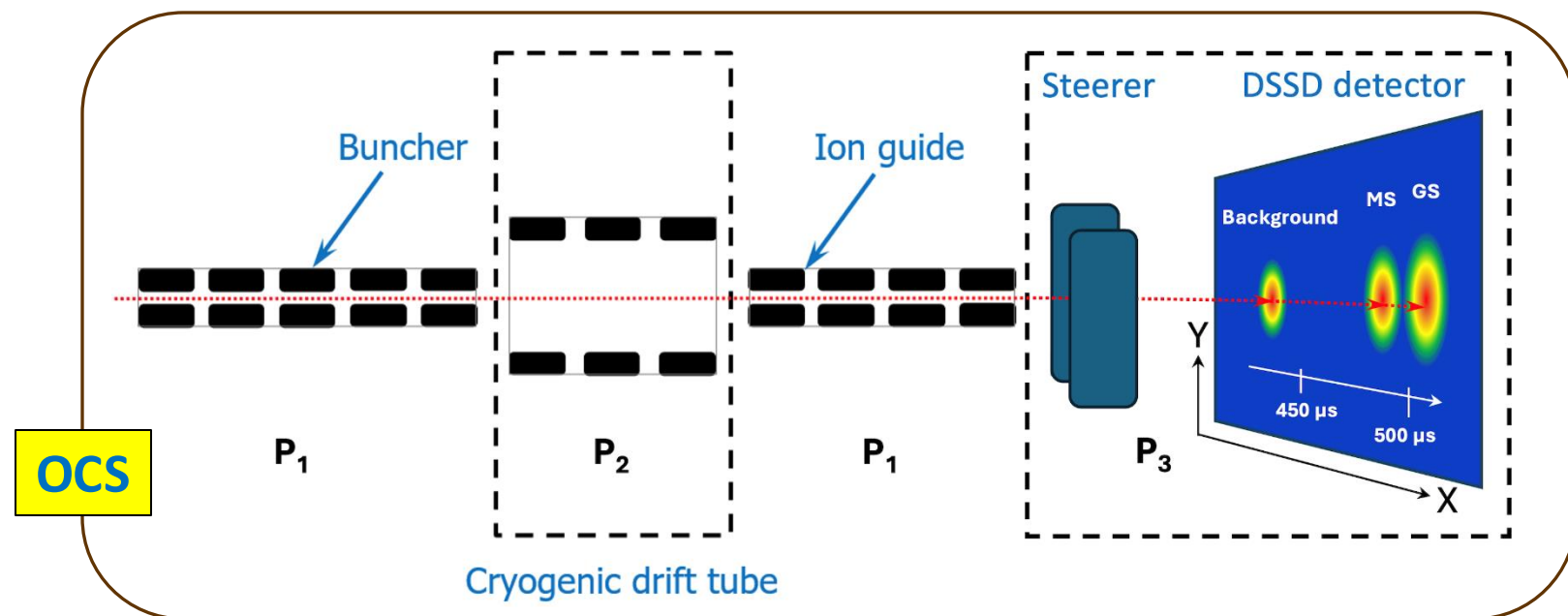


- Hyperfine structure studies possible at low laser power
- Power broadening beneficial for faster level search
- Measured overall-efficiency for ion transport: 0.6%

E. Kahl et al., [PRA](#) **100** (2019) 062505
 Laatiaoui et al., [PRL](#) **125** (2020) 023002
 Laatiaoui et al., [PRA](#) **102** (2020) 013106
 Ramanantoanina et al., [PRA](#) **104** (2021) 022813
 Ramanantoanina et al., [Atoms](#) **10** (2022) 48
 Romero-Romero et al., [Atoms](#) **10** (2022) 87
 Ramanantoanina et al., [PRA](#) **108** (2023) 012802
 Visentin et al., [PRA](#) **110** (2024) 012805
 Kim et al., [NIMB](#) **555** (2024) 165461

Enhancing the sensitivity

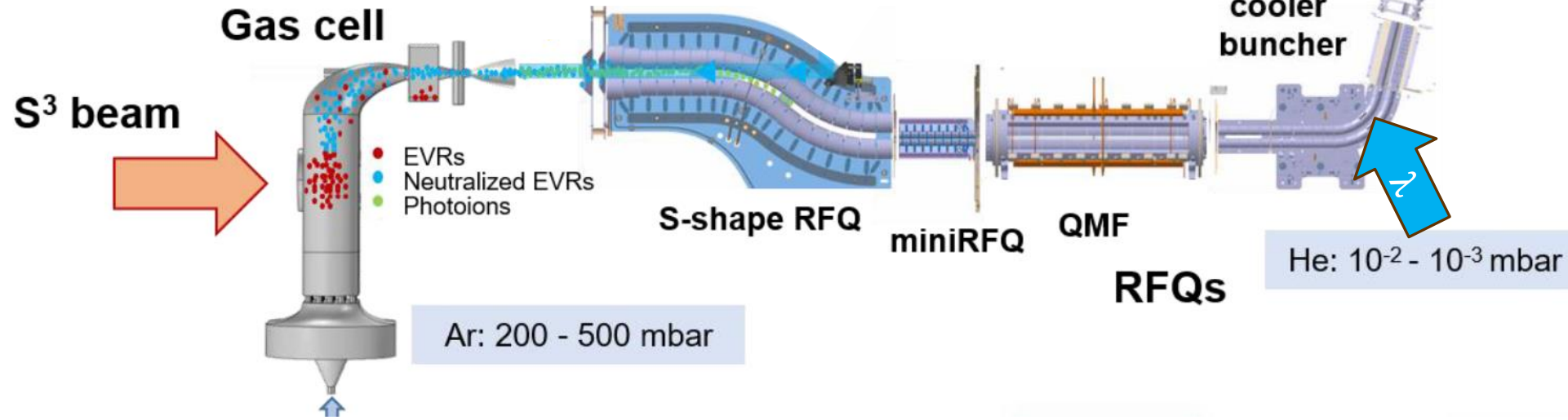
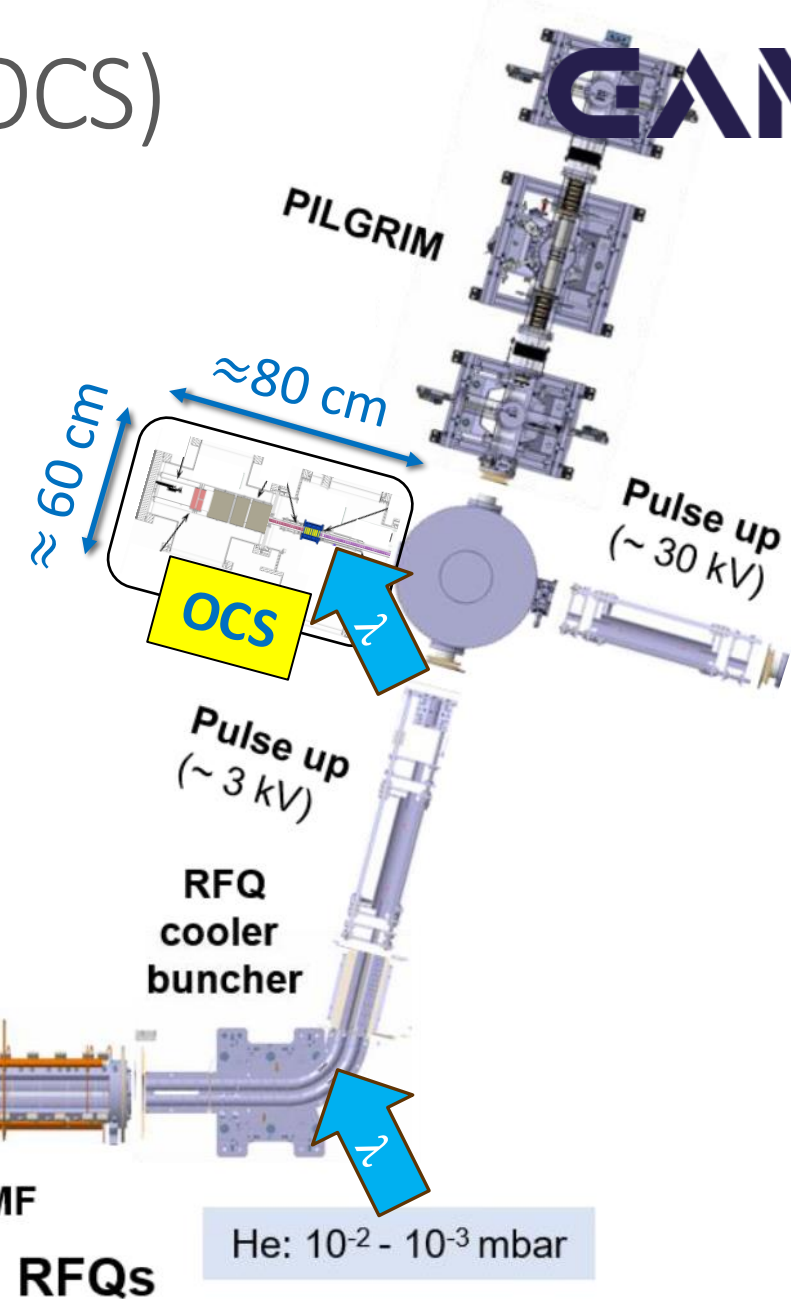
- Development of an Online Chromatography Setup (OCS)



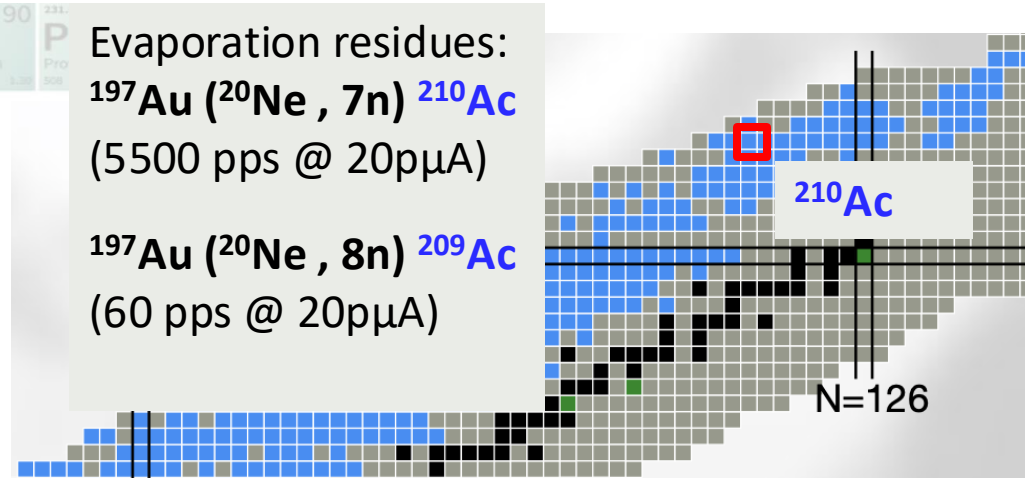
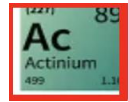
- Increased sensitivity by registering alpha decay events
 - Deflection of ions at the right moment
 - Centroids of radioactivity hotspots correspond to distinct arrival times
- Bulky molecules are slow-moving, thus easy to discriminate
 - No mass filter required for alpha emitters

Online Chromatography Setup (OCS)

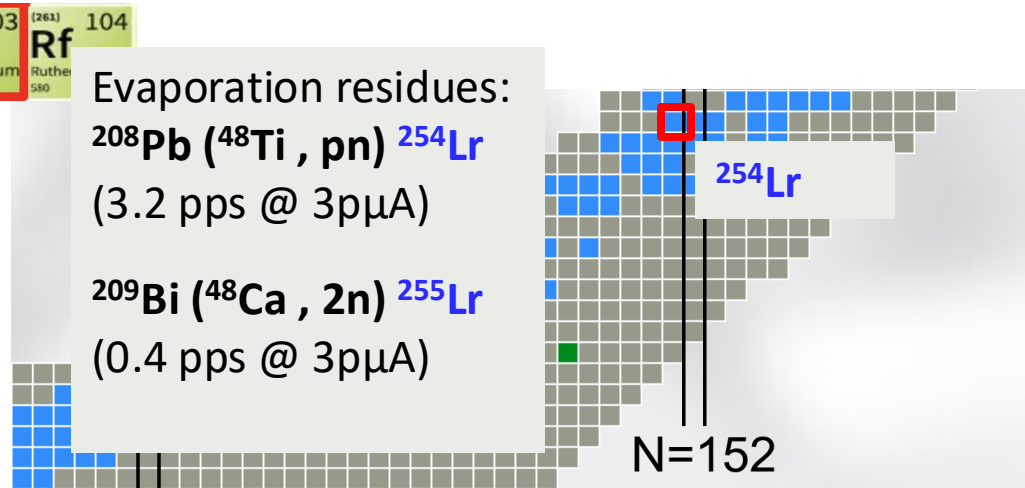
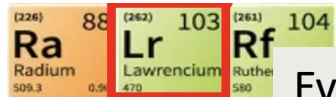
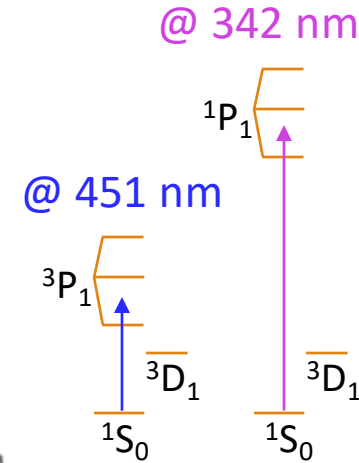
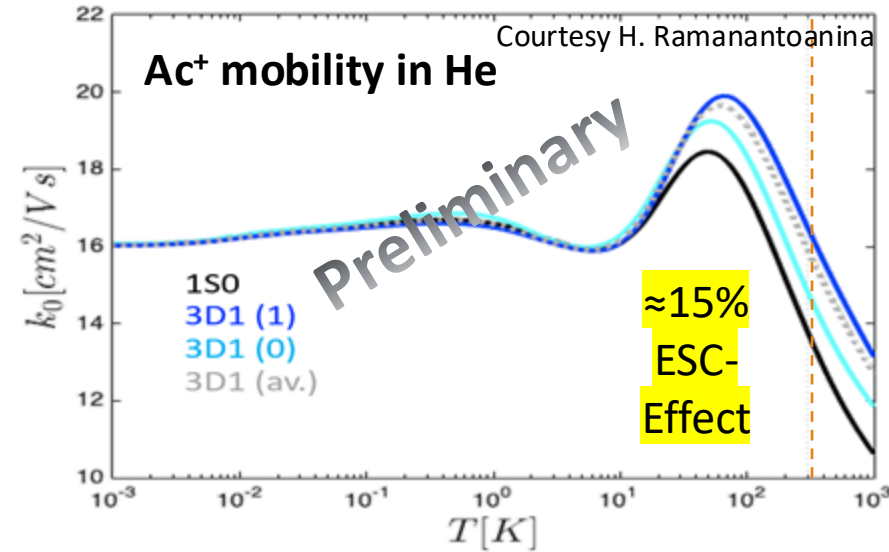
- **PHASE 1:** Integration behind Q-deflector @ S3-LEB
- Compact setup (≈ 80 cm length)
- Inauguration in parasitic mode ($^{214}\text{Ac}^+$)
- **PHASE 2:** Setup @ focal plane of S3



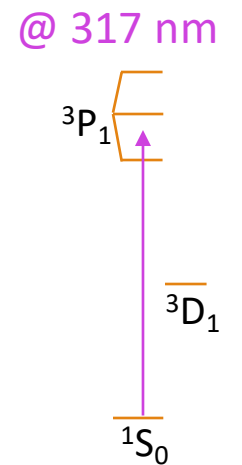
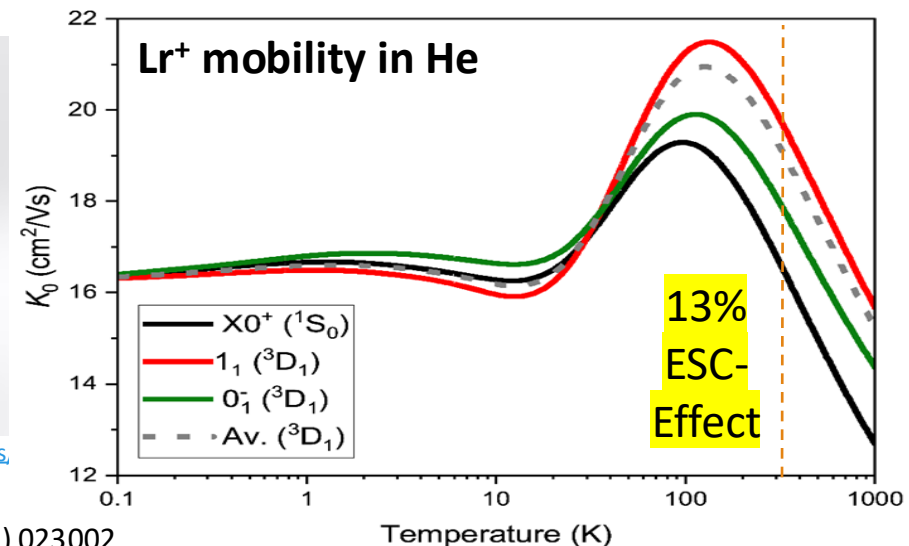
Prospects towards LRC on Ac^+ and Lr^+



<https://u.ganil-spiral2.eu/chartbeams/>



<https://u.ganil-spiral2.eu/chartbeams/>



Summary & Outlook

- ✓ Efficient LRC developed for SHE research, is now being implemented at S3-LEB
- ✓ LRC@S3 roadmap:
 - ✓ Ion trajectory simulations
 - ✓ Technical design/drawings
 - ✓ Setup assembly (starting mid 2026)
 - ✓ Inauguration with radioactive beams (2027)

Thank you!

Backup slides

The ESC effect due to distinct ion mobilities

