

# Zygmunt Patyk

## IPJ, Zakład Fizyki Teoretycznej

### Teoria i fenomenologia – niskie energie

1. Struktura kwarkowa jądra atomowego na przykładzie  $^{56}\text{Fe}$  /J. Rożynek i G. Wilk/.
2. Produkcja oraz potencjał oddziaływania hiperonów  $\Sigma$  z jądrem atomowym (materią jądrową) /J. Dąbrowski i J. Rożynek/.
3. Badanie struktury jąder najcięższych /M. Kowal, Z. Patyk, O. Parkhomenko, J. Skalski, R. Smolańczuk i A. Sobiczewski/ oraz mechanizmów ich syntezy /J. Skalski i R. Smolańczuk/.
4. Badanie rozkładu gęstości jądra atomowego przy pomocy antyprotonów /J. Skalski, R. Smolańczuk i S. Wycech/.
5. Wyznaczanie energii wiązania i czasów życia dla egzotycznych jąder atomowych /Z. Patyk/.

# Struktura kwarkowa jądra atomowego na przykładzie $^{56}\text{Fe}$

J. Rożynek

## DIS

Hit quark has momentum

$$j_+ = x p_+ \quad (0 < x < 1)$$

Experimentally  $x = Q^2/2M\nu$  and is interpreted as fraction of longitudinal nucleon momentum carried by parton (quark) for  $\nu^2 \gg Q^2 \rightarrow \infty$  (Bjorken lim)

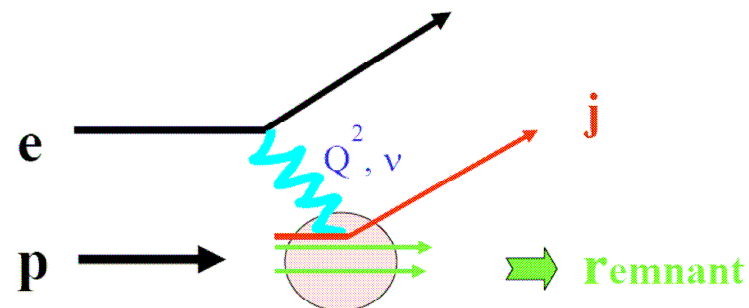
$$d\sigma \sim 1^{\mu\nu} W_{\mu\nu} \quad W_{\mu\nu}(W_1, W_2)$$

### Bjorken Scaling

$$F_2(x) = \lim_{\nu \rightarrow \infty} [(v/M) W_2(q^2, \nu)]_{\text{Bjorken}}$$

### Rescaling inside nucleus

$$F_2^A(x) = F_2[xM/M(x)] + F_2^\pi(x)$$



On light cone Bjorken  $x$  is defined as  $x = j^+ / p^+$  where  $p^+ = p^0 + p^z$

In Nuclear Matter due to final state NN int. nucleon mass  $M$  depend on  $1/x$  (time scale), and consequently from energy  $\varepsilon$  and density  $\rho$ . If  $x < 0.3$   $M(x) = M$  but for large  $x$  (no NN int.) the nucleon eff. mass has limit:

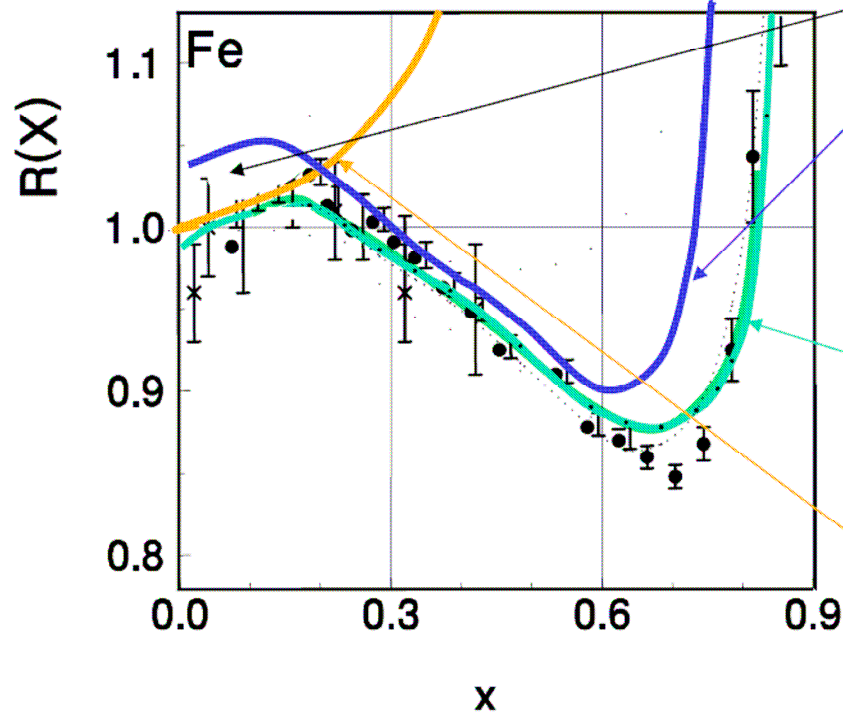
$$M_B \cong M_N + \varepsilon - e_{\text{Fermi}}$$

Due to renormalization of the nucleon mass in medium we have enhancement of the pion cloud from **momentum sum rule**.

# SF - Evolution in Density

$$R(x) = F_2^{NM}(x) / F_2^N(x) \text{ "no" free parameters}$$

Correction to Equation Of State for Nuclear Matter - ap. Neutron Stars



Soft EOS (**density -  $4\rho$** )

Non Linear RMF Models

Nuclear pions take 5% of longit. momenta

Good compressibility Chiral instability (phase transition)

correction to effective  $NN\sigma$  interaction for high density?

Fe eq. density  $\rho=0.12\text{fm}^{-3}$

with G. Wilk Phys.Rev. C71 (2005)

Stiff EOS (**density -  $4\rho$** )

example Walecka RMF Model

No enhancement of pion cloud

Bad compressibility  $K>300\text{MeV}$

J.Dąbrowski & J.Rożynek

# THE ASSOCIATED $\Sigma$ PRODUCTION AND THE NUCLEAR INTERACTION OF $\Sigma$ HYPERONS

Sources of information on  $V_{\Sigma N}$  :

**Associated production of  $\Sigma$**

**Strangeness exchange reactions**

**$\Sigma$  atoms**

**$\Sigma N$  scattering**

The hypernuclear mass ( $M_{HY}$ ) in the  $(\pi^-, K^+)$  reaction was calculated by the following relation:

$$M_{HY} = \sqrt{(E_\pi + M_A - E_K)^2 - (p_\pi^2 + p_K^2 - 2p_\pi p_K \cos \theta_{\pi K})}, \quad (2)$$

where  $E_\pi$  and  $p_\pi$  are the total energy and momentum of a pion;  $E_K$  and  $p_K$  are those of a kaon.  $M_A$  is the mass of a target nucleus and  $\theta$  is the scattering angle of the reaction.

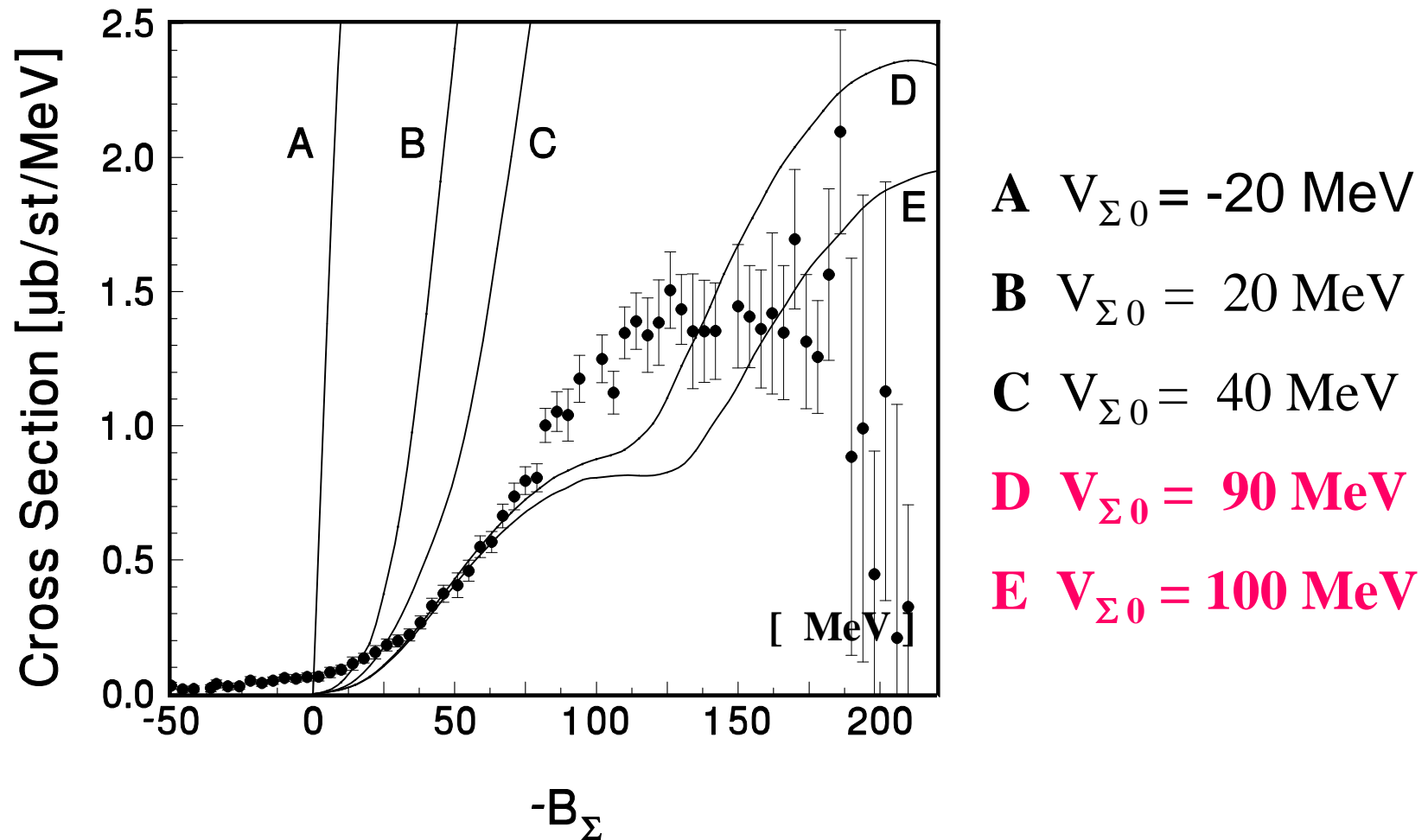
The measured inclusive  $(\pi^-, K^+)$  spectra are presented as a function of the binding energy ( $B_{\Sigma^-}$ ) of the  $\Sigma^-$  hyperon, which was defined as

$$B_{\Sigma^-} \equiv M_{A-1} + M_{\Sigma^-} - M_{HY}, \quad (3)$$

where  $M_{A-1}$  is the mass of a core nucleus at its ground state and  $M_{\Sigma^-}$  is the mass of a  $\Sigma^-$  hyperon.

Kaon spectrum from  $(\pi^-, K^-)$  on  $^{28}\text{Si}$  at  $\theta_K=6^\circ$  at  $p_\pi=1.2$  GeV/c.  
Data from P.K.Saha, et al., Phys.Rev.C **70**, 044612(2004).

J.Dąbrowski, J.Rożynek, Int.Journ.Mod.Phys. **16**, 603(2007)



## Badanie struktury jąder najcięższych

**IM. Kowal, Z. Patyk, O. Parkhomenko, J. Skalski, R. Smolańczuk i A. Sobiczewski**

- 1) Obliczanie energii potencjalnej jąder atomowych w funkcji deformacji: dla stanu podstawowego, dla izomerów kształtu oraz dla barier na spontaniczne rozszczepienie.
- 2) Obliczanie energii wzbudzeń dla kolektywnych stanów rotacyjnych i wibracyjnych.

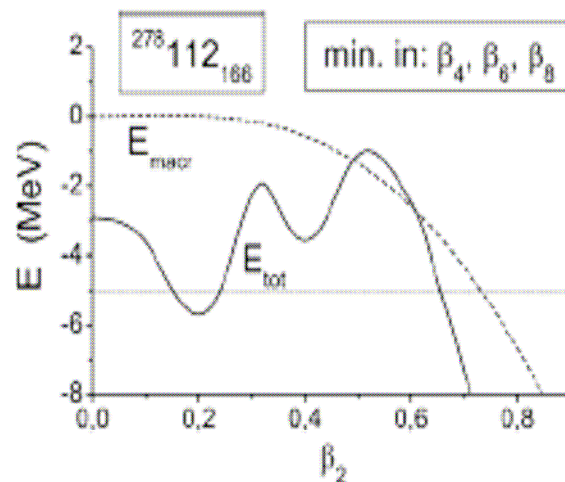


Fig. 22. Static spontaneous-fission barrier calculated for the nucleus  $^{278}_{112}$  in two cases, when only the macroscopic ( $E_{\text{macr}}$ ) and when the total ( $E_{\text{tot}}$ ) energy of it is considered [136].

### 3) Obliczanie czasów życia na rozpad $\alpha$ oraz spontaniczne rozszczepienie /zastosowania astrofizyczne/.

NUSTAR-SHE-06

#### Doubly magic $^{270}\text{Hs}$

J. Dvorak<sup>1</sup>, R. Krücken<sup>1</sup>, F. Nebel<sup>1</sup>, Z. Novackova<sup>1</sup>, A. Semchenkov<sup>1,2</sup>, A. Türler<sup>1</sup>, B. Wierczinski<sup>1</sup>,  
 A. Yakushev<sup>1</sup>, W. Brückle<sup>2</sup>, E. Jäger<sup>2</sup>, M. Schädel<sup>2</sup>, B. Schausten<sup>2</sup>, E. Schimpf<sup>2</sup>, M. Chelnokov<sup>3</sup>,  
 V. Gorshkov<sup>3</sup>, A. Kuznetsov<sup>3</sup>, A. Yerebin<sup>3</sup>, R. Dressler<sup>4</sup>, Ch. E. Düllmann<sup>5,6</sup>, K. Eberhardt<sup>7</sup>,  
 P. Thörle<sup>7</sup>, Y. Nagame<sup>8</sup>, Z. Qin<sup>3,9</sup>, M. Wegrzecki<sup>10</sup>

<sup>1</sup>TU Munich, Garching, Germany; <sup>2</sup>GSI, Darmstadt, Germany; <sup>3</sup>JINR, Dubna, Russia; <sup>4</sup>PSI, Villigen, Switzerland;  
<sup>5</sup>LBNL, Berkeley, CA, USA; <sup>6</sup>UC Berkeley, CA, USA; <sup>7</sup>U Mainz, Germany; <sup>8</sup>JAEA, Tokai-mura, Japan;  
<sup>9</sup>IMP, Lanzhou, P. R. China; <sup>10</sup>ITE, Warsaw, Poland

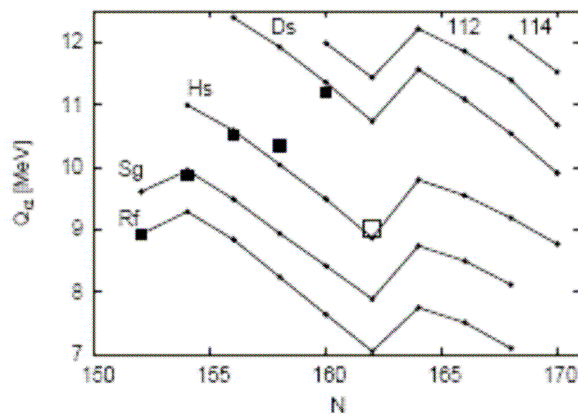


Figure 1:  $Q_\alpha$  values from theoretical calculations and experimental data; the value for  $^{270}\text{Hs}$  (open square) is from this work.

Tab.1. Decay properties of Hs and Sg nuclei.

Z	A	Decay mode	Half-life	$E_\alpha$
108	269	$\alpha$	—	$9.07 \pm 0.03$ $8.92 \pm 0.03$
108	270	$\alpha$	—	$8.89 \pm 0.03$
106	265	$\alpha$	$14.9^{+9.1}_{-4.1}$ s	$8.68 \pm 0.04$
106	266	SF	$444^{+444}_{-148}$ ms	

The  $\alpha$ -decay energy of doubly-magic  $^{270}\text{Hs}$  is in good agreement with theoretical calculations, which take into account shell stabilization of deformed nuclei.  $^{270}\text{Hs}$  is the first experimentally observed even-even nucleus on the predicted  $N=162$  neutron shell.

#### References

- [1] A. Sobiczewski, Acta Phys. Pol. B 29, 2191 (1998).
- [2] Z. Patyk *et al.*, Nucl. Phys. A 533, 132 (1991).



# Badanie rozkładu gęstości jądra atomowego przy pomocy antyprotonów

**IS. Wycechl.**

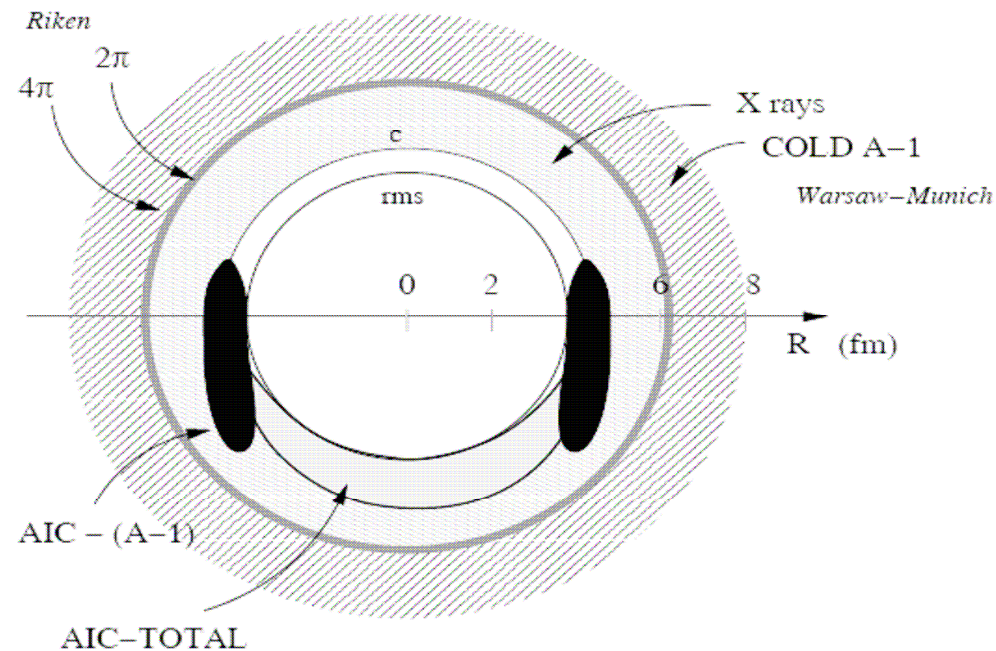
## Nuclear capture of antiprotons: the $\pi$ emission question

S. Wycechl

*Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw, Poland*

The charged pion emission following nuclear  $\bar{p}$  capture may be used to determine the properties of neutron skin in nuclei. It is shown that this method may become very powerful provided it determines more than the asymmetry and the ratio of  $\pi^+$  and  $\pi^-$  emission rates.

FIG. 1. Probability densities for the nuclear  $\bar{p}$  capture in Sn region, given by the product  $R^2\rho(R)P_{\bar{p}}(R)P_{\pi}(R)$  in eq.3.  $R$  is the radial distance. The captures from atomic states studied by: X-rays, meson emissions, radiochemistry are more and more peripheral. All these capture regions are  $\approx 2$  fm deep, but to make the plot more clear only the center of the region involved in RIKEN proposal [5] is marked. The in-flight experiments marked by AIC [6] will test more central nuclear regions.



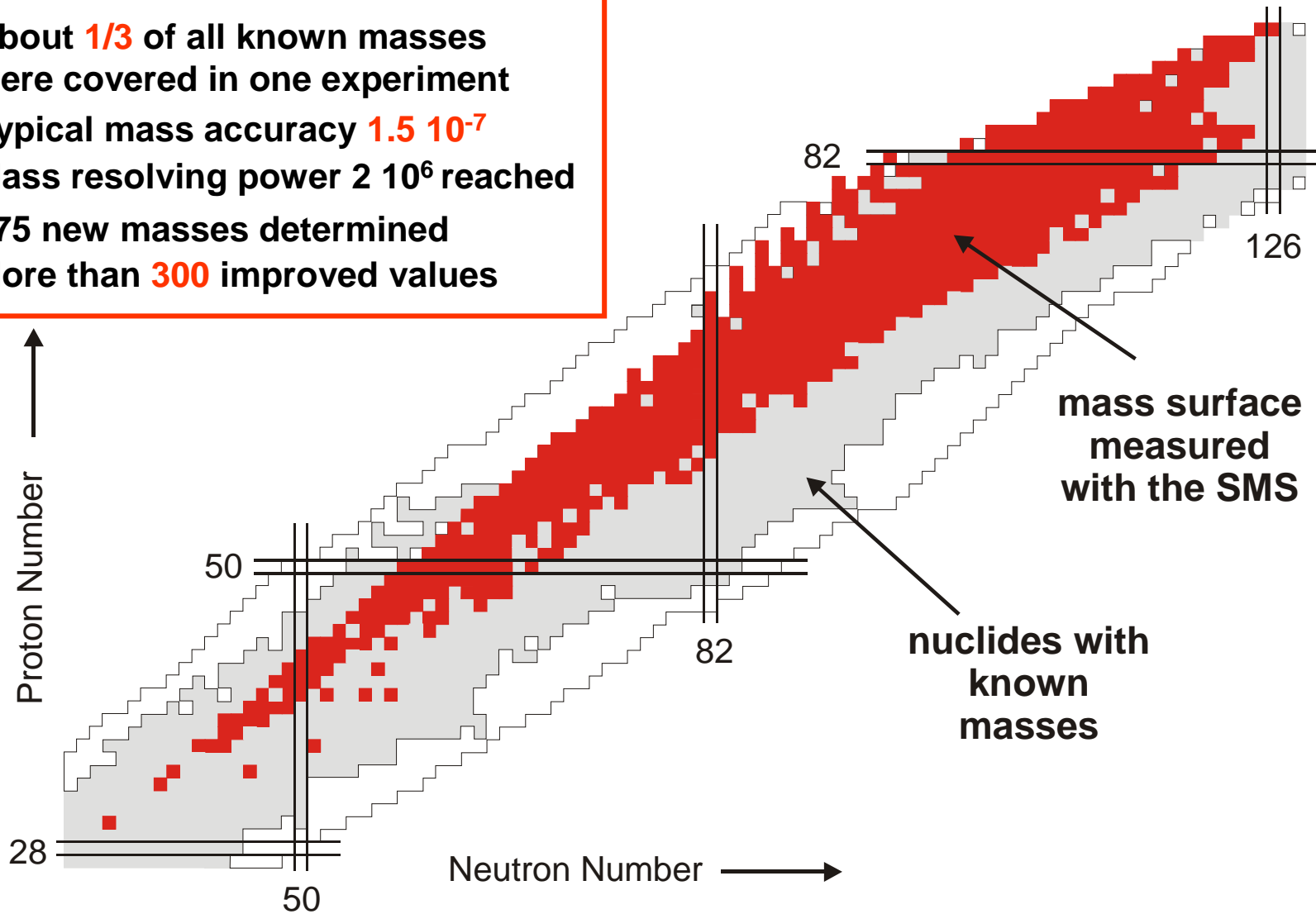
# **Wyznaczanie energii wiązania i czasów życia dla egzotycznych jąder atomowych**

***IZ. Patyki.***

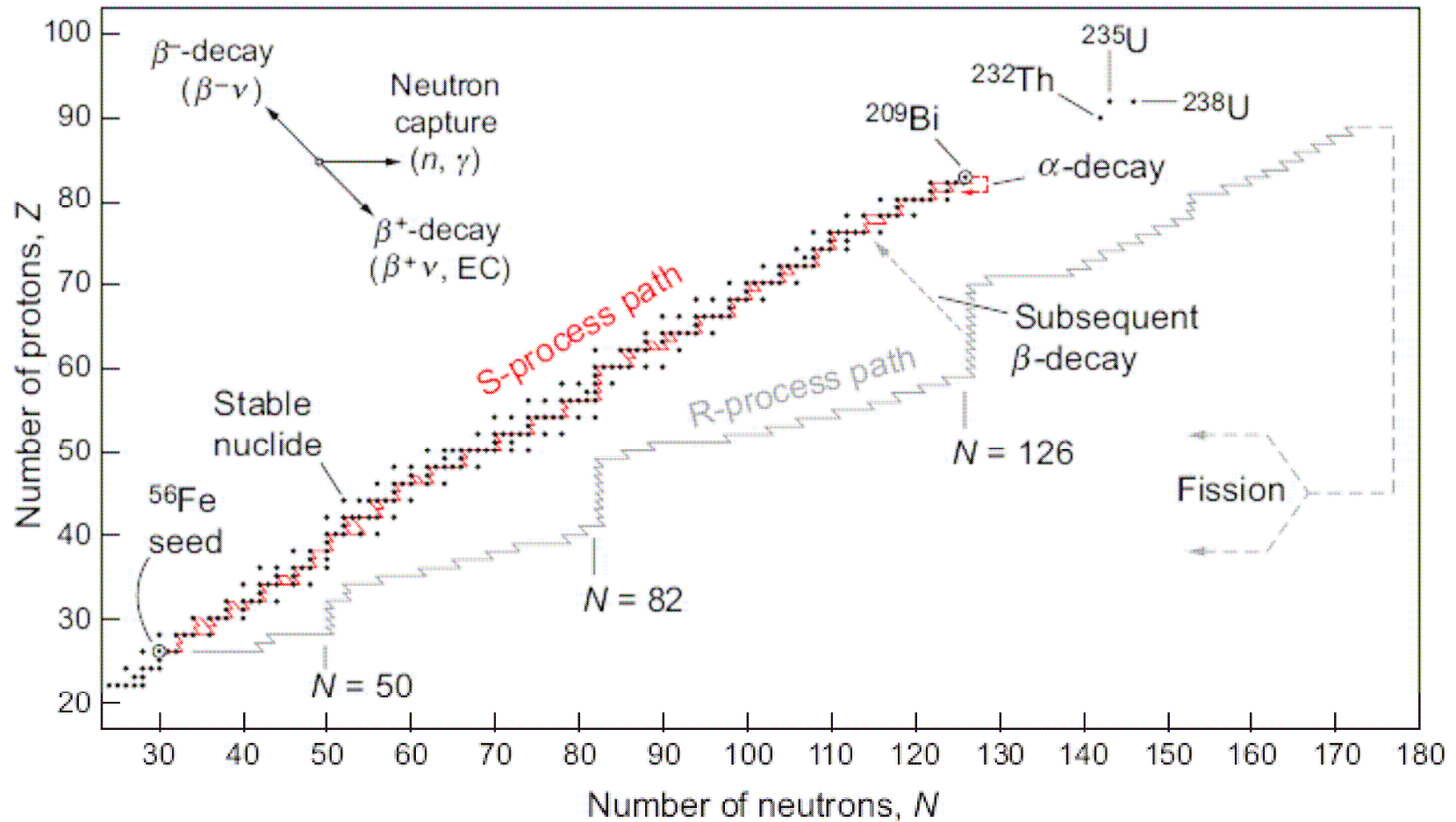
- 1) Obliczenia energii wiązania jąder atomowych.
- 2) Obliczenia czasów życia na wychwyty elektronu, rozpad  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  oraz rozpad  $\alpha$  dla atomów obojętnych oraz dla jonów helo- i wodoropodobnych.
- 3) Pomiar mas jąder atomowych i czasów życia metodą Schottky i TOF.
- 4) Jednym z głównych celów obliczeń i pomiarów zarówno energii wiązania jak i czasów życia są zastosowania astrofizyczne.

# Measured Mass Surface

About **1/3** of all known masses were covered in one experiment  
Typical mass accuracy  **$1.5 \cdot 10^{-7}$**   
Mass resolving power  **$2 \cdot 10^6$**  reached  
275 new masses determined  
More than **300** improved values



Procesy R(apid) i S(low) syntezy jąder cięższych od żelaza  $^{56}\text{Fe}$ ,  
zachodzące w gwiazdach



# STRATEGICZNE PLANY BADAWCZE POLSKIEJ FIZYKI JĄDROWEJ (2007-2016)

(Teoria i eksperyment)

## BADANIA PODSTAWOWE

I	II	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
struktura jąder atomowych i oddziaływania między nukleonowe	jądra egzotyczne	SPIRAL2											
										FAIR			
	SIS@GSI												
	jądra w warunkach ekstremalnych	SPIRAL2											
										FAIR			
		Legnaro, Jyvaskyla, RIA											
		SLCJ											
	struktura stanów wzbudzonych									FAIR			
		SPIRAL2											
	Legnaro, Jyvaskyla, RIA												
procesy słabe	podziemne lab. niskotłowe (Sieroszowice)												

Temat	Nazwisko(a)	Projekt
Struktura kwarkowa jądra atomowego na przykładzie $^{56}\text{Fe}$	J. Rożynek i G. Wilk	FAIR
Produkcja oraz potencjał oddziaływania hiperonu $\Sigma$ z jądrem atomowym (materią jądrową)	J. Dąbrowski i J. Rożynek	FAIR
Badanie struktury jąder najcięższych oraz mechanizmów ich syntezy	M. Kowal, Z. Patyk, J. Skalski, O. Parkhomenko, R. Smolańczuk i A. Sobiczewski	SHE/NUSTAR
Badanie rozkładu gęstości jądra atomowego przy pomocy antyprotonów	J. Skalski, R. Smolańczuk, S. Wycech,	AIC/NUSTAR
Wyznaczanie energii wiązania i czasów życia dla egzotycznych jąder atomowych	Z. Patyk	ILIMA/NUSTAR