

# $A^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$ reakció kísérleti vizsgálata

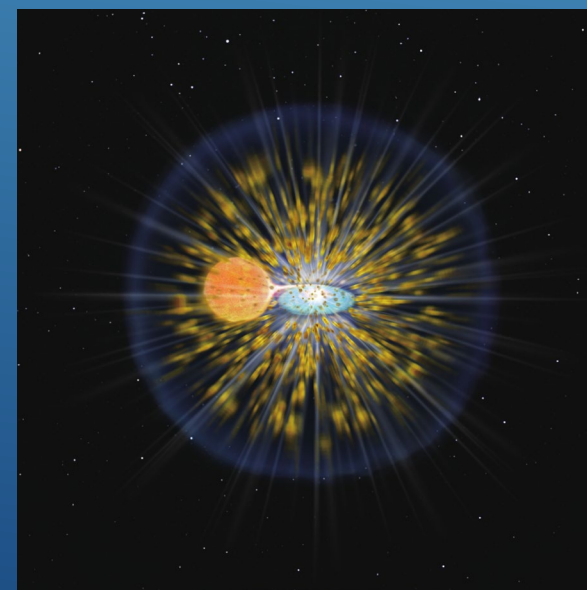
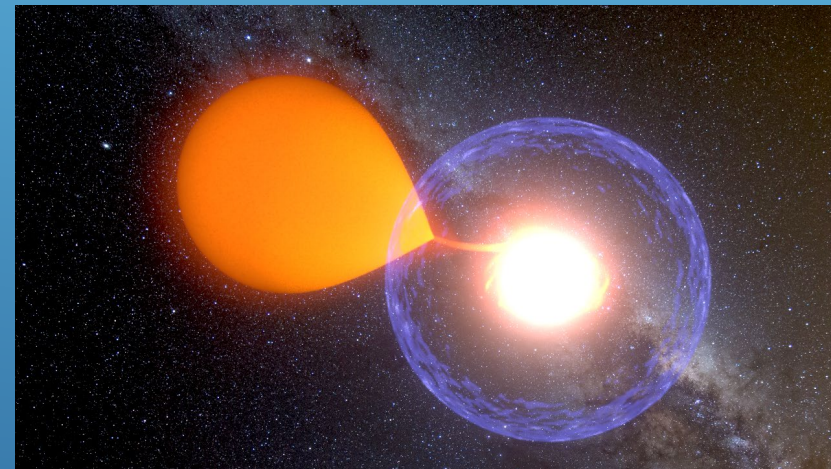
Az  $E_p=416.9\text{keV}$  energiájú rezonancia erősségének  
mérése és a direkt befogási hatáskeresztmetszet  
meghatározása



Mátyus Zsolt, PhD hallgató  
Témavezető: Gyürky György  
HUN-REN Atomki, Debrecen

# ASZTROFIZIKAI MOTIVÁCIÓ

- ▶ Klasszikus nova jön létre, ha egy H gazdag anyag egy fehér törpe körül akkréciós korongot formál.
- ▶ Ez az anyag egy része a fehér törpe tetején anyag halmozódik fel és egy adott hőmérsékleten magreakciók indulnak be. Ez beindít egy úgynevezett Thermonuclear runaway-t (TNR).
- ▶ Ellentétben az I-A típusú szupernóvákkal, itt a csillag nem semmisül meg ezért a jelenség megismétlődhet.



# ASZTROFIZIKAI MOTIVÁCIÓ

- ▶ A  $^{29}\text{Si}$  ilyen robbanások során jöhet létre, ami utána meteorokba záródik
- ▶ A  $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$  reakciósebessége befolyásolja a  $^{29}\text{Si}$  természetes gyakoriságát
- ▶ A  $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$  hatáskeresztmetszetének direkt befogási (DC) komponense még nem volt mérve, csak elméleti becslés van.
- ▶ Ezentúl a  $E_p=416.9\text{keV}$  rezonancia erősségére nem egyértelmű adatok állnak csak rendelkezésre az irodalomban
- ▶ A munka célja a fenti rezonancia erősségének kísérleti meghatározása és a direkt befogási hatáskeresztmetszet kísérleti meghatározása.

## A. Direct capture

Direct proton capture has not been observed in the  $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$  reaction, but it is nevertheless expected to contribute to the total reaction rate, especially at low temperatures [42]. An estimate of its contribution can be obtained by calculating the direct capture cross section for each transition to a  $^{30}\text{P}$  bound state using a potential model and weighing the result by the measured proton spectroscopic factor [33]. The sum over all bound states gives the total direct capture cross section. For more information about this procedure, see Ref. [48]. Converting the direct capture cross section into an astrophysical  $S$  factor and presenting the result numerically as a Taylor series gives

$$S_{DC}(E) = 0.1072 - 1.262 \times 10^{-2}E + \frac{1}{2}1.114 \times 10^{-3}E^2, \quad (2)$$

where  $E$  and  $S_{DC}$  are in units of MeV and MeV b, respectively. For the uncertainty of the  $S$  factor, we assumed 40%.

Year	Reference	Resonance strength [meV]	Remark
1956	C Broude <i>et al.</i> [7]	57.5	cited by [8] without error
1958	C van der Leun <i>et al.</i> [8]	$58.5 \pm 15$	
1966	G A P Engelbertink <i>et al.</i> [9]	$175 \pm 25$	
1979	M Riihonen <i>et al.</i> [10]	$260 \pm 25$	
1982	D G Sargood [5]	$220 \pm 25$	rescaling [9] based on [11], adopted by [4]
1998	P M Endt [6]	$260 \pm 25$	most recent compilation, adopts [10]

# TARGETEK

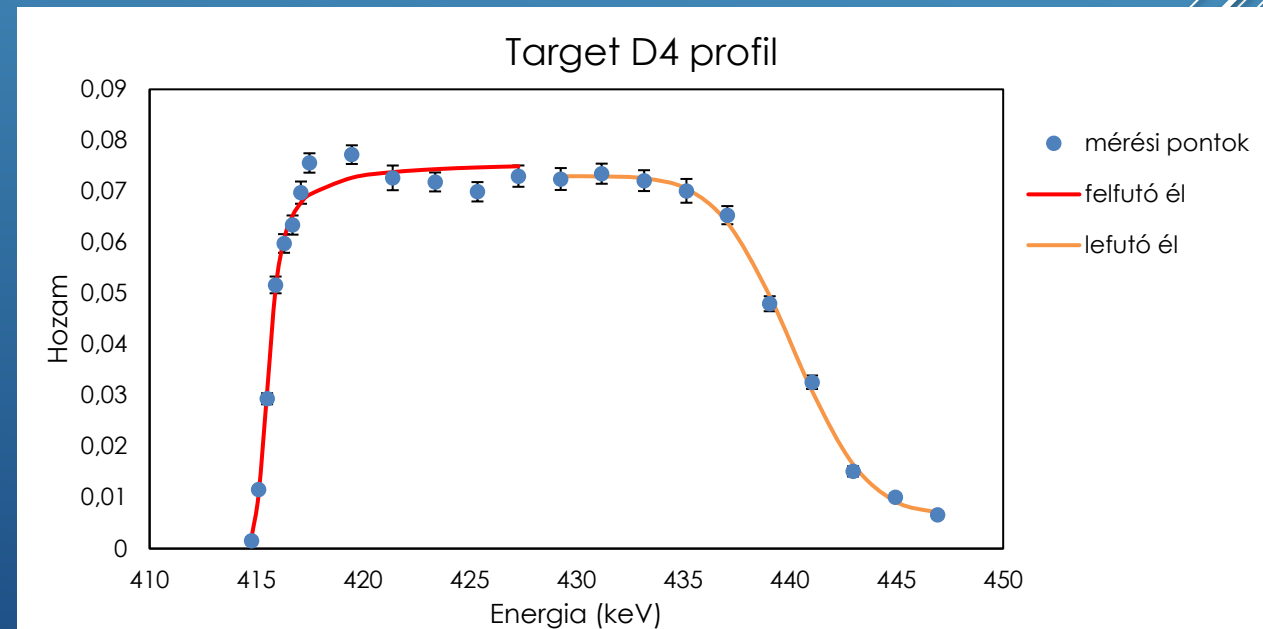
- ▶ A rezonancia erősséghez néhány próbálkozás után végül vastag  $\text{SiO}_2$  lapokat használtunk, amiket Al réteggel vontam be
- ▶ A  $^{29}\text{Si}$  természetes gyakorisága miatt a DC komponens méréséhez dúsított anyagot kellett használni
- ▶ A dúsított targetek vákuumpárolgatással készültek tantál hátlapra.



# TARGETEK

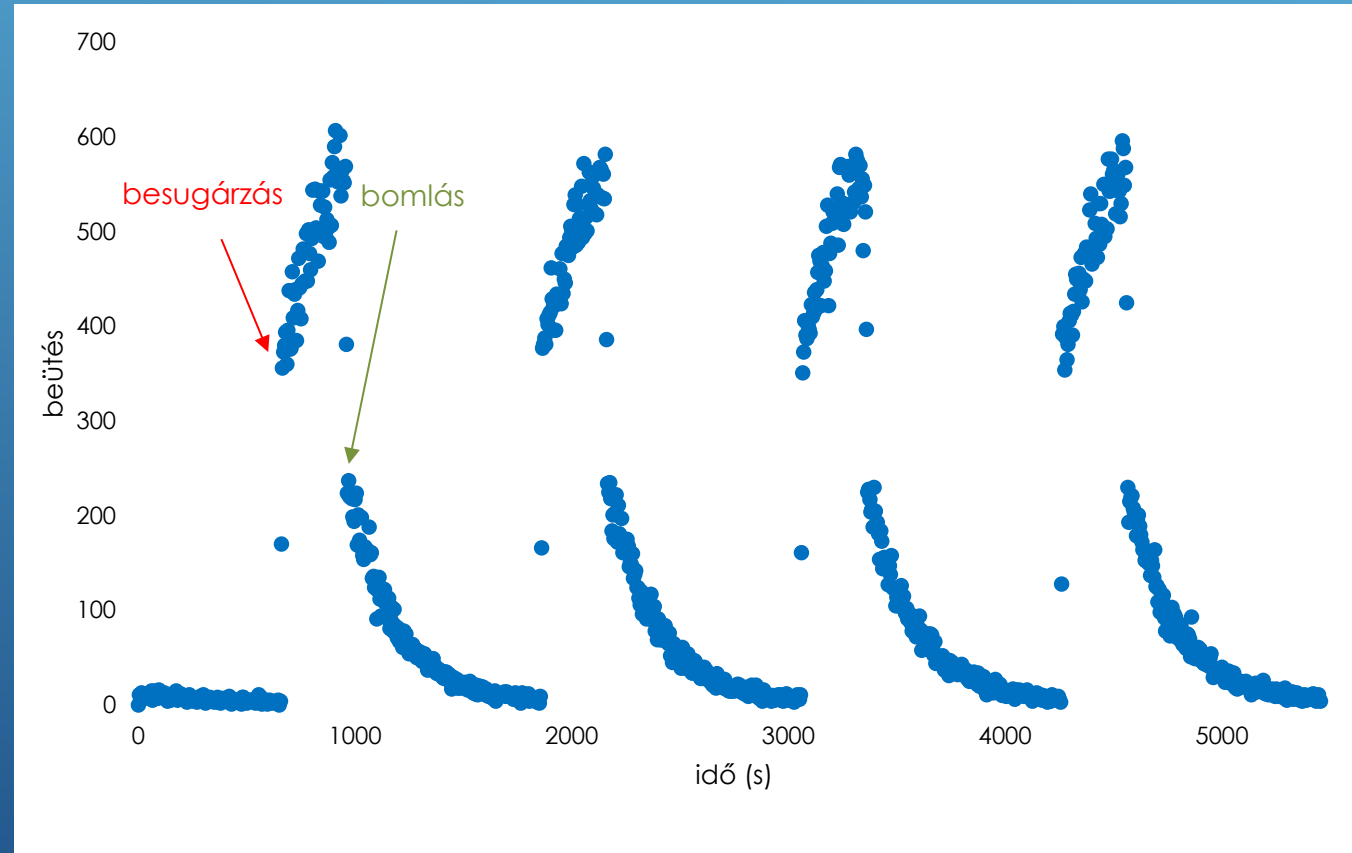
- ▶ A dúsított targetek T vastagságát nukleáris rezonancia analízissel (NRRA) határoztam meg
- ▶ A targetmagok számának pontos meghatározásához szükséges a targetben lévő oxigén atomok száma
- ▶ A kész dúsított targetek is tartalmaztak ismeretlen mennyiségű oxigént
- ▶ Ennek meghatározáshoz ismert oxigén tartalmú targettel azonos energián elvégzett mérések hozamát használtam fel

$$N_{16O} = N_{29Si} \left( \frac{C \varepsilon_{Si} \frac{0,9533}{0,0467}}{\varepsilon_O} + C \frac{2}{0,0467} \right) \quad C = \frac{Y_{SiO_2}}{Y_{29Si}}$$
$$T = \frac{E_{le} - E_{fel}}{\left( \varepsilon_{Si} + \frac{N_{29Si} \varepsilon_O}{N_{16O}} \right)}$$



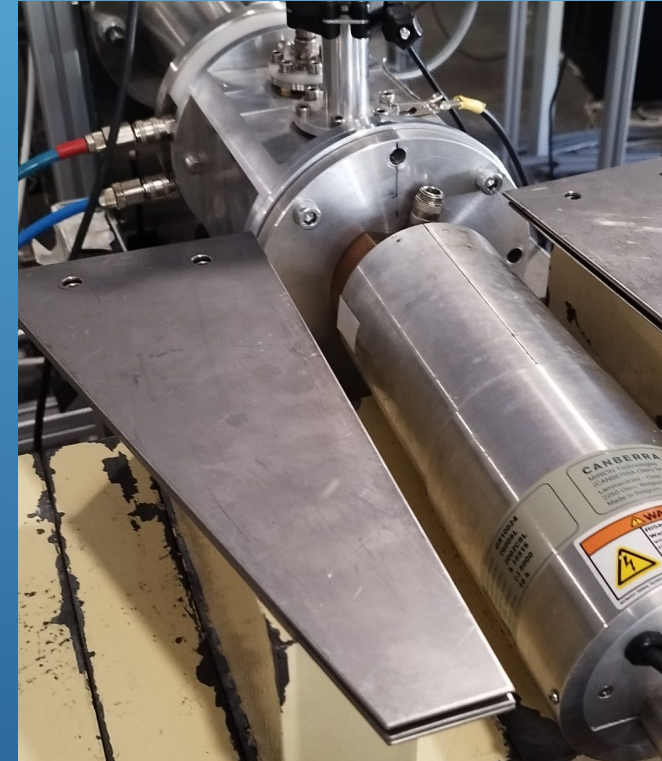
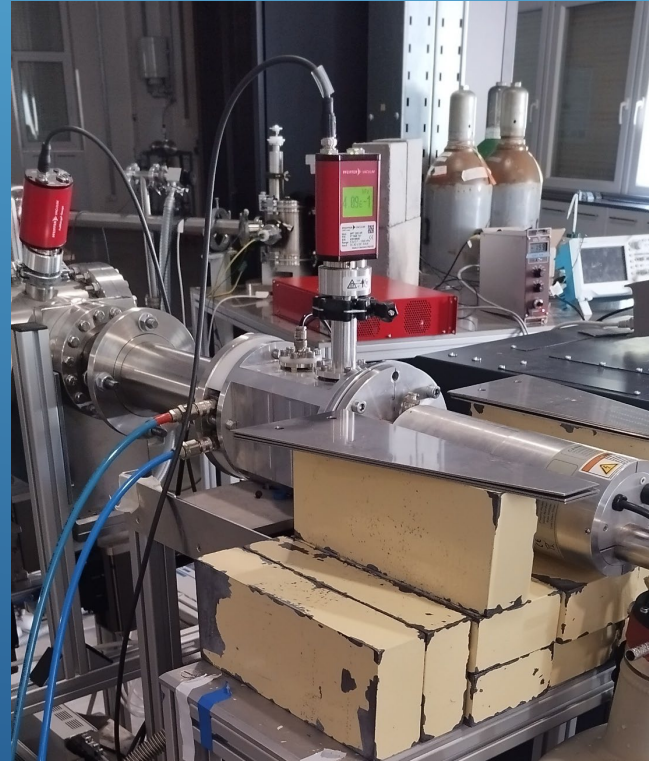
# KÍSÉRLETEK: CIKLIKUS AKTIVÁCIÓ

- ▶ A  $^{30}\text{P}$  radioaktív, ezért az aktivációs technika alkalmazható
- ▶ A  $^{30}\text{P}$  felezési ideje  $T_{1/2}=2,489$ perc, ciklikus aktiváció
- ▶ A proton nyalábot az Atomki Tandetron gyorsítója szolgáltatta
- ▶ Az 511keV-es gamma-sugárzást egy HPGe detektor rögzítette



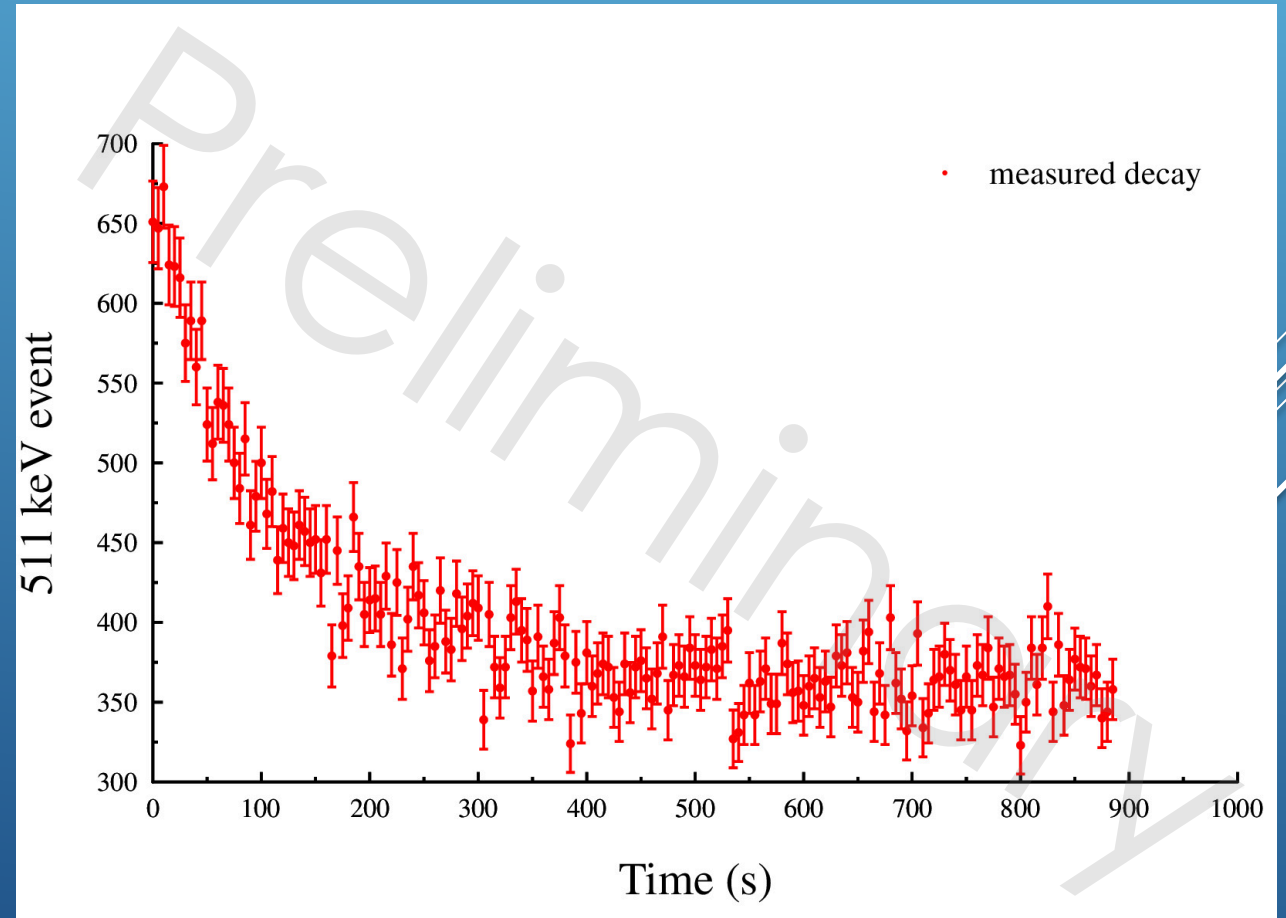
# KÍSÉRLETEK: DETEKTORHATÁSFOK

- ▶ A HPGe detektor hatásfokát pontosan kell tudni a mérési geometriában
- ▶ Először egy referencia geometriában mértem kalibrációs forrásokkal
- ▶ A  $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$  reakció felhasználásával pedig a mérési geometriában határoztam meg a hatásfokot



# KÍSÉRLETEK: BESUGÁRZÁS ÉS BOMLÁS

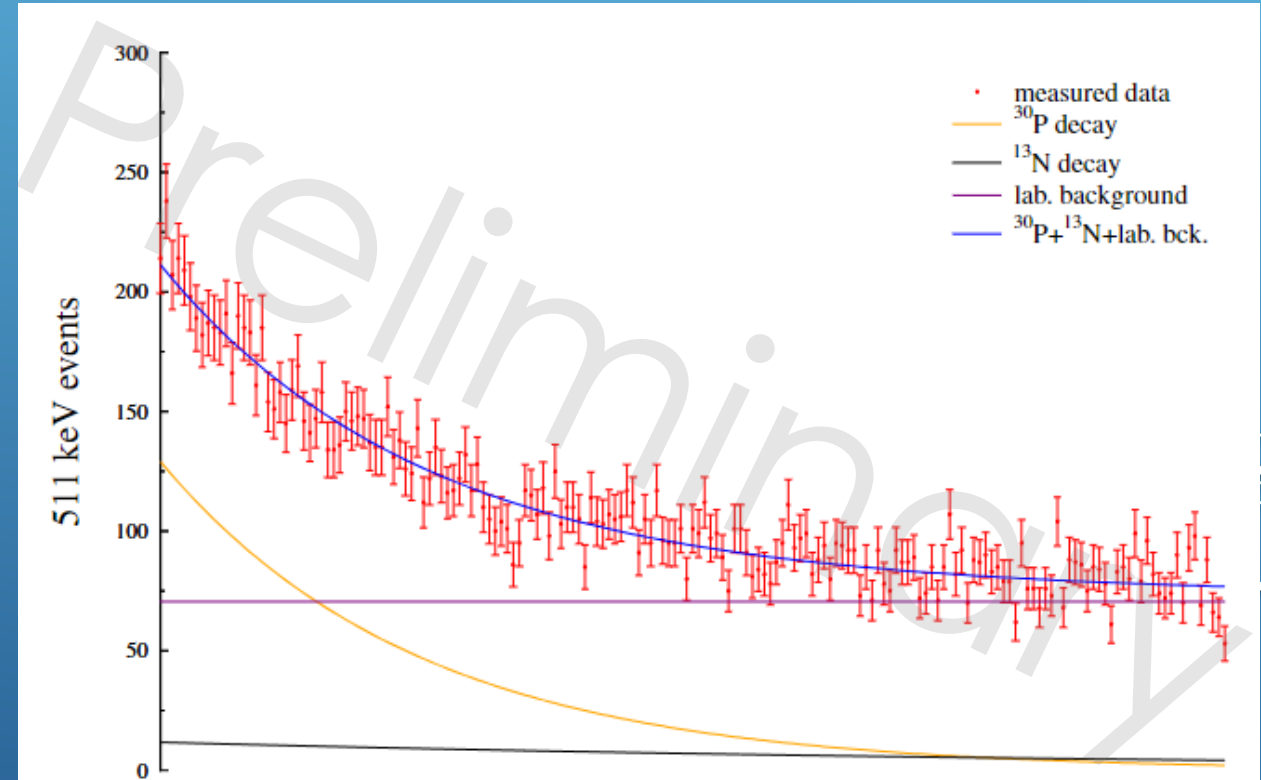
- ▶ A besugárzási fázist egy bomlási fázis követ
- ▶ Ez a ciklus több alkalommal ismétlődik
- ▶ A targetre érkező töltés és a  $\gamma$ -sugarak 5 másodpercenként vannak rögzítve





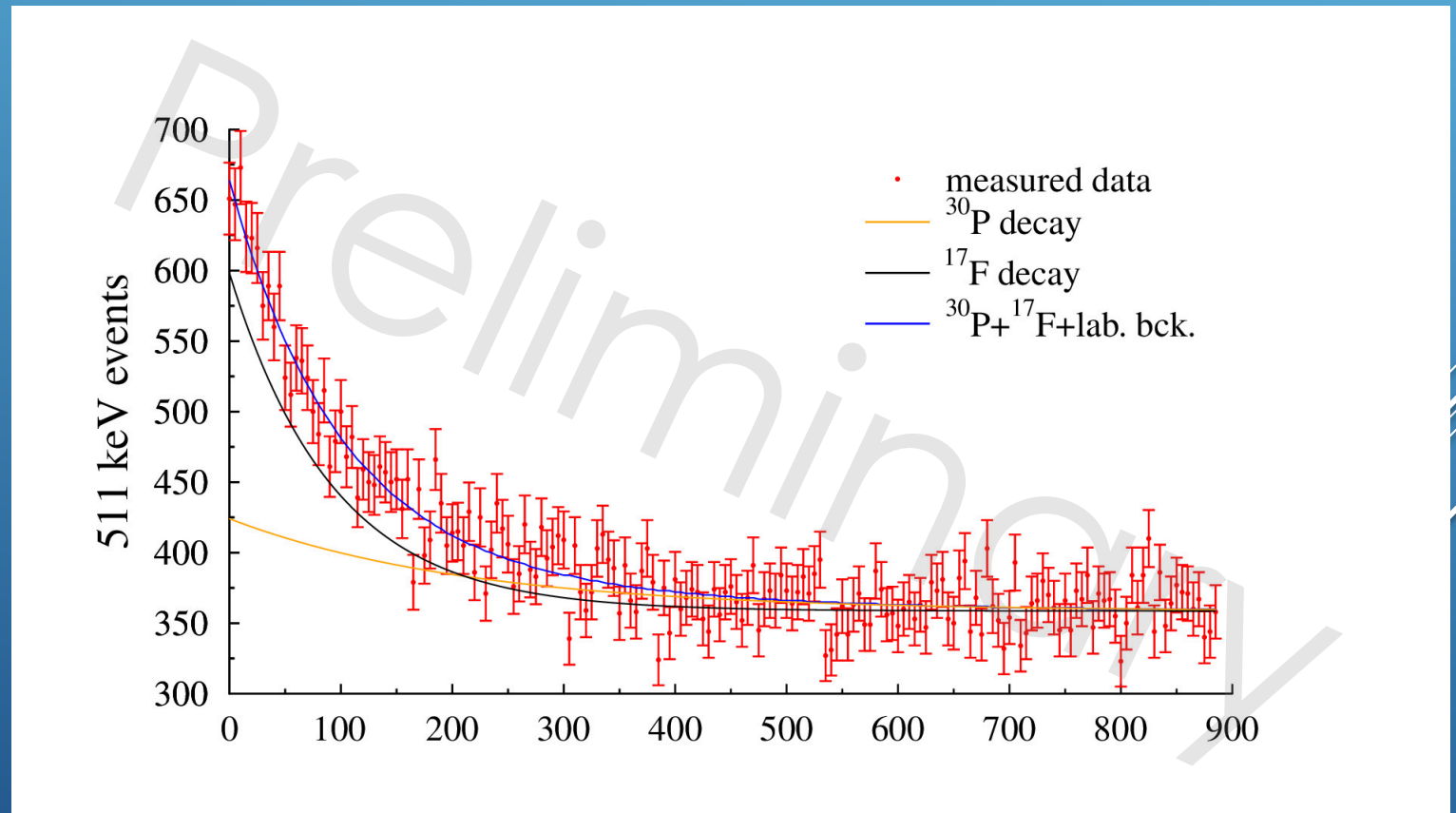
# ADATFELDOLGOZÁS: SZUMMÁZÁS ÉS ILLESZTÉS

- ▶ A ciklusokat felösszegeztem a statisztika javítása érdekében
- ▶ A reakció  $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$  hozama ( $Y$ ) kapcsolatban áll az  $\omega\gamma$  rezonancia erősséggel illetve a DC hatáskeresztmetszettel ( $\sigma_{\text{DC}}$ )
- ▶ A hozam meghatározásához a mért adatokra függvényt illesztettem
- ▶ Az illesztésnek 3 paramétere van. Ezek függenek attól milyen energián bombázzuk a targetet.



# ADATFELDOLGOZÁS: SZUMMÁZÁS ÉS ILLESZTÉS

- ▶ A DC esetében hasonló volt az eljárás.
- ▶ A különbség, hogy a több komponensű bomlási függvénynek más tagjai voltak.
- ▶ Itt a céltárgyban jelen lévő oxigénen végbe menő  $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$  reakciót kell figyelembe venni



# ADATFELDOLGOZÁS: A REZONANCIAERŐSSÉG MEGHATÁROZÁSA

- ▶ Vastagtarget-közelítésben a feltüntetett formula adja a rezonancia erősségét
- ▶ Az  $Y_{\text{tot}}$  a hozam a rezonancia energia felett mérve, az  $Y_{\text{off}}$  a hozam a rezonancia energia alatt mérve
- ▶ Az  $Y_{\text{res}}$  a kettő különbségéből adódik, amiből az  $\omega\gamma$  meghatározható
- ▶ A képletben szereplő  $\epsilon_{\text{eff}}$  több komponensből tevődik össze

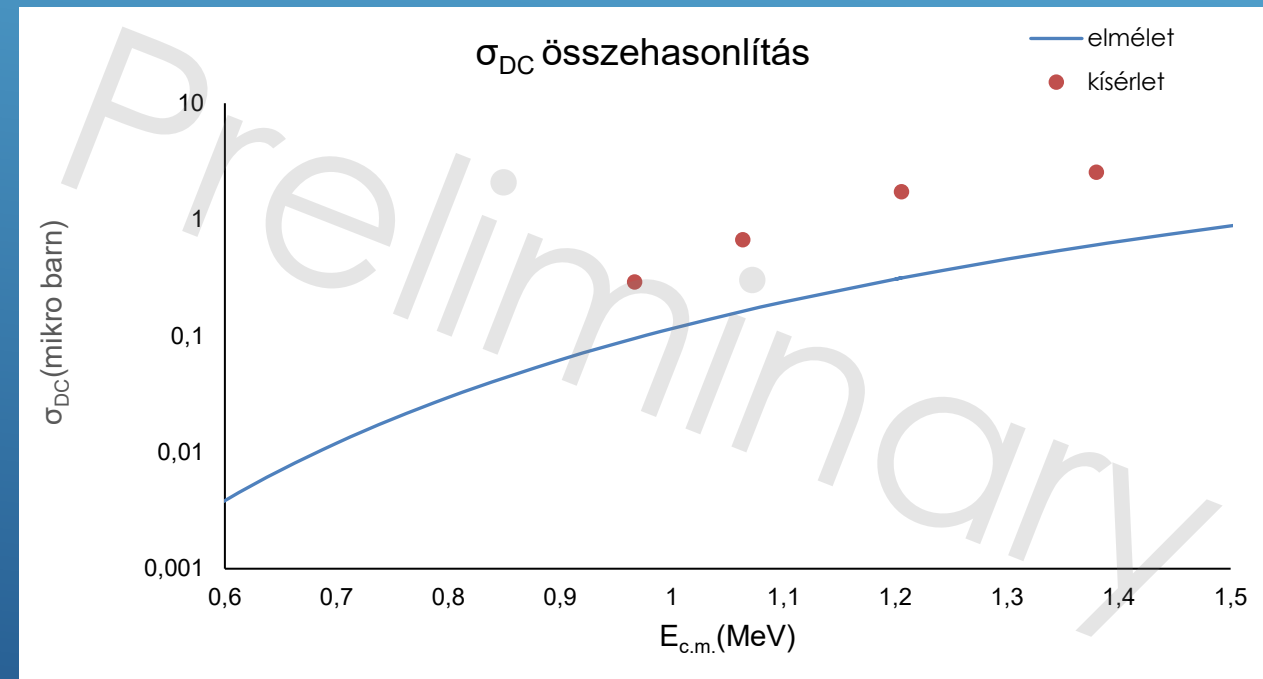
$$\omega\gamma = \frac{2\epsilon_{\text{eff}}Y_{\text{res}}}{\lambda^2}$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_{\text{Si}} \left( 1 + \frac{N_{28\text{Si}+30\text{Si}}}{N_{29\text{Si}}} \right) + \epsilon_0 \frac{N_0}{N_{29\text{Si}}}$$

# ADATFELDOLGOZÁS: A DC HATÁSKERESZTMETSZET MEGHATÁROZÁSA

- ▶ A DC komponens esetében is a hozamot használtam fel a hatáskeresztmetszethez
- ▶ A hozamot a bomlások számából határoztam meg

$$Y = \frac{N_{P_0} \lambda_P}{(1 - e^{-\lambda_P t_i}) \phi_p} \frac{1}{\sigma} \quad \sigma = \frac{N_{P_0} \lambda_P}{(1 - e^{-\lambda_P t_i}) \phi_p N_{29Si}}$$
$$Y = \sigma N_{29Si}$$



# ADATFELDOLGOZÁS: BIZONYTALANSÁGOK

- ▶ Mindkét esetben több forrásból származik a mérési eredmény bizonytalansága
- ▶ A rezonancia erősség teljes bizonytalansága 7,5%
- ▶ A  $\sigma_{DC}$  bizonytalanságának meghatározása még folyamatban van.

Source	relative uncertainty
$Y_{tot.}$ (statistical only)	2.5 %
$Y_{off}$ (statistical only)	10.5 %
$Y_{res.} = Y_{tot.} - Y_{off}$ (statistical only)	4.3%
Si stopping power	8.0 %
O stopping power	2.3 %
Si:O ratio	3.0 %
Effective stopping power	4.5%
HPGe detector efficiency	3.0%
Current integration	3.0%
Total	7.5%

# EREDMÉNYEK

- ▶ A rezonancia erősség  $\omega\gamma = 219 \pm 16$  meV
- ▶ Új mérési technikát alkalmazva mértem meg a rezonancia erősséget
- ▶ Az eredmény szignifikánsan nem változott az utolsó kompilációhoz képest
- ▶ Jobb lett az érték bizonytalansága, mint az eddigi méréseké
- ▶ A kísérletről írt cikk beadásra került a The European Physical Journal A nevű folyóiratba
- ▶ A  $\sigma_{DC}$ -k az eddigi eredmények alapján egyértelműen eltérnek az elméleti számolásoktól

## Measurement of the $E_p = 416.9$ keV resonance strength in the $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$ reaction

Zs Mátyus<sup>1,2</sup>, Z Halász<sup>1</sup>, G G Kiss<sup>1</sup>, L Csedreki<sup>1</sup>, T Szücs<sup>1</sup>,  
Á Tóth<sup>1,2</sup>, Zs Fülöp<sup>1</sup>, Gy Gyürky<sup>1‡</sup>

<sup>1</sup>Institute for Nuclear Research (ATOMKI), 4001 Debrecen, Hungary

<sup>2</sup>University of Debrecen, Doctoral School of Physics, Egyetem tér 1., 4032 Debrecen, Hungary

### Abstract.

Silicon isotopic ratios measured in meteoritic presolar grains can provide useful information about the nucleosynthesis origin of these isotopes if the rates of nuclear reactions responsible for their production are known. One of the key reactions determining the Si isotopic abundances is  $^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}$ . Its reaction rate is not known with sufficient precision due in part to some ambiguous resonance strength values. In the present work, the strength of the  $E_p = 416.9$  keV resonance have been measured with high precision using the activation technique. The new strength of  $\omega\gamma = 219 \pm 16$  meV can be used in updated reaction rate estimations and astrophysical models.

# KÖVETKEZŐ LÉPÉSEK

- ▶ További DC mérések kivitelezése
  - ▶ Esetleges rejtett rezonanciák feltérképezése
  - ▶ Adatkiértékelés, publikáció
- 