

# A kvarkoktól az atomerőműig – kirándulás a nukleáris völgybe



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2011. 09. 29.

# 100 éves az atommag



## 100 éves az atommag



**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**

**100 éves az atommag**

az atom pudingmodellje



**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**



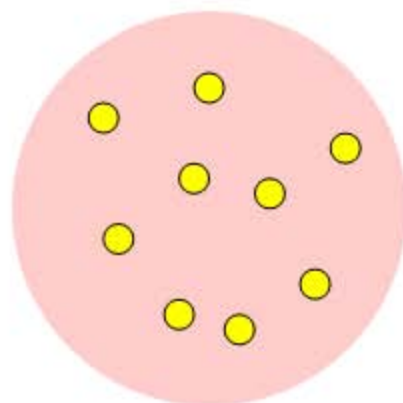


## 100 éves az atommag



**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**

az atom pudingmodellje

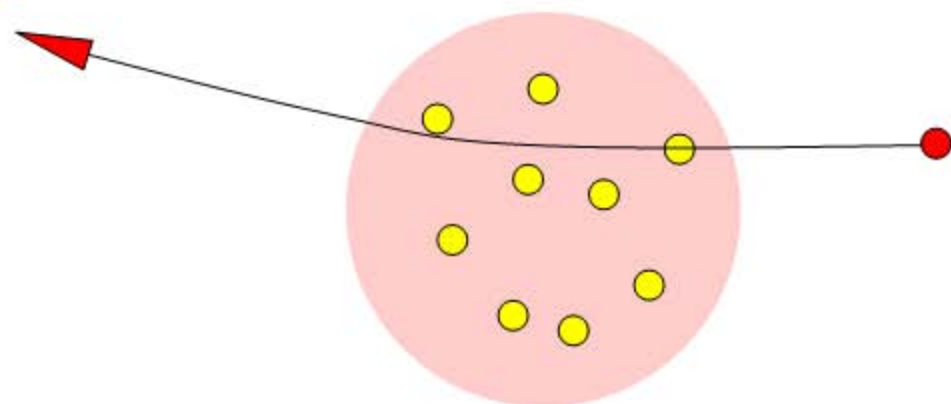


100 éves az atommag



Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)

az atom pudingmodellje

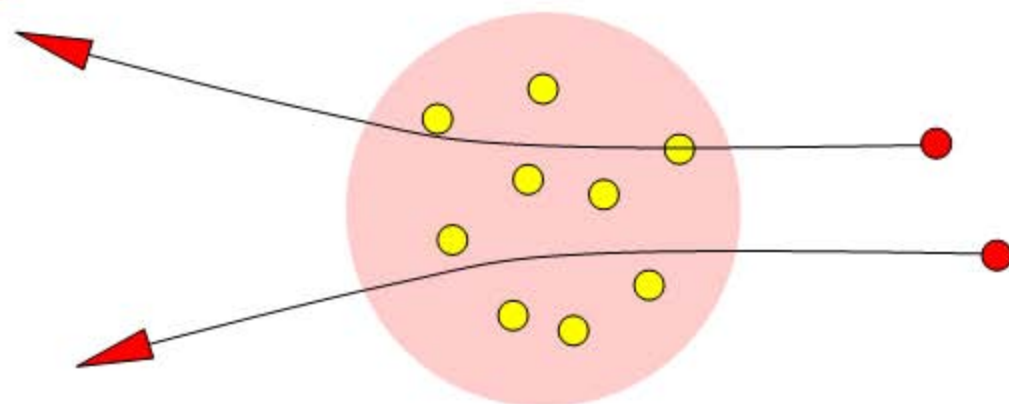


100 éves az atommag



Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)

az atom pudingmodellje

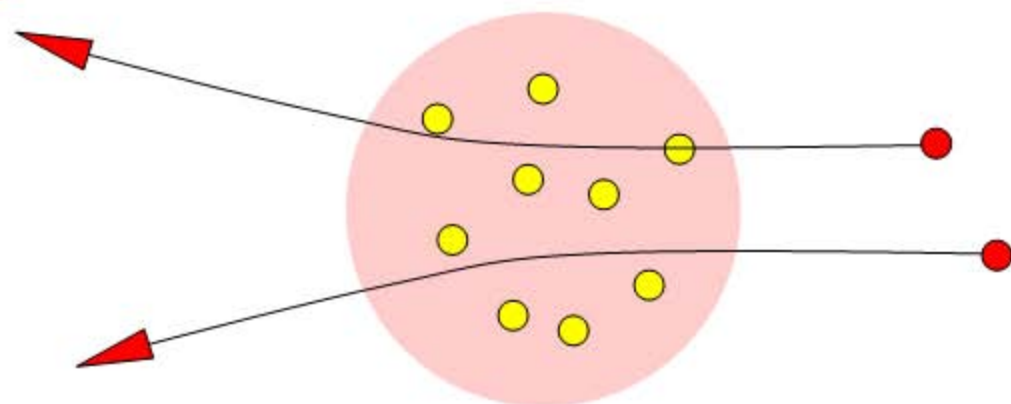


100 éves az atommag



Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)

az atom pudingmodellje



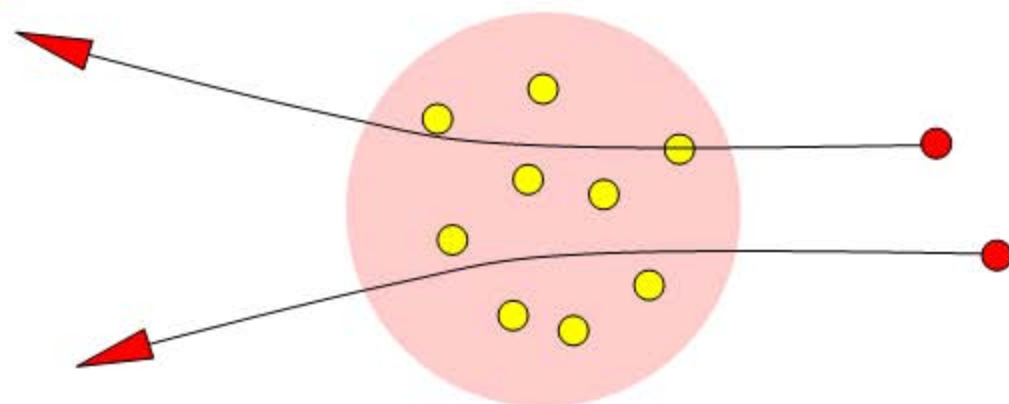
Rutherford Naprendszer-modellje

# 100 éves az atommag

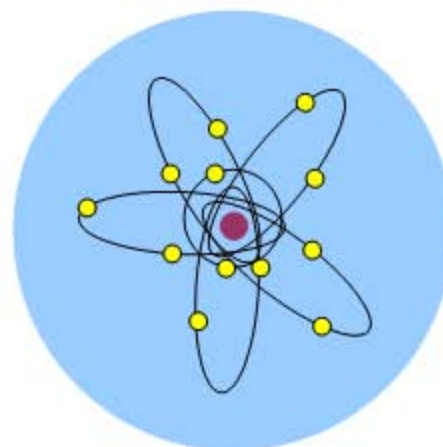


**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**

az atom pudingmodellje



Rutherford Naprendszer-modellje

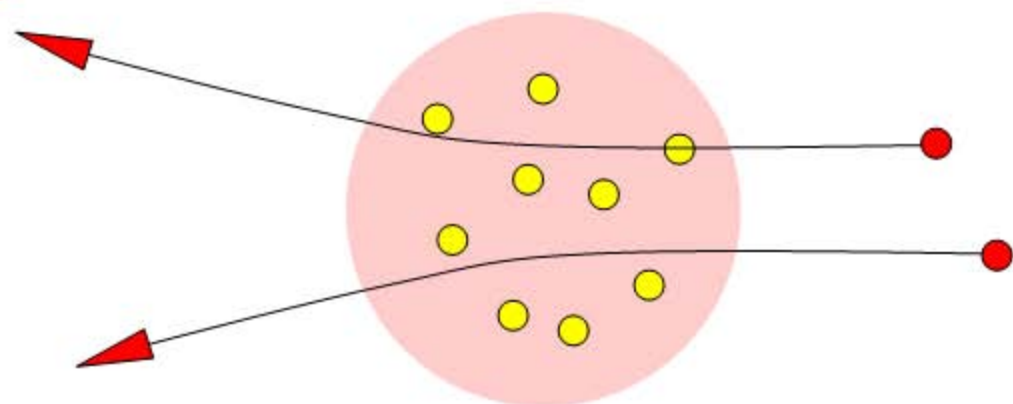


# 100 éves az atommag

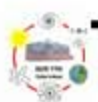
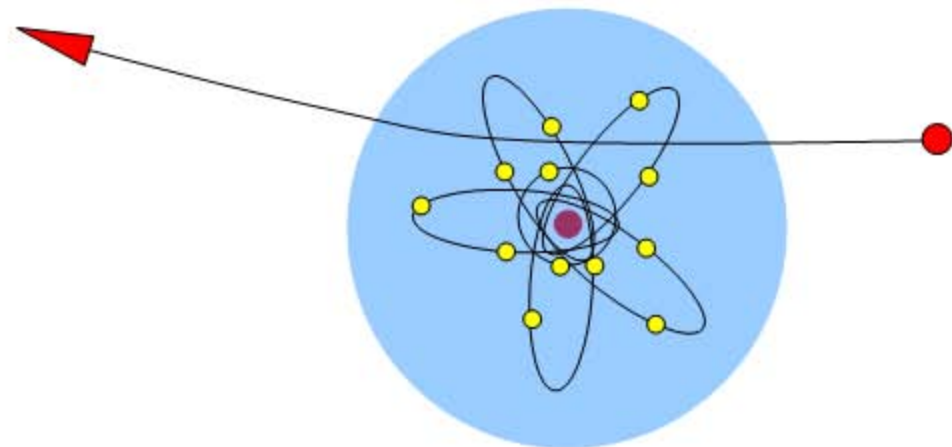


**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**

az atom pudingmodellje



Rutherford Naprendszer-modellje



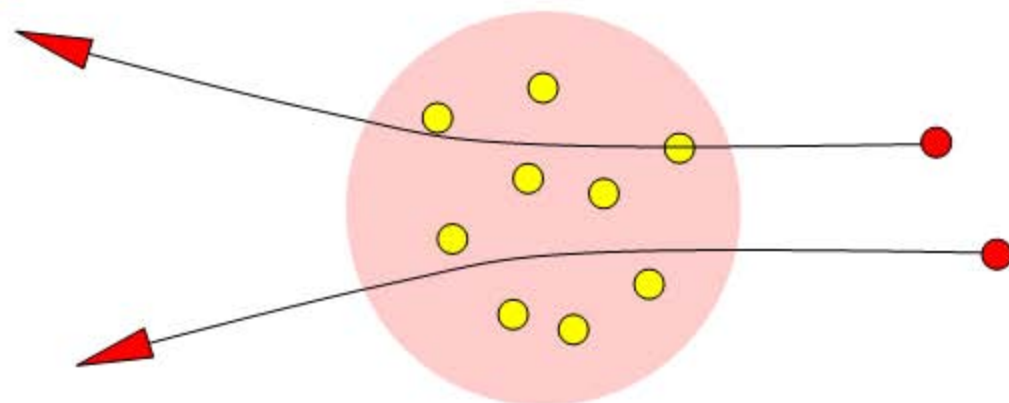


# 100 éves az atommag

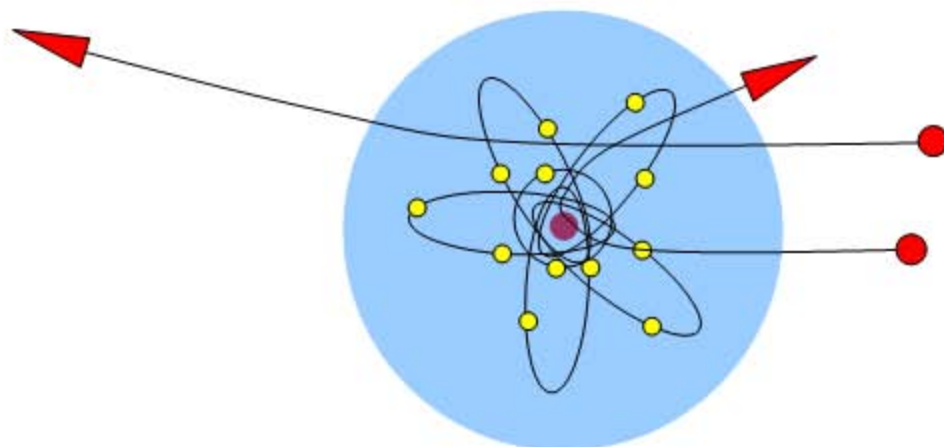


**Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)**

az atom pudingmodellje



Rutherford Naprendszer-modellje

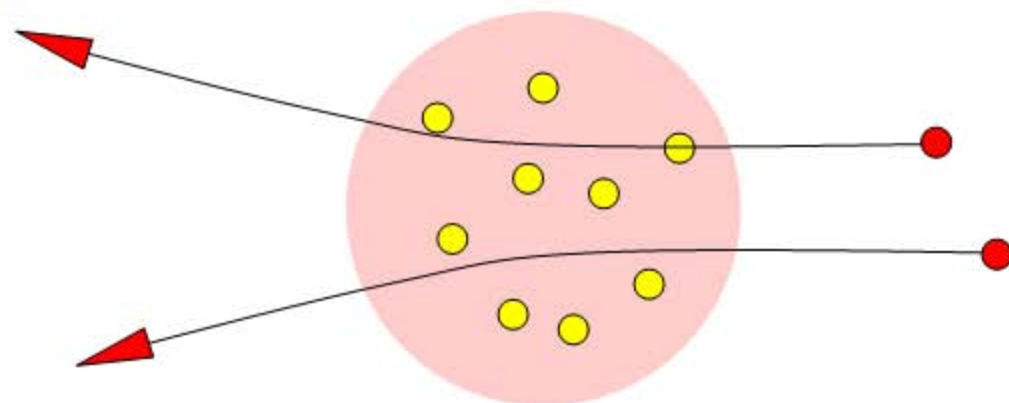


# 100 éves az atommag

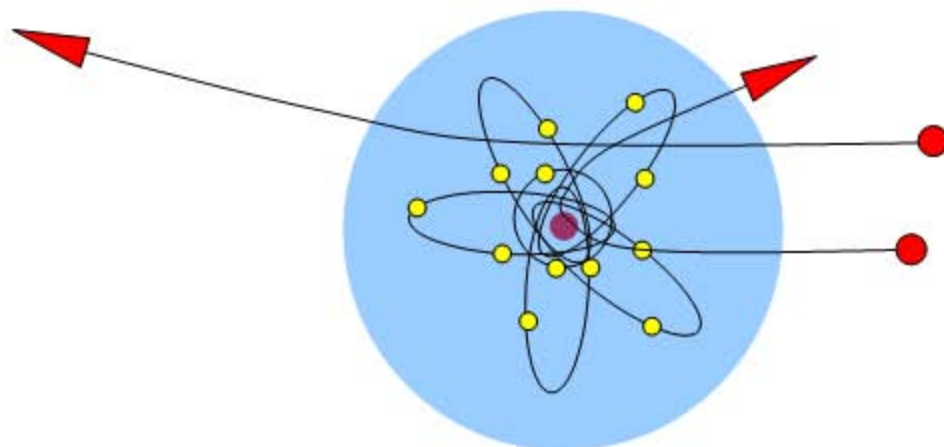


Ernest Rutherford  
(1871 – 1937)

az atom pudingmodellje



Rutherford Naprendszer-modellje



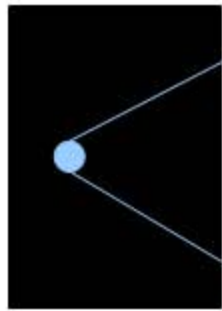
**az atommag százezerszer kisebb az atomnál!**



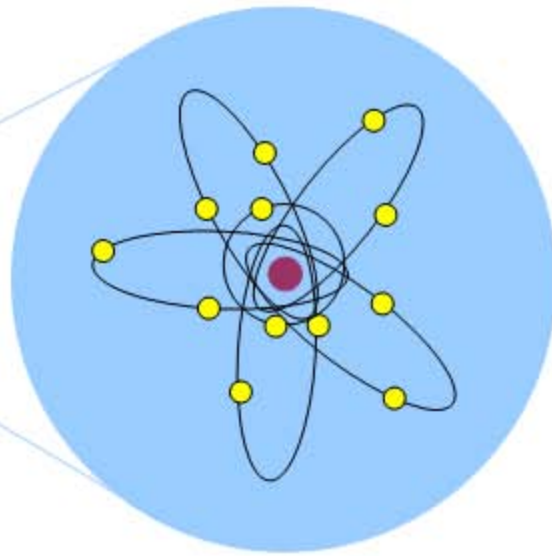


anyag



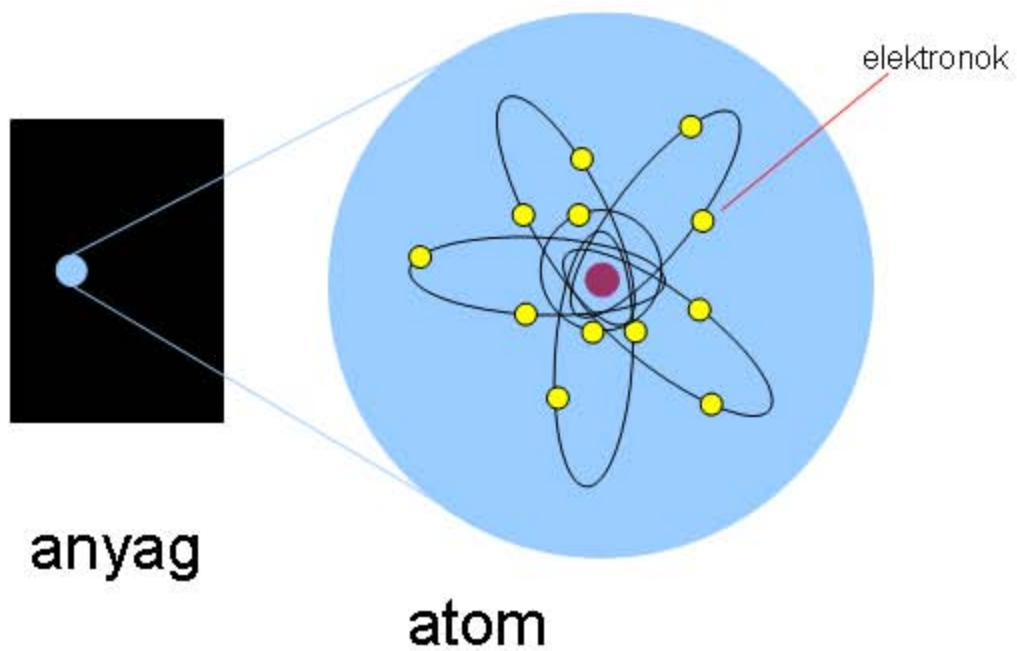


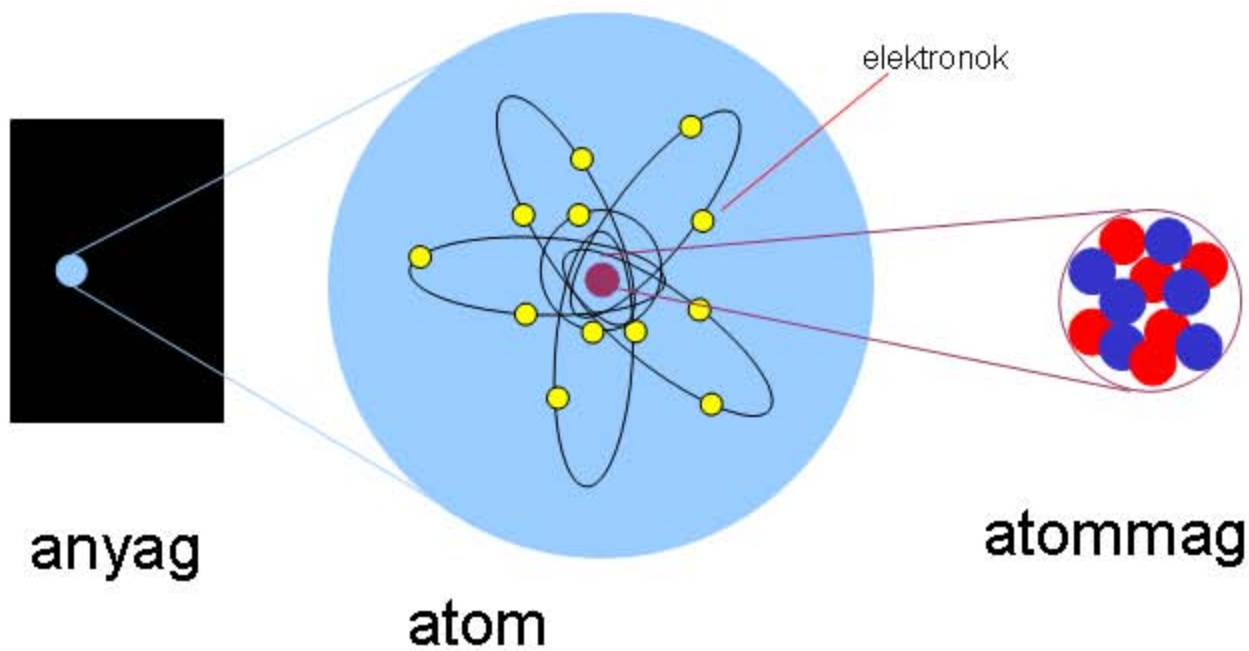
anyag



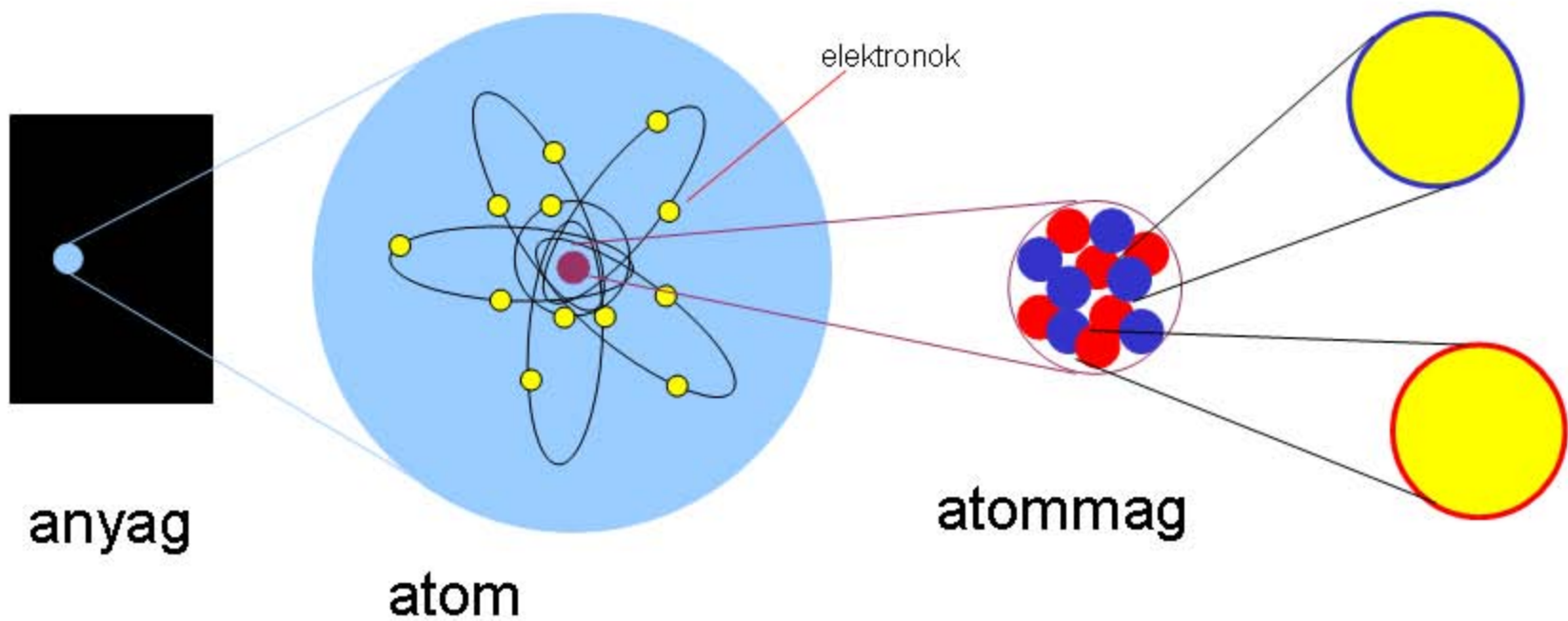
atom

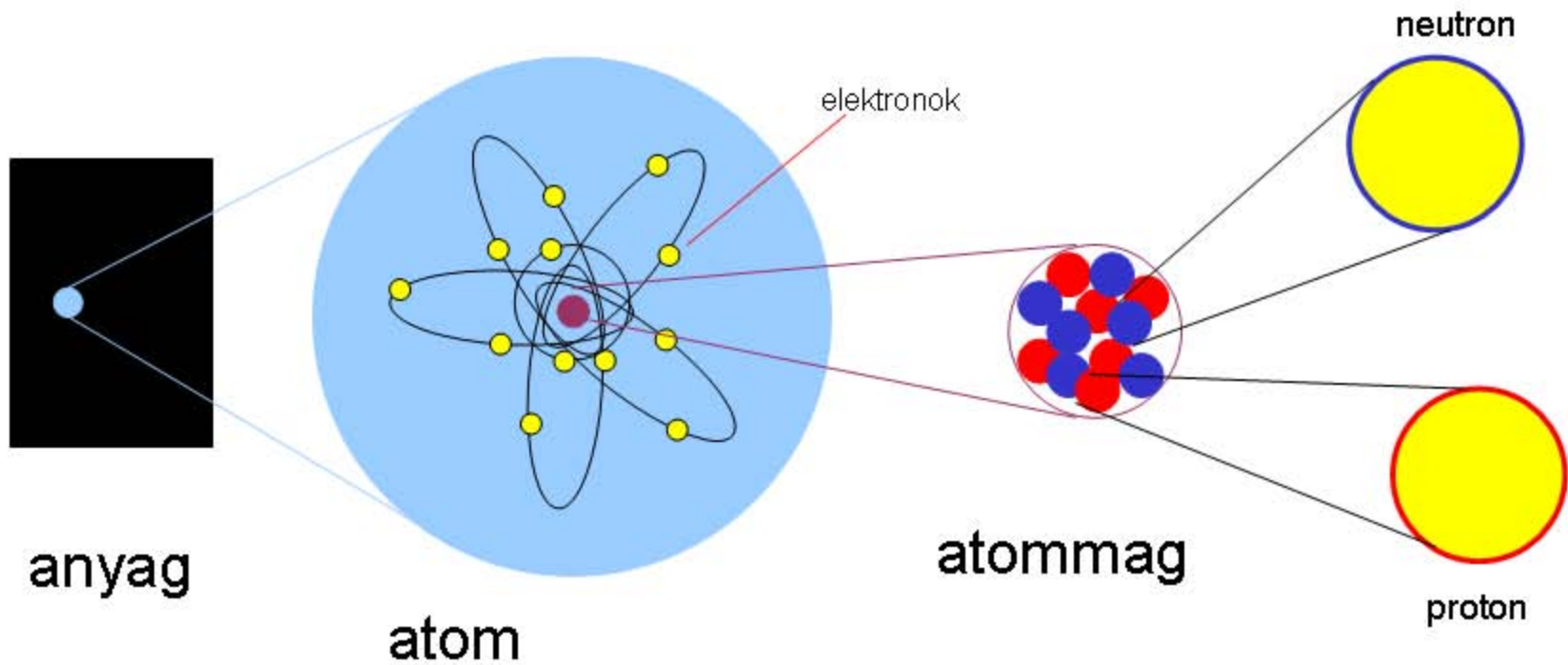


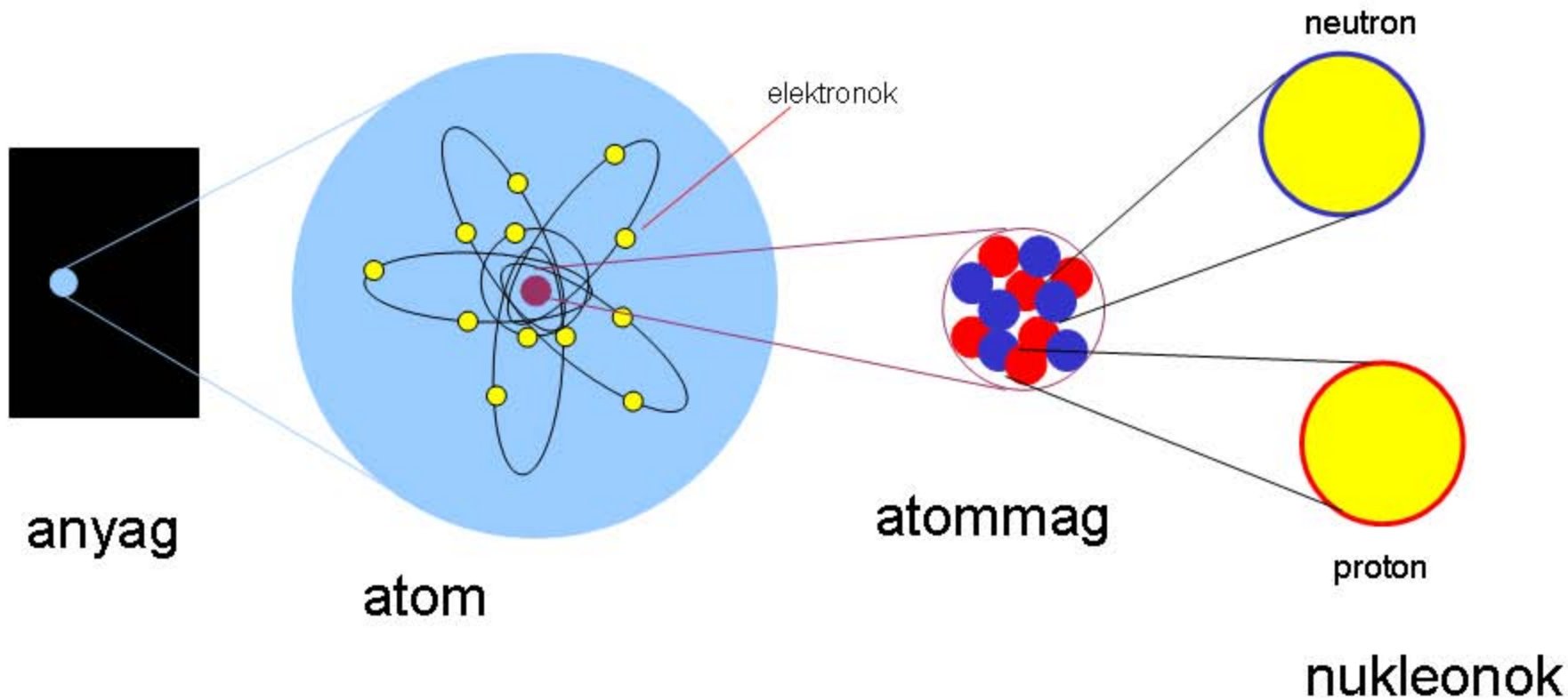


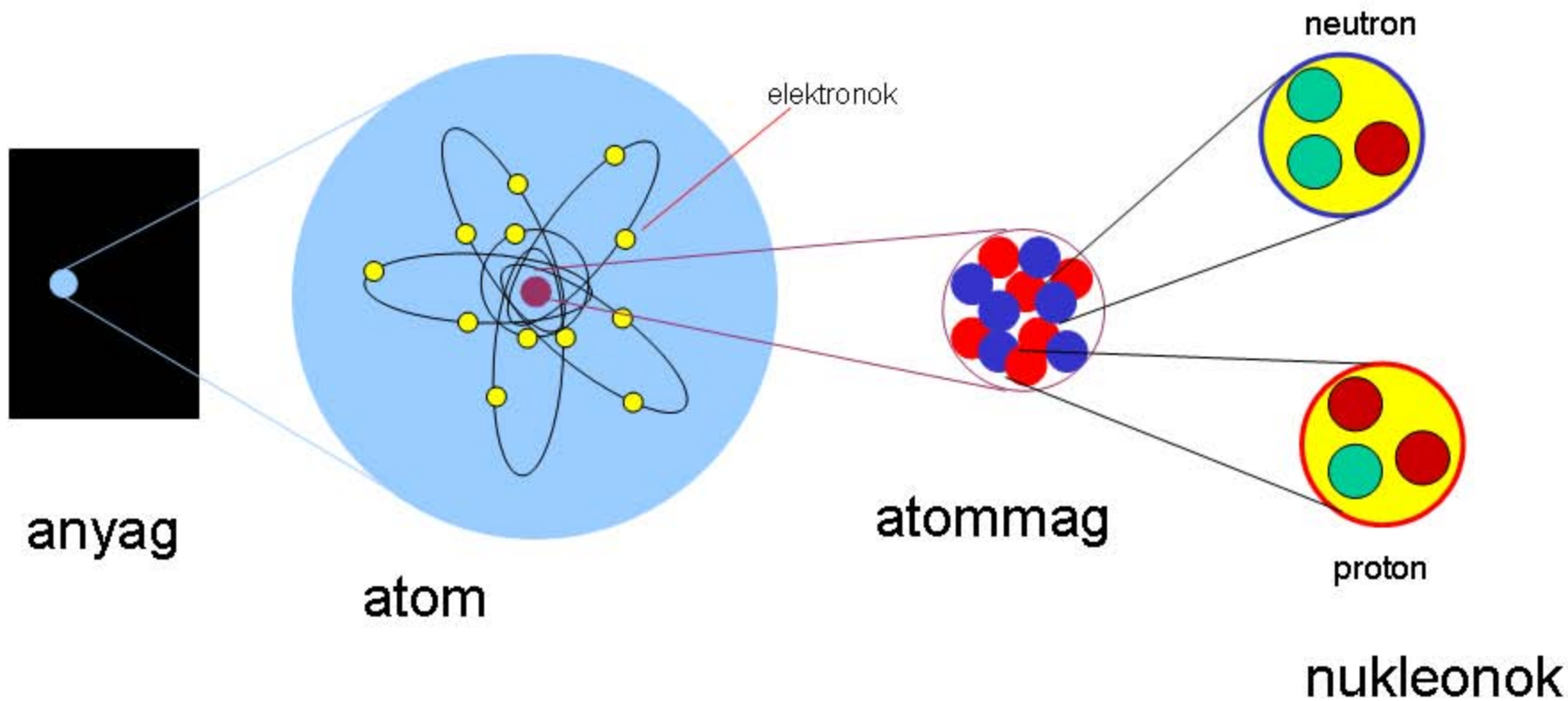


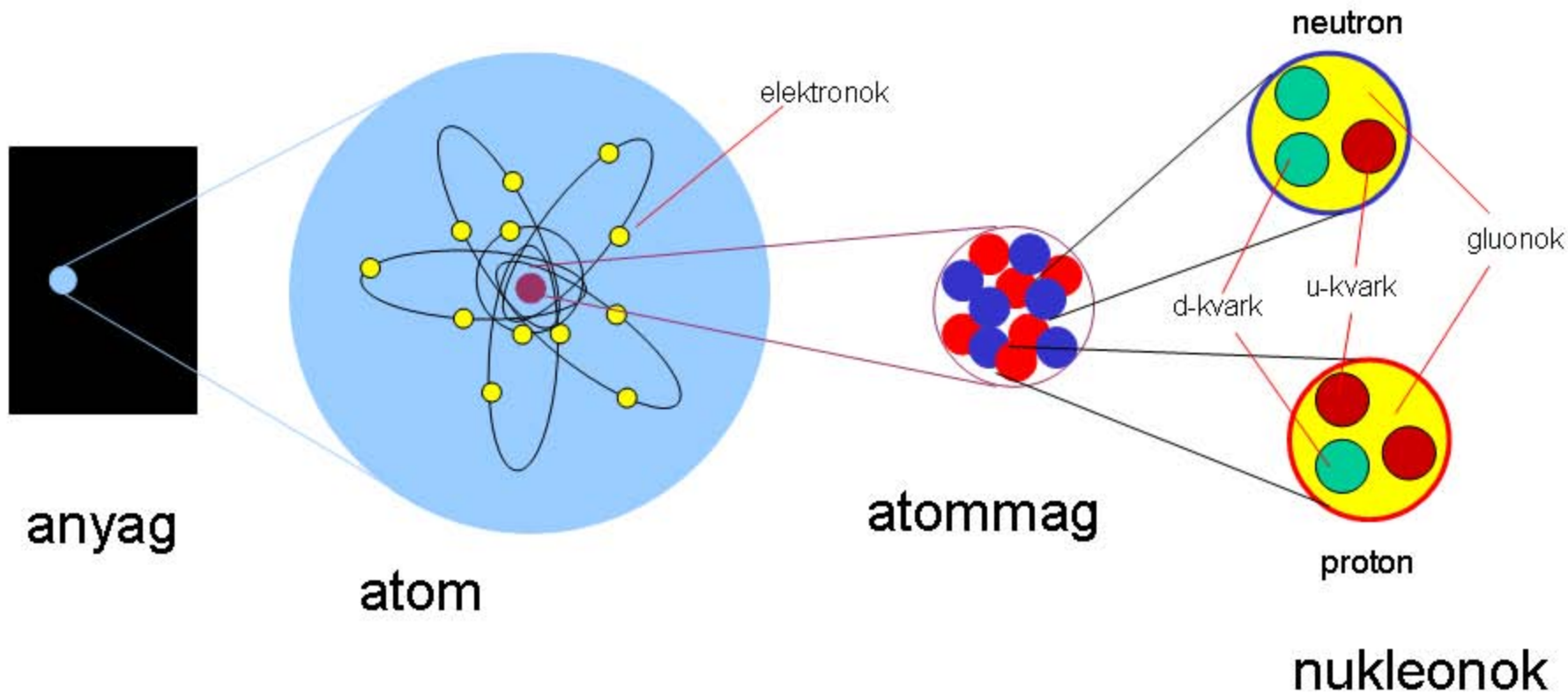


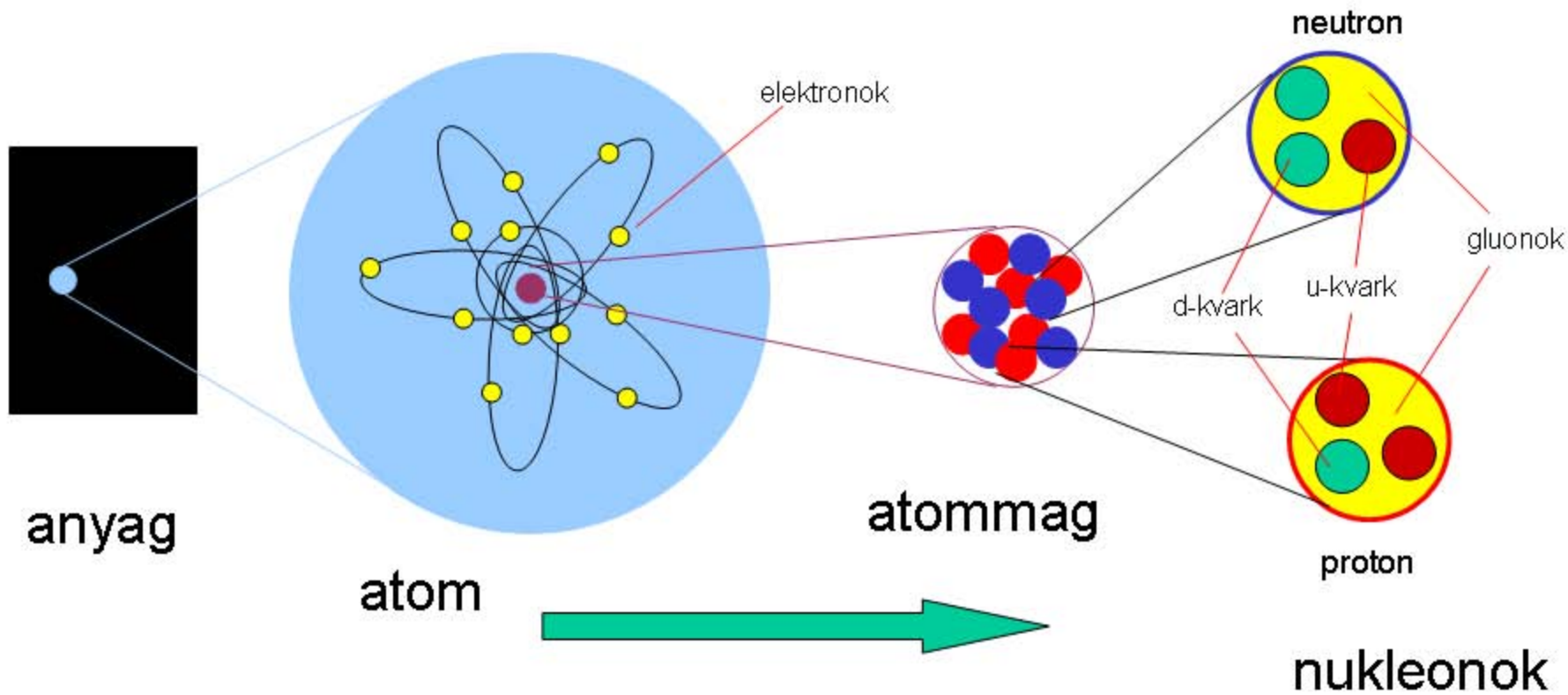




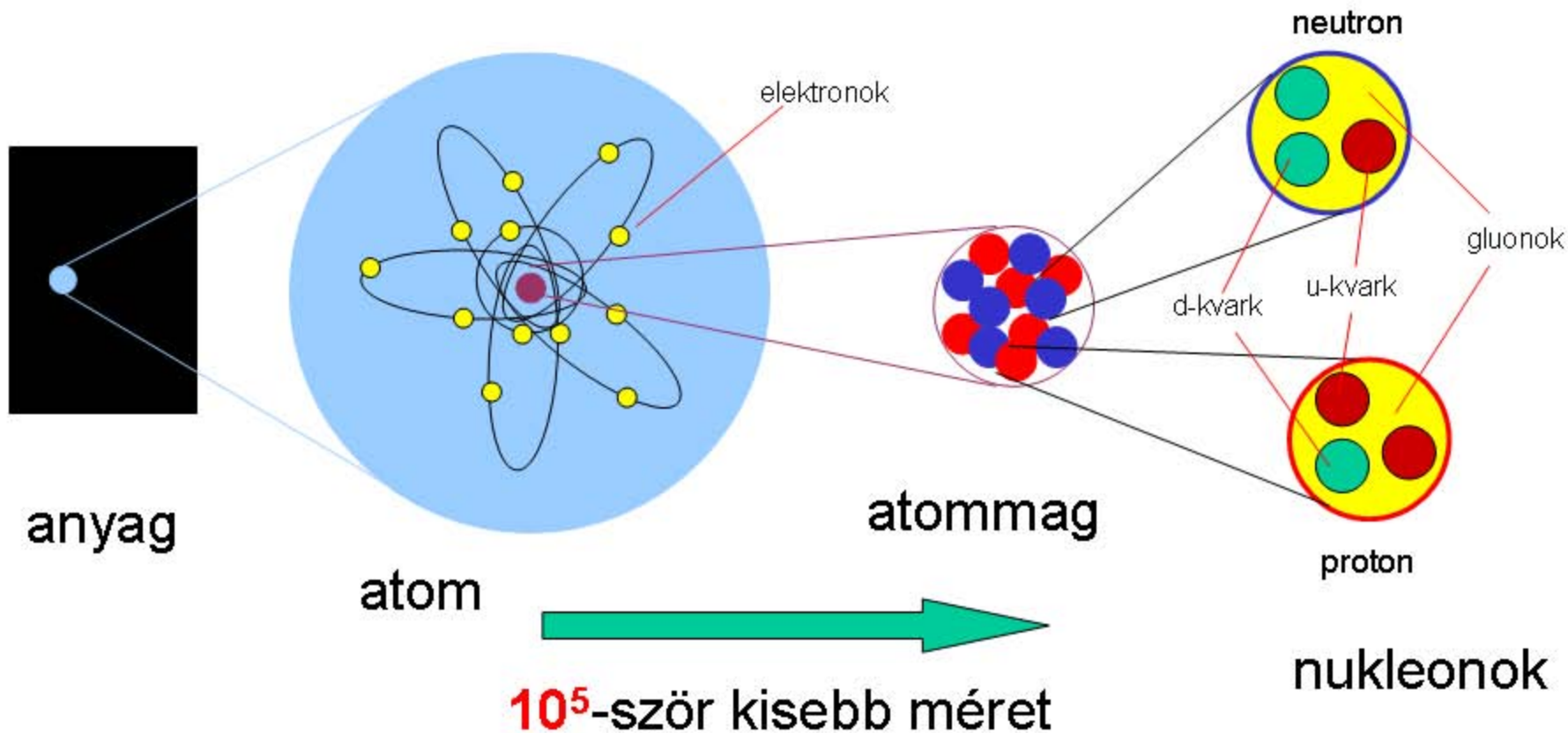


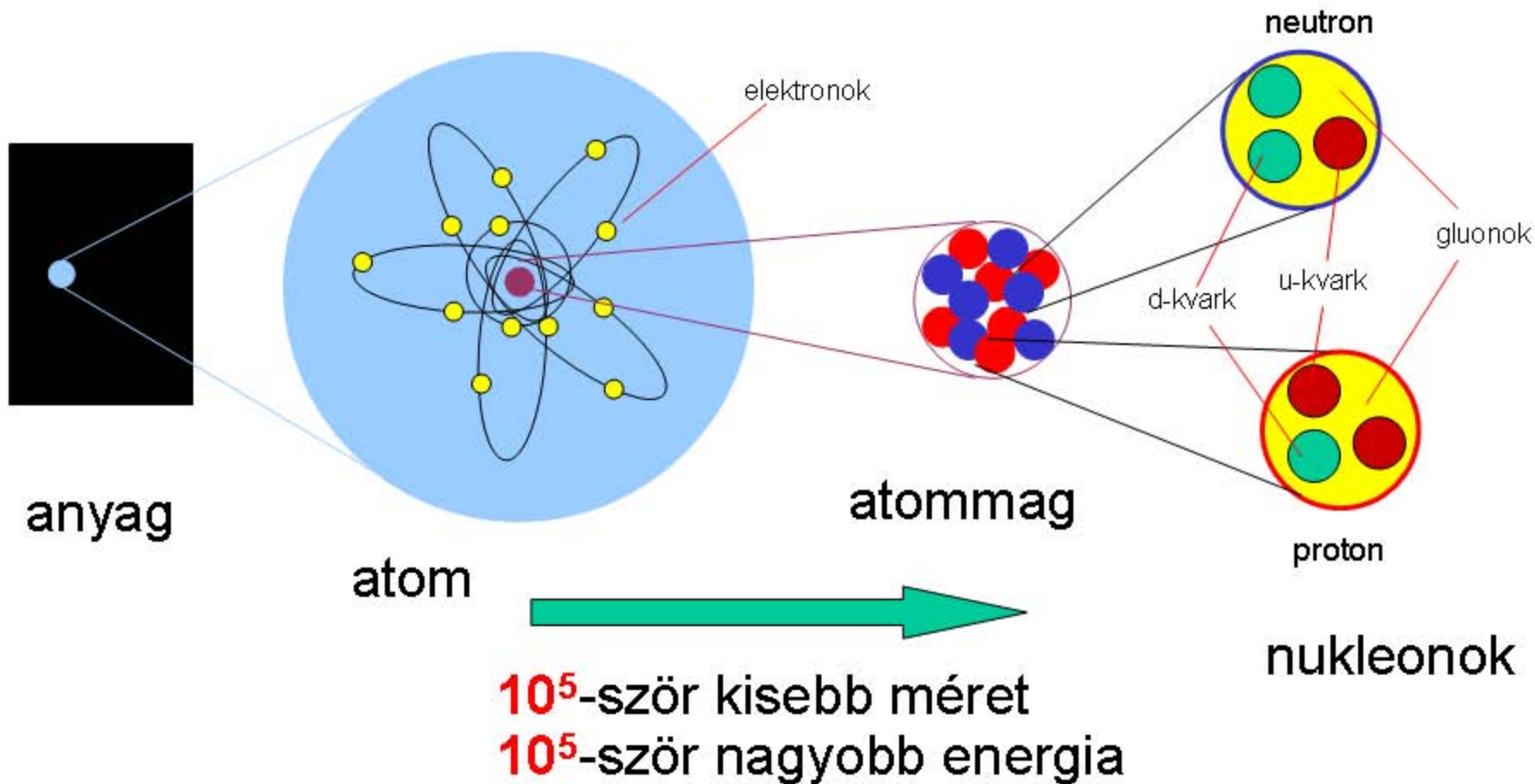


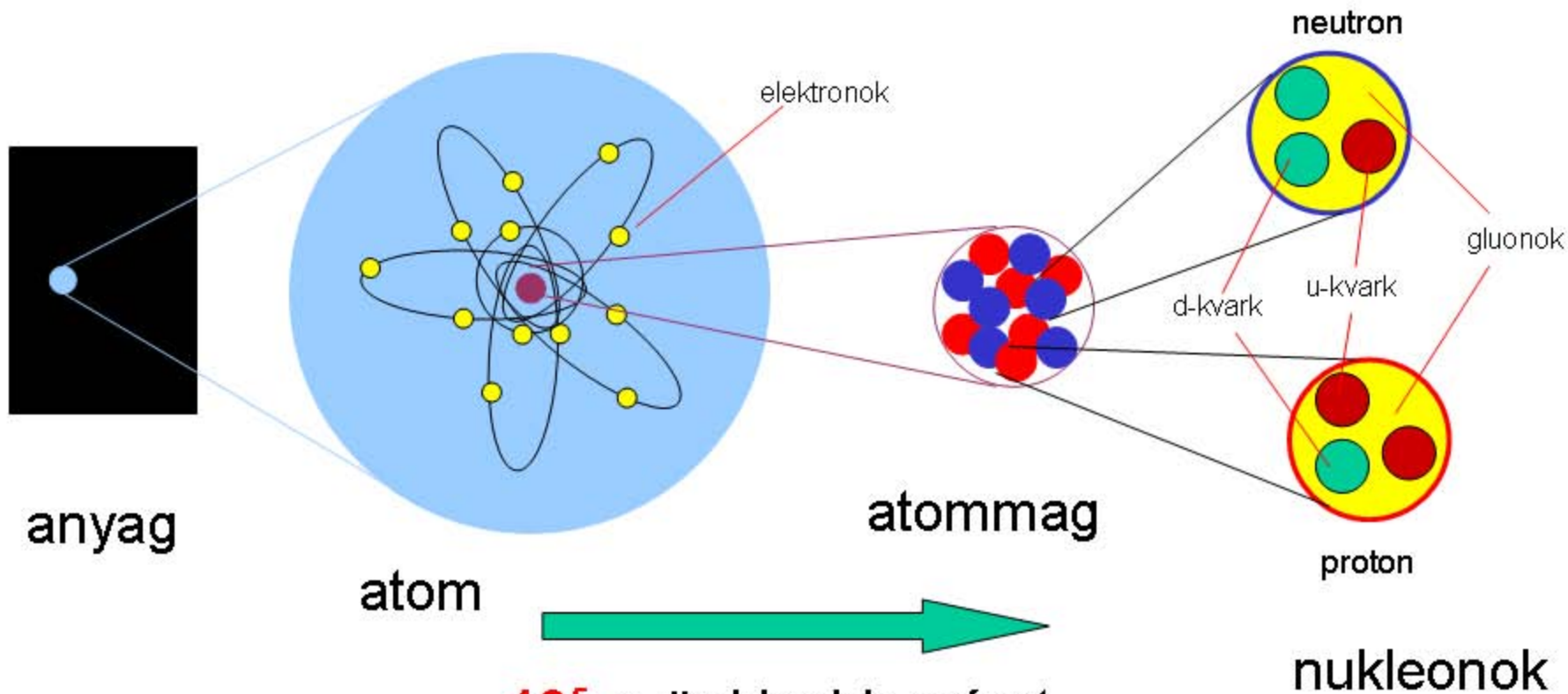








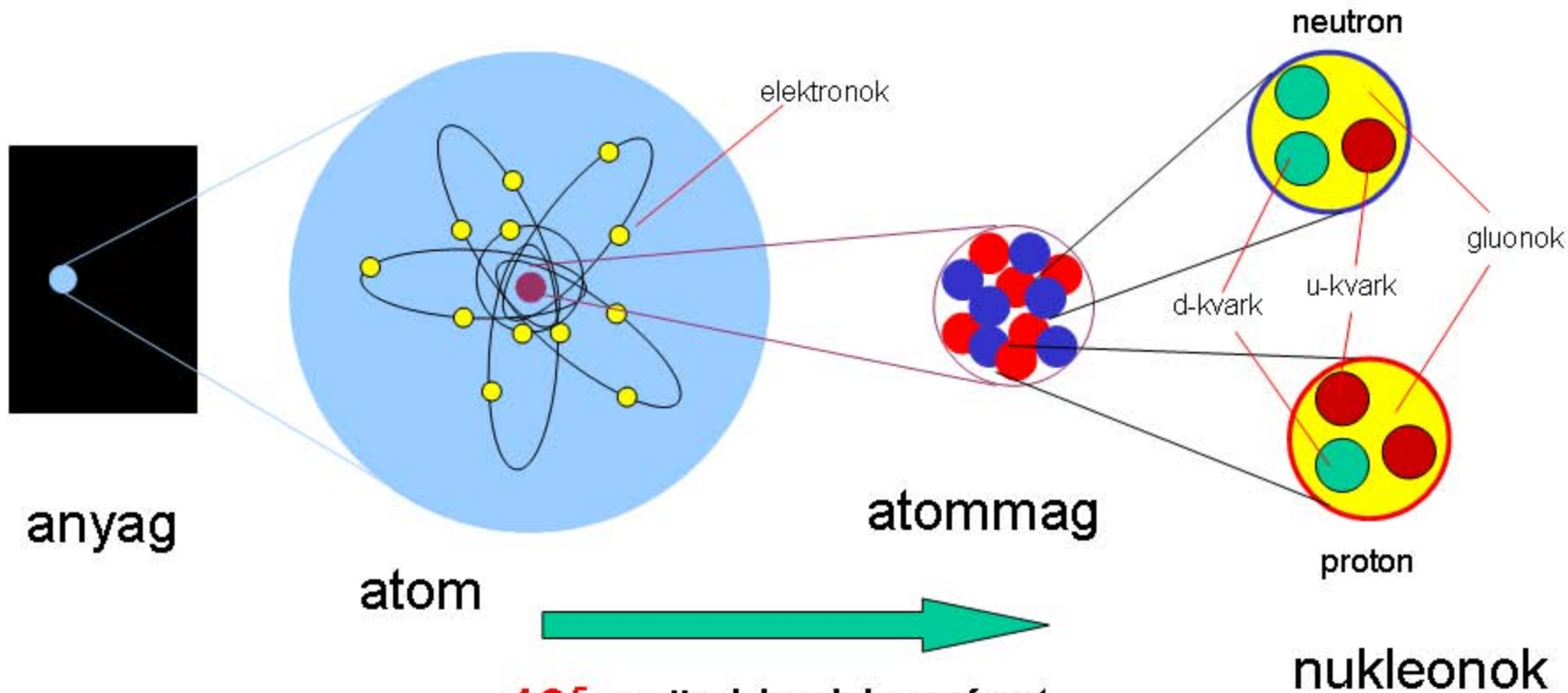




**$10^5$ -ször kisebb méret**  
 **$10^5$ -ször nagyobb energia**

Mi tartja össze  
az atommagot?



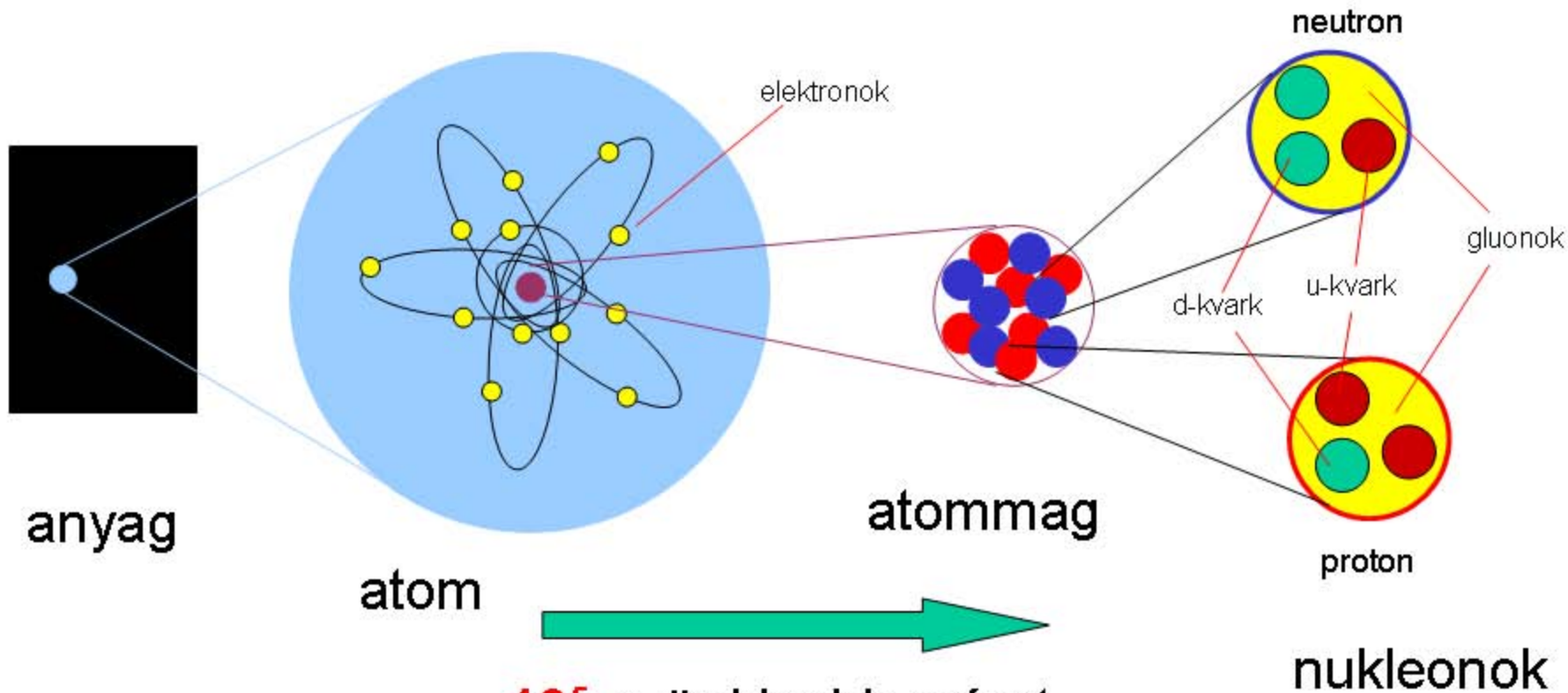


**$10^5$ -ször kisebb méret**  
 **$10^5$ -ször nagyobb energia**

Mi tartja össze az atommagot?

**A MAGERŐ**  
 (erős kölcsönhatás)  
**VONZÓERŐ**





anyag

atom

atommag

neutron

elektronok

gluonok

d-kvark

u-kvark

proton

nukleonok



**10<sup>5</sup>-ször** kisebb méret  
**10<sup>5</sup>-ször** nagyobb energia

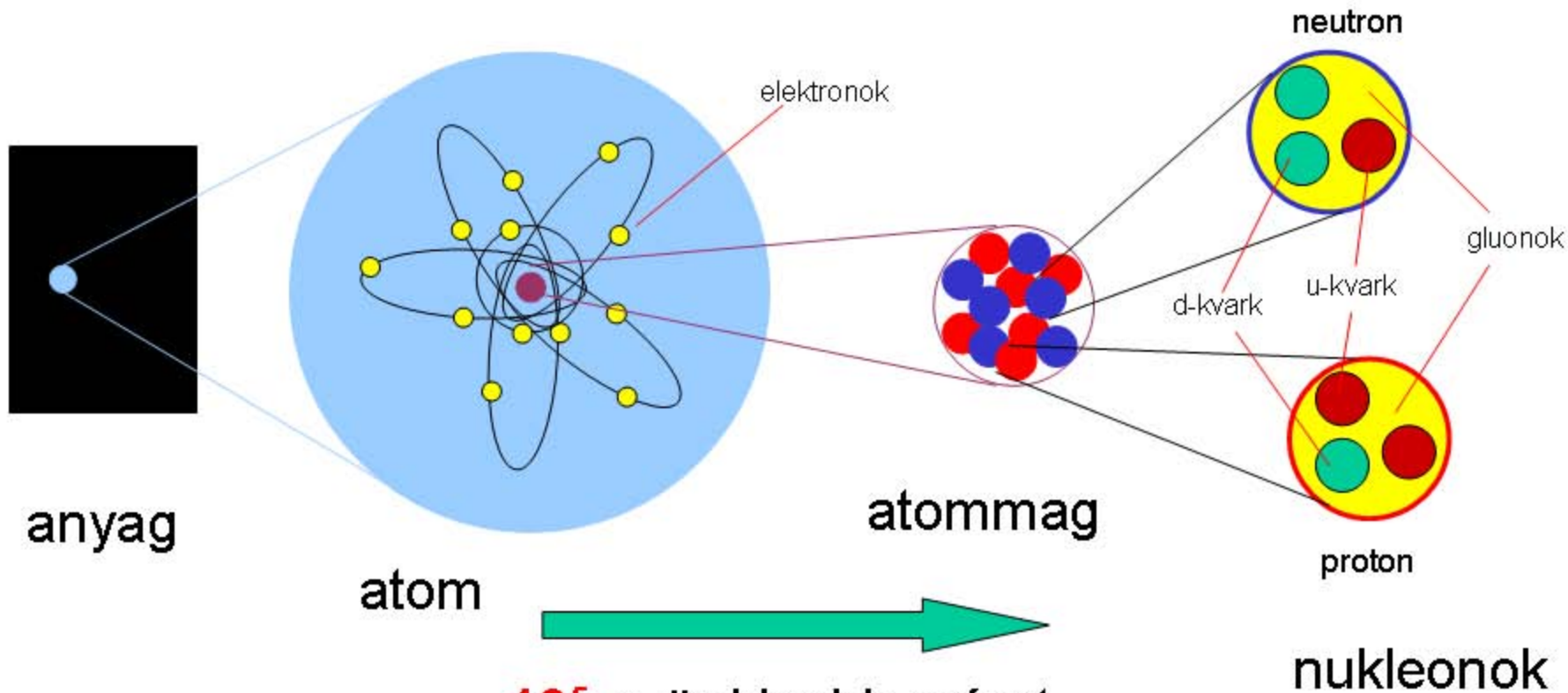
Mi tartja össze az atommagot?

**A MAGERŐ**  
 (erős kölcsönhatás)  
**VONZÓERŐ**

$$n - n \approx n - p \approx p - p$$







anyag

atom

atommag

nukleonok

Mi tartja össze az atommagot?

**$10^5$ -ször kisebb méret**  
 **$10^5$ -ször nagyobb energia**

**A MAGERŐ**  
 (erős kölcsönhatás)  
**VONZÓERŐ**

$$n - n \approx n - p \approx p - p$$

itt még egy kis elektromos taszítás is fellép...





# elektromos erőhatás



# elektromos erőhatás

elektromos vonzás



# elektromos erőhatás

elektromos vonzás



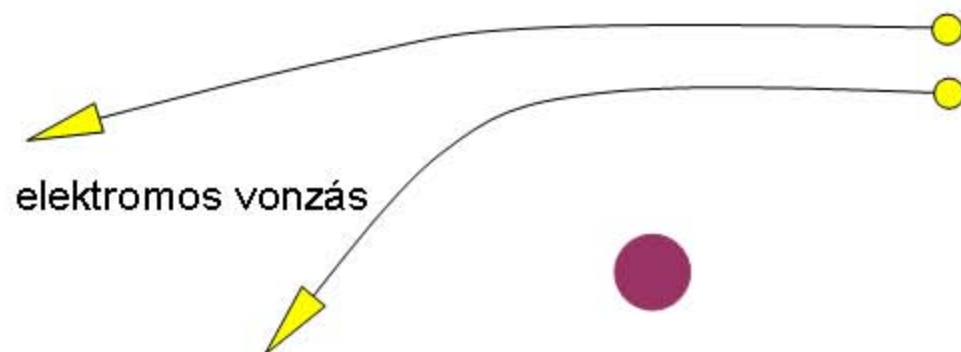
# elektromos erőhatás



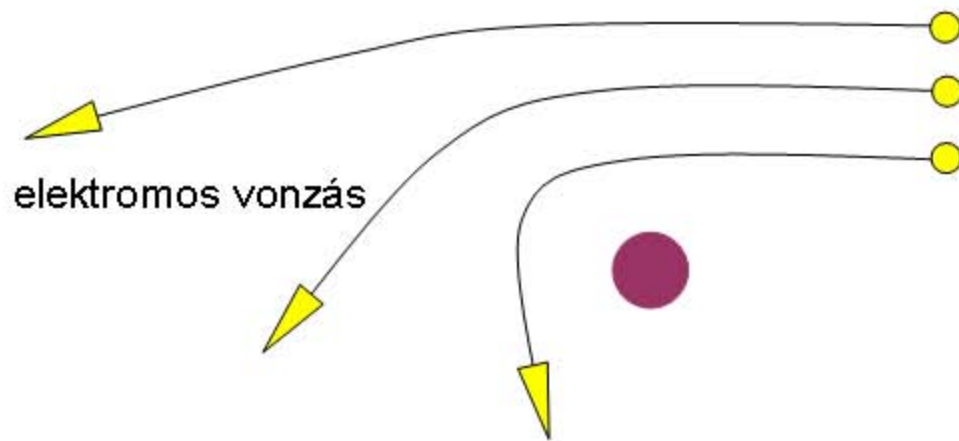
elektromos vonzás



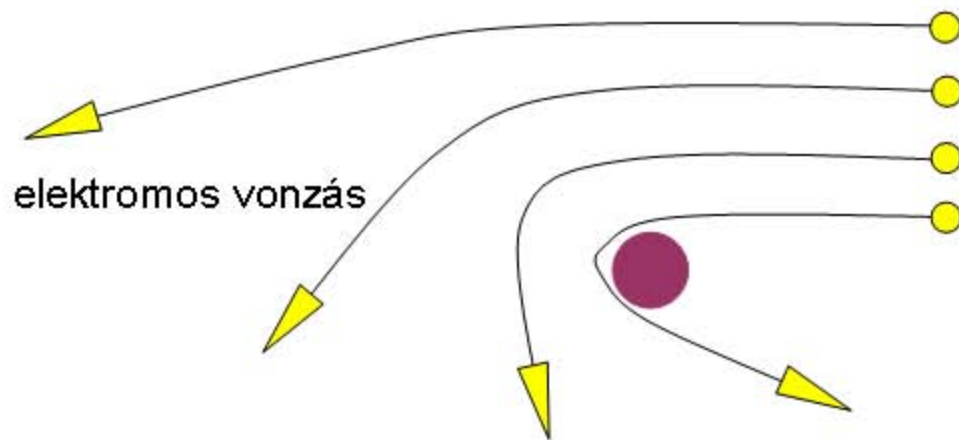
# elektromos erőhatás



# elektromos erőhatás

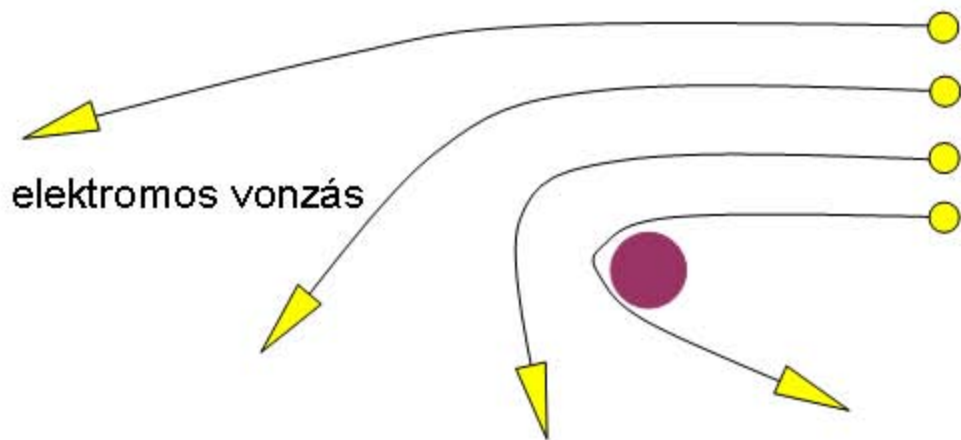


# elektromos erőhatás



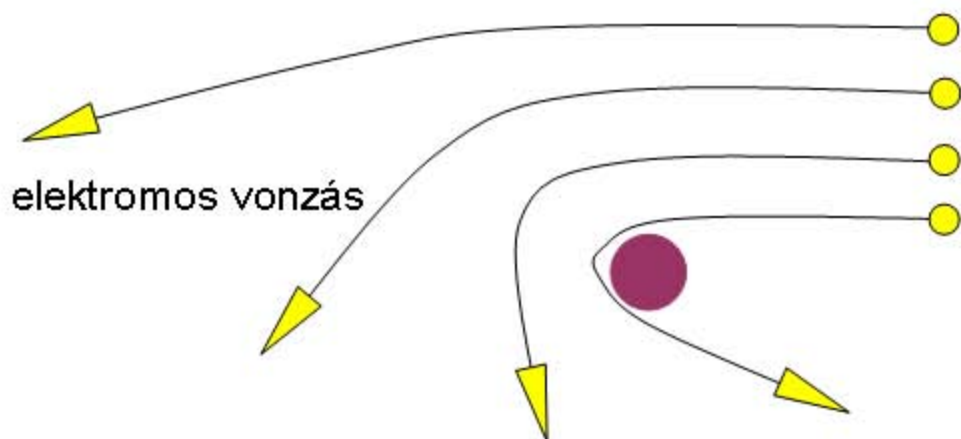


# elektromos erőhatás



hatótávolság =  $\infty$

# elektromos erőhatás

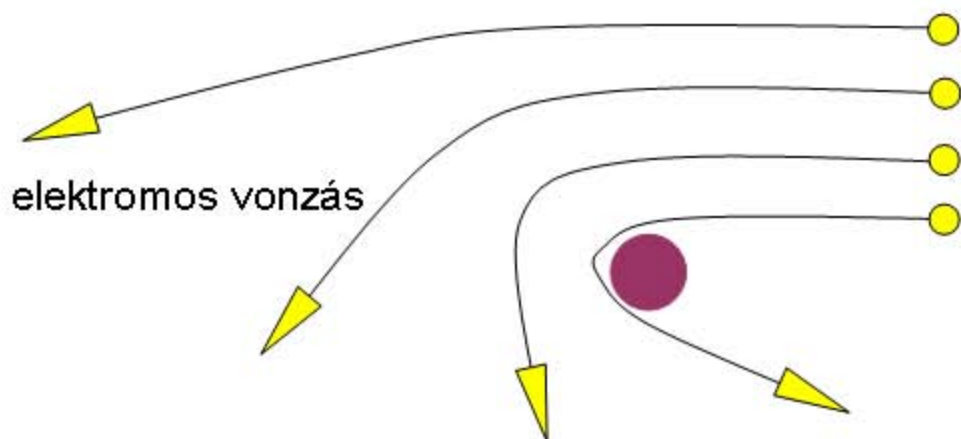


hatótávolság =  $\infty$

elektromos taszítás



# elektromos erőhatás

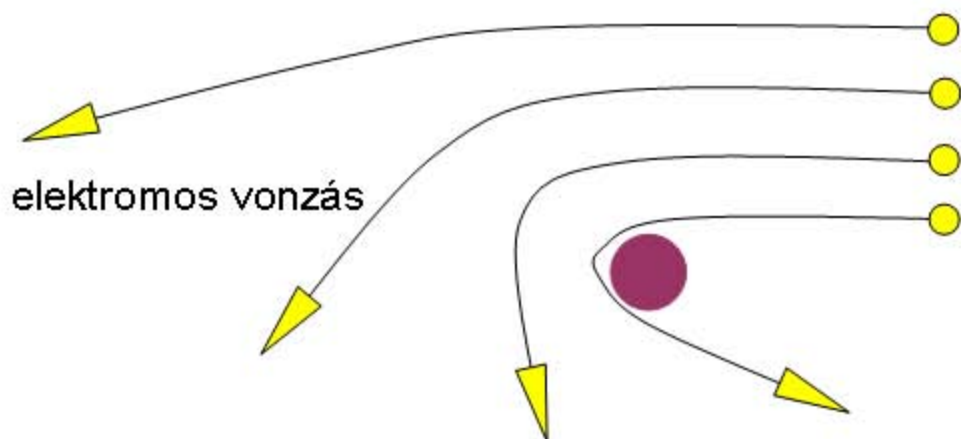


hatótávolság =  $\infty$

elektromos taszítás



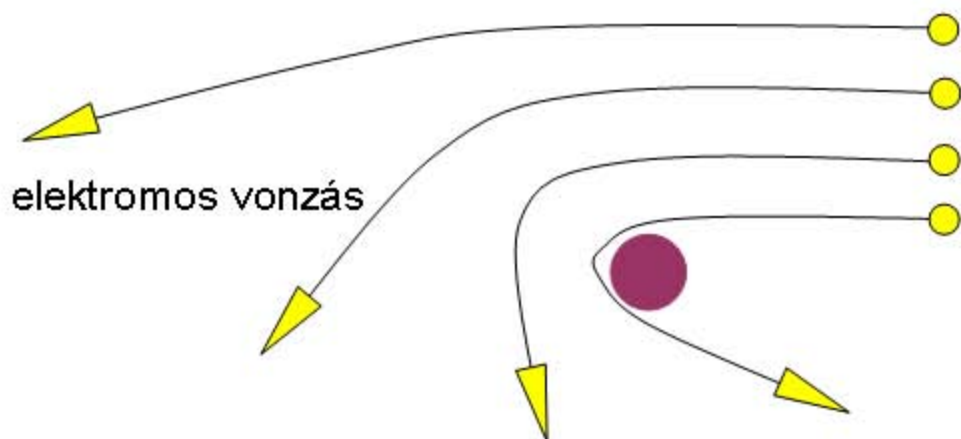
# elektromos erőhatás



hatótávolság =  $\infty$

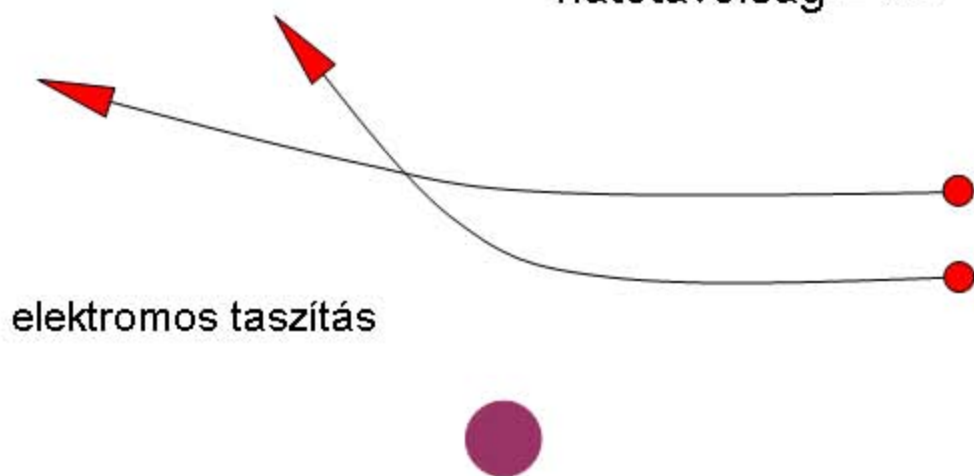


# elektromos erőhatás



elektromos vonzás

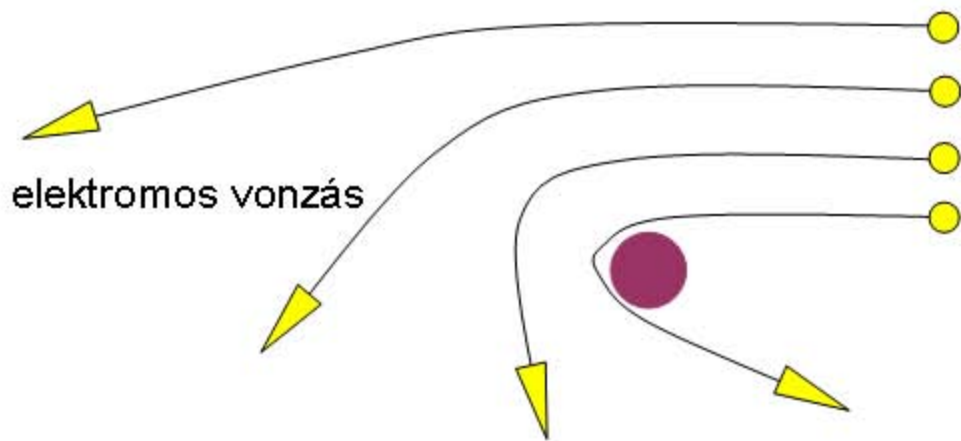
hatótávolság =  $\infty$



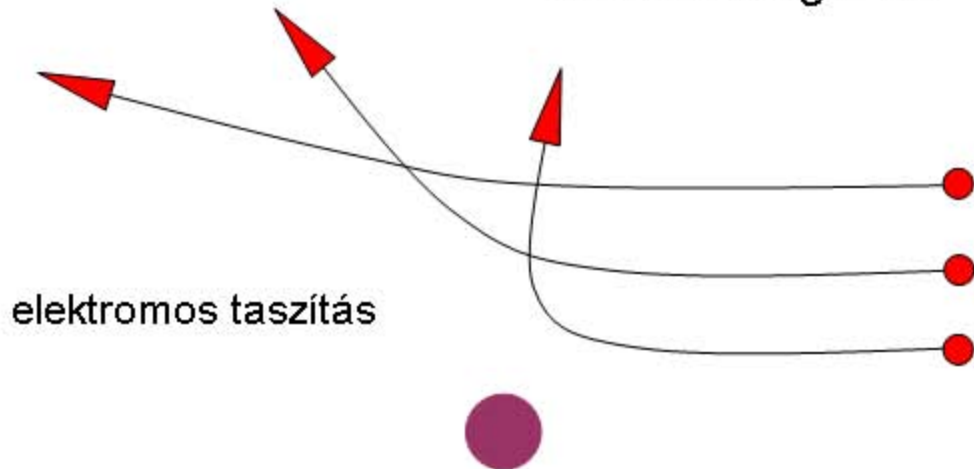
elektromos taszítás



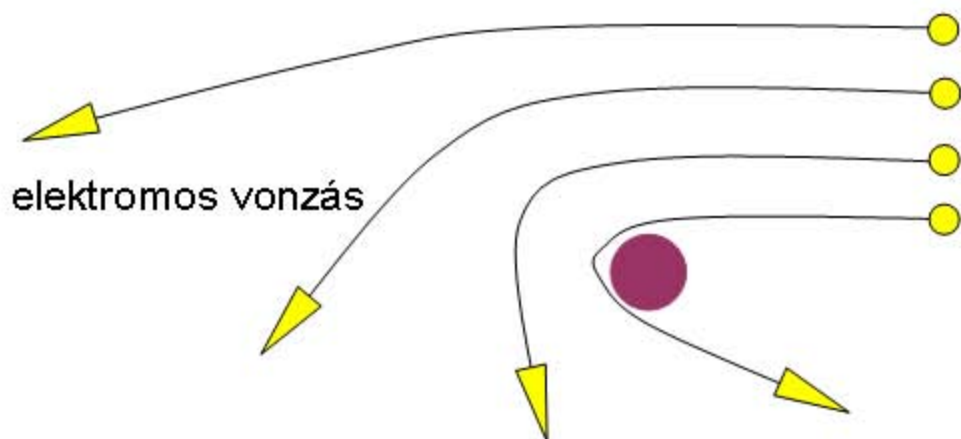
# elektromos erőhatás



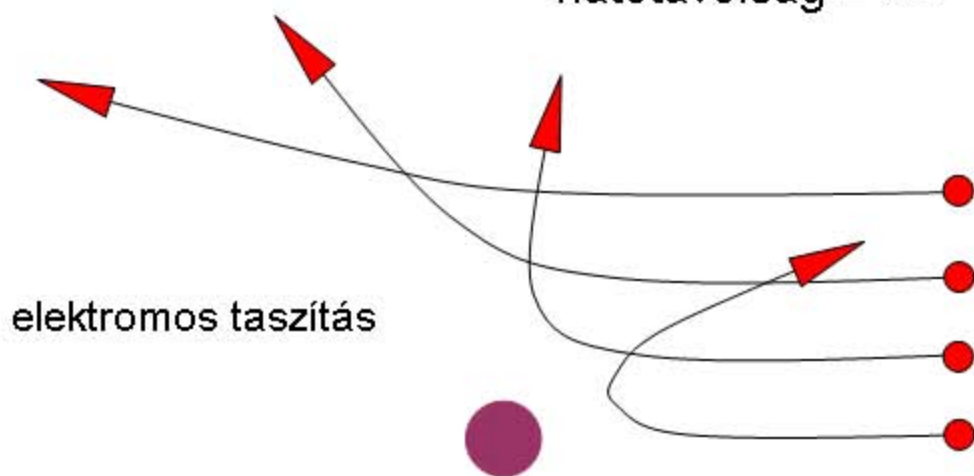
hatótávolság =  $\infty$



# elektromos erőhatás



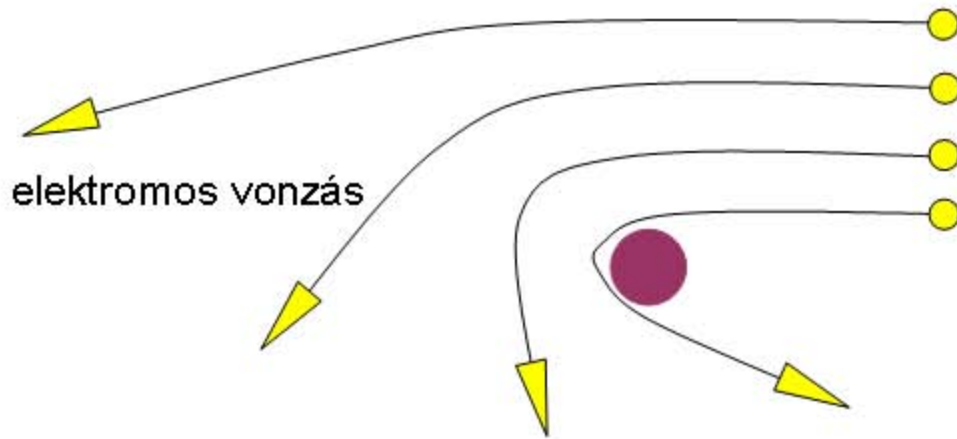
hatótávolság =  $\infty$



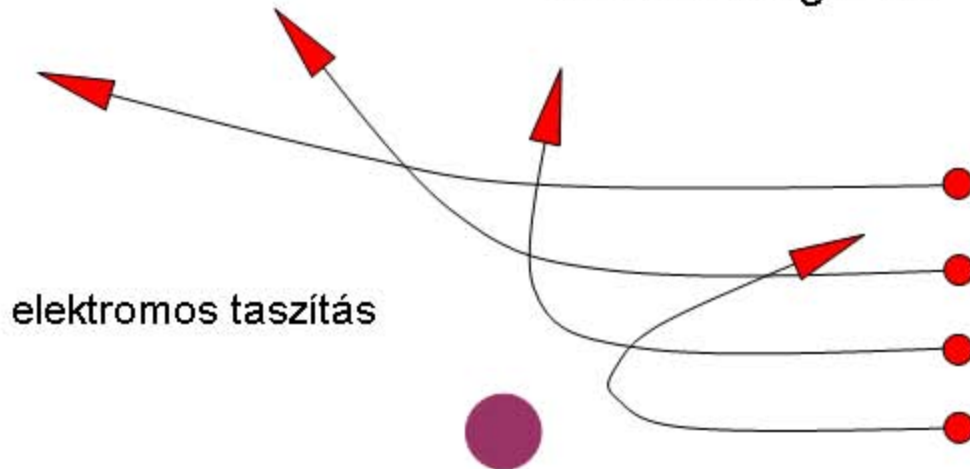


# elektromos erőhatás

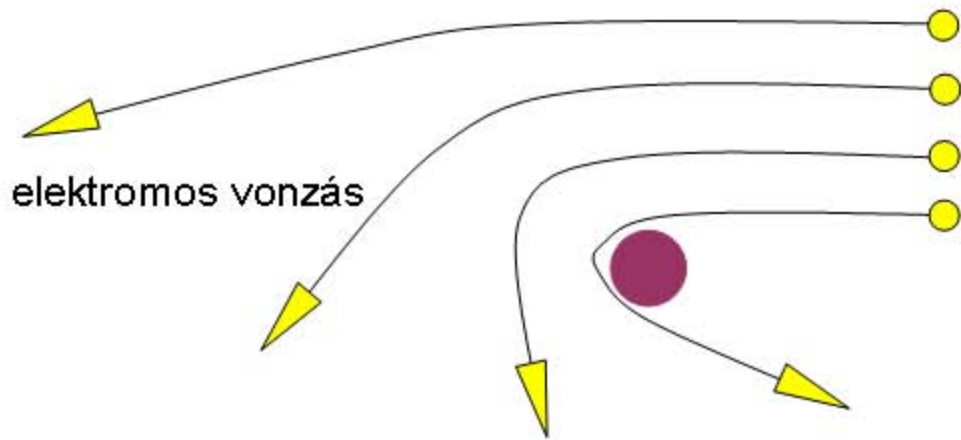
# magerő



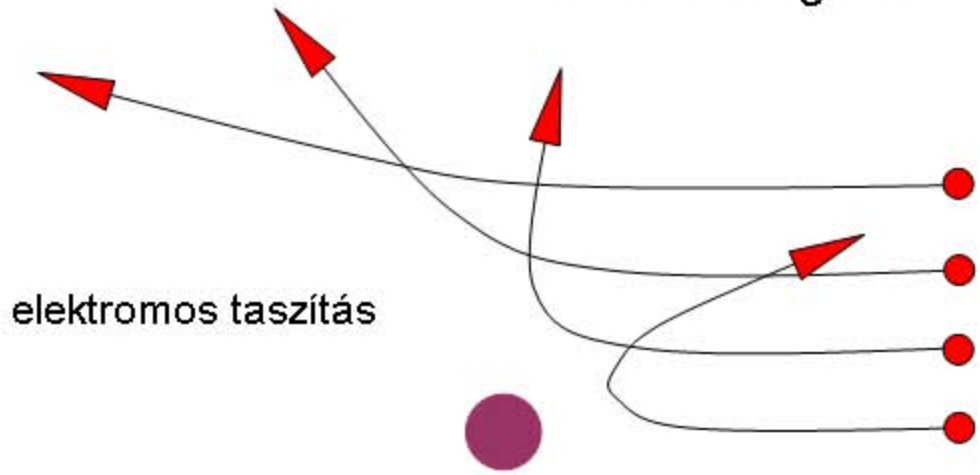
hatótávolság =  $\infty$



## elektromos erőhatás



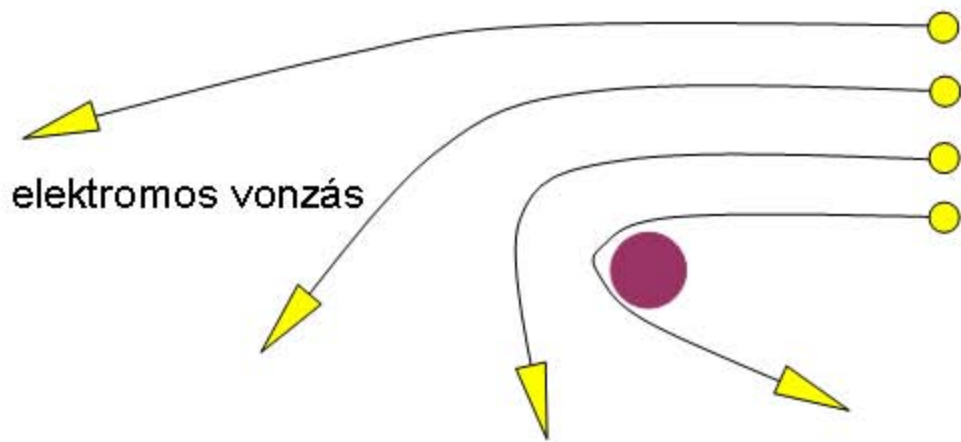
hatótávolság =  $\infty$



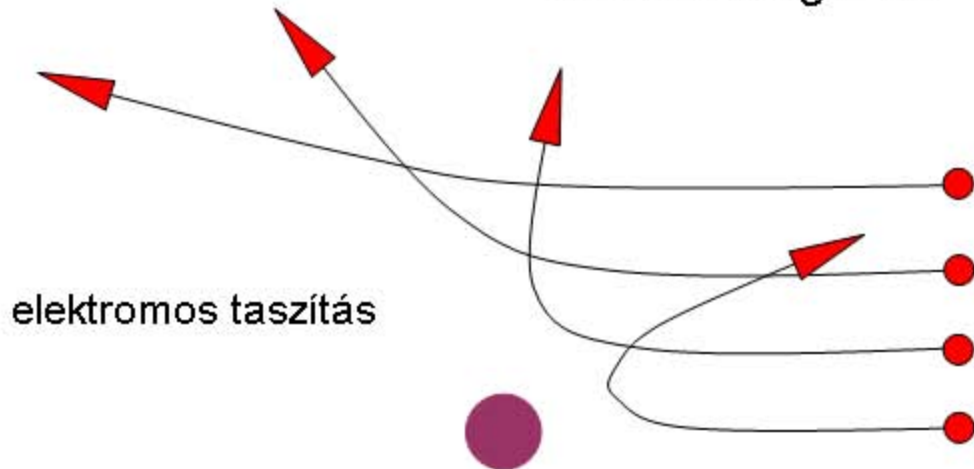
## magerő



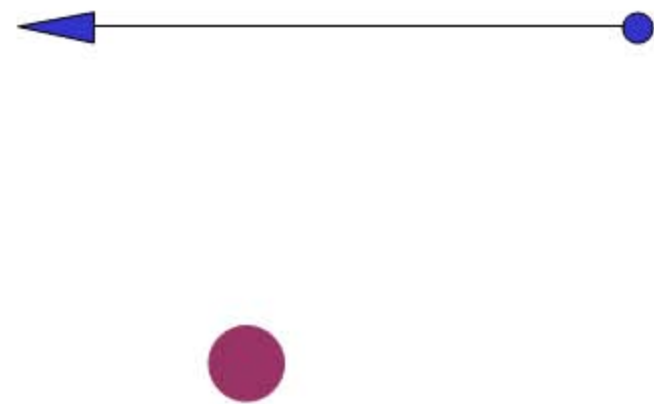
## elektromos erőhatás



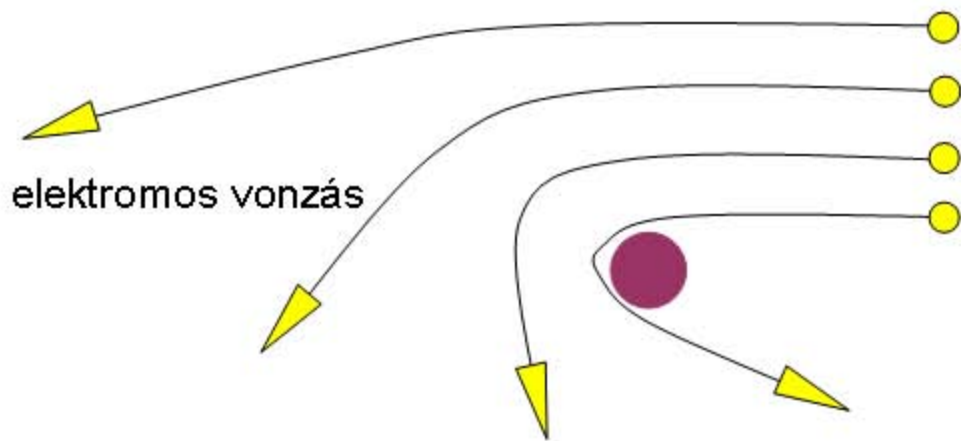
hatótávolság =  $\infty$



## magerő

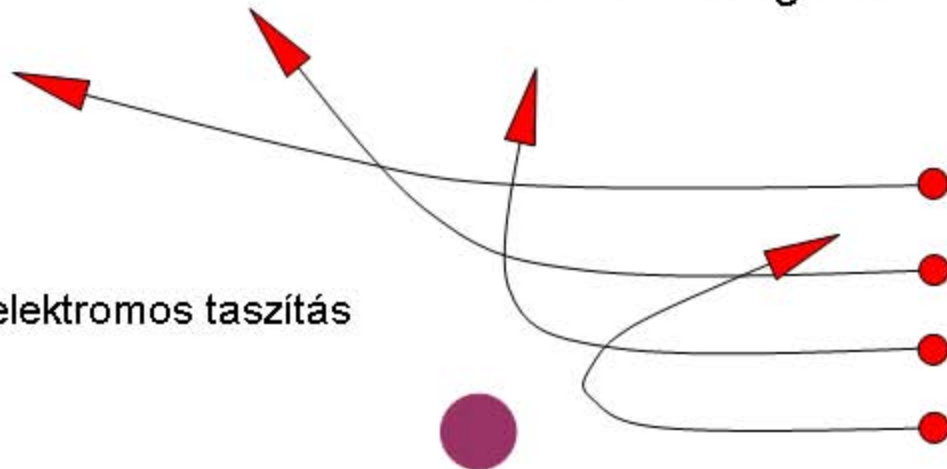


## elektromos erőhatás

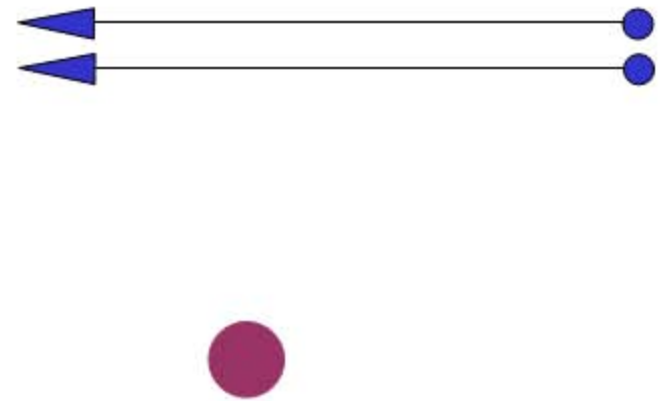


hatótávolság =  $\infty$

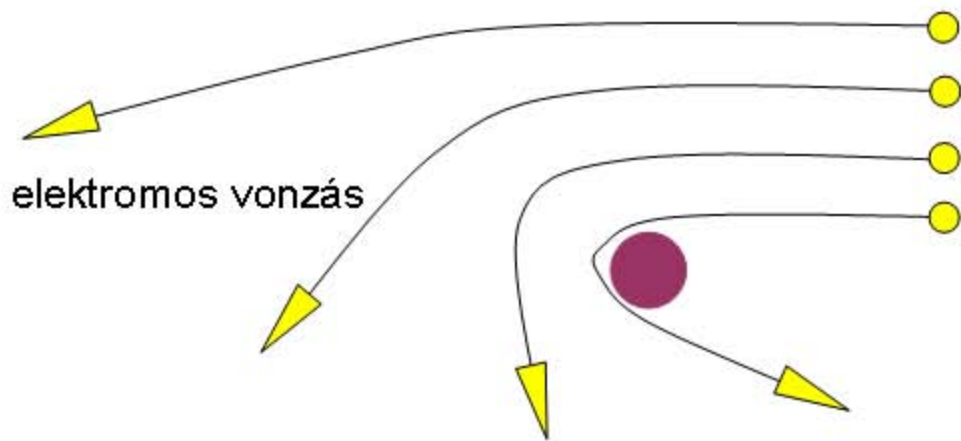
elektromos taszítás



## magerő

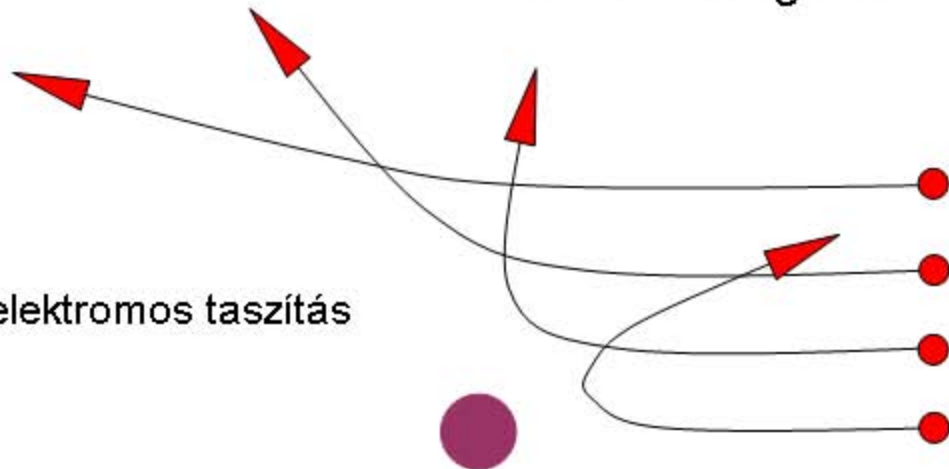


## elektromos erőhatás

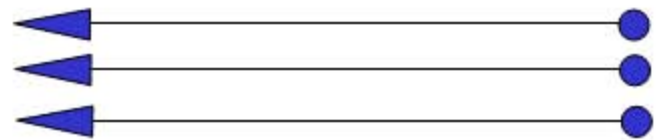


hatótávolság =  $\infty$

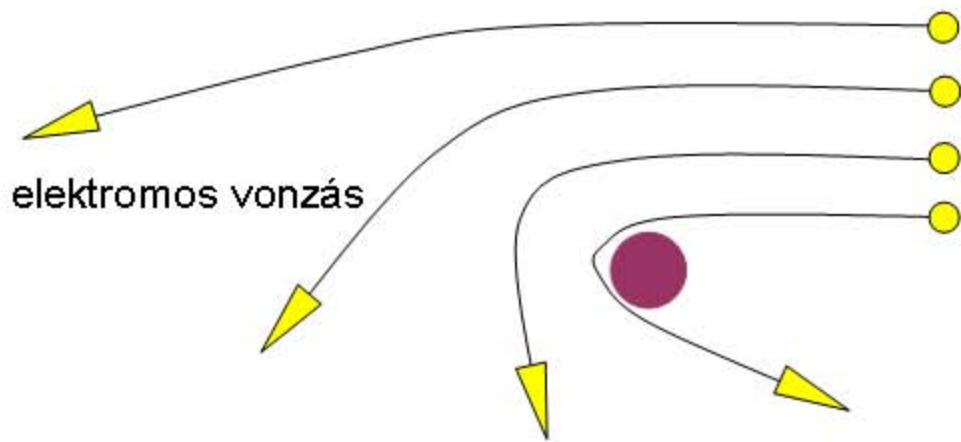
elektromos taszítás



## magerő

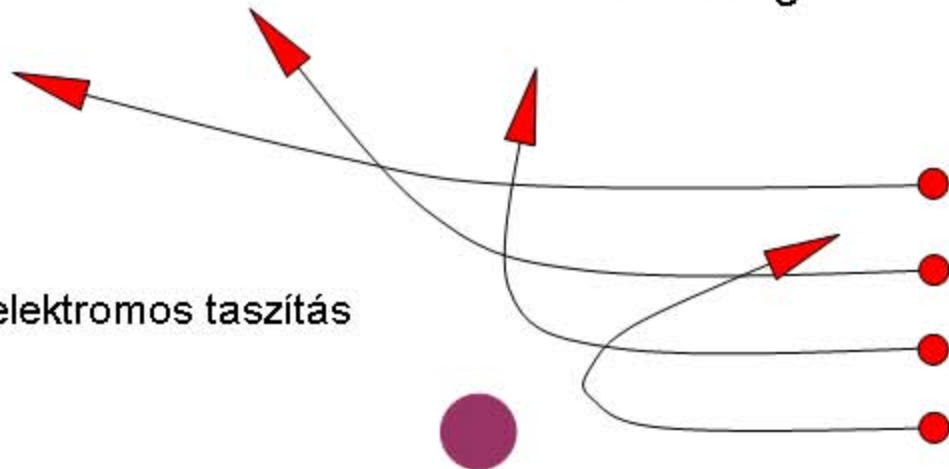


## elektromos erőhatás

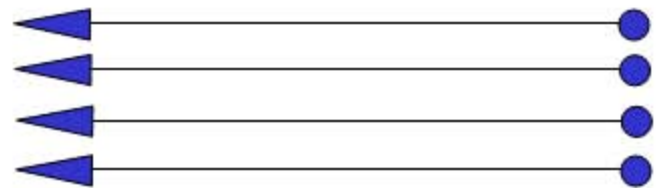


hatótávolság =  $\infty$

elektromos taszítás

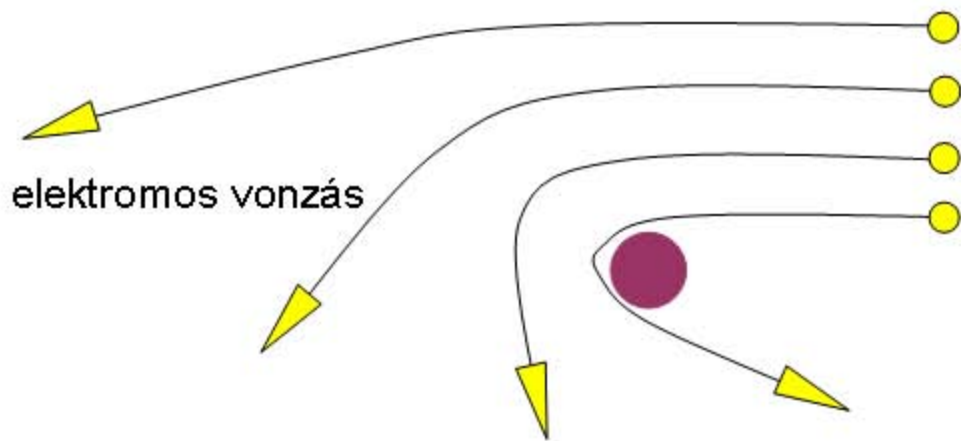


## magerő



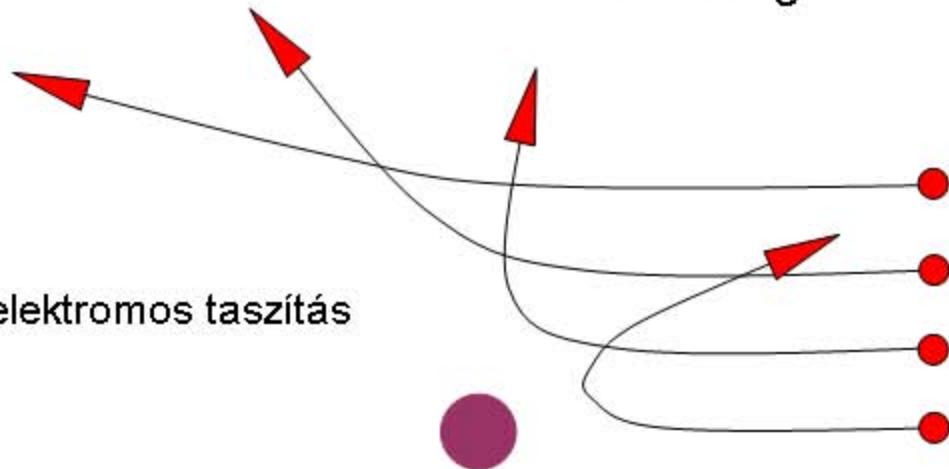


## elektromos erőhatás

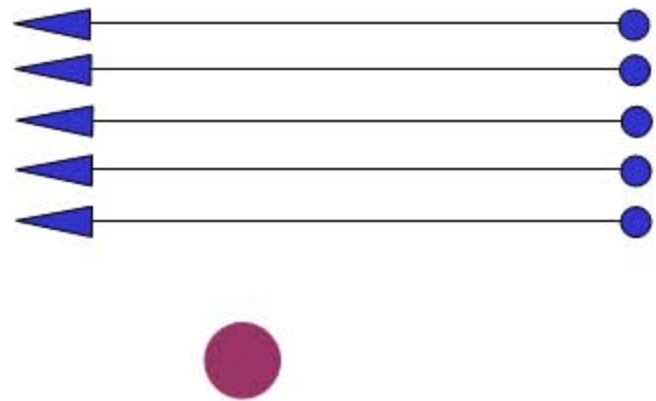


hatótávolság =  $\infty$

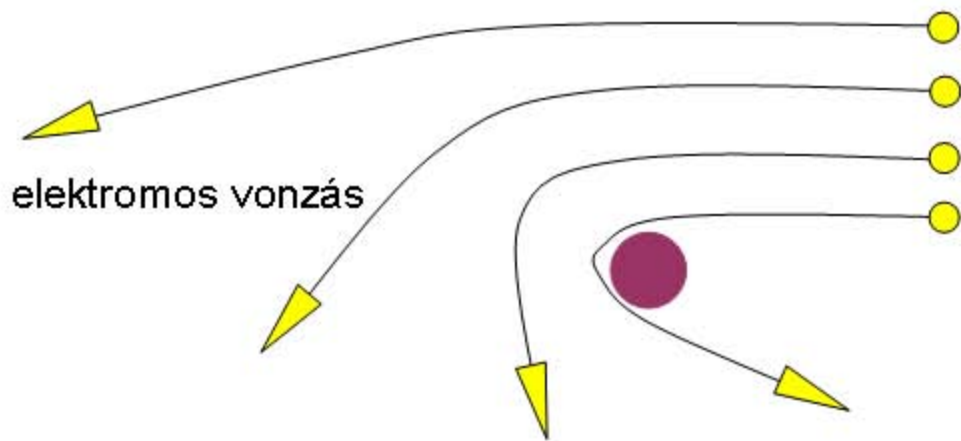
elektromos taszítás



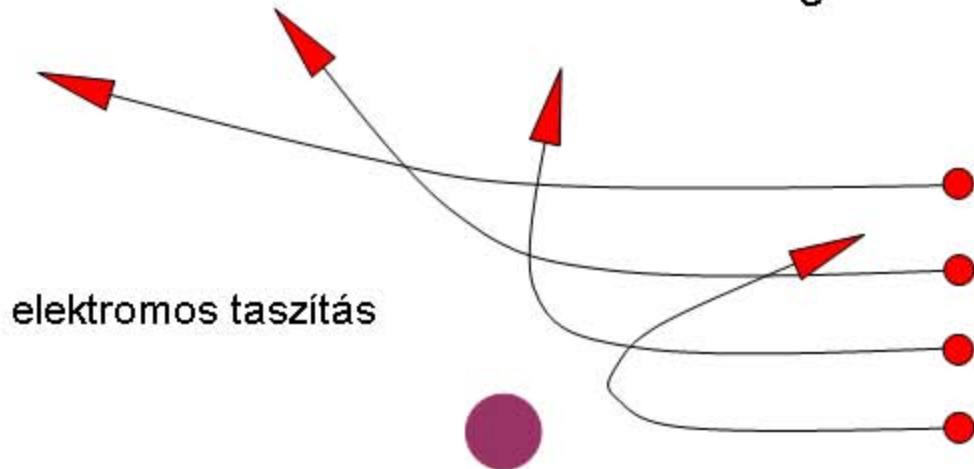
## magerő



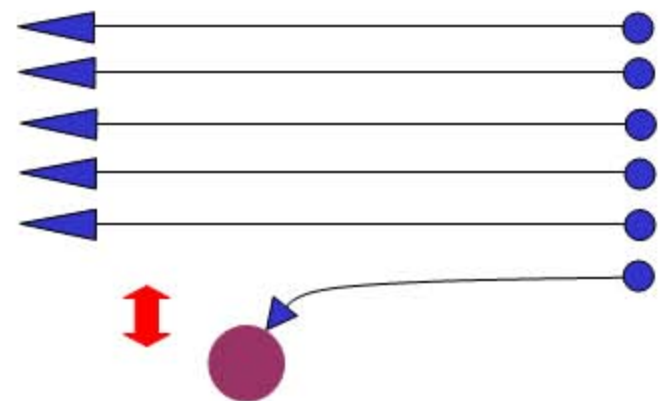
## elektromos erőhatás



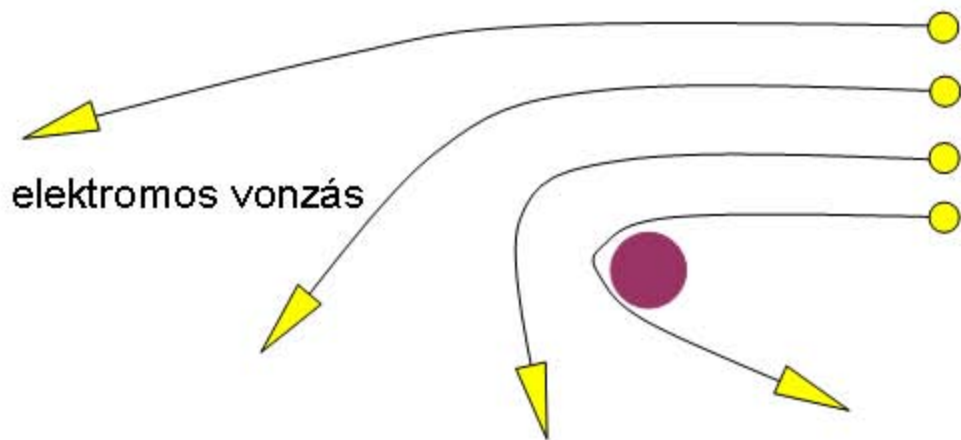
hatótávolság =  $\infty$



## magerő

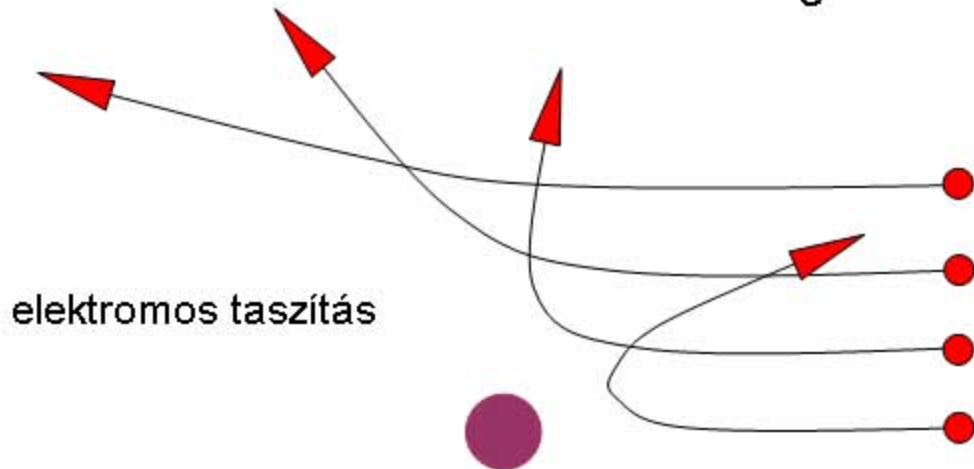


## elektromos erőhatás



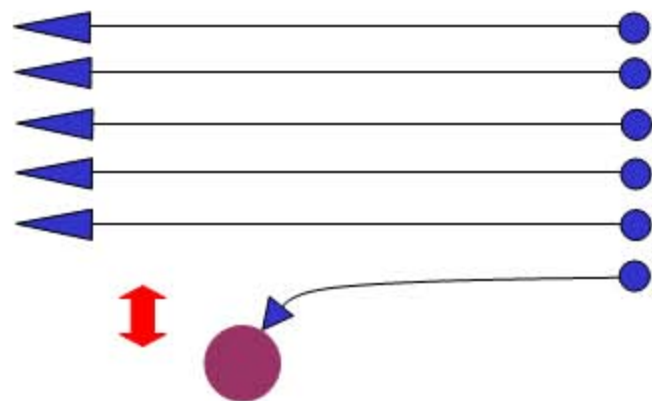
elektromos vonzás

hatótávolság =  $\infty$



elektromos taszítás

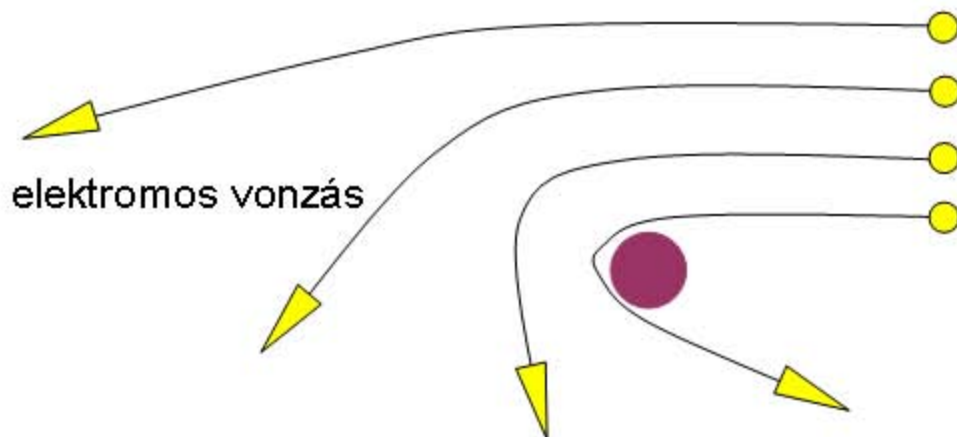
## magerő



hatótávolság  $\approx$  a nukleon mérete

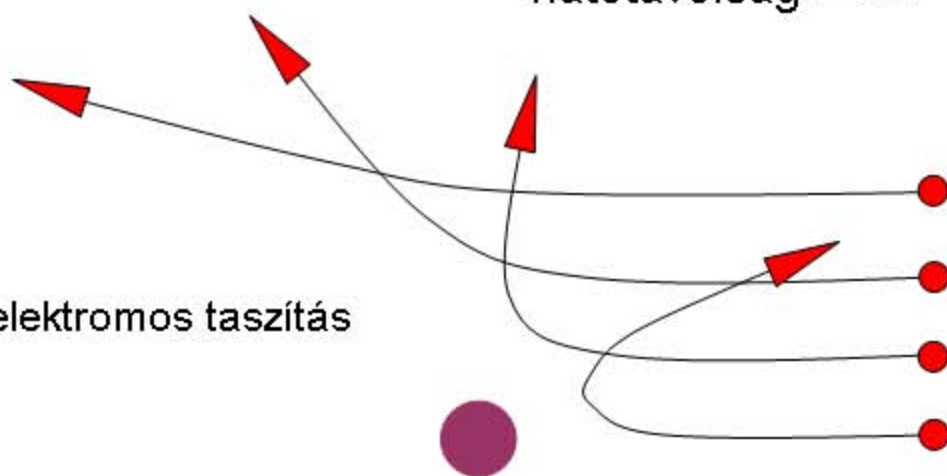


## elektromos erőhatás

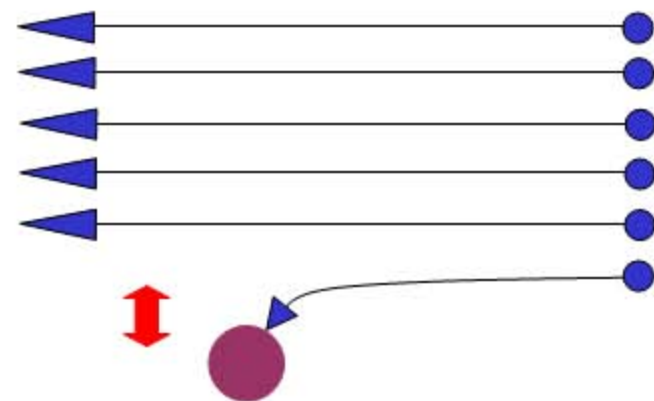


hatótávolság =  $\infty$

elektromos taszítás

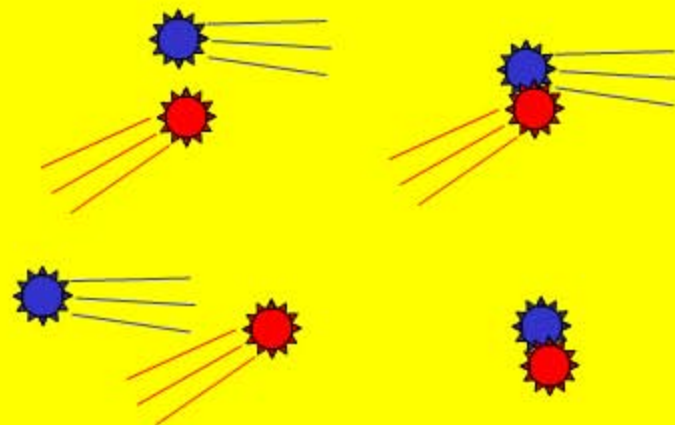


## magerő



hatótávolság  $\approx$  a nukleon mérete

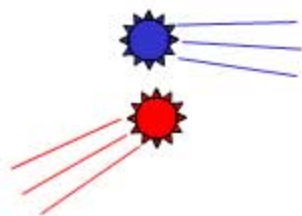
## „Bogáncsfizika”



# „Bogáncofizika”

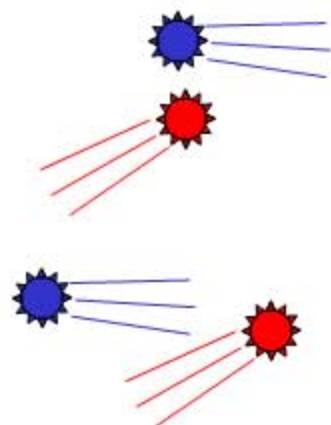


# „Bogánccsfizika”

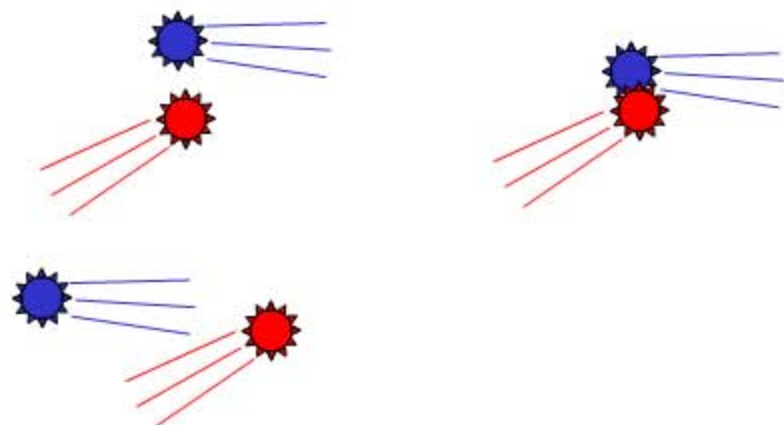




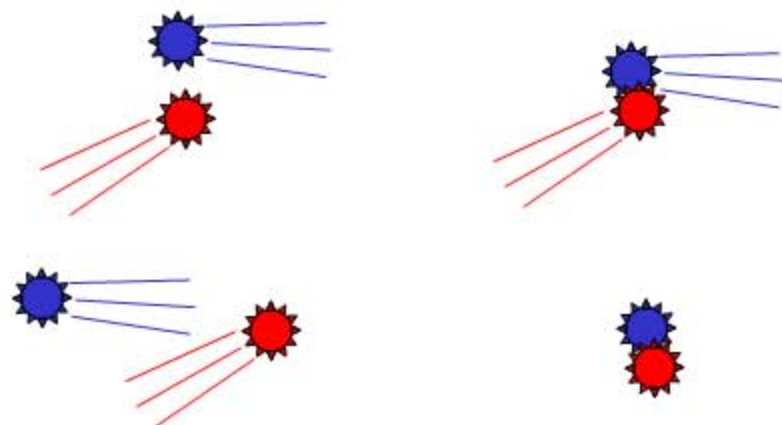
# „Bogáncofizika”



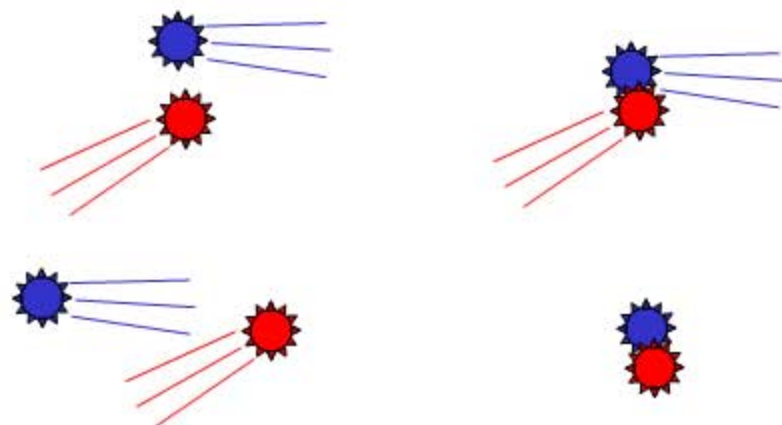
# „Bogáncofizika”



# „Bogáncofizika”



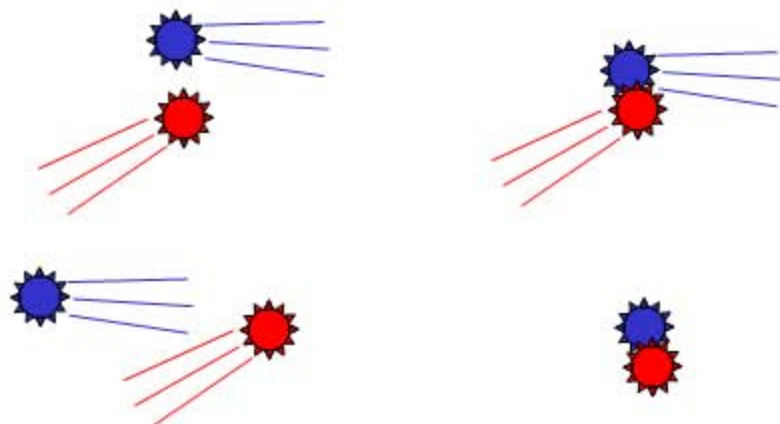
# „Bogánccsfizika”



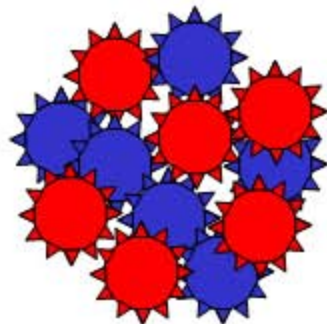
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



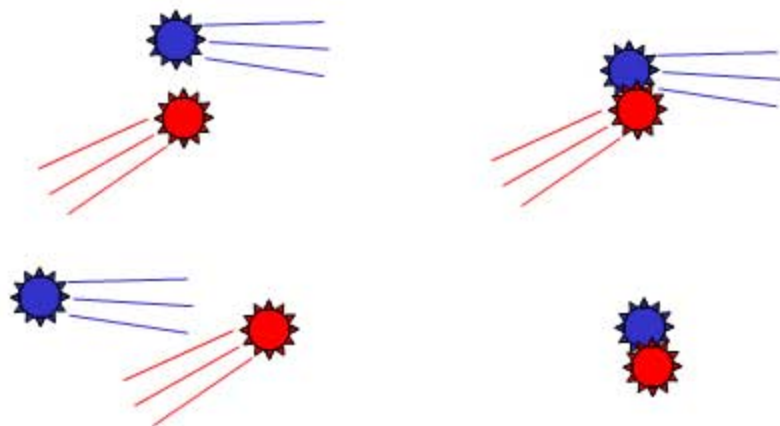
# „Bogánccsfizika”



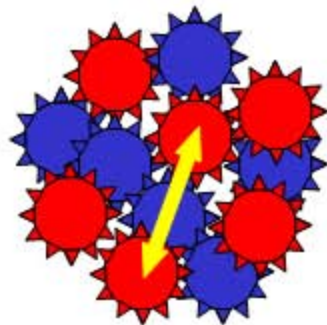
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



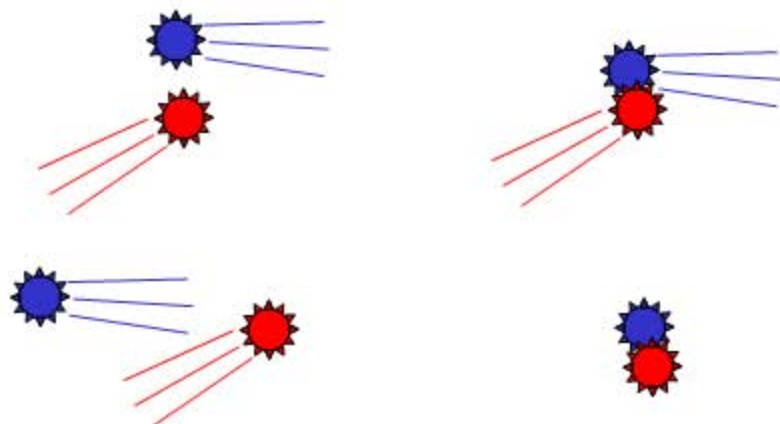
# „Bogánccsfizika”



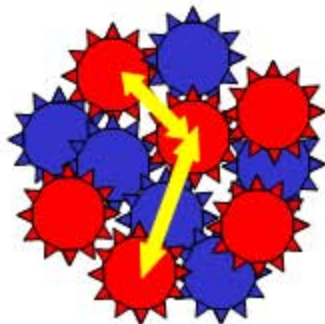
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



# „Bogáncofizika”

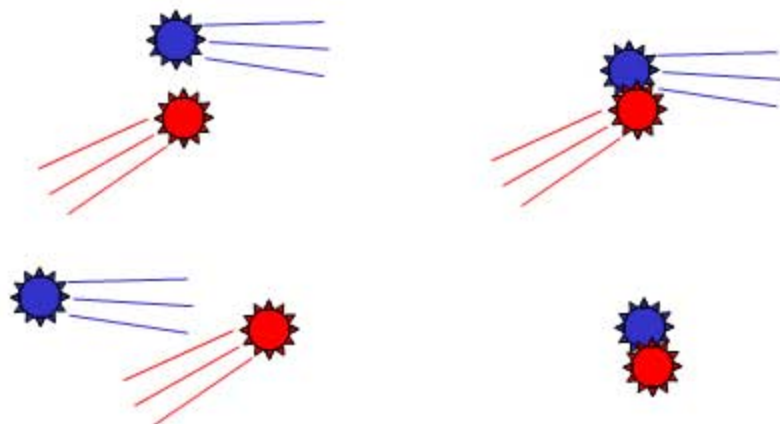


elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között

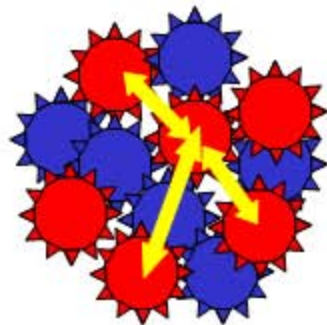




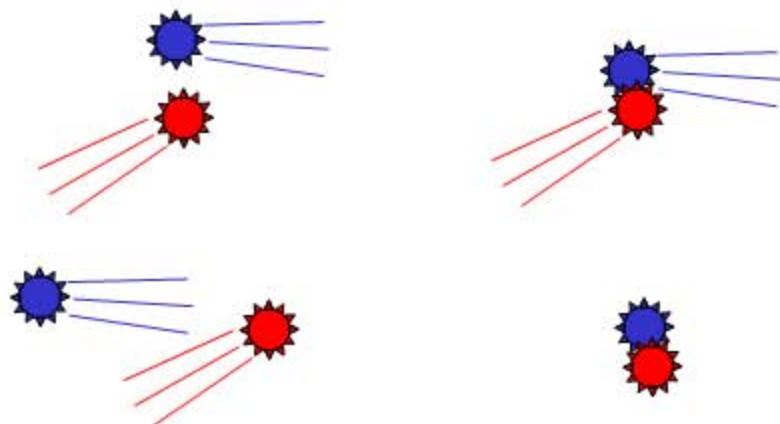
# „Bogánccsfizika”



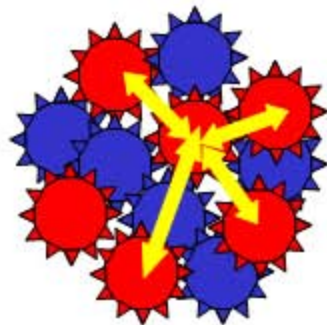
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



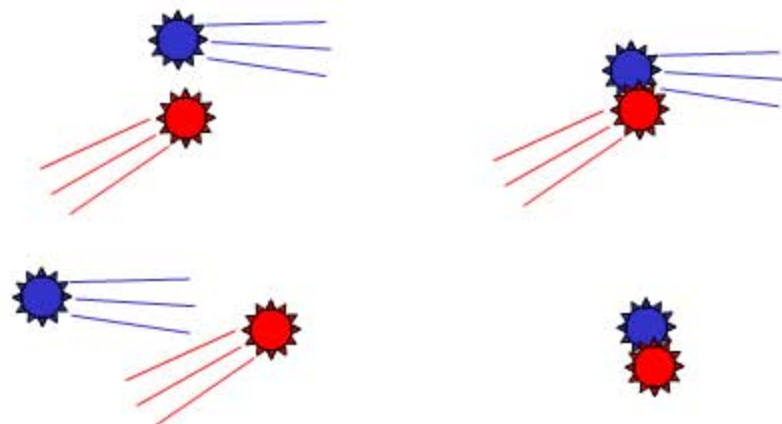
# „Bogánccsfizika”



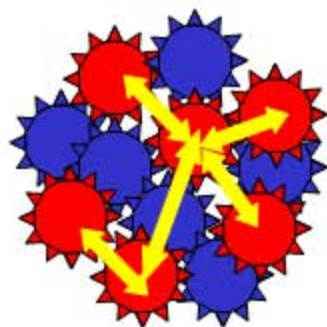
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



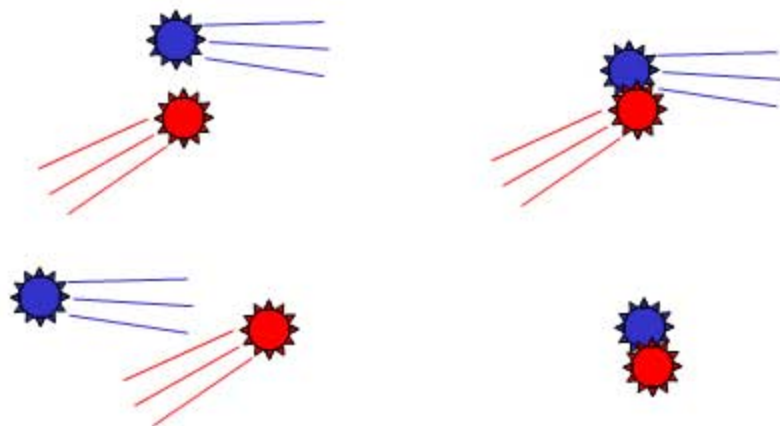
# „Bogánccsfizika”



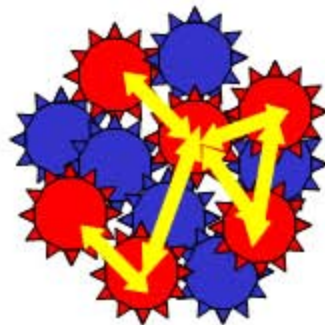
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



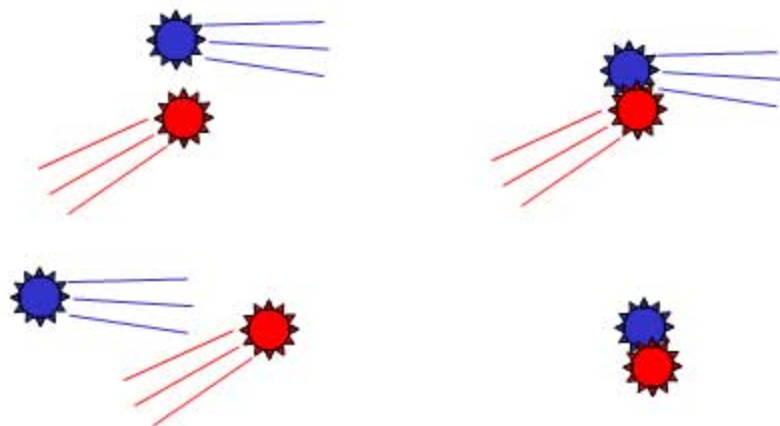
# „Bogánccsfizika”



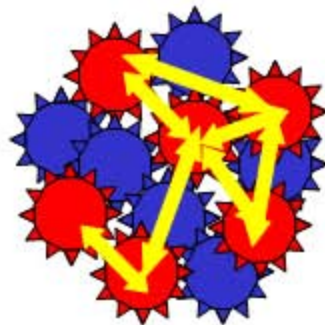
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



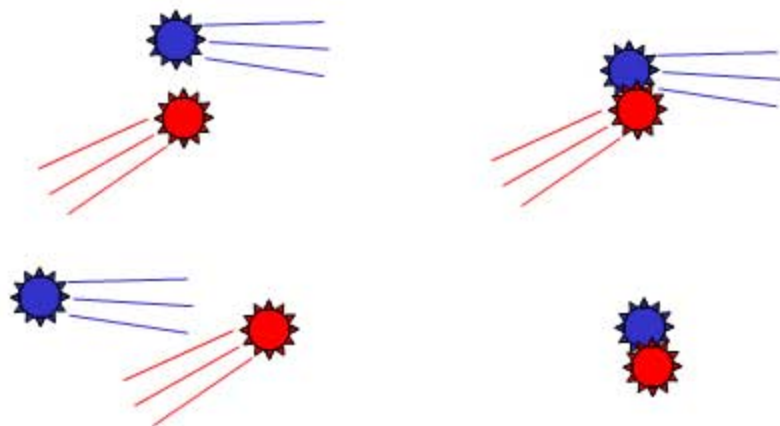
# „Bogáncofizika”



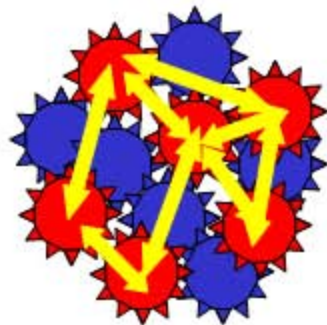
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



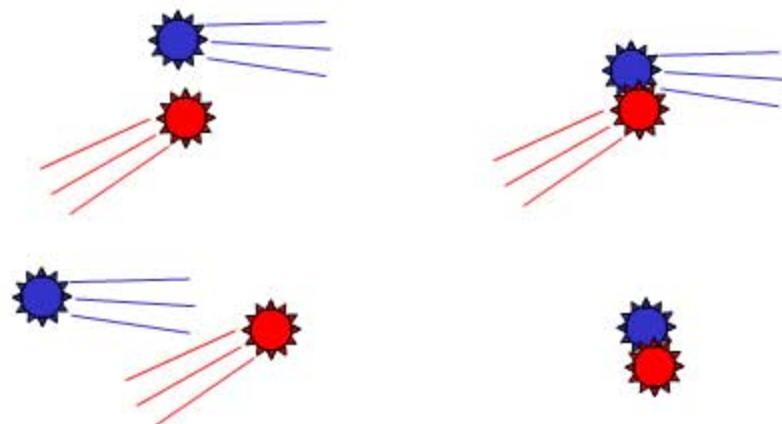
# „Bogánccsfizika”



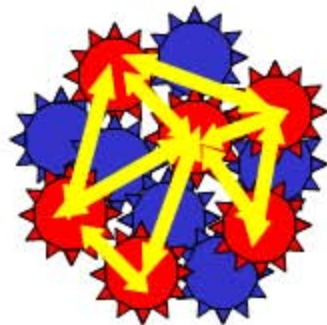
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



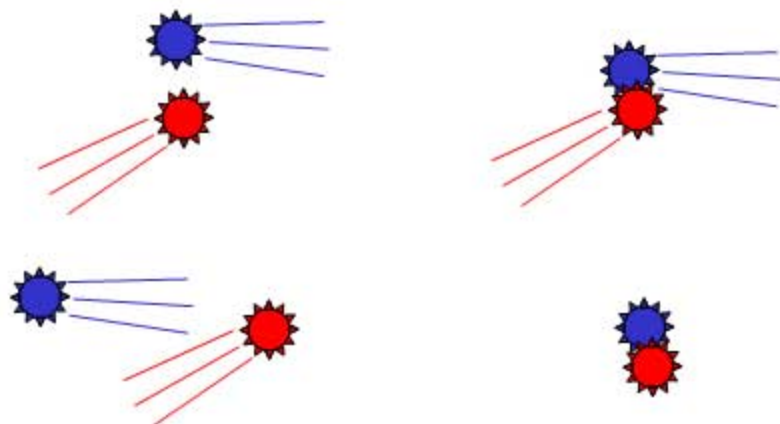
# „Bogánccsfizika”



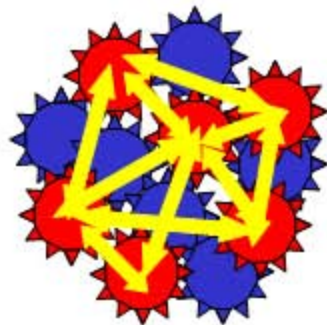
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



# „Bogánccsfizika”

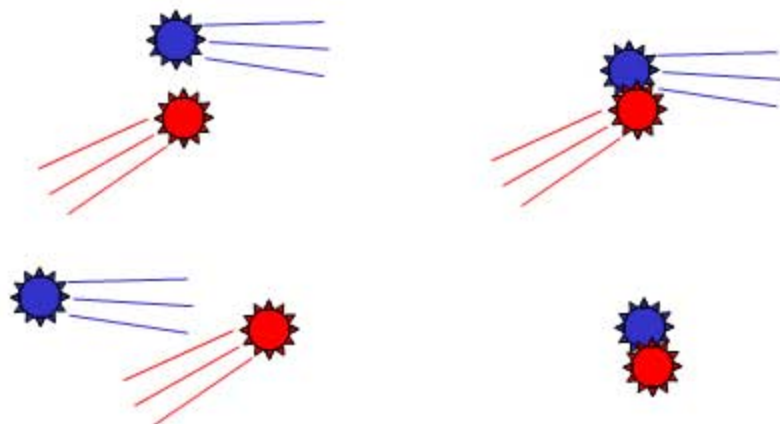


elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között

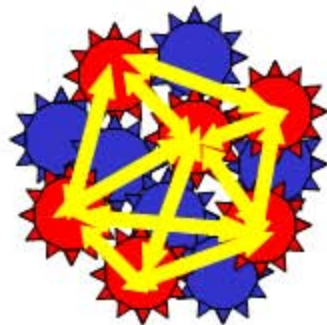




# „Bogáncofizika”

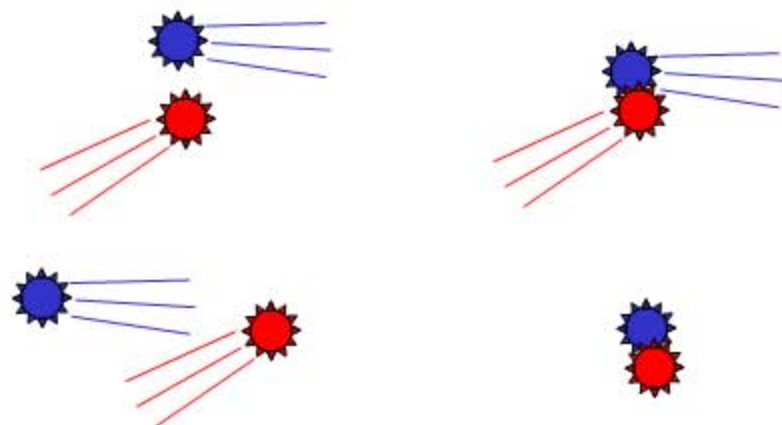


elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között

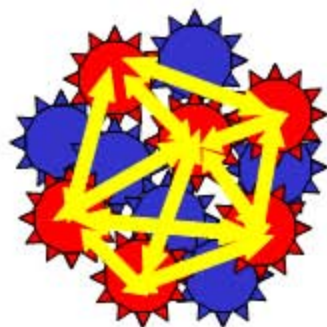


# „Bogánccsfizika”

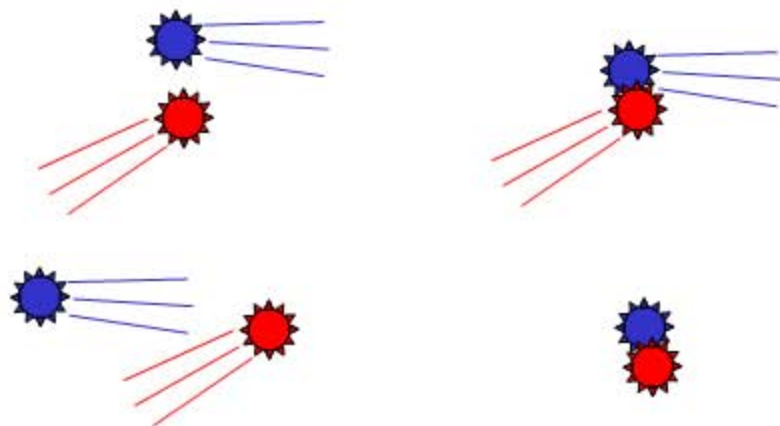
# Összetettebb atommag



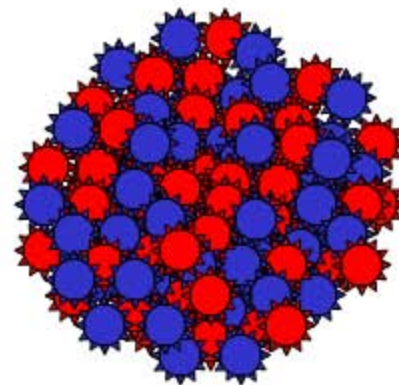
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



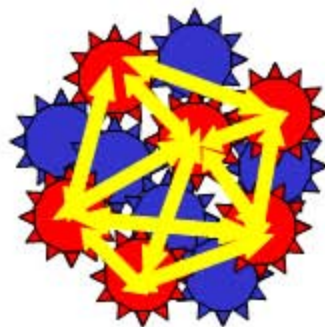
## „Bogánccsfizika”



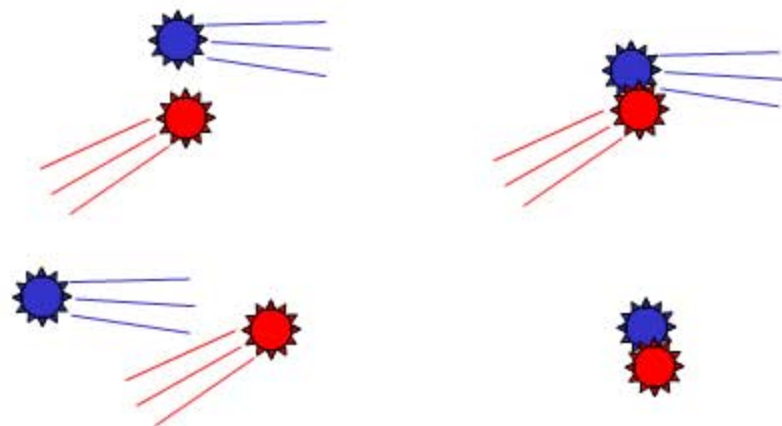
## Összetettebb atommag



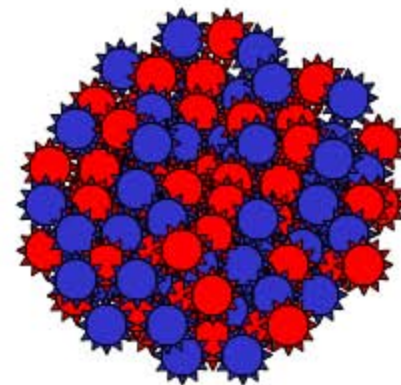
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



## „Bogánccsfizika”

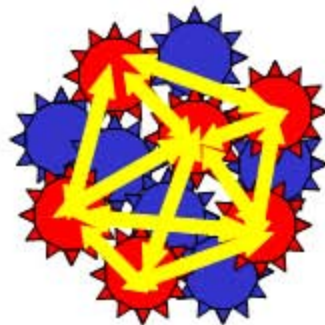


## Összetettebb atommag

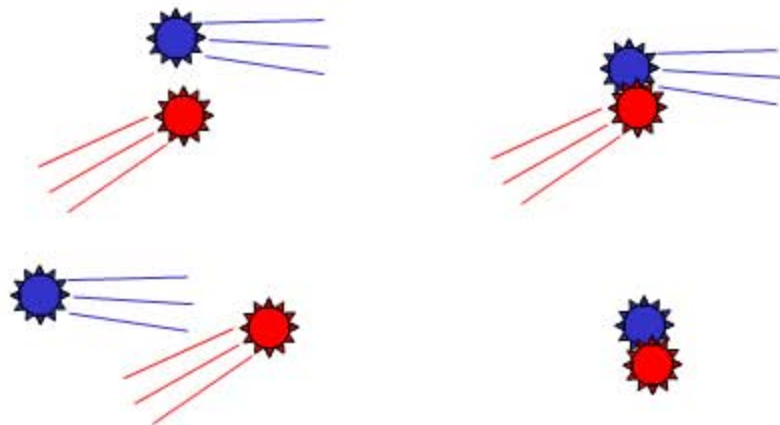


nagy bogánccsgömb

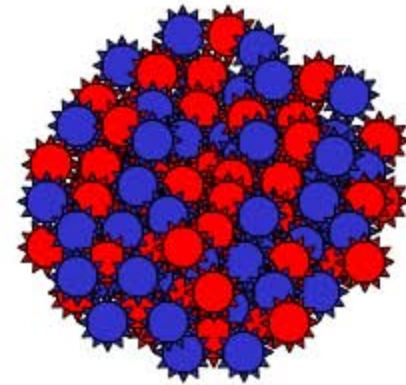
elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



## „Bogánccsfizika”

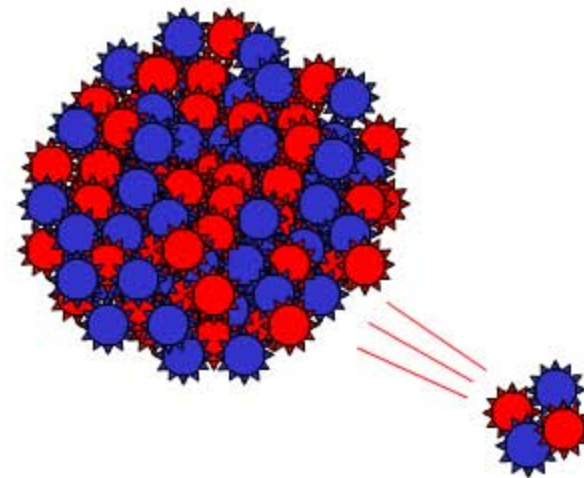
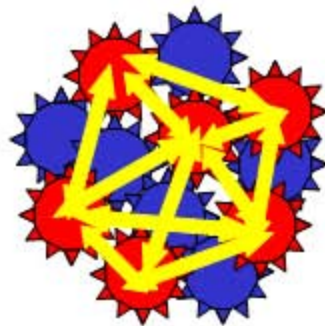


## Összetettebb atommag



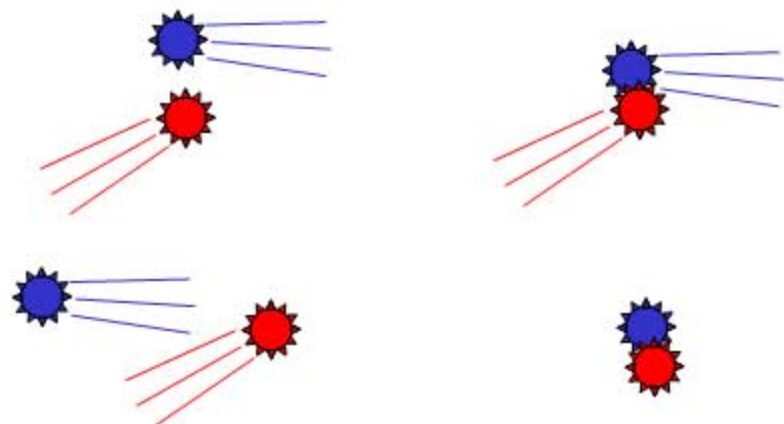
nagy bogánccsgömb

elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között

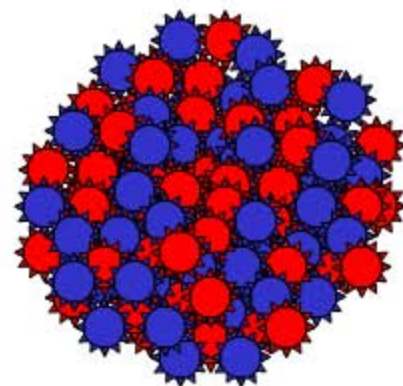




# „Bogánccsfizika”

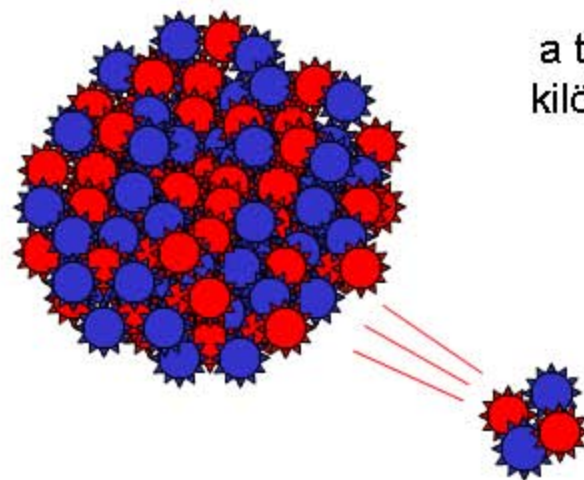
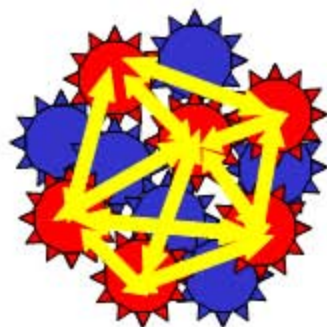


# Összetettebb atommag



nagy bogánccsgömb

elektromos  
taszítóerő  
**MINDEN**  
protonpár között



a túl nagy mag  
kilöki felesleges  
részeit



# Az atommagok térképe

protonok száma:  $Z$

- 236U  
2.34237 T  
α- 100.00%  
T<sub>1/2</sub> 9.42-0n  
alfa-bomlás
- 208Pb  
STABIL  
52.4n  
STABIL MAG
- 120Pb  
2.24 s  
β+ 100.00%  
béta(+)-bomlás
- 20P  
11.07 s  
β- 100.00%  
béta-bomlás
- 170  
0.67 MeV  
p  
proton-emisszió
- 277Ug  
1 M  
sf  
spontán hasadás
- 250F  
440 Jc  
n  
neutron-emisszió

neutronok száma:  $N$

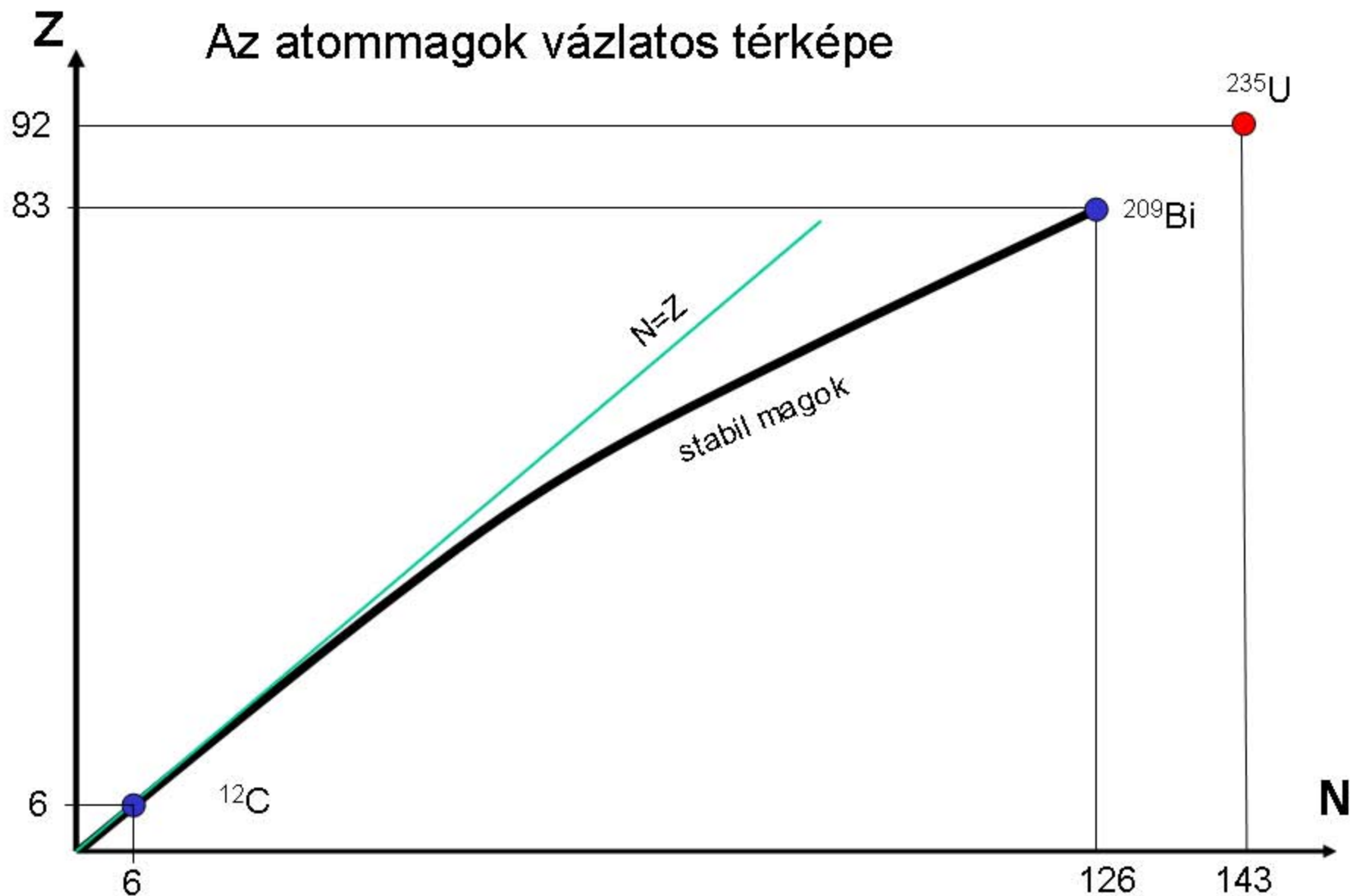


# Az atommagok vázlatos térképe

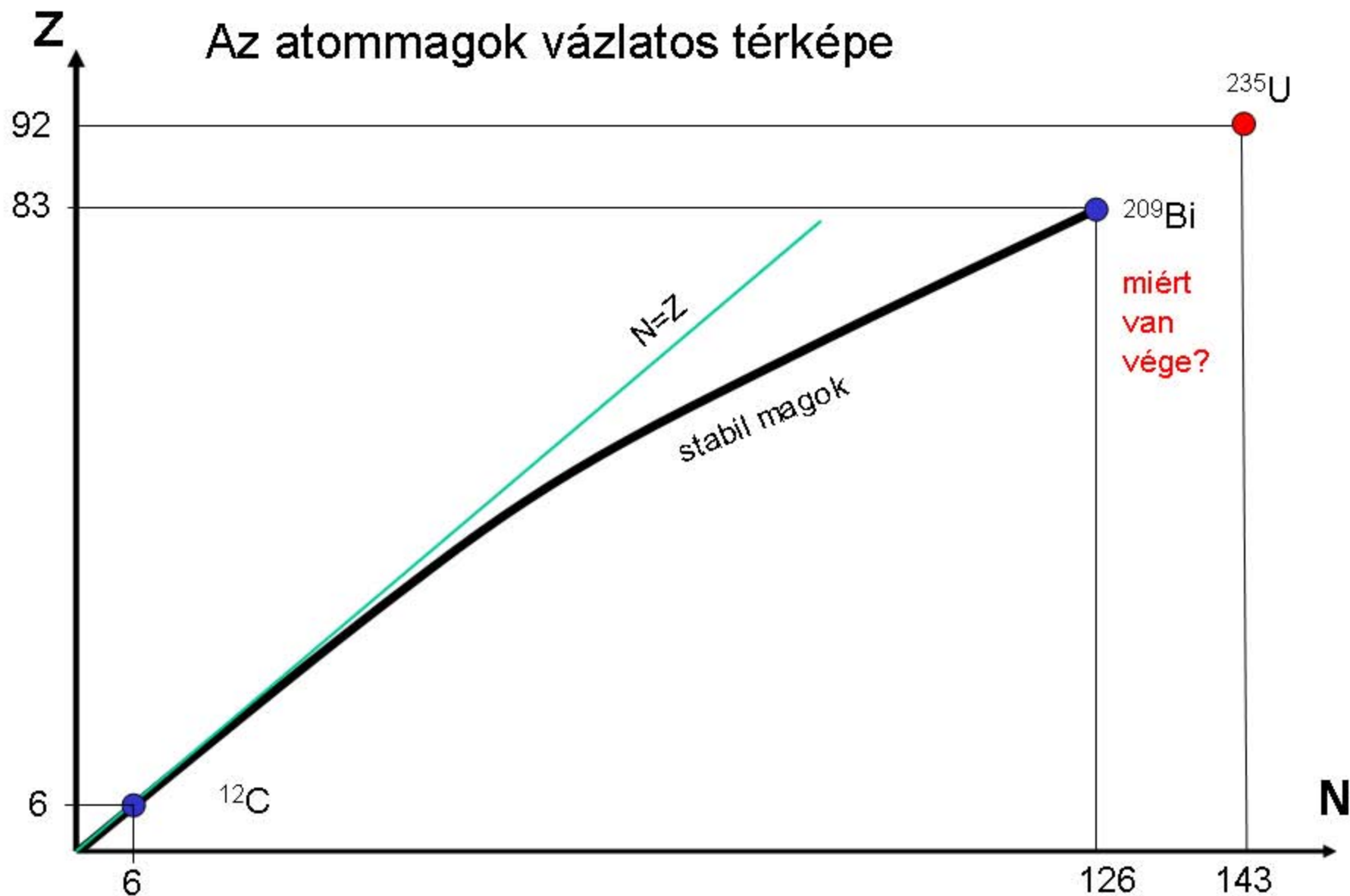




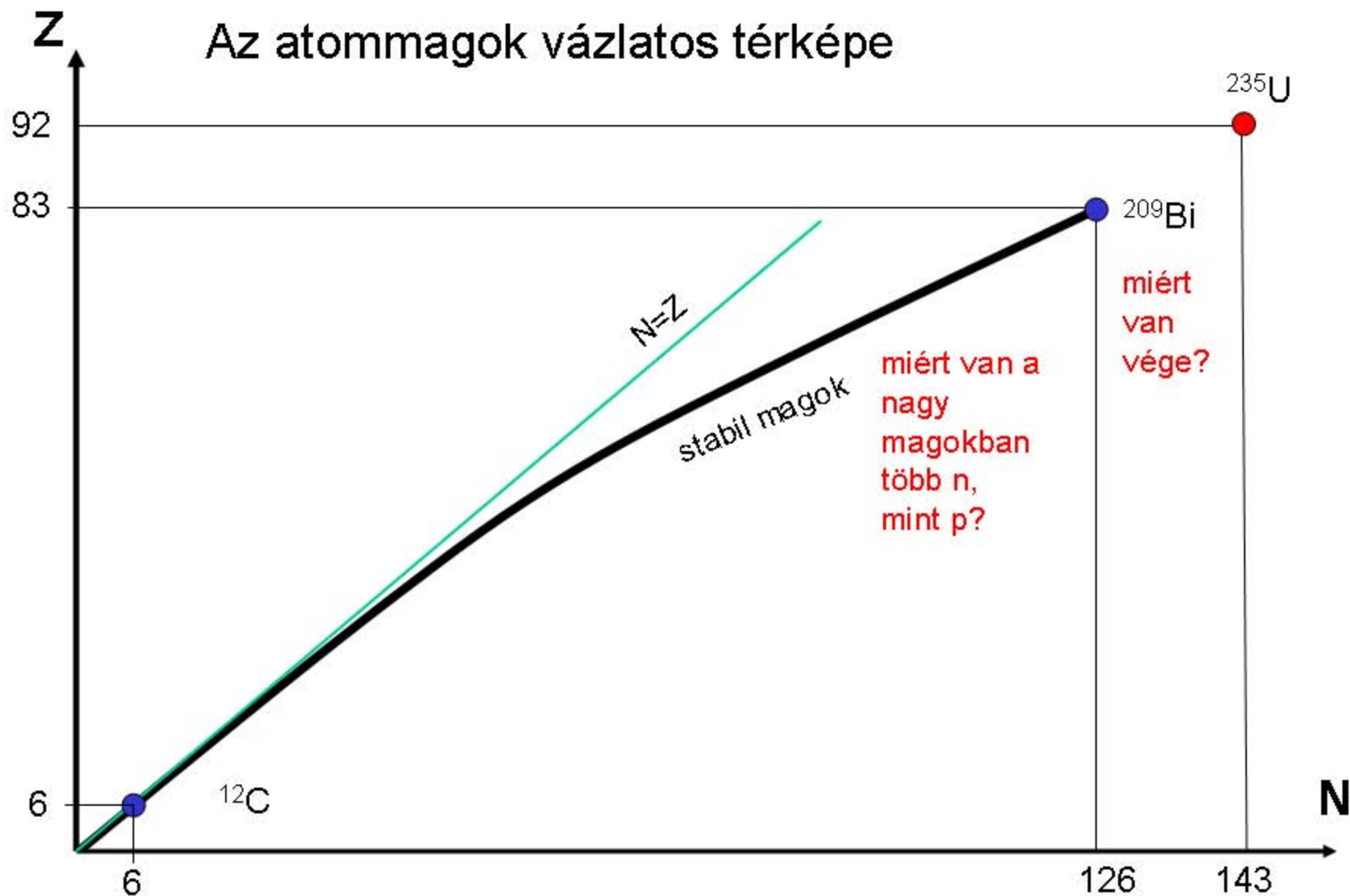
# Az atommagok vázlatos térképe



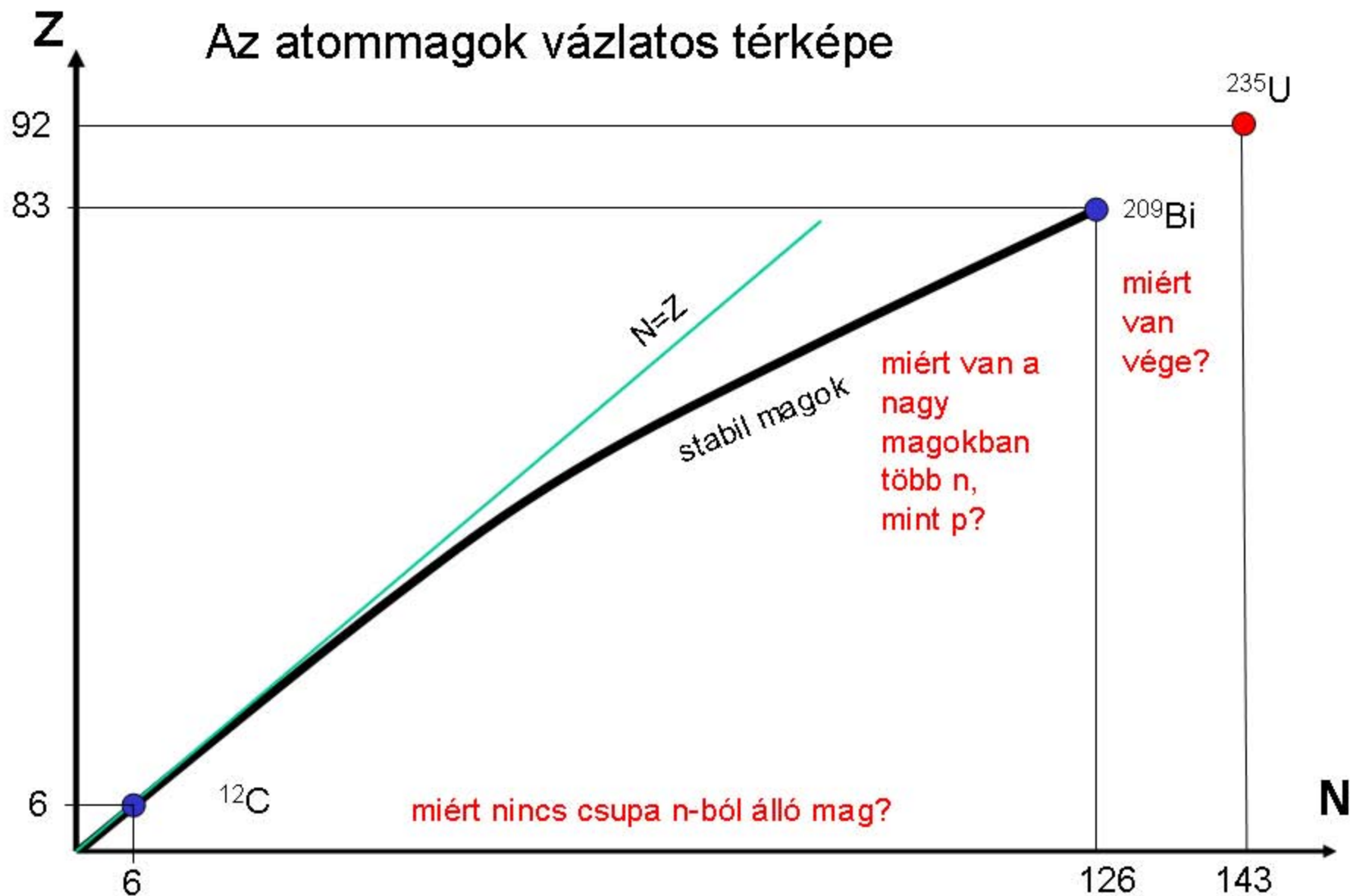
# Az atommagok vázlatos térképe



# Az atommagok vázlatos térképe

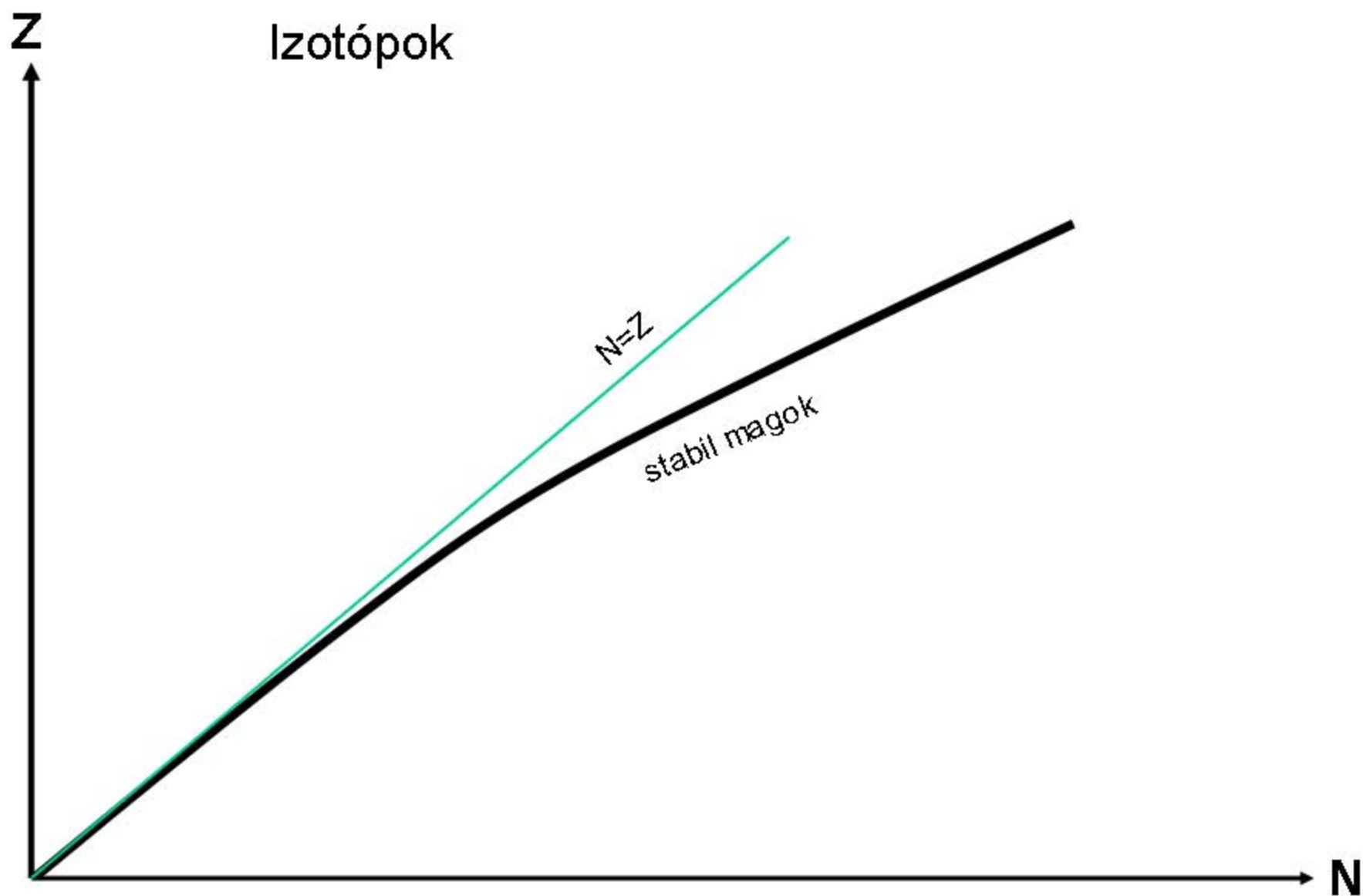


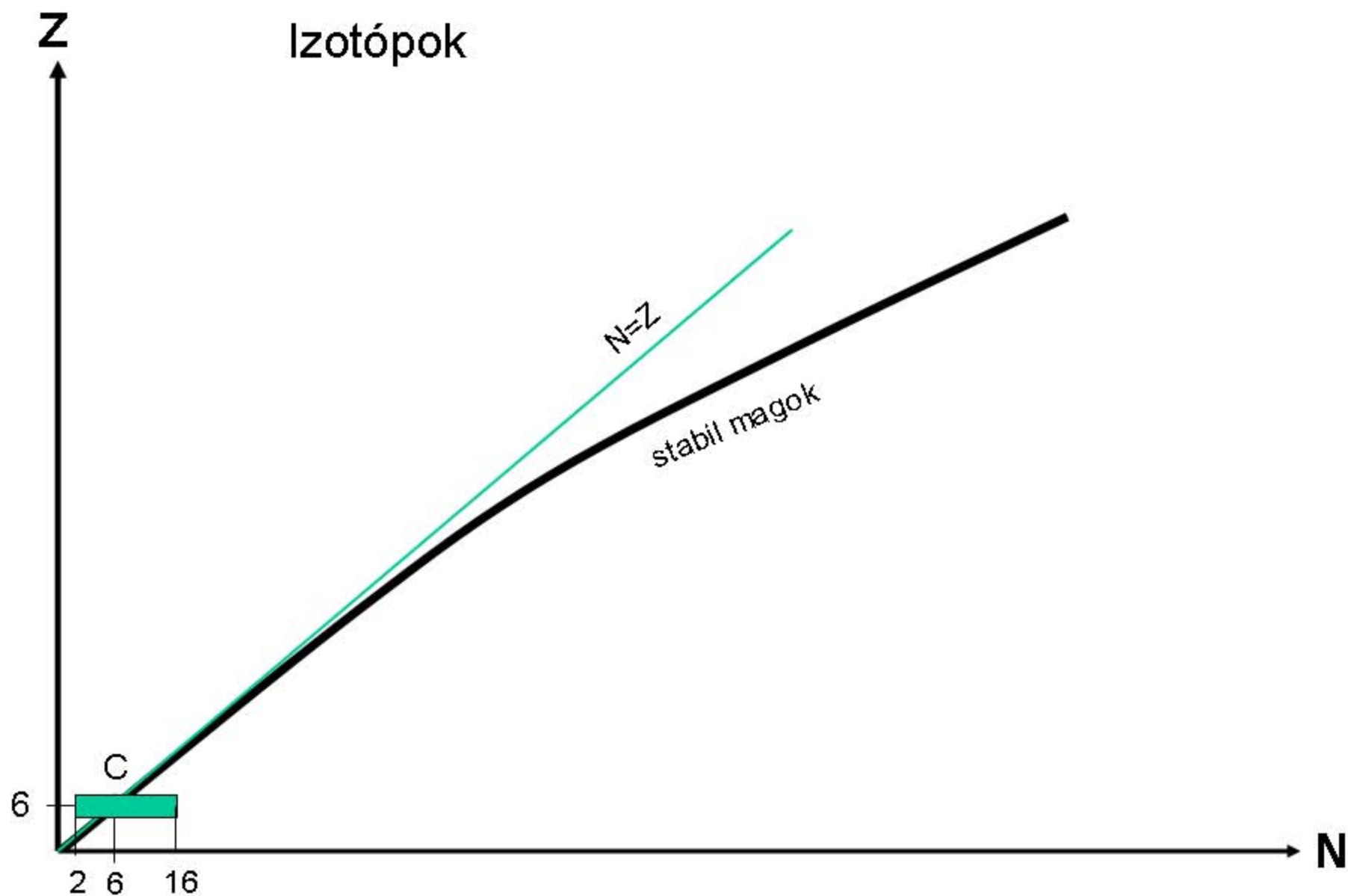
# Az atommagok vázlatos térképe



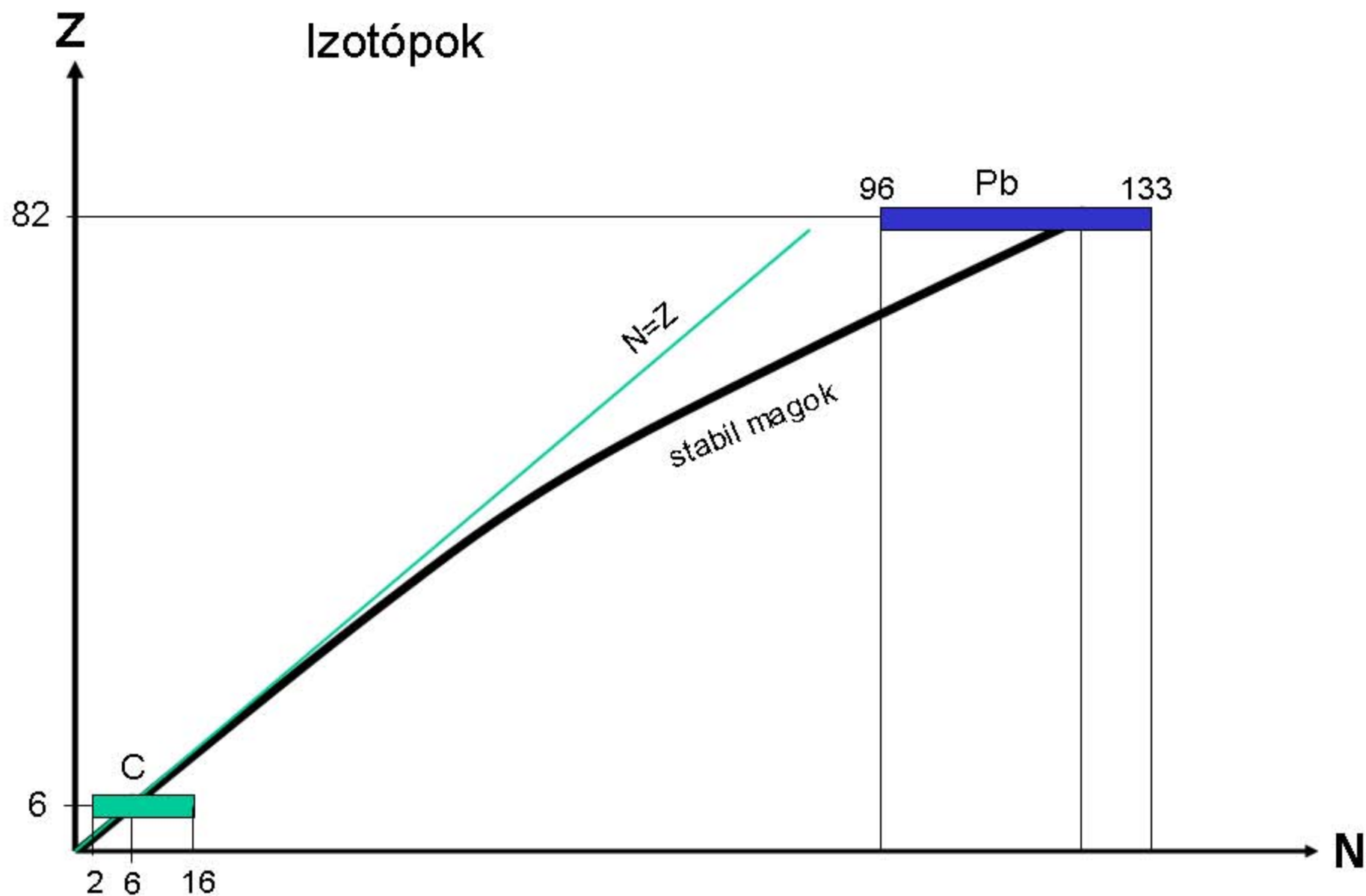
# Izotópok





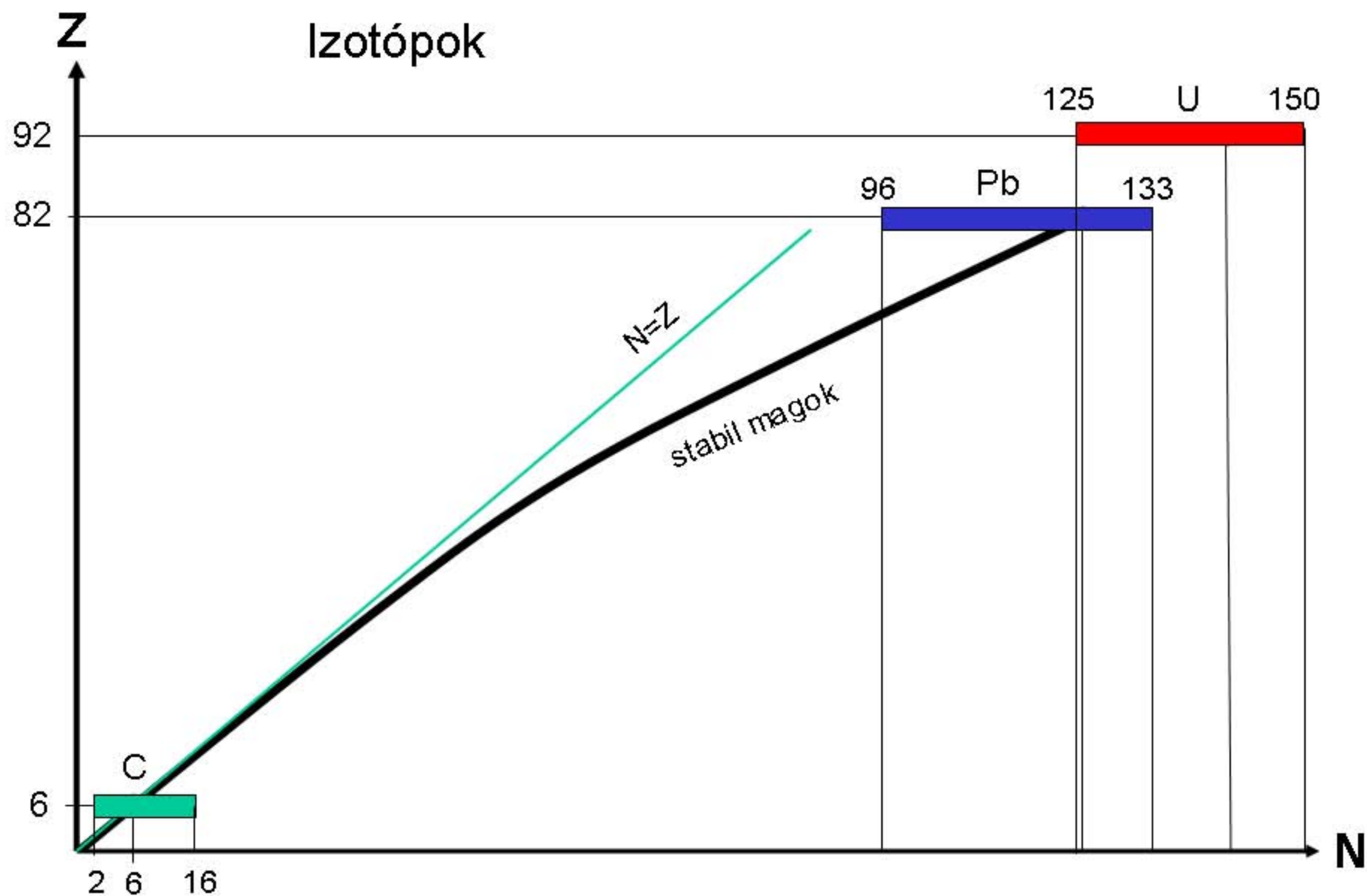


# Izotópok

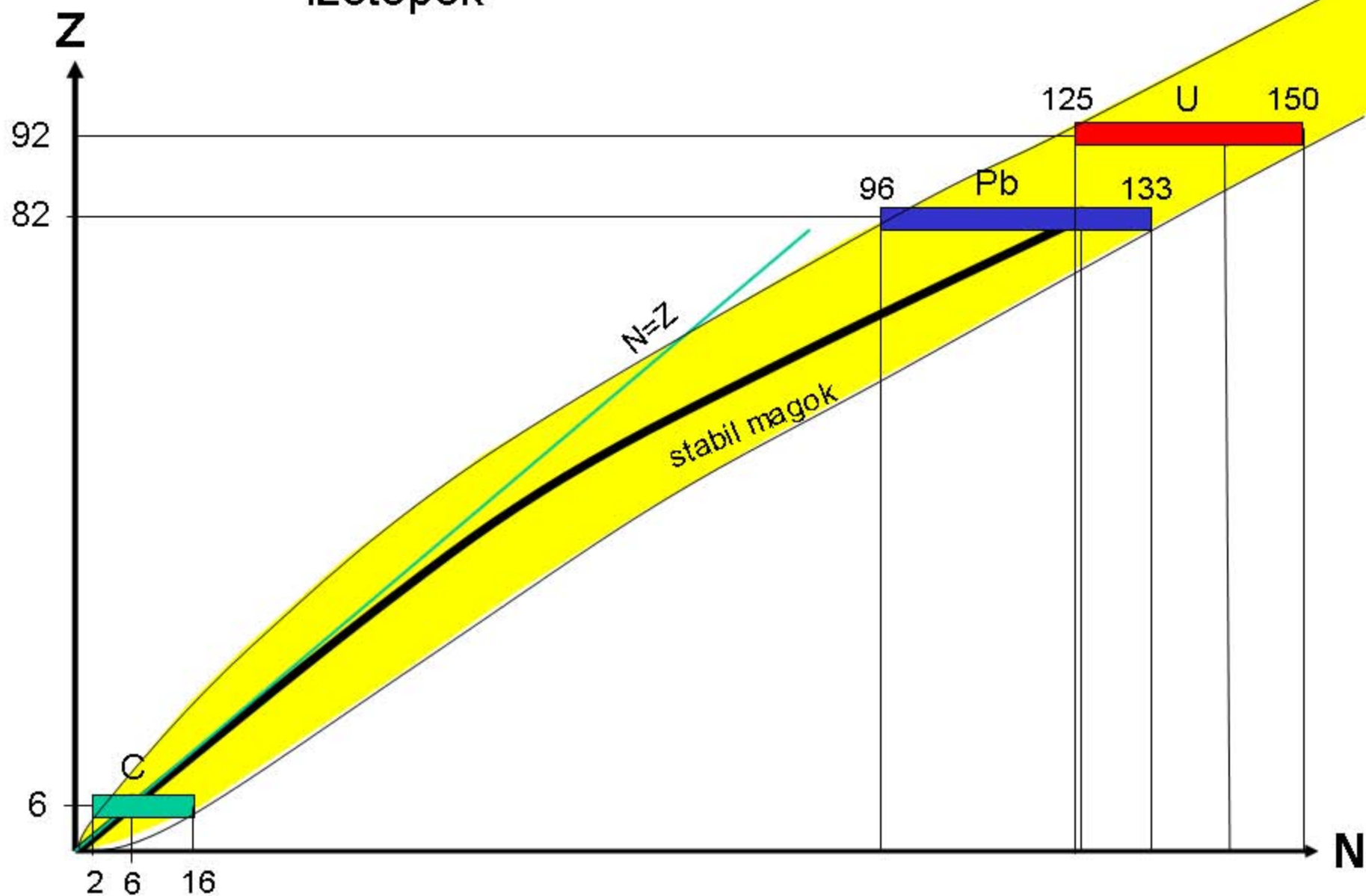




# Izotópok

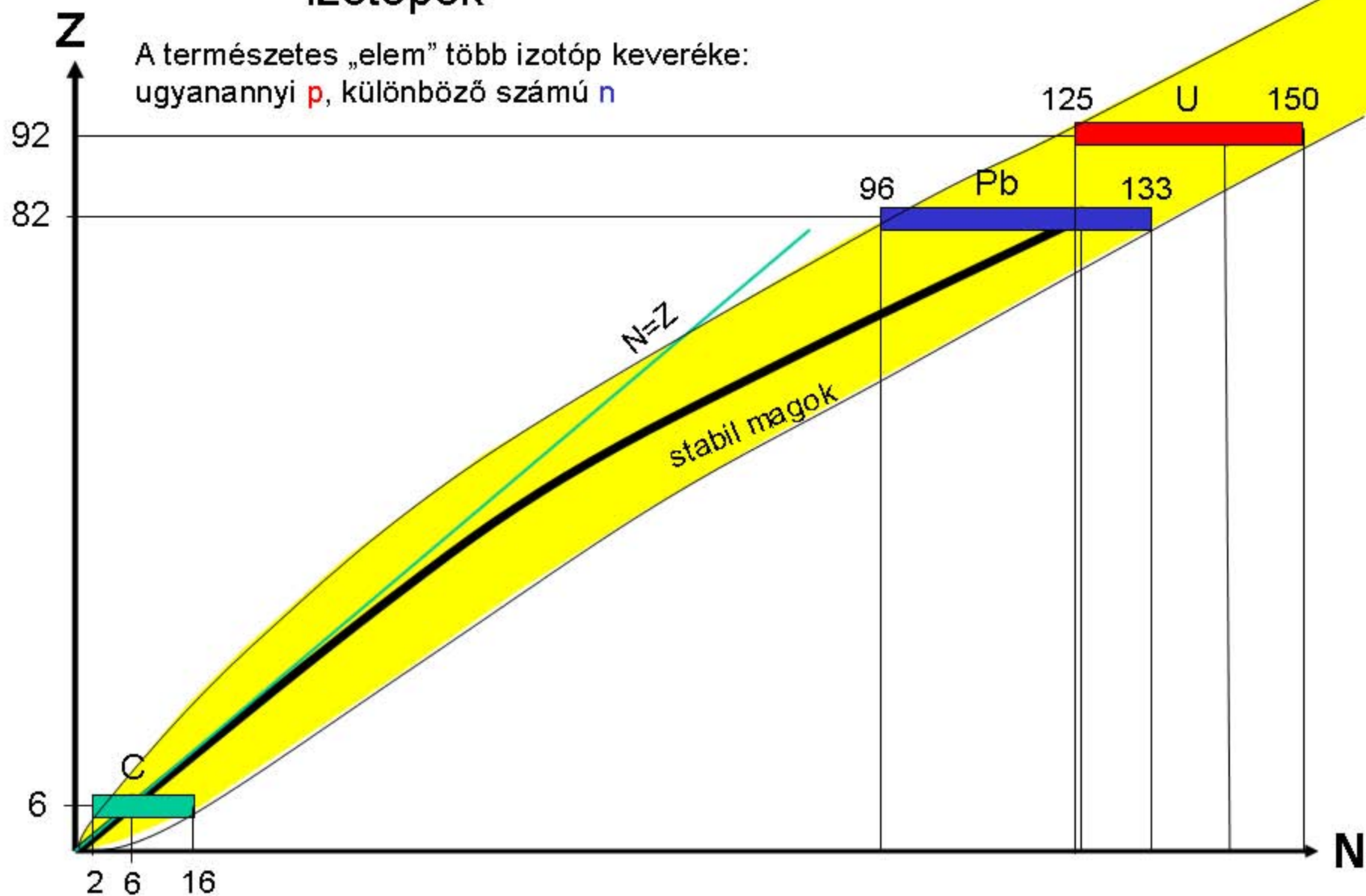


# Izotópok

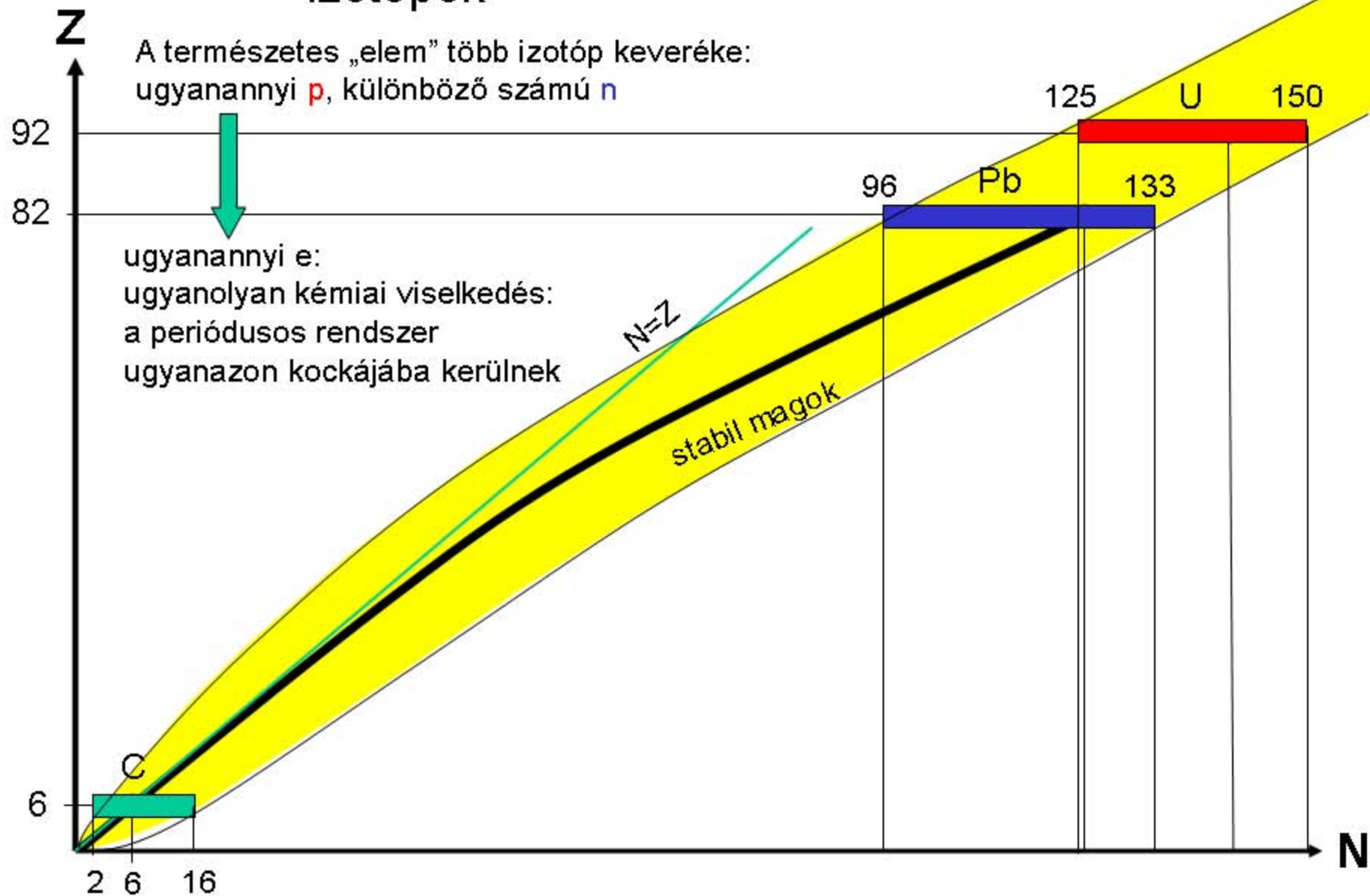


# Izotópok

A természetes „elem” több izotóp keveréke:  
ugyanannyi  $p$ , különböző számú  $n$



# Izotópok



# könnyű atommagok

$p = 6$

$p = 1$

$p = 0$





# Egy elem stabil izotóp nélkül: a prométium

145Tb = 20 M	146Tb 8 s	147Tb 1.7 H	148Tb 60 M	149Tb 4.118 H	150Tb 3.48 H	151Tb 17.609 H	152Tb 17.5 H	153Tb 2.34 D	154Tb 21.5 H	155Tb 5.32 D	156Tb 5.35 D	157Tb 71 Y	158Tb 180 Y	159Tb STABLE 100%
ε	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 83.30% α: 16.70%	ε: 100.00% α: < 0.05%	ε: 100.00% α: 9.5E-3%	ε: 100.00% α: < 7.0E-7%	ε: 100.00%	ε: 100.00% β: < 0.10%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 83.40% β: 16.60%	
144Gd 4.47 M	145Gd 23.0 M	146Gd 48.27 D	147Gd 38.06 H	148Gd 70.9 Y	149Gd 9.28 D	150Gd 1.79E+6 Y	151Gd 124 D	152Gd 1.08E+14 Y 0.20%	153Gd 240.4 D	154Gd STABLE 2.18%	155Gd STABLE 14.80%	156Gd STABLE 20.47%	157Gd STABLE 15.65%	158Gd STABLE 24.84%
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 4.3E-4%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 8.0E-7%	ε: 100.00%	ε: 100.00%					
143Eu 2.59 M	144Eu 10.2 s	145Eu 5.93 D	146Eu 4.61 D	147Eu 24.1 D	148Eu 54.5 D	149Eu 93.1 D	150Eu 36.9 Y	151Eu STABLE 47.81%	152Eu 13.506 Y	153Eu STABLE 52.19%	154Eu 8.590 Y	155Eu 4.753 Y	156Eu 15.19 D	157Eu 15.18 H
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 2.2E-3%	ε: 100.00% α: 9.4E-7%	ε: 100.00%	ε: 100.00%		ε: 72.10% β: 27.90%		β: 99.98% α: 0.02%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%
142Sm 72.49 M	143Sm 8.75 M	144Sm STABLE 3.07%	145Sm 340 D	146Sm 10.3E+7 Y	147Sm 1.06E+11 Y 14.99%	148Sm 7E+15 Y 11.24%	149Sm STABLE 13.82%	150Sm STABLE 7.38%	151Sm 90 Y	152Sm STABLE 26.75%	153Sm 46.284 H	154Sm STABLE 22.75%	155Sm 22.3 M	156Sm 9.4 H
ε: 100.00%	ε: 100.00%		ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%			β: 100.00%		β: 100.00%		β: 100.00%	β: 100.00%
141Pm 20.90 M	142Pm 40.5 s	143Pm 265 D	144Pm 363 D	145Pm 17.7 Y	146Pm 5.53 Y	147Pm 2.6234 Y	148Pm 5.368 D	149Pm 53.08 H	150Pm 2.68 H	151Pm 28.40 H	152Pm 4.12 M	153Pm 5.25 M	154Pm 2.68 M	155Pm 41.5 s
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 3E-07%	ε: 66.00% β: 34.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%
140Nd 3.37 D	141Nd 2.49 H	142Nd STABLE 27.2%	143Nd STABLE 12.2%	144Nd 2.29E+15 Y 23.8% α: 100.00%	145Nd STABLE 8.3%	146Nd STABLE 17.2%	147Nd 10.98 D	148Nd STABLE 5.7%	149Nd 1.728 H	150Nd 0.79E+19 Y 5.8%	151Nd 12.44 M	152Nd 11.4 M	153Nd 31.6 s	154Nd 25.9 s
ε: 100.00%	ε: 100.00%			ε: 100.00%			β: 100.00%		β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%
139Pr 4.41 H	140Pr 3.39 M	141Pr STABLE 100%	142Pr 19.12 H	143Pr 13.57 D	144Pr 17.28 M	145Pr 5.984 H	146Pr 24.15 M	147Pr 13.4 M	148Pr 2.29 M	149Pr 2.26 M	150Pr 6.19 s	151Pr 18.90 s	152Pr 3.63 s	153Pr 4.28 s
ε: 100.00%	ε: 100.00%		β: 99.98% α: 0.02%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%
138Ce α: 0.9E+14 Y 0.251% ε: 100.00%	139Ce 137.641 D	140Ce STABLE 88.450%	141Ce 32.506 D	142Ce > 2.6E+17 Y 11.114% β: 100.00%	143Ce 33.039 H	144Ce 284.91 D	145Ce 3.01 M	146Ce 13.52 M	147Ce 56.4 s	148Ce 56 s	149Ce 5.3 s	150Ce 4.0 s	151Ce 1.62 s	152Ce 1.4 s
	ε: 100.00%		β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%	β: 100.00%

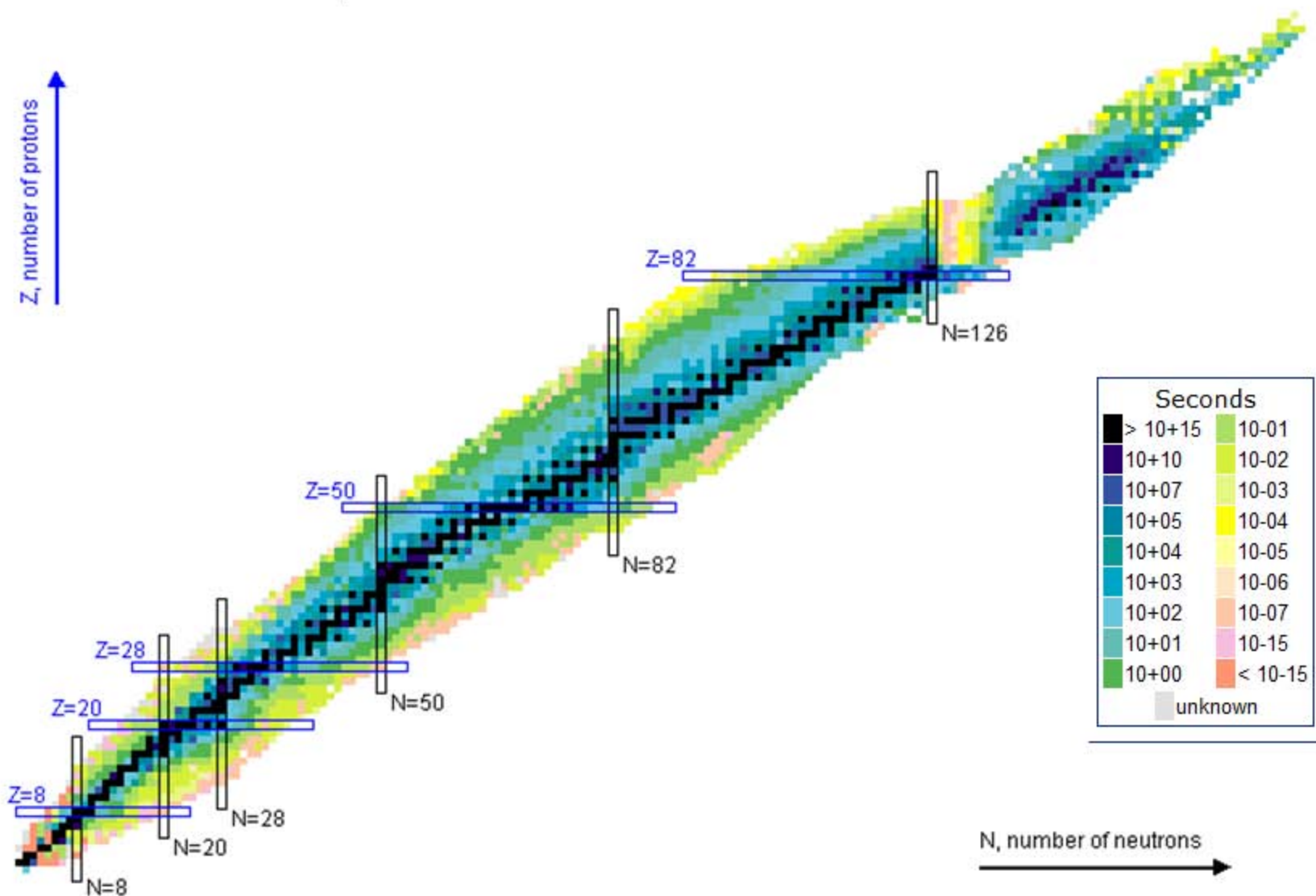
p = 61





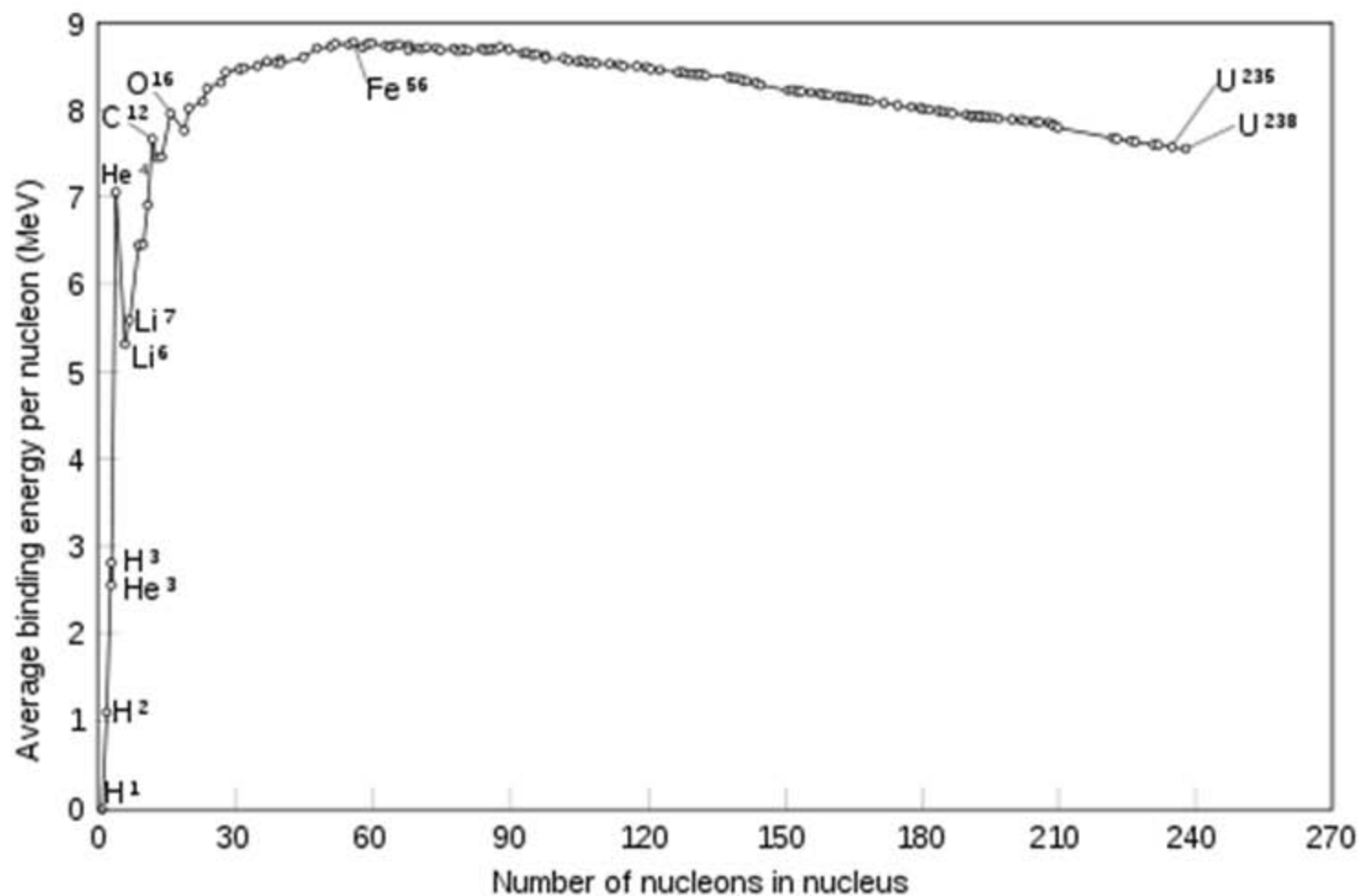


# Az izotópok élettartama





# Az atommagok kötési energiája: a „szétszedésükhöz” szükséges energia

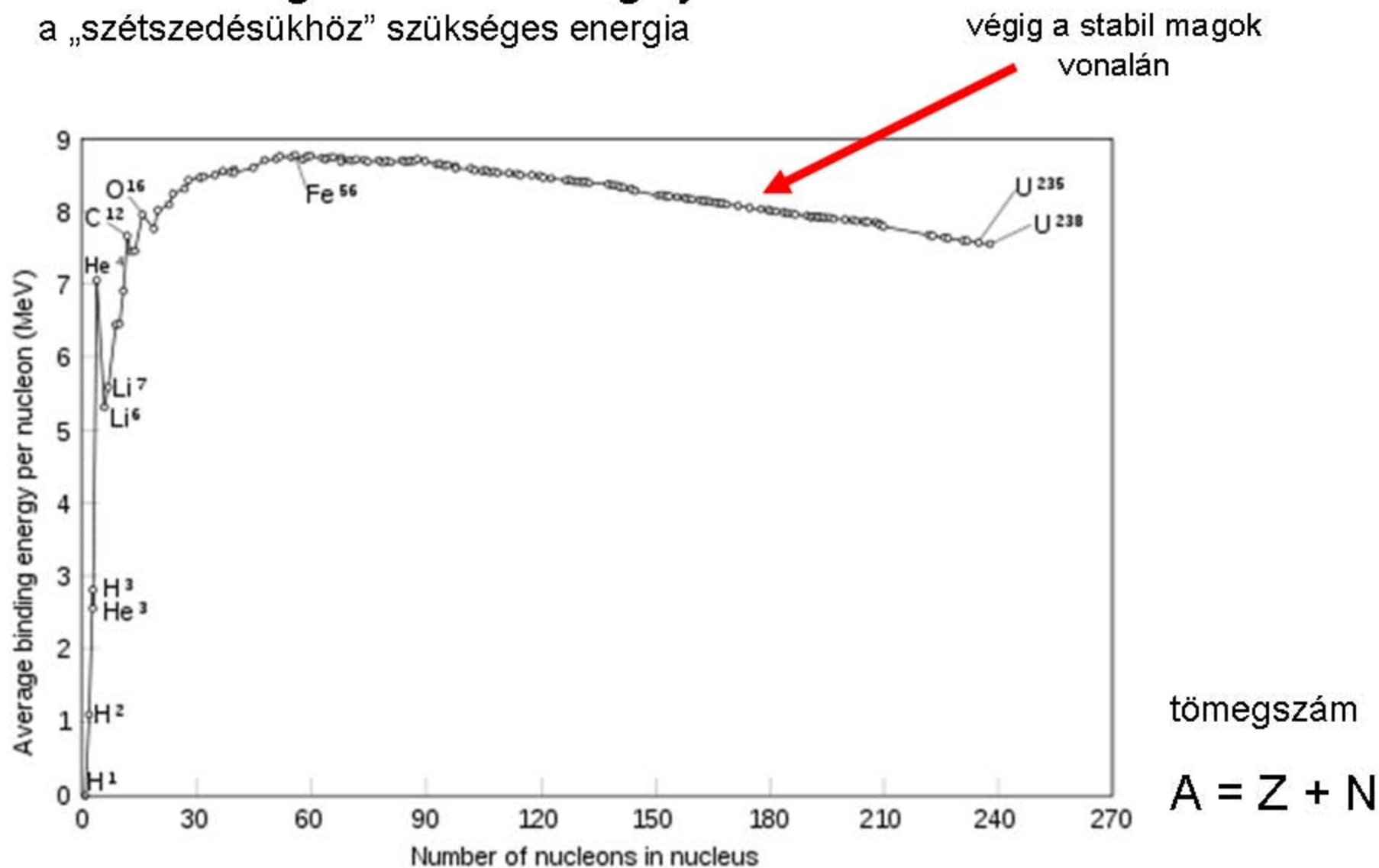


tömegszám

$$A = Z + N$$



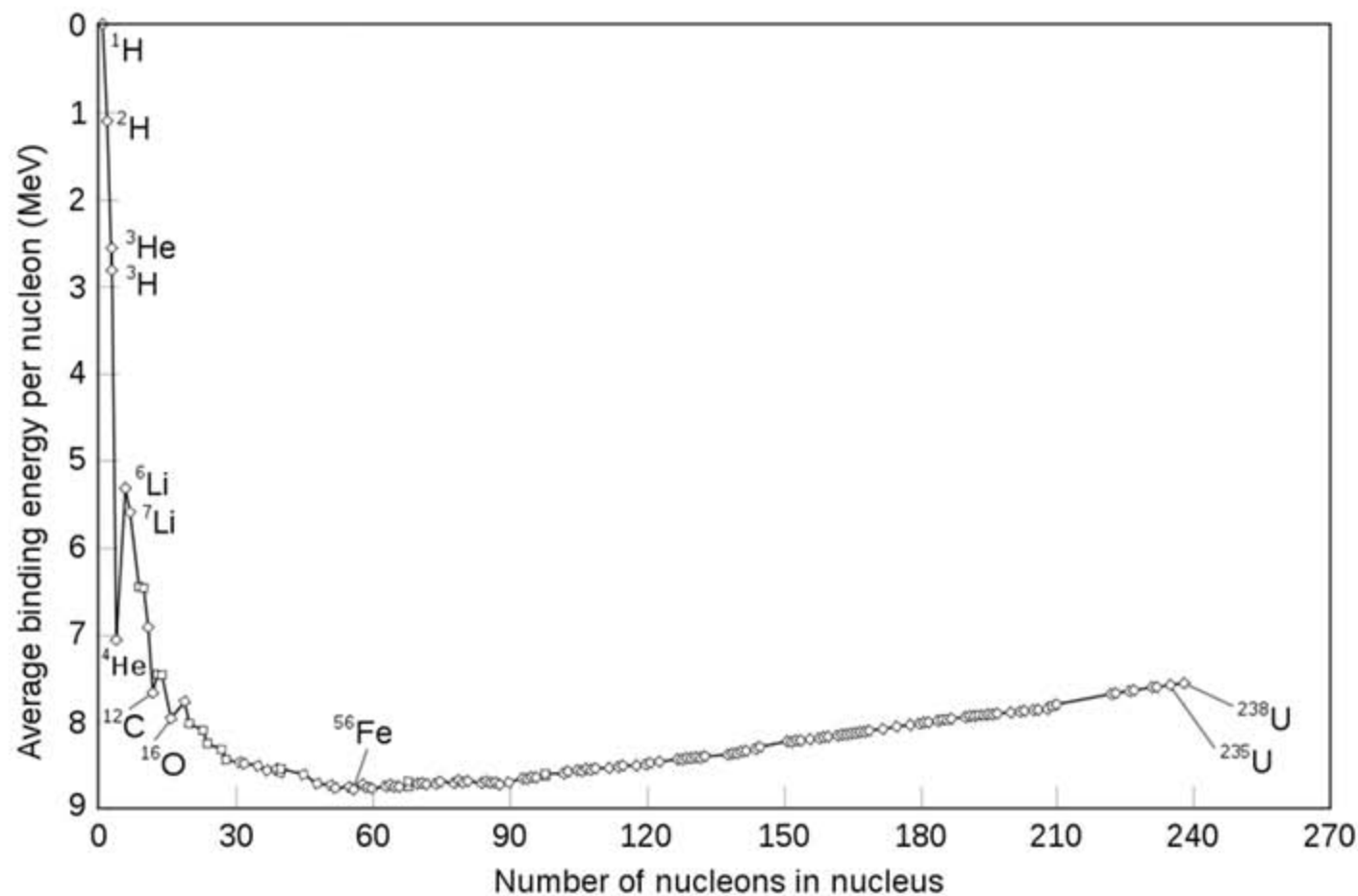
# Az atommagok kötési energiája: a „szétszedésükhöz” szükséges energia



# A nukleáris völgy



# A nukleáris völgy

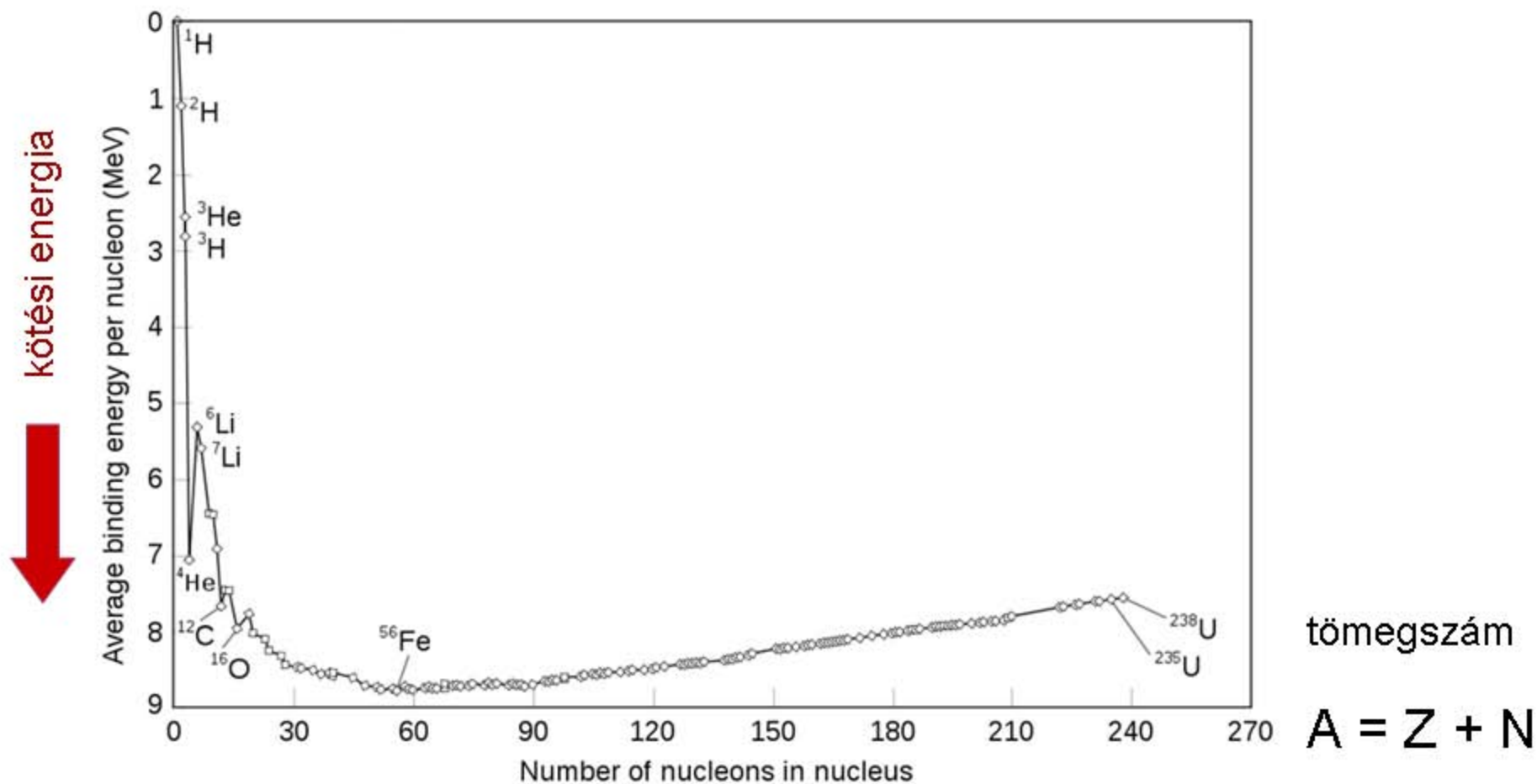


tömegszám

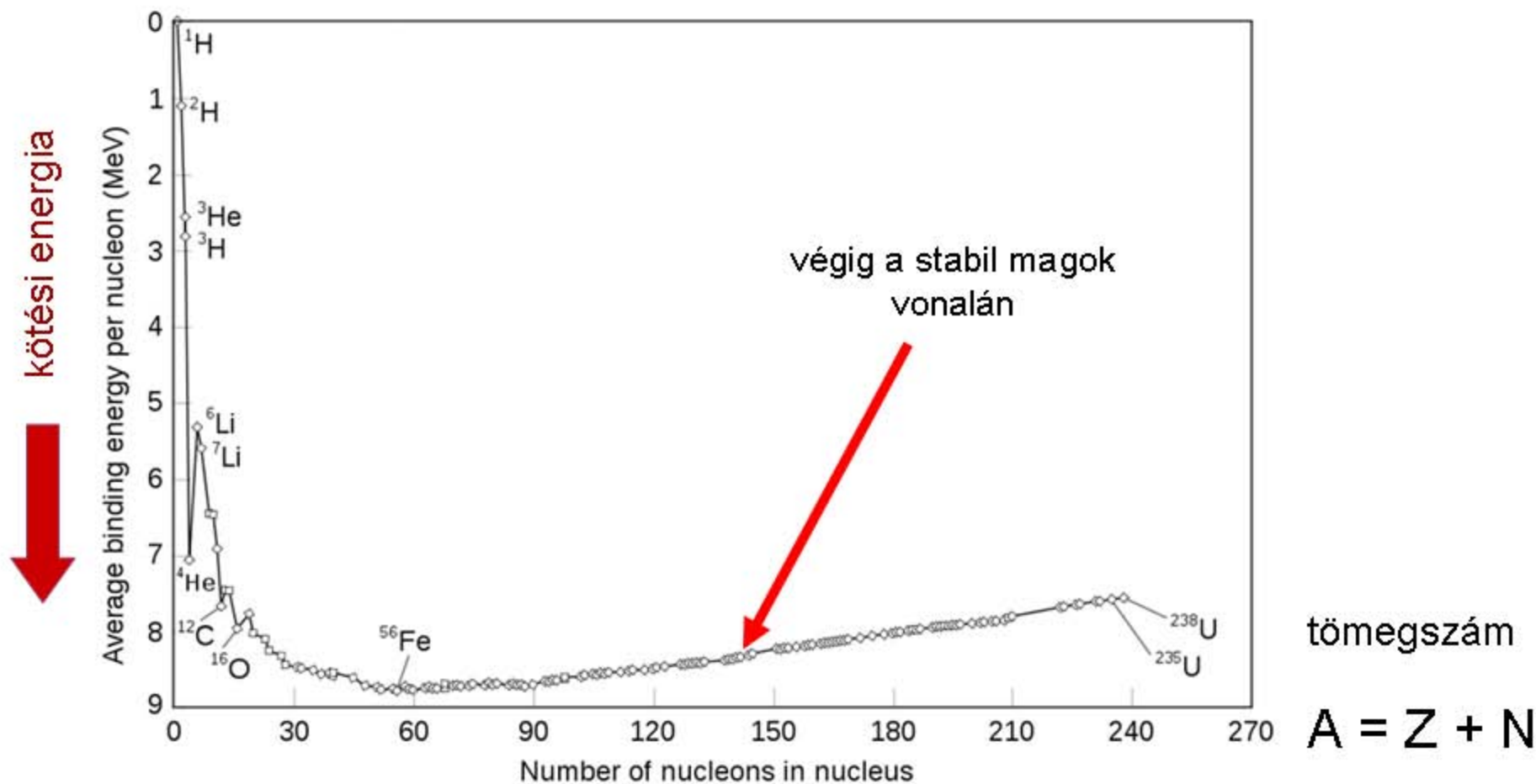
$$A = Z + N$$



# A nukleáris völgy



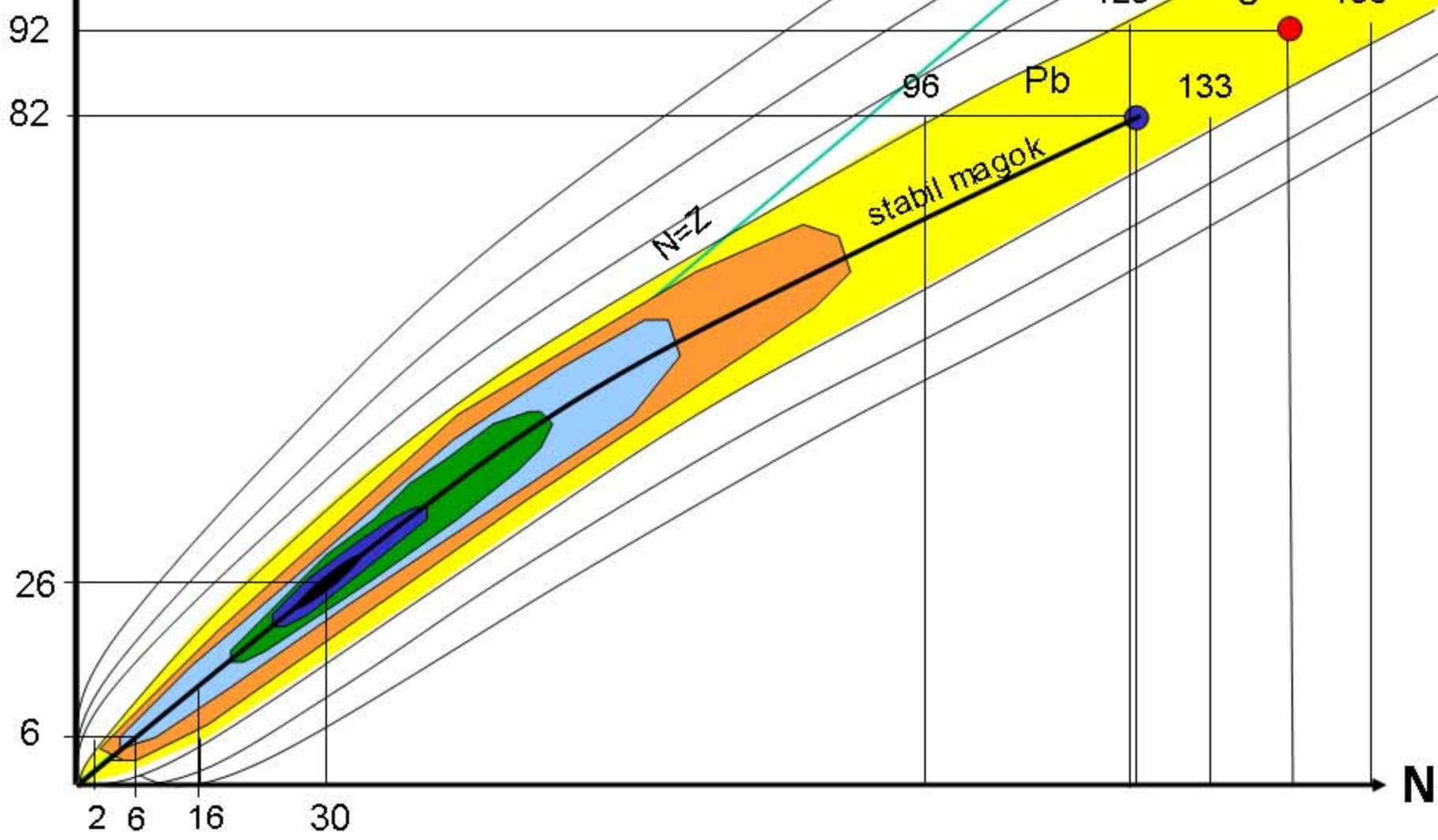
# A nukleáris völgy



# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

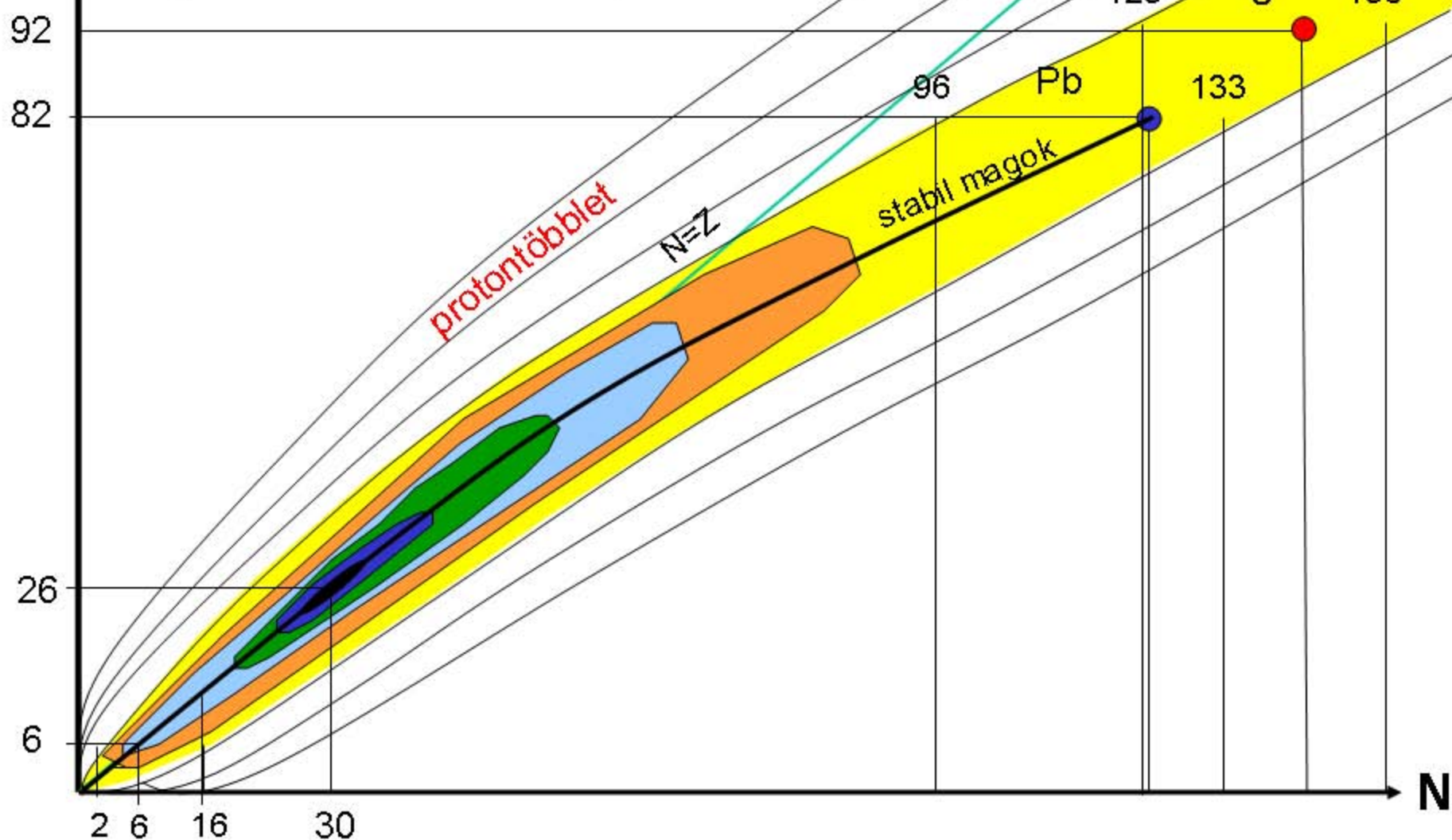


# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

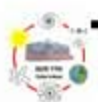
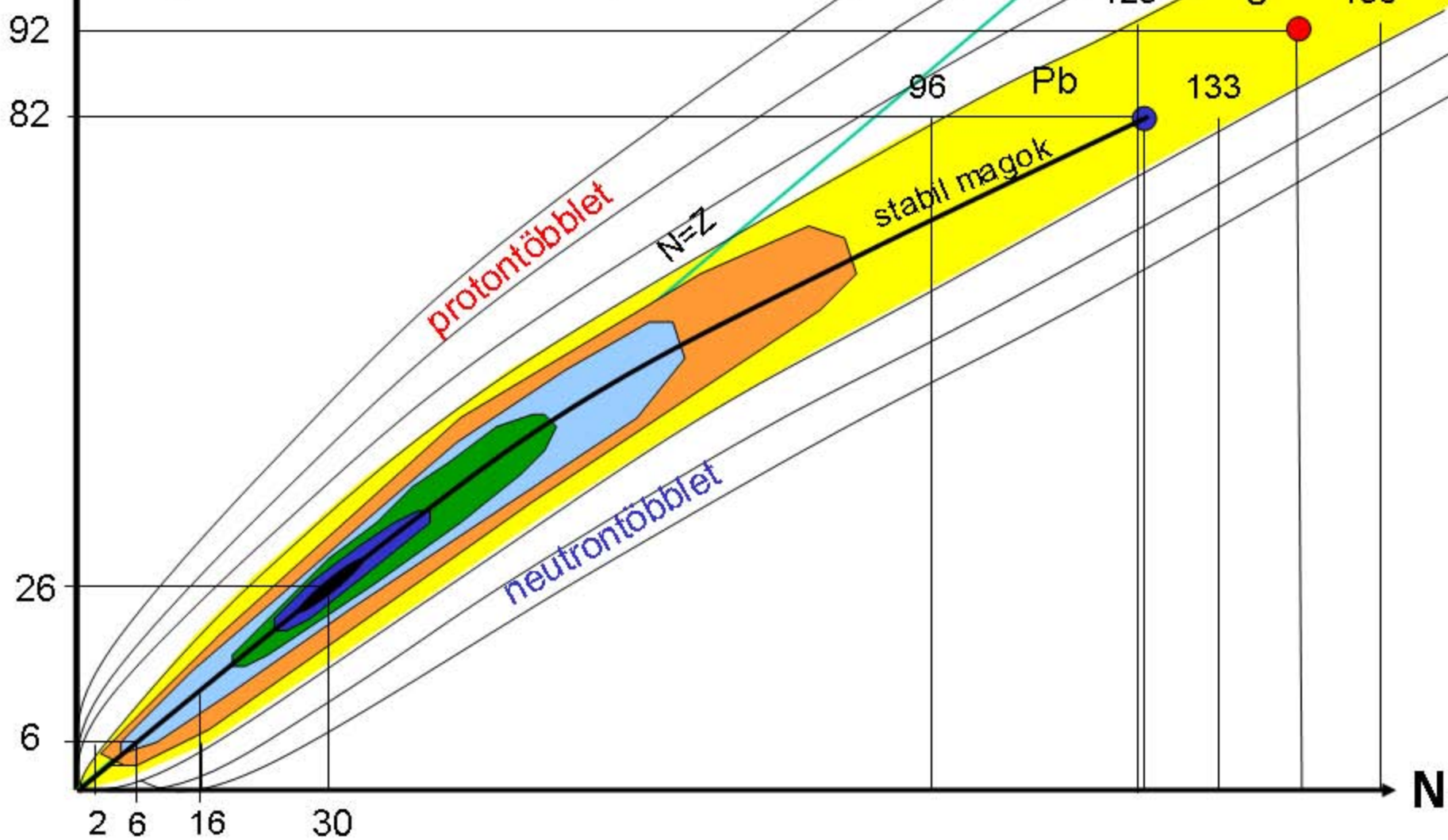




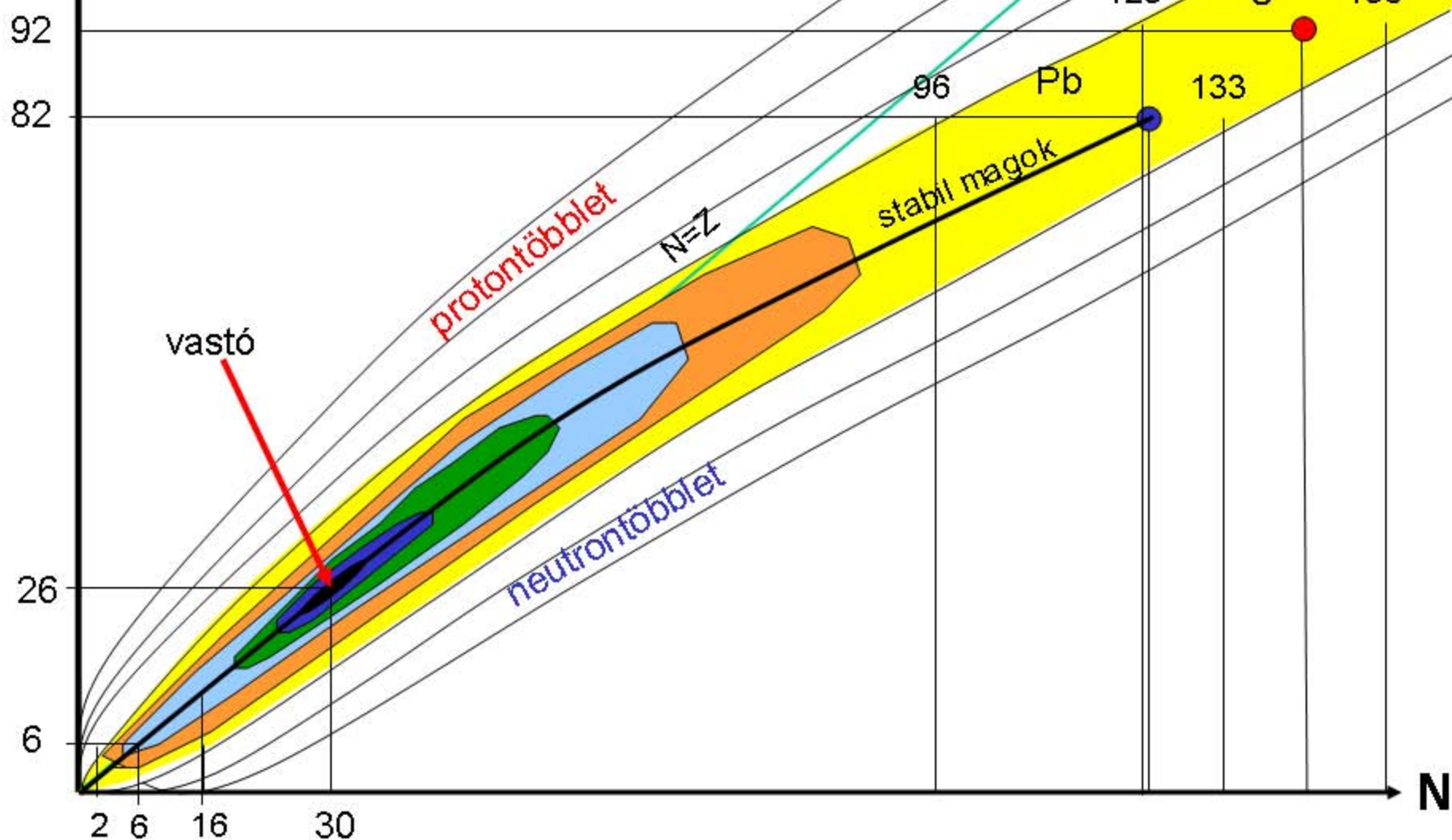
# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe



# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

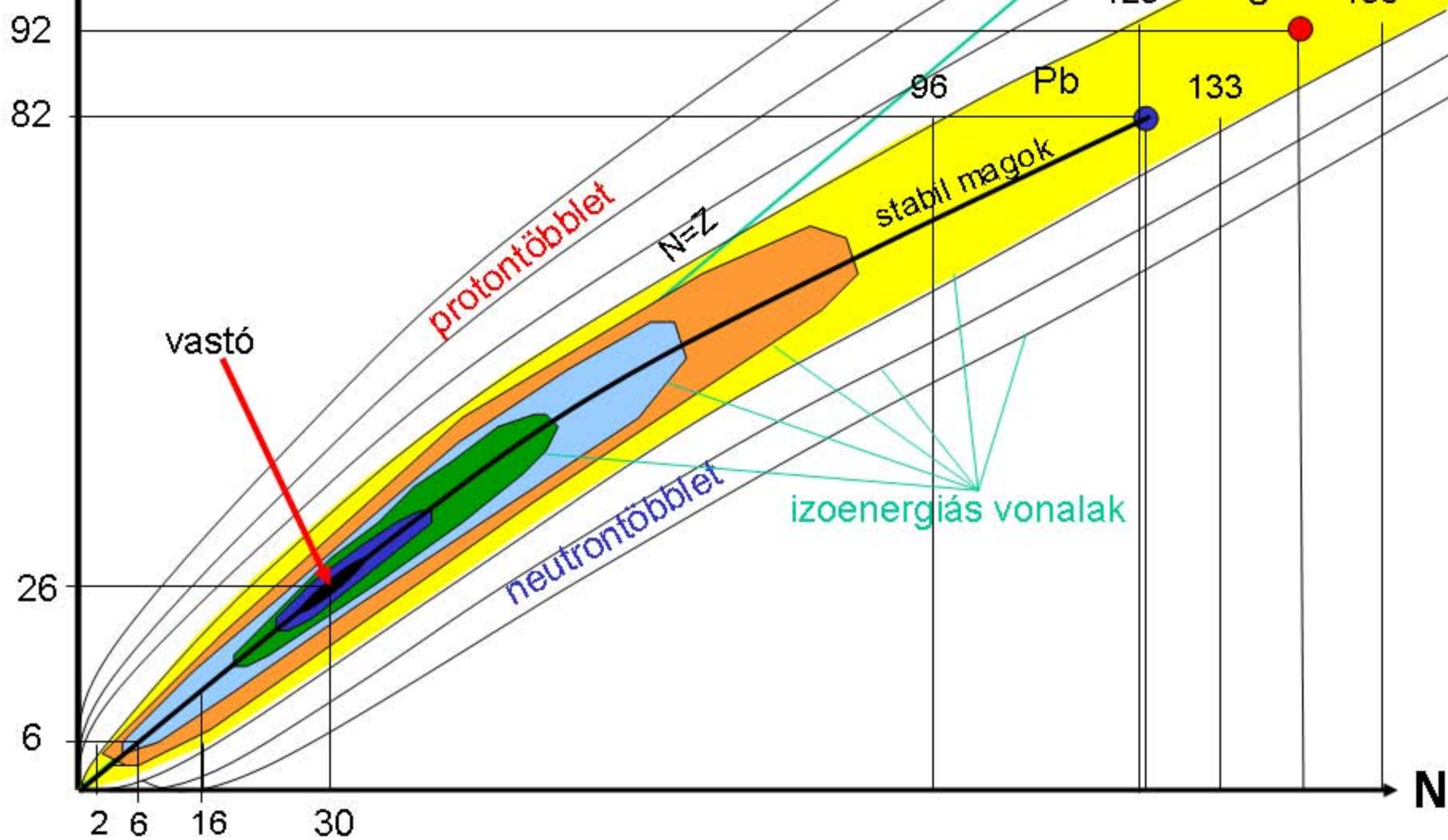


# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

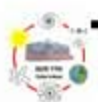
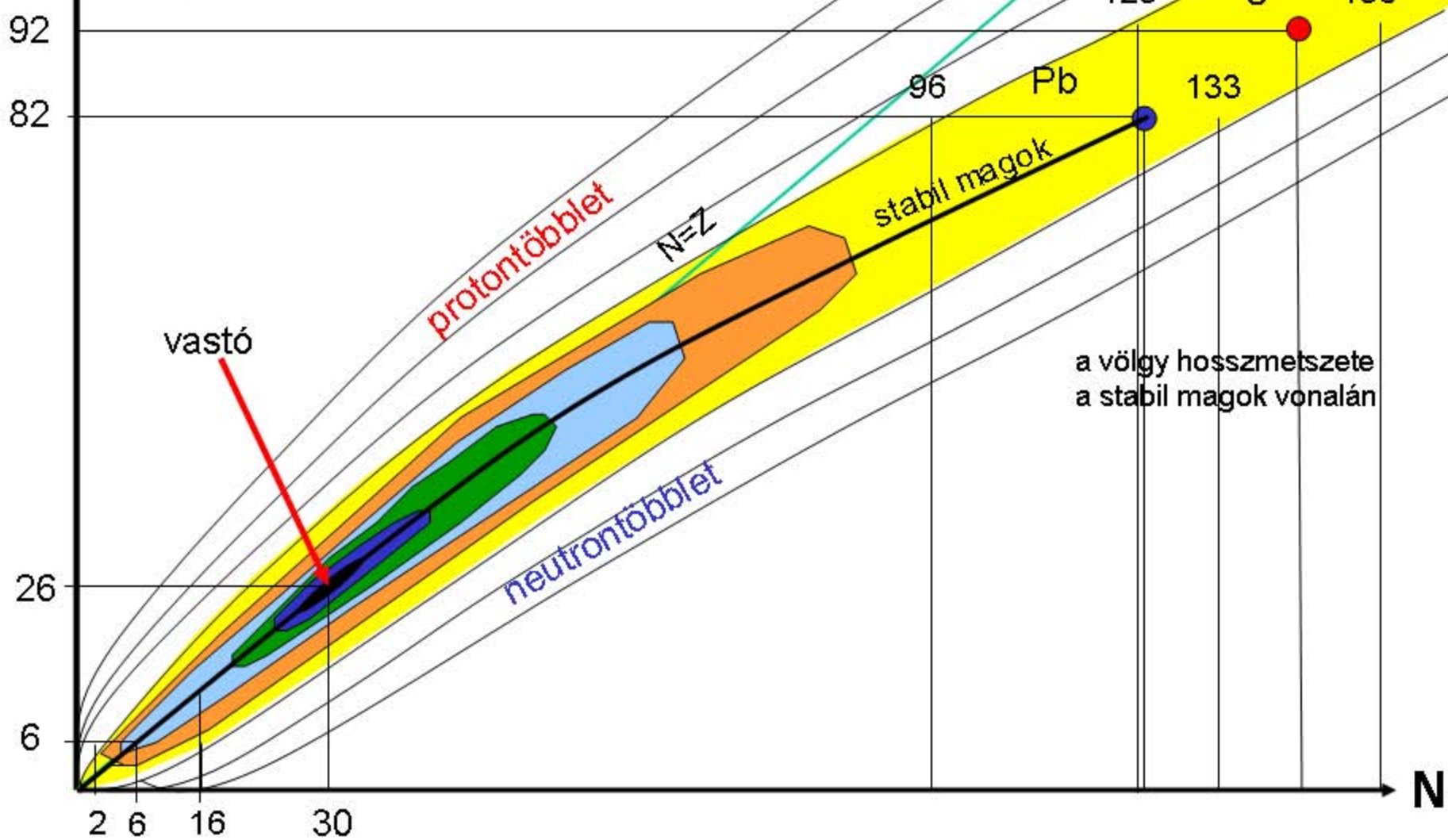




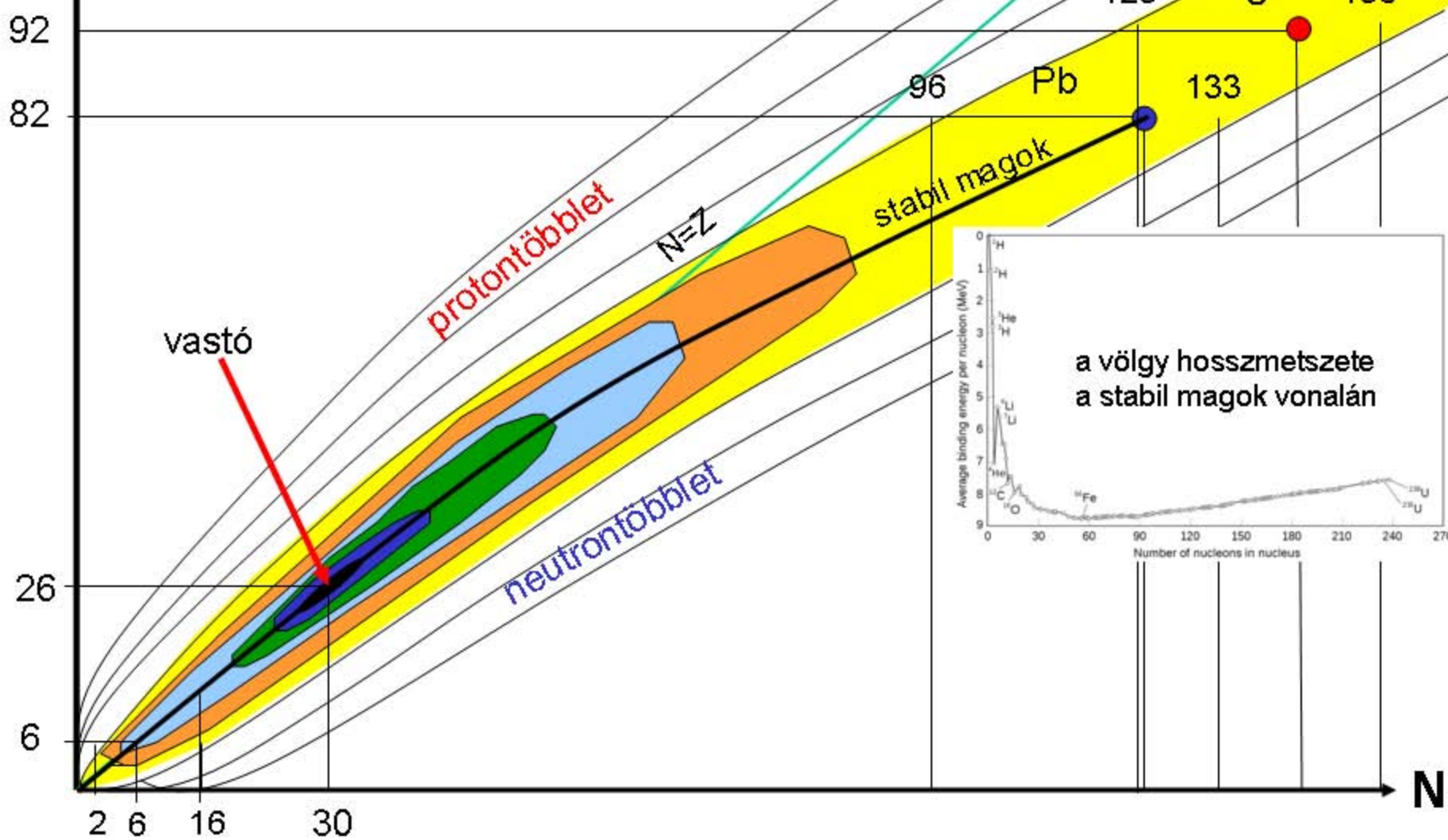
# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe



# A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

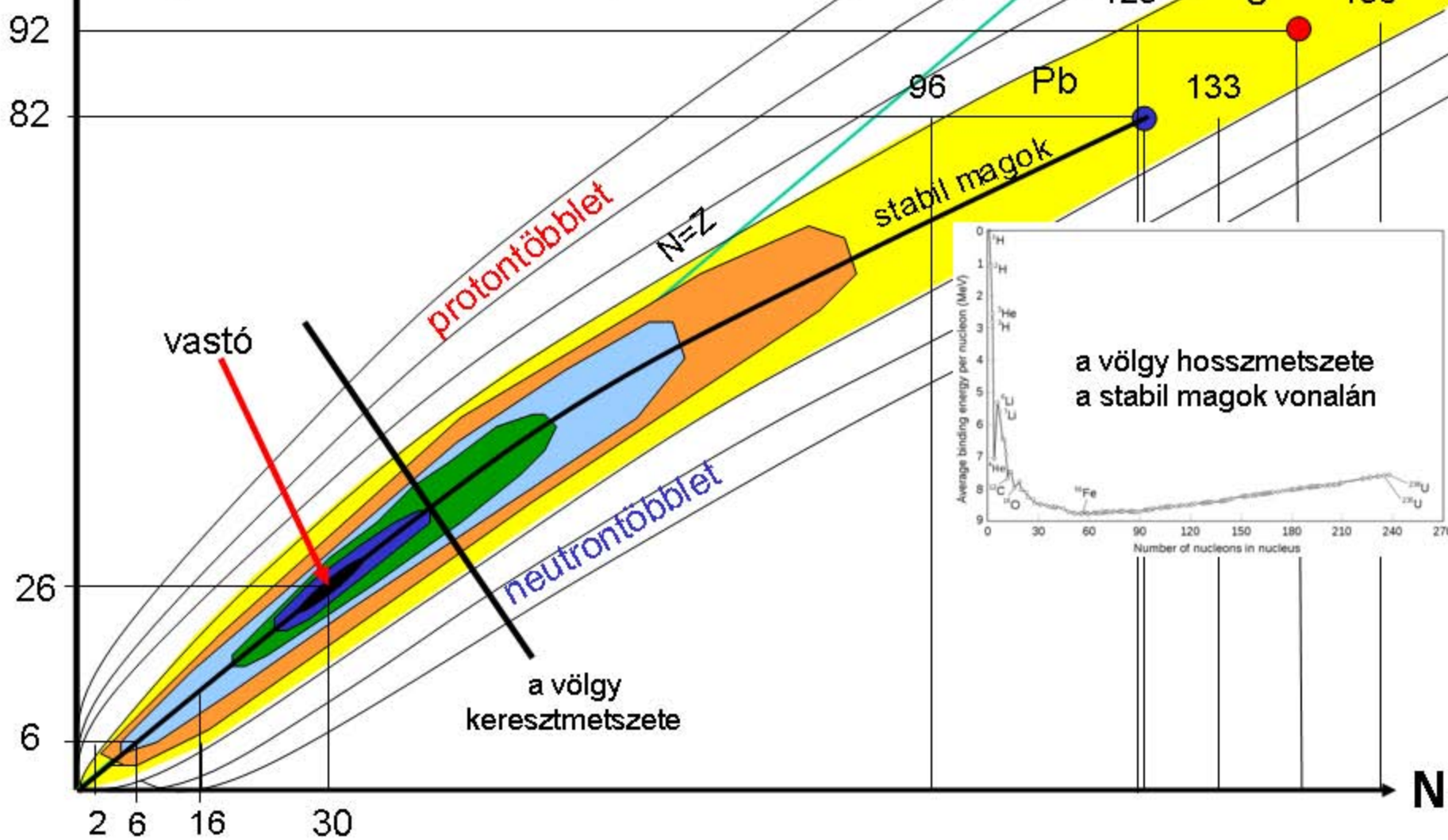


# Z A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

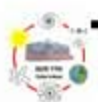
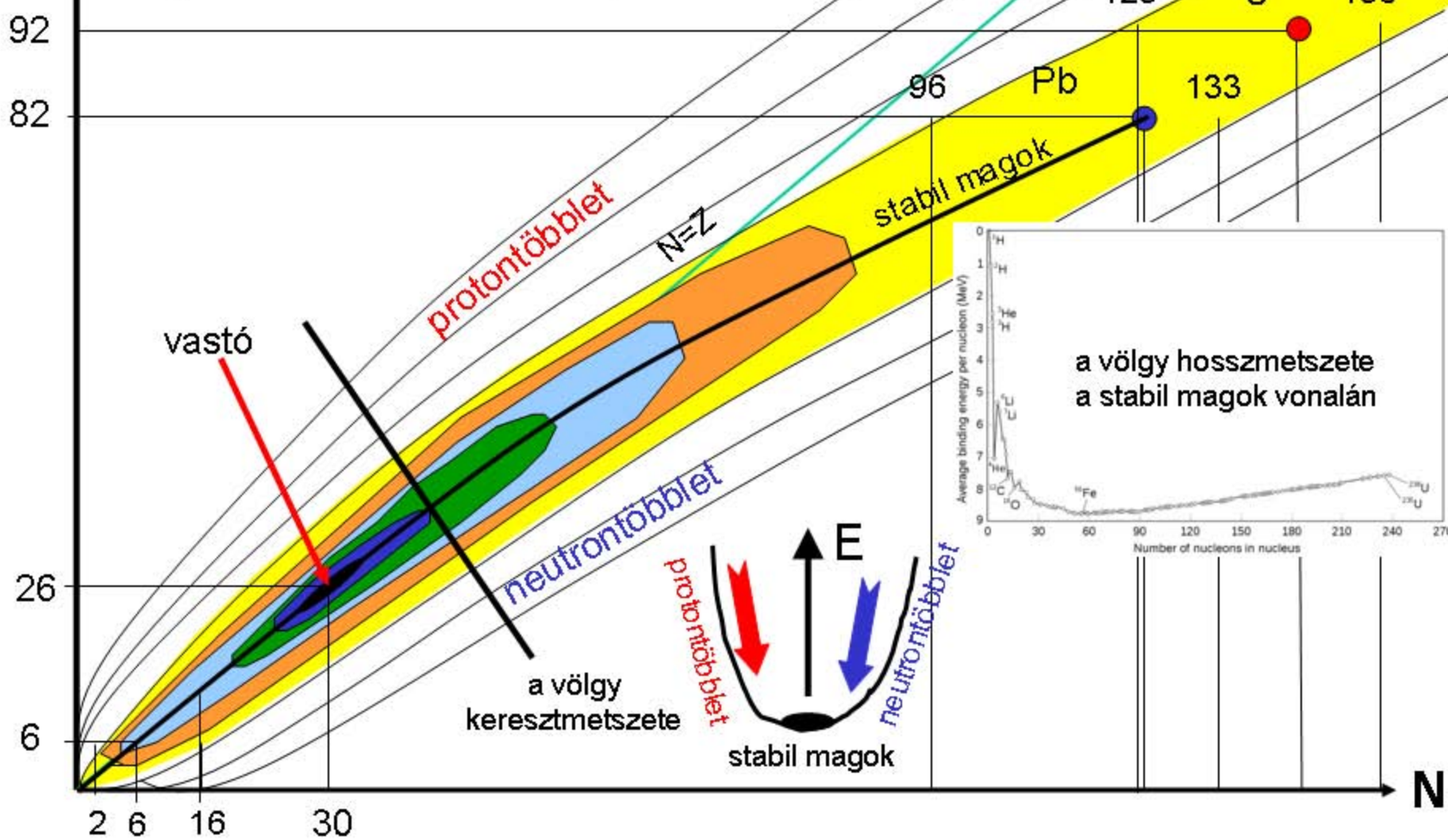




# Z A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe



# Z A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe





# A nukleáris völgy „3D” térképe



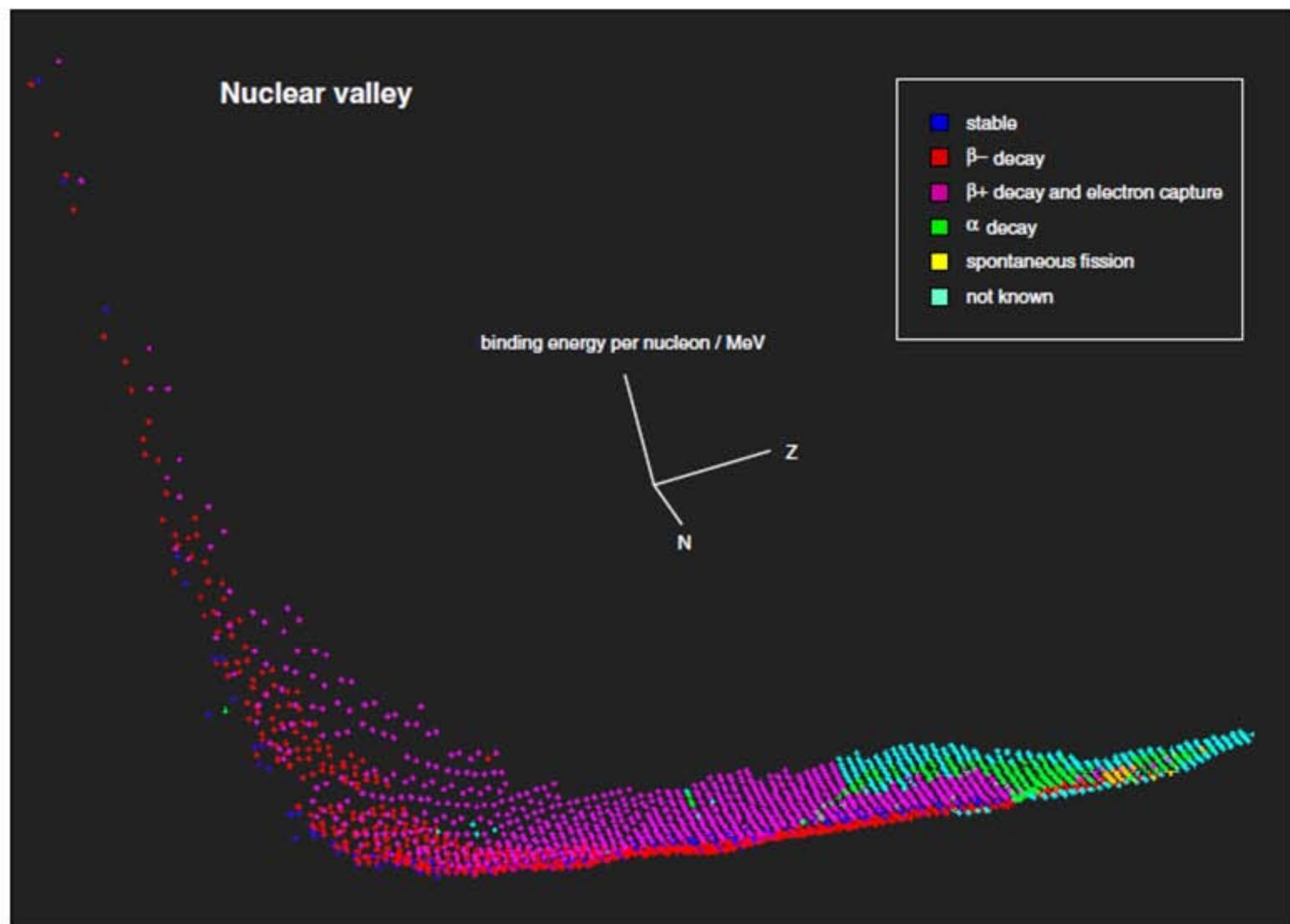
# A nukleáris völgy „3D” térképe

(szemüveg a ruhatárban)

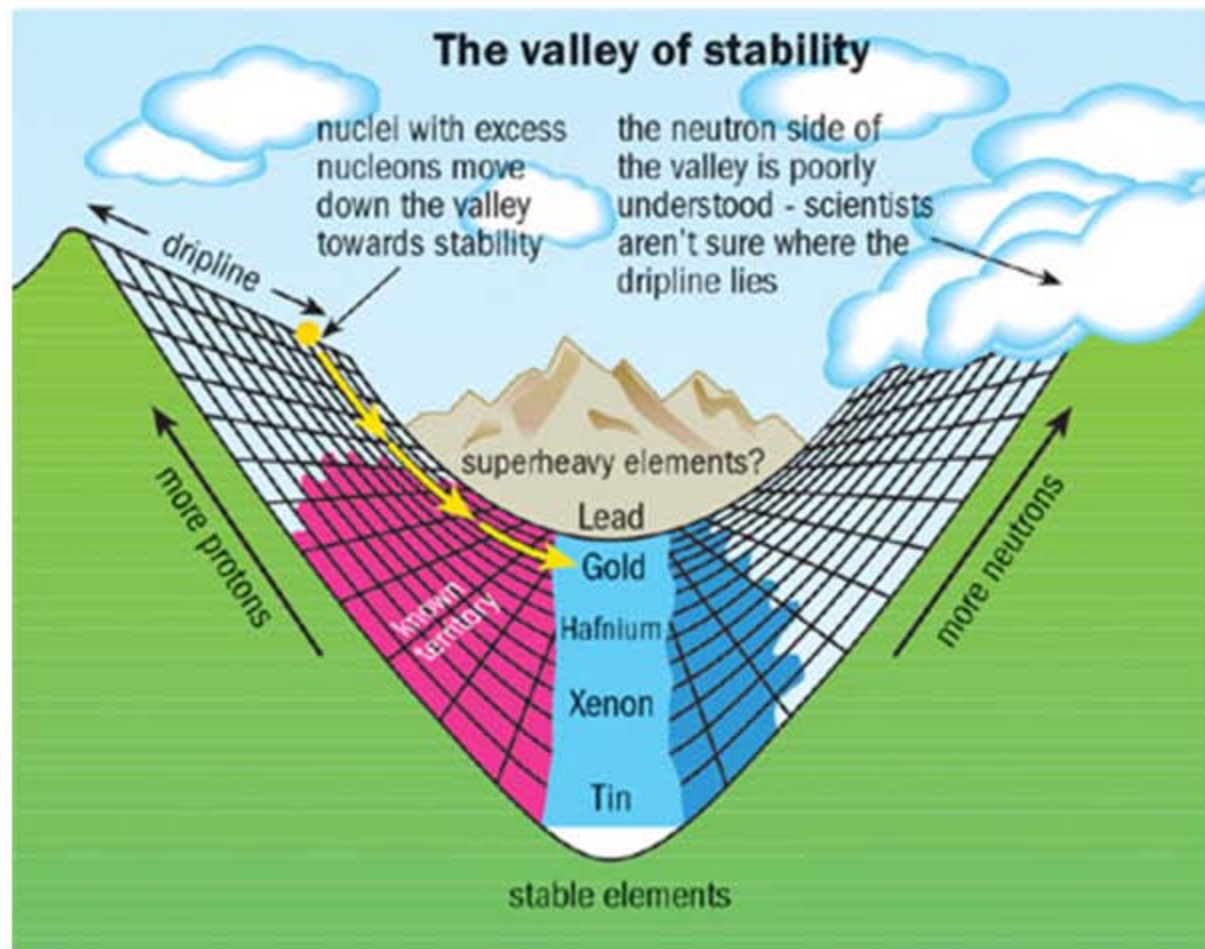


# A nukleáris völgy „3D” térképe

(szemüveg a ruhatárban)



# A nukleáris völgy hosszanti képe



# Atommag-átalakulások



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben



**spontán folyamatok**



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben



**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé





# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben



**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel  
(pl. mozgási energia rovására)



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**





# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**

Merre?



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**

Merre?

a legnagyobb meredekség vonala  
mentén – mint a víz a hegyoldalban\*



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**

Merre?

a legnagyobb meredekség vonala  
mentén – mint a víz a hegyoldalban\*

\* ha ezt a fizika megengedi





# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**

Merre?

a legnagyobb meredekség vonala  
mentén – mint a víz a hegyoldalban\*

\* ha ezt a fizika megengedi

Milyen gyorsan?



# Atommag-átalakulások mozgások a nukleáris völgyben

**spontán folyamatok**

az energetikailag  
kedvezőbb  
állapotok felé

**LE A VÖLGYBE !**

külső energiabefektetéssel

(pl. mozgási energia rovására)

magasabb energiájú  
állapotok felé

**felfelé a völgy oldalán**

Merre?

a legnagyobb meredekség vonala  
mentén – mint a víz a hegyoldalon\*

\* ha ezt a fizika megengedi

Milyen gyorsan?

minél meredekebb a lejtő,  
annál gyorsabban



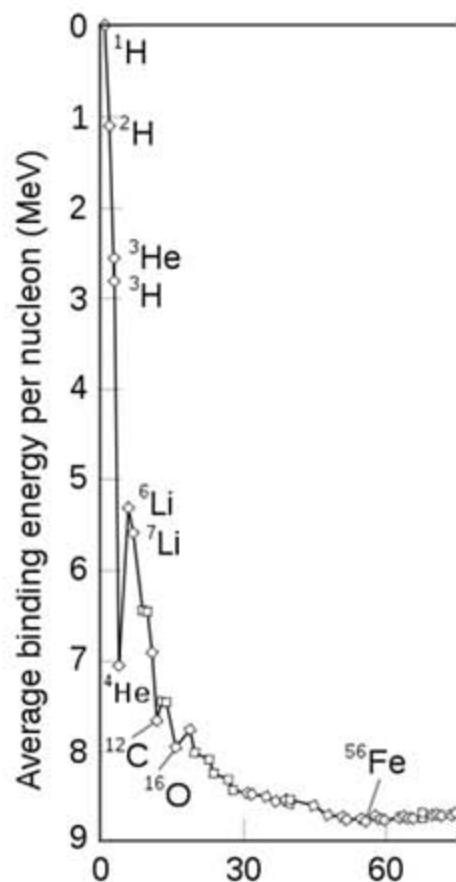
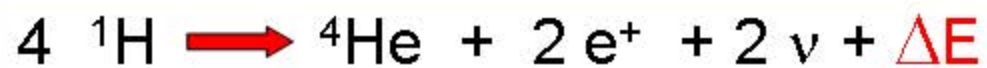
# Magfúzió a Napban



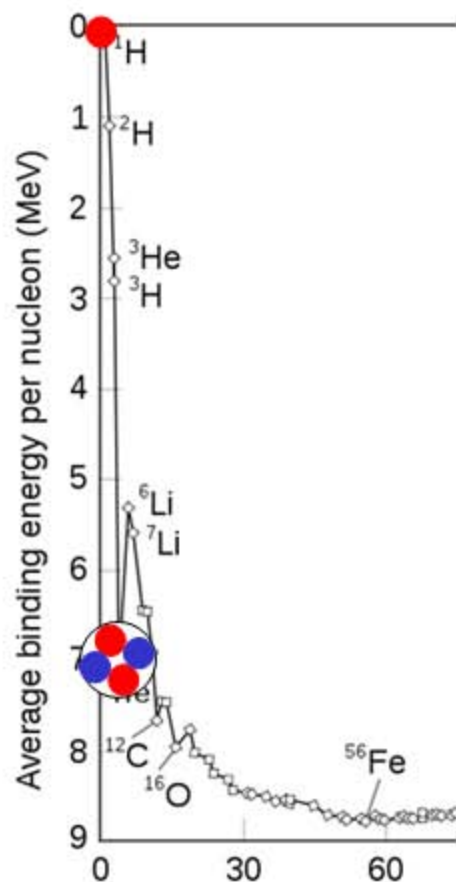
## Magfúzió a Napban



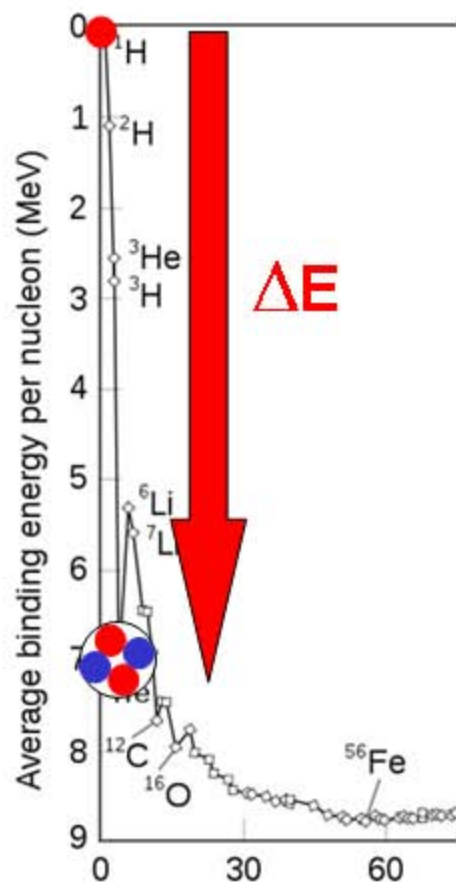
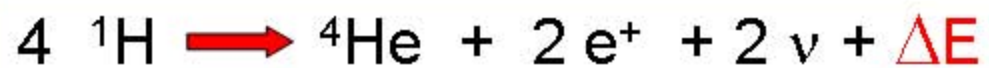
# Magfúzió a Napban



# Magfúzió a Napban

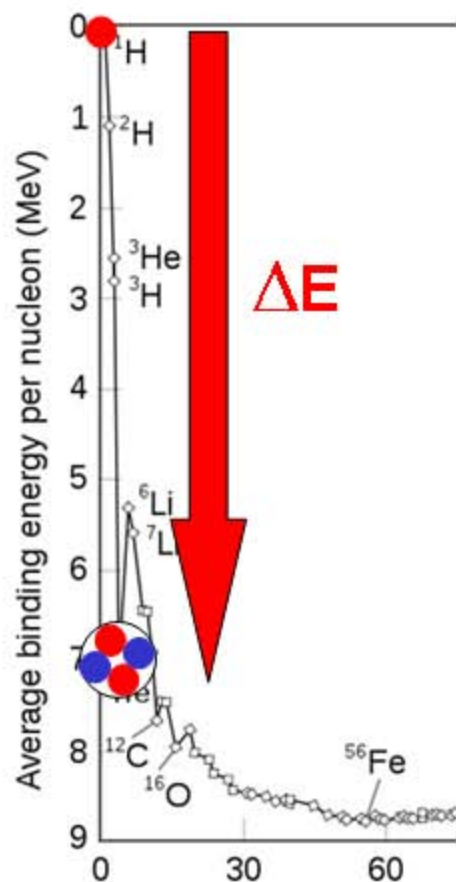


# Magfúzió a Napban





# Magfúzió a Napban



első lépés:  
két proton  
ütközése:

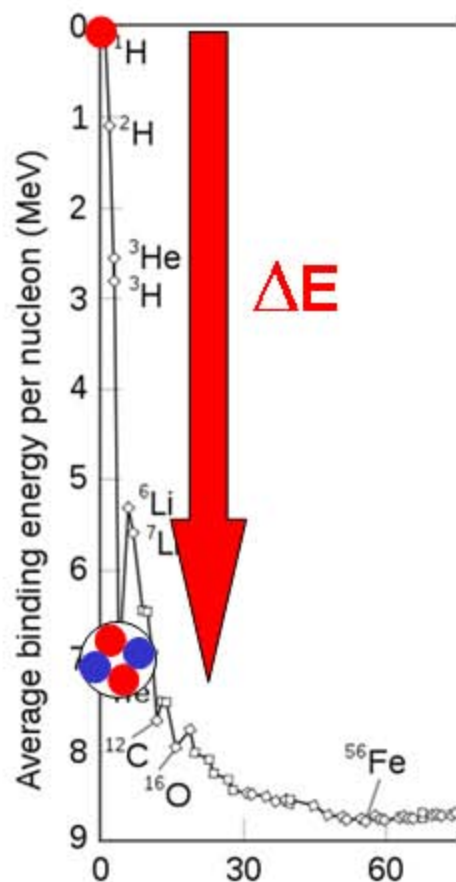




# Magfúzió a Napban



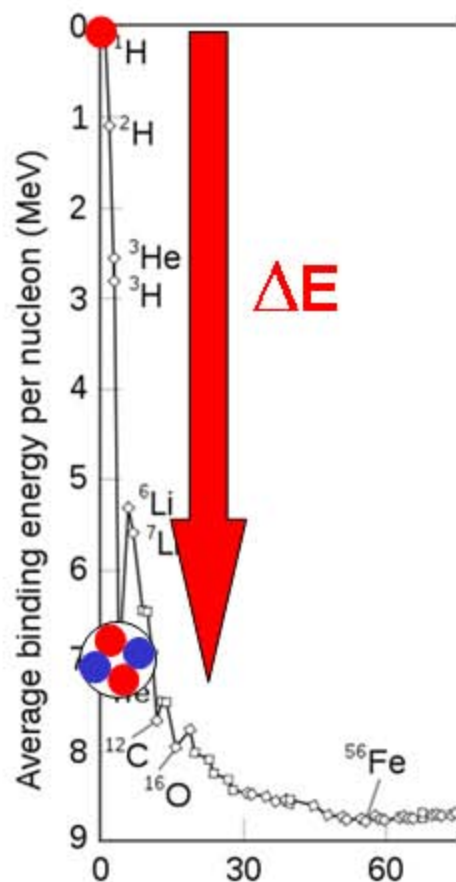
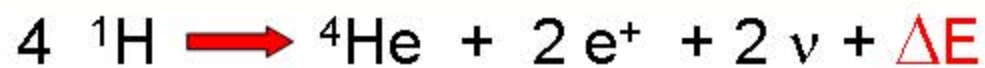
lassú  
protonok  
ütközése



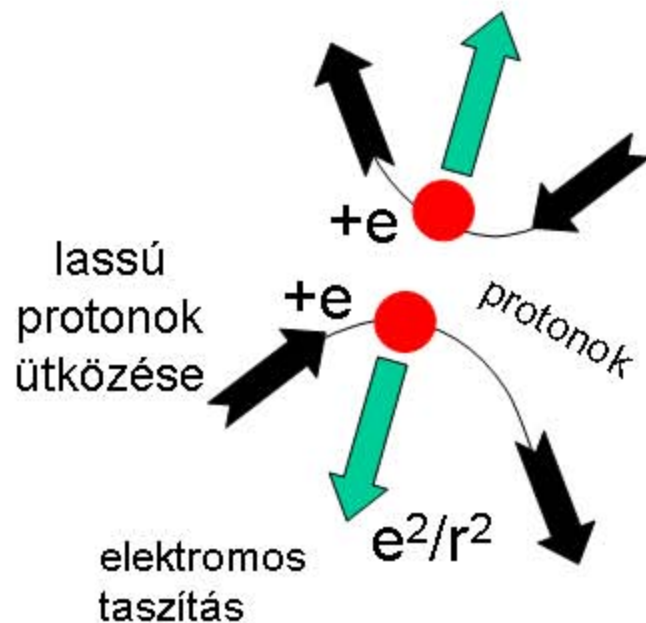
első lépés:  
két proton  
ütközése:



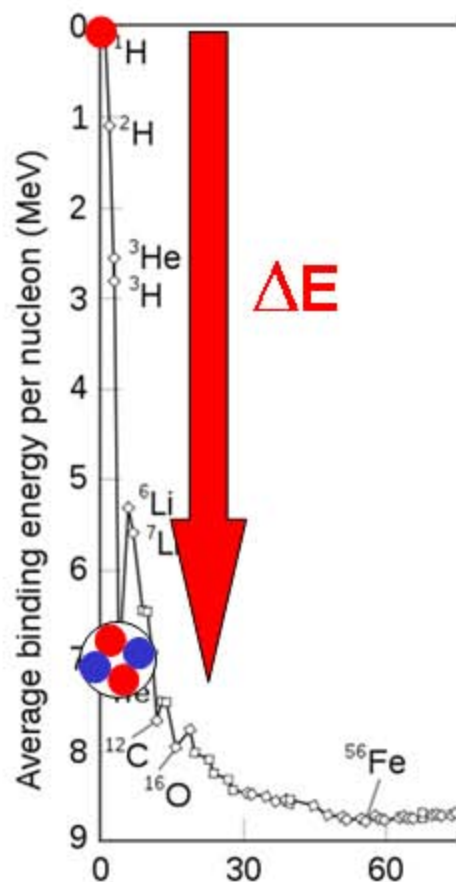
# Magfúzió a Napban



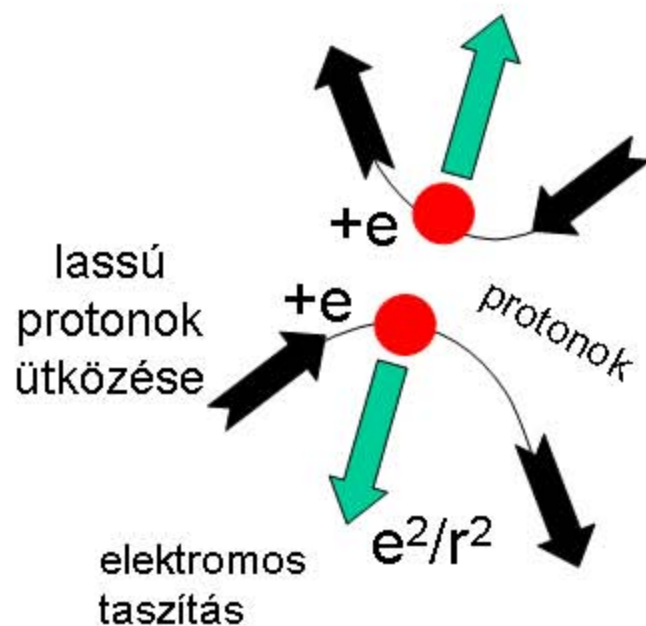
első lépés:  
két proton  
ütközése:



# Magfúzió a Napban



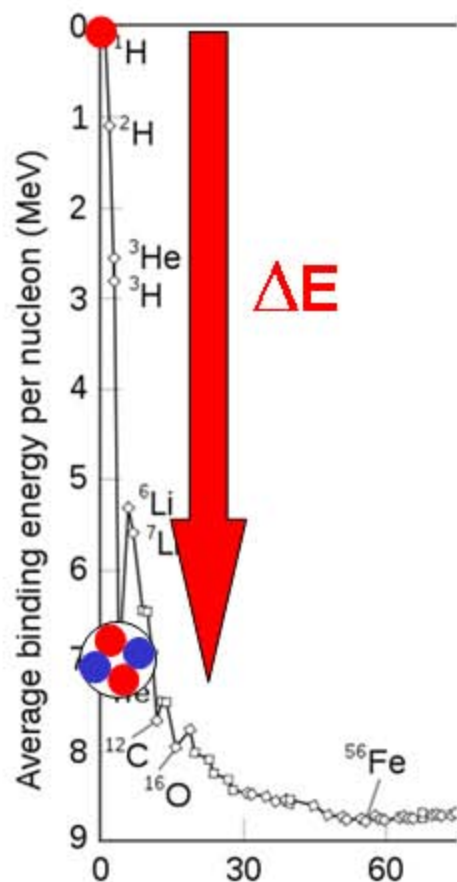
első lépés:  
két proton  
ütközése:



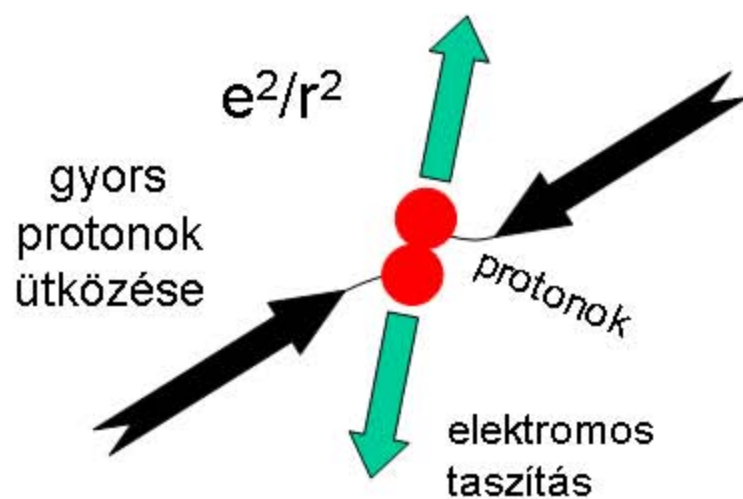
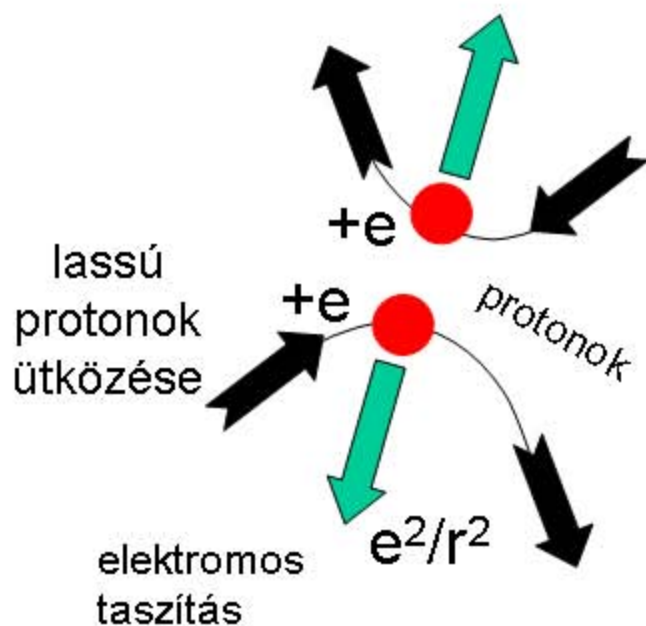
gyors protonok ütközése



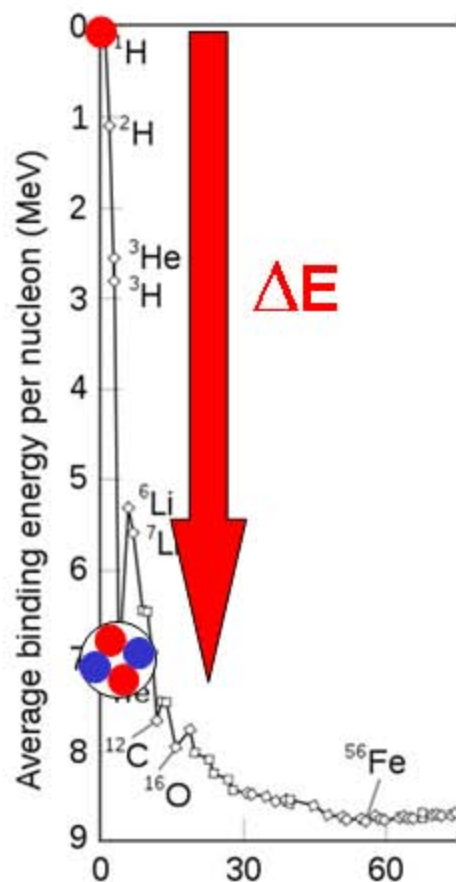
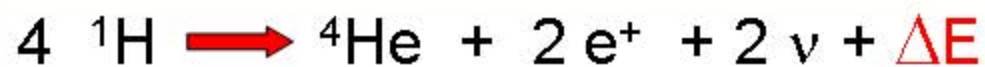
# Magfúzió a Napban



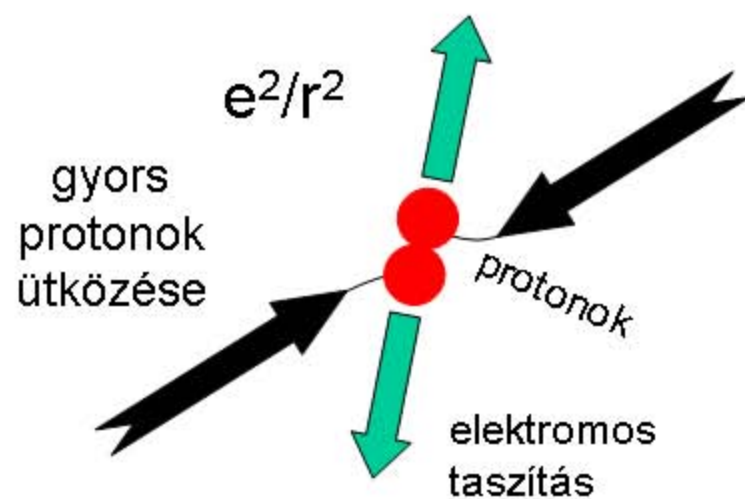
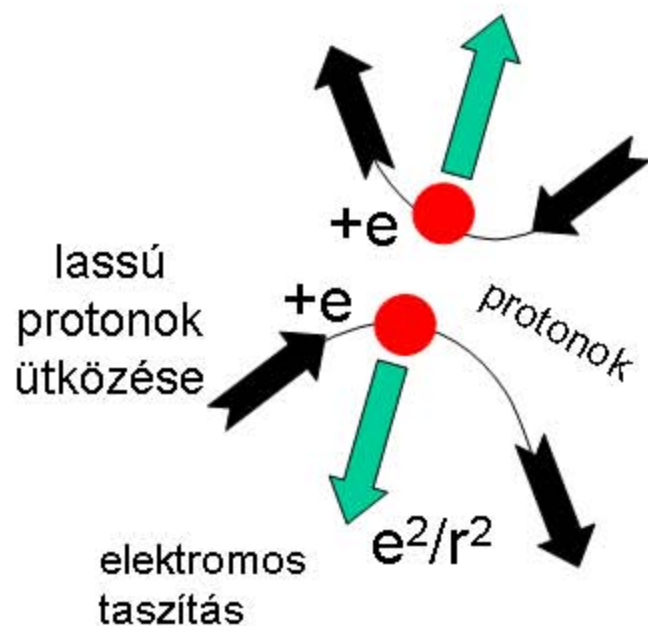
első lépés:  
két proton  
ütközése:



# Magfúzió a Napban



első lépés:  
két proton  
ütközése:



a Nap középpontjában 14 millió fok van!



azaz mégsem ilyen egyszerű!



**azaz mégsem ilyen egyszerű!**

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!





**azaz mégsem ilyen egyszerű!**

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

segít a **gyenge kölcsönhatás:**



azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

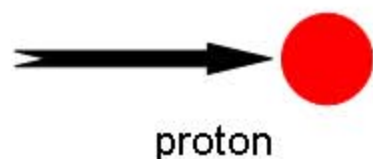
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

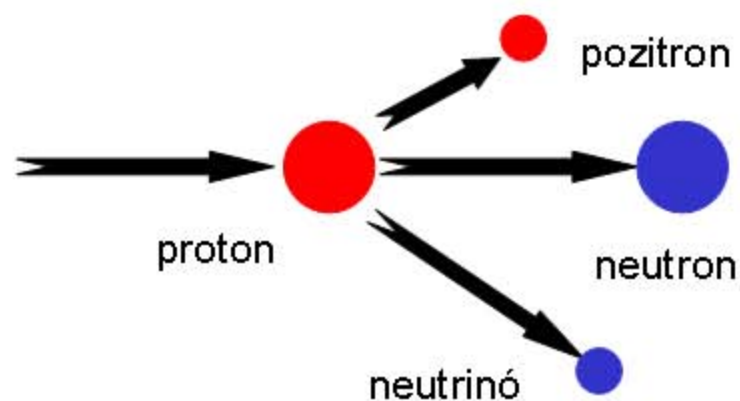
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

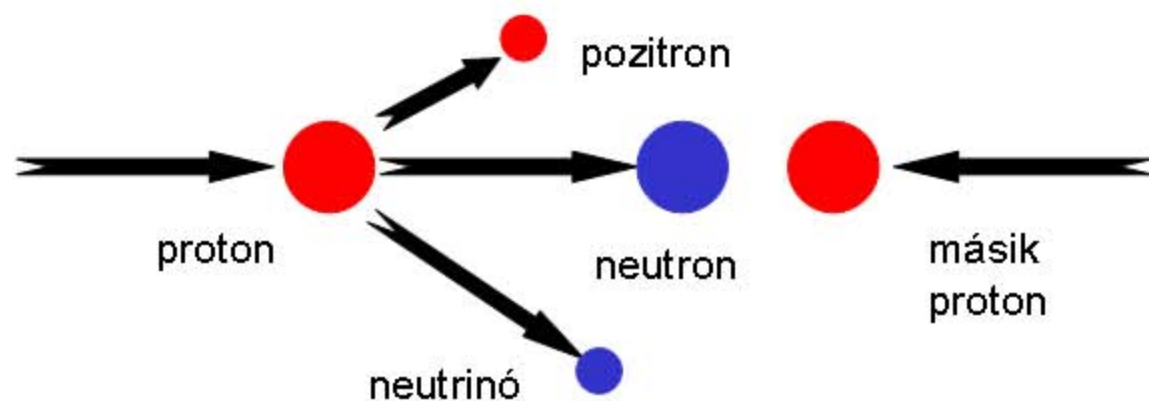
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



## azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

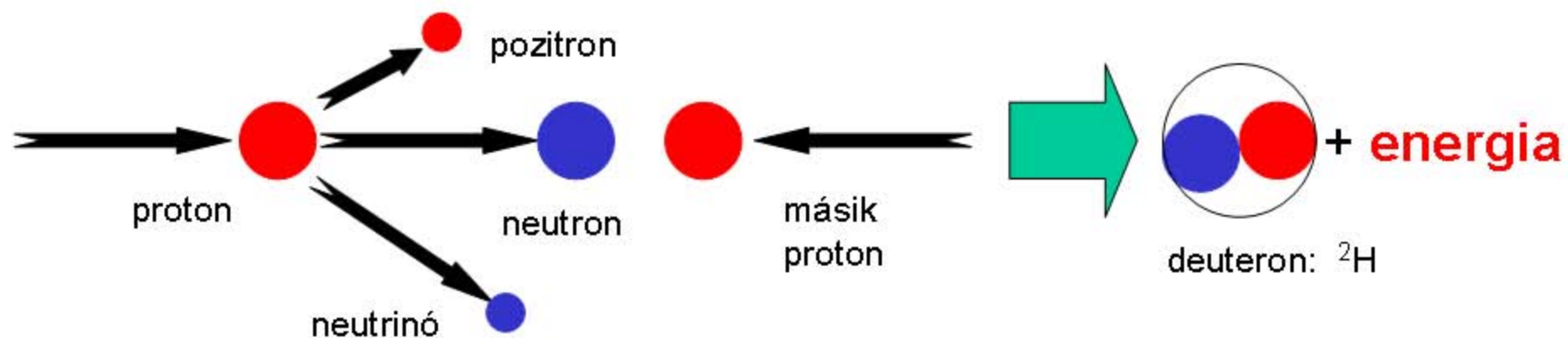
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



## azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

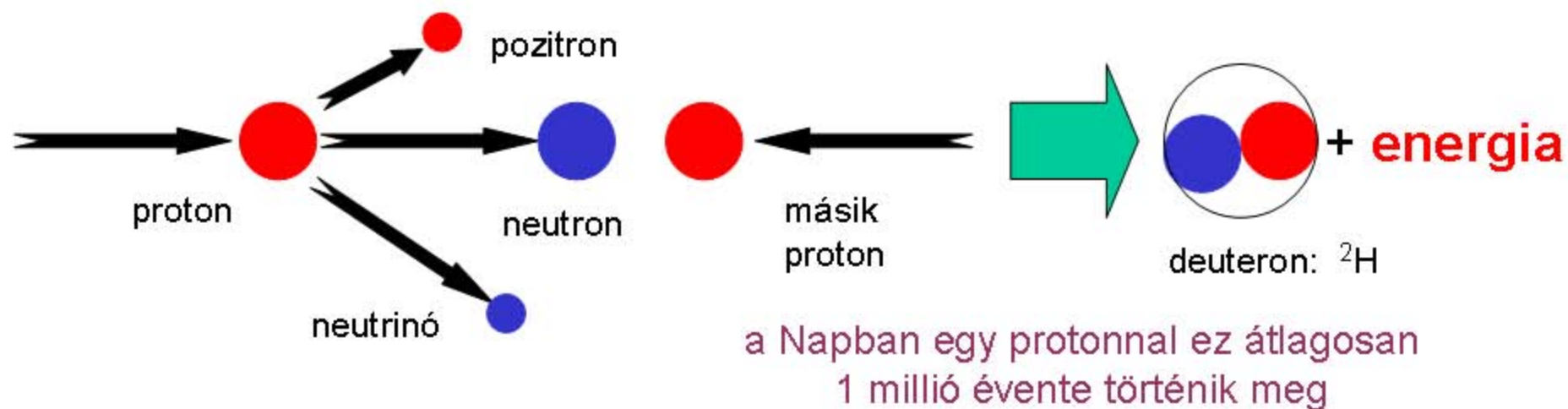
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



## azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

segít a **gyenge kölcsönhatás**:

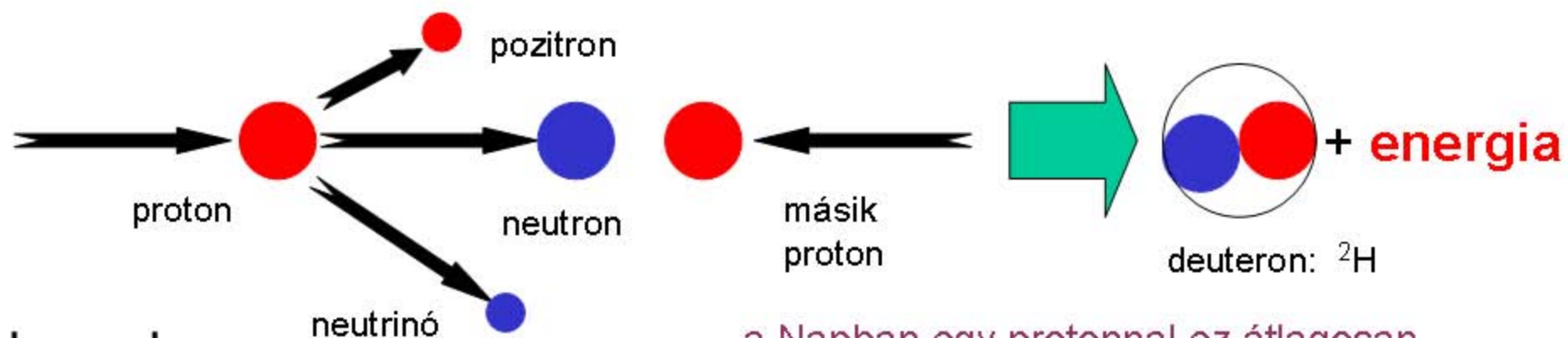




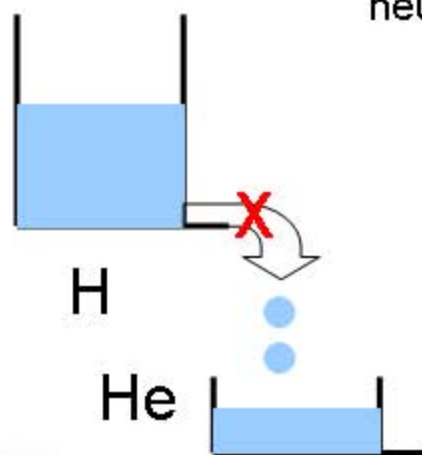
## azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

segít a **gyenge kölcsönhatás**:



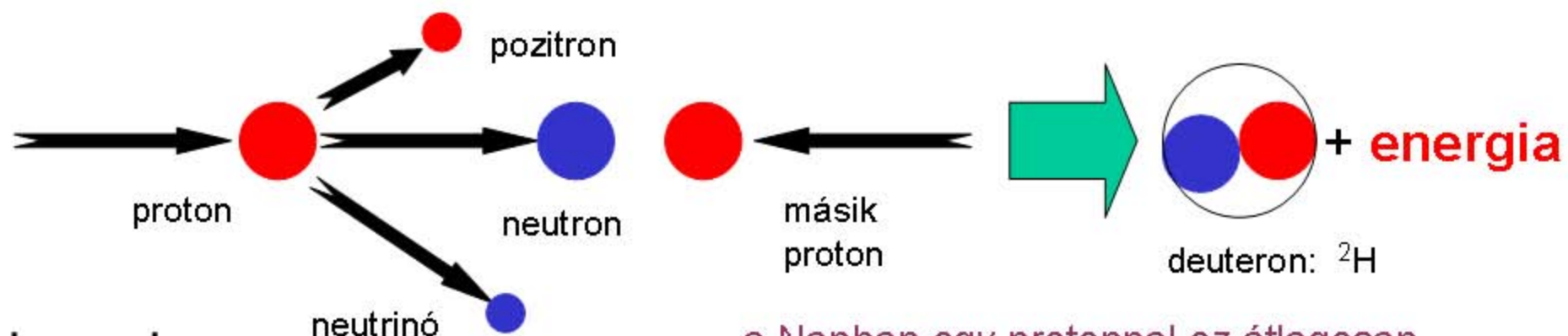
a Napban egy protonnal ez átlagosan  
1 millió évente történik meg



## azaz mégsem ilyen egyszerű!

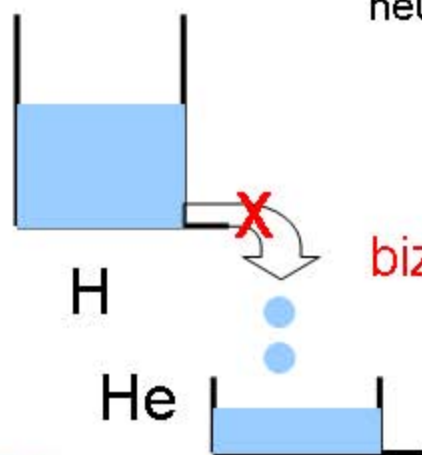
két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

segít a **gyenge kölcsönhatás**:



a Napban egy protonnal ez átlagosan  
1 millió évente történik meg

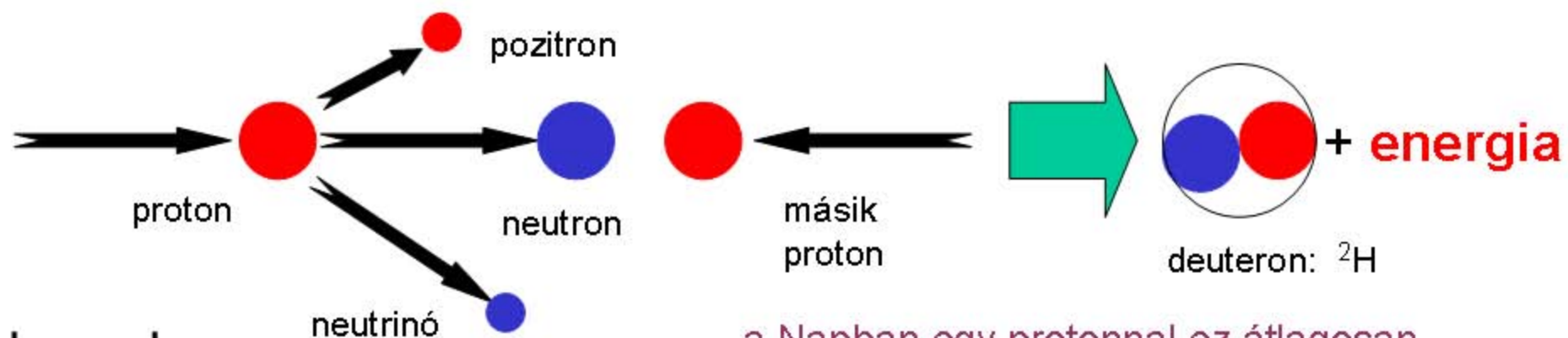
ez a magfúzió  
biztonsági szelepe!



## azaz mégsem ilyen egyszerű!

két proton kötött állapota, a  ${}^2\text{He}$  atommag NEM LÉTEZIK!

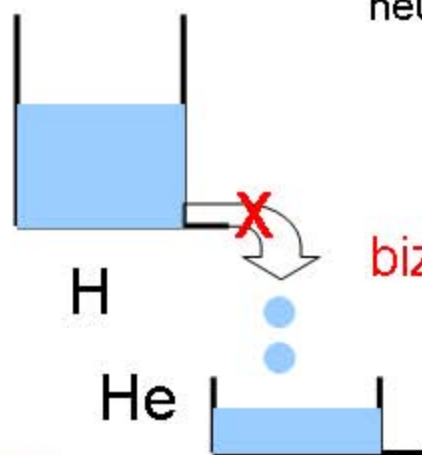
segít a **gyenge kölcsönhatás**:



a Napban egy protonnal ez átlagosan  
1 millió évente történik meg

ez a magfúzió  
biztonsági szelepe!

a további folyamatokat már az erős  
kölcsönhatás kormányozza: kb.  $10^{-10}$  s



# Radioaktív bomlás



# Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé



## Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:



## Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban: **alfa-bomlás**

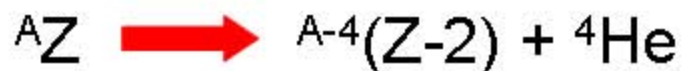




## Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban: **alfa-bomlás**

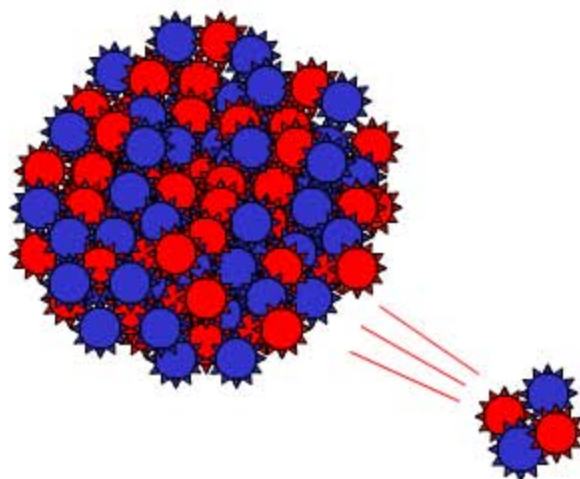
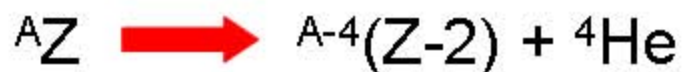


# Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:

alfa-bomlás

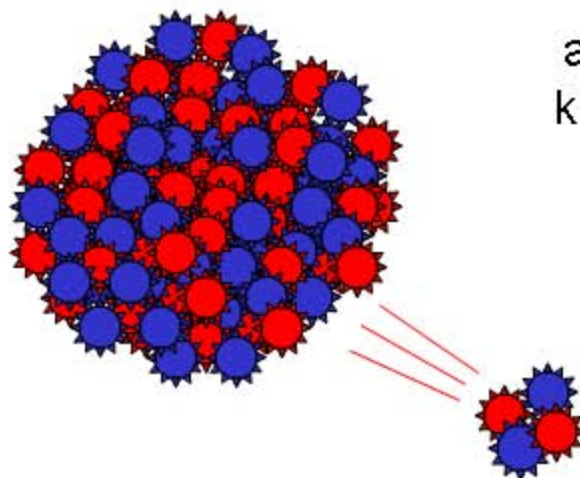
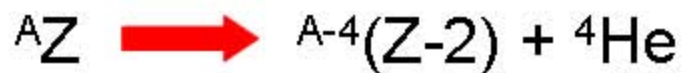


# Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:

**alfa-bomlás**



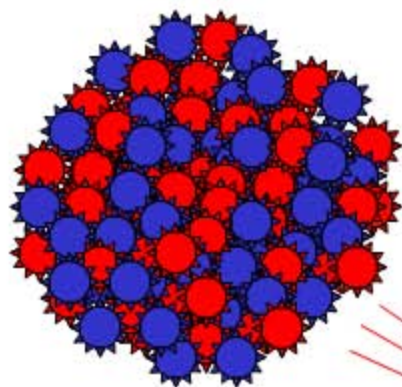
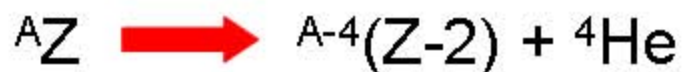
a túl nagy mag  
kilöki felesleges  
részeit

# Radioaktív bomlás

kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:

**alfa-bomlás**



a túl nagy mag  
kilöki felesleges  
részeit

alfa-részecske  
=  ${}^4_2\text{He}$  mag

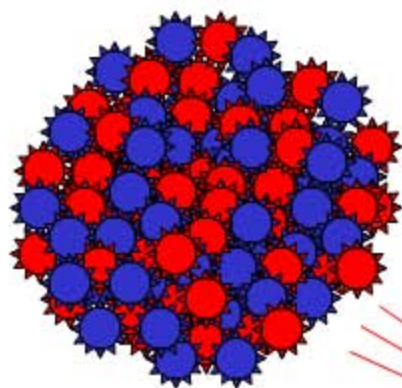
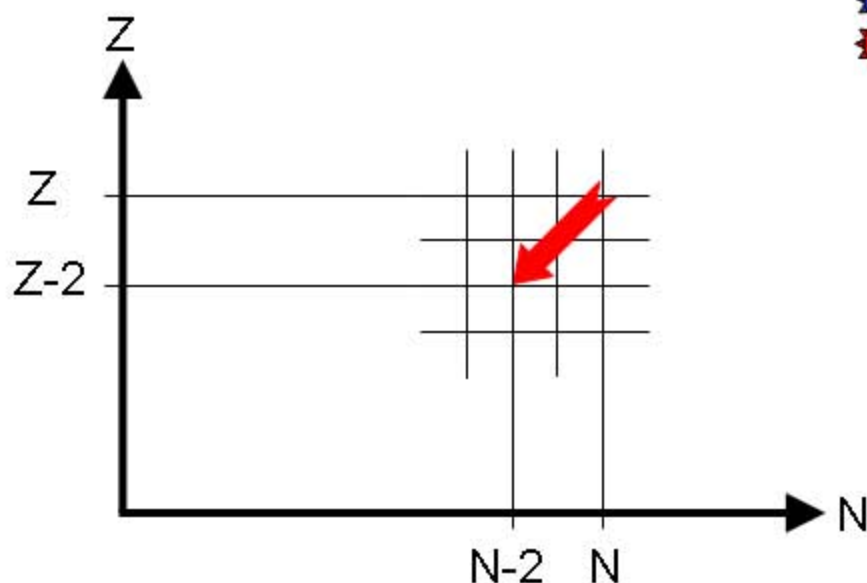
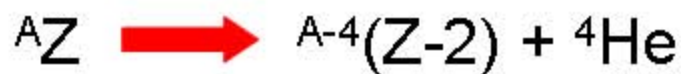


# Radioaktív bomlás

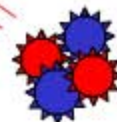
kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:

**alfa-bomlás**



a túl nagy mag  
külső felesleges  
részeit



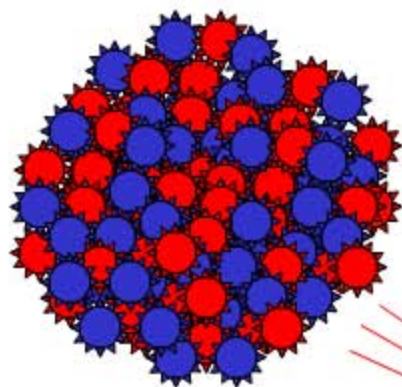
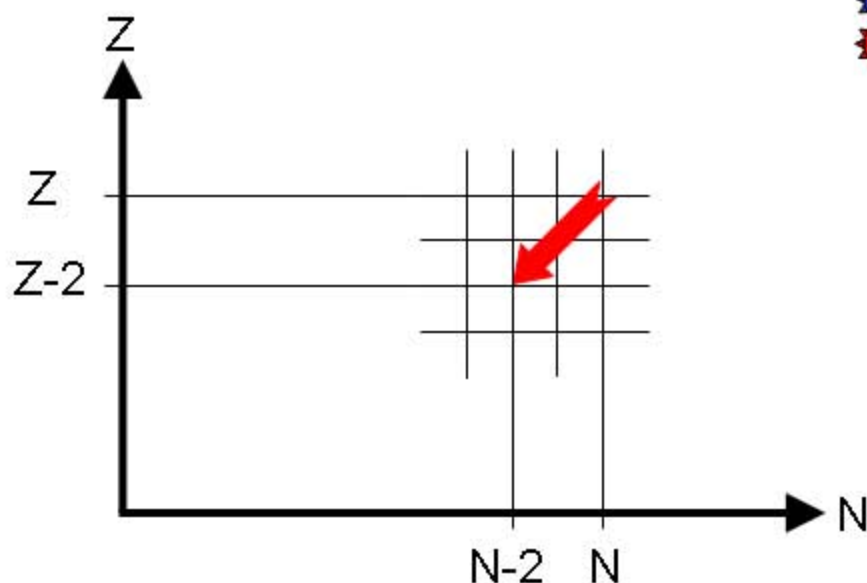
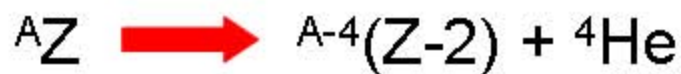
alfa-részecske  
=  ${}^4\text{He}$  mag

# Radioaktív bomlás

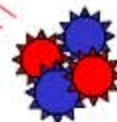
kis lépésekkel a stabilitás felé

Túl sok nukleon a magban:

**alfa-bomlás**



a túl nagy mag  
kilöki felesleges  
részeit



alfa-részecske  
=  ${}^4\text{He}$  mag

az alfa-részecske erősen  
kötött objektum!



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:





Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

---

**béta-bomlás**



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

---

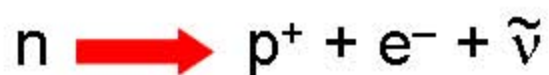
ha túl sok a neutron:



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

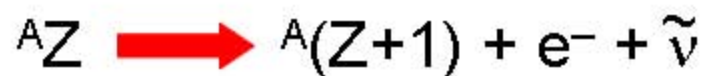
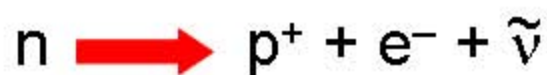
ha túl sok a neutron:



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

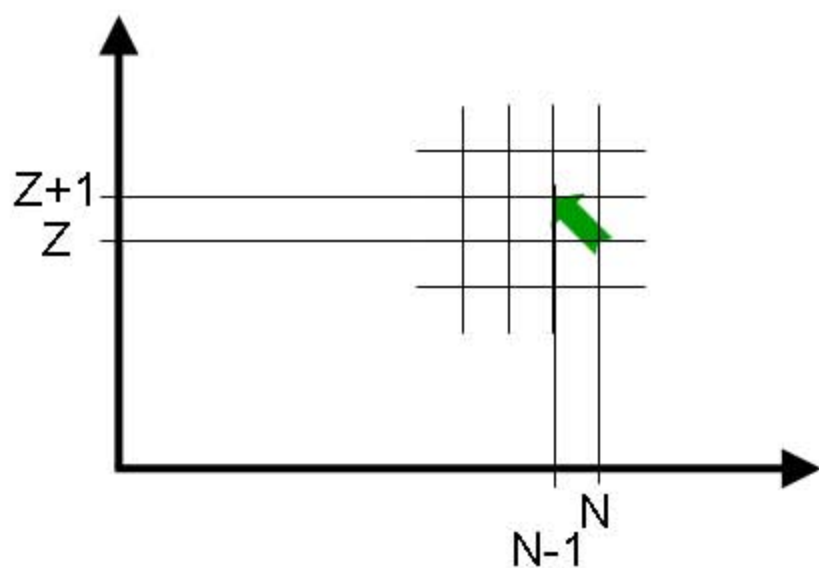
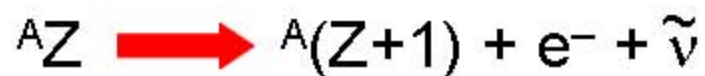
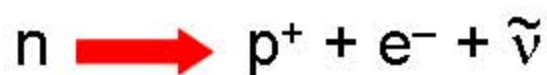
ha túl sok a neutron:



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

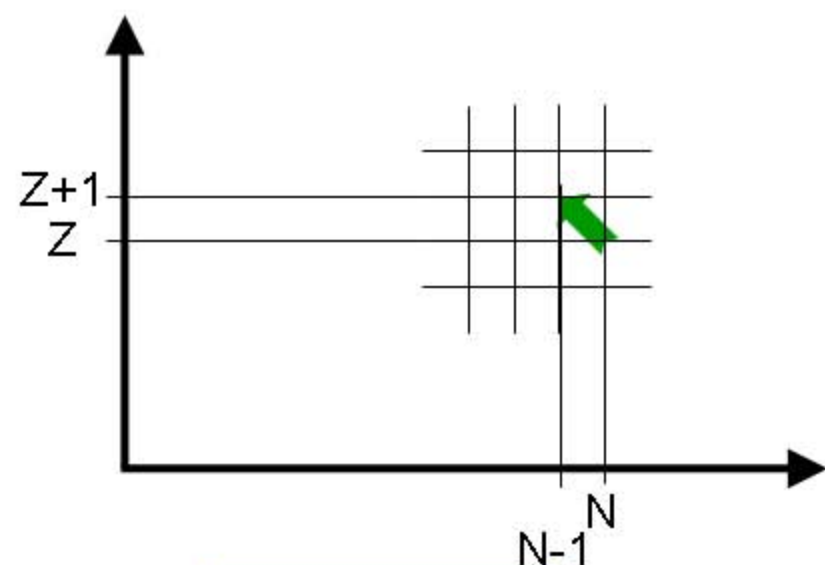
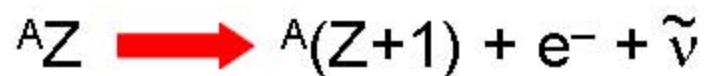
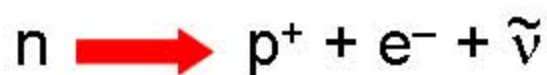
ha túl sok a neutron:



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



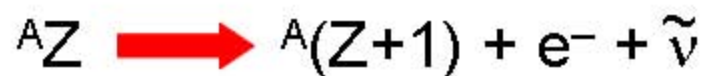
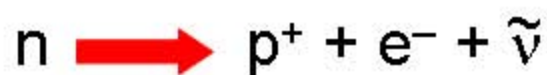
**$\beta^-$  - bomlás**



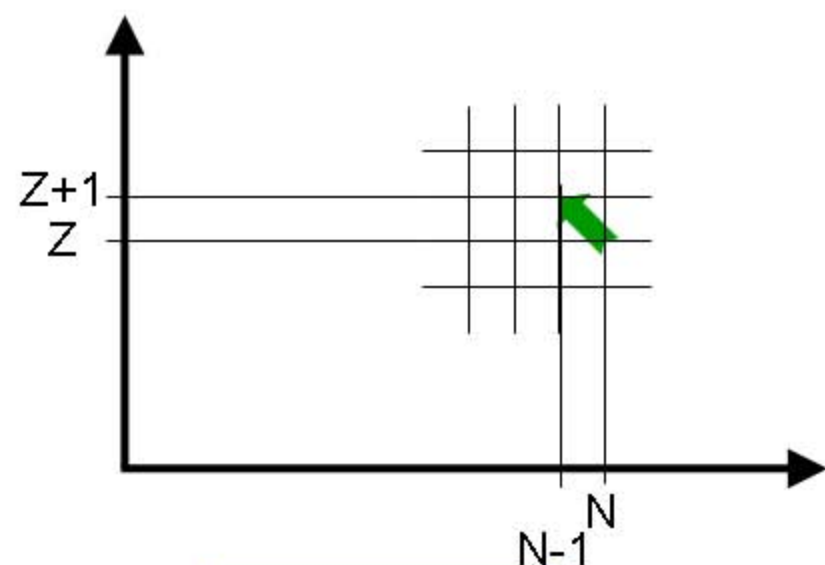
Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



ha túl sok a proton:



**$\beta^-$  - bomlás**

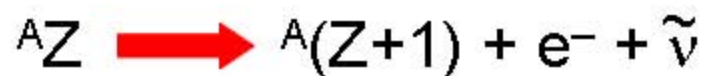
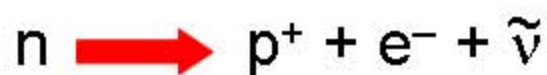




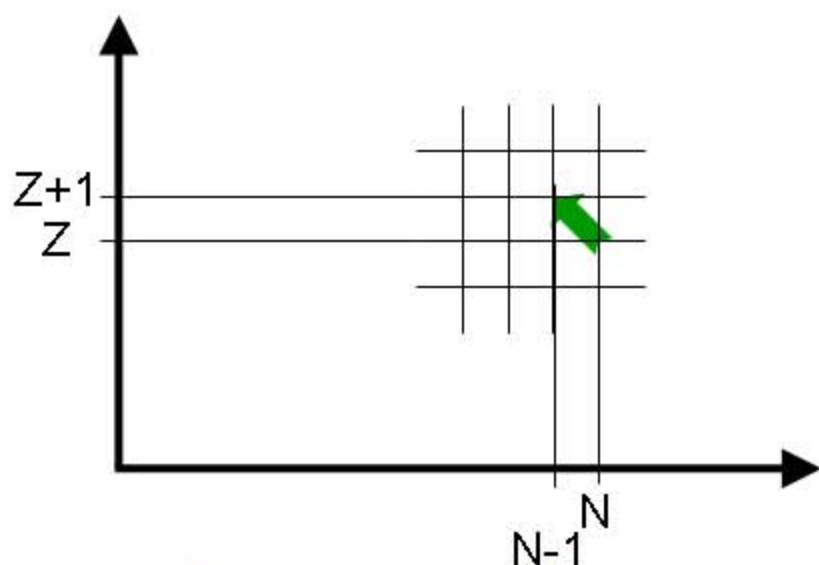
Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



ha túl sok a proton:



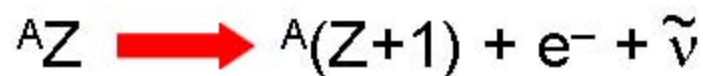
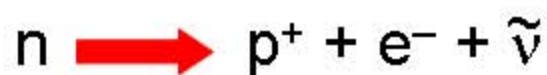
**$\beta^-$  - bomlás**



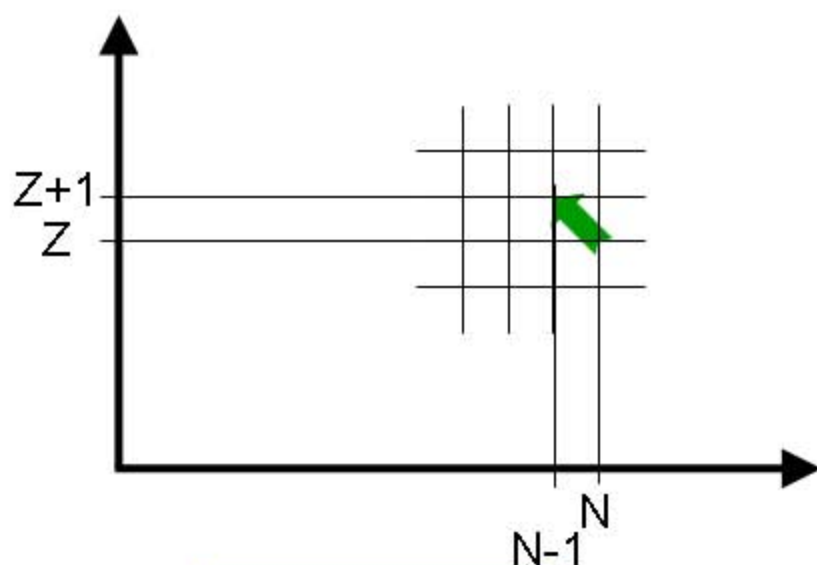
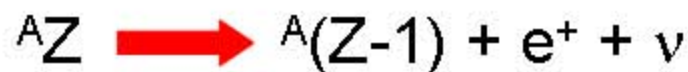
Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



ha túl sok a proton:



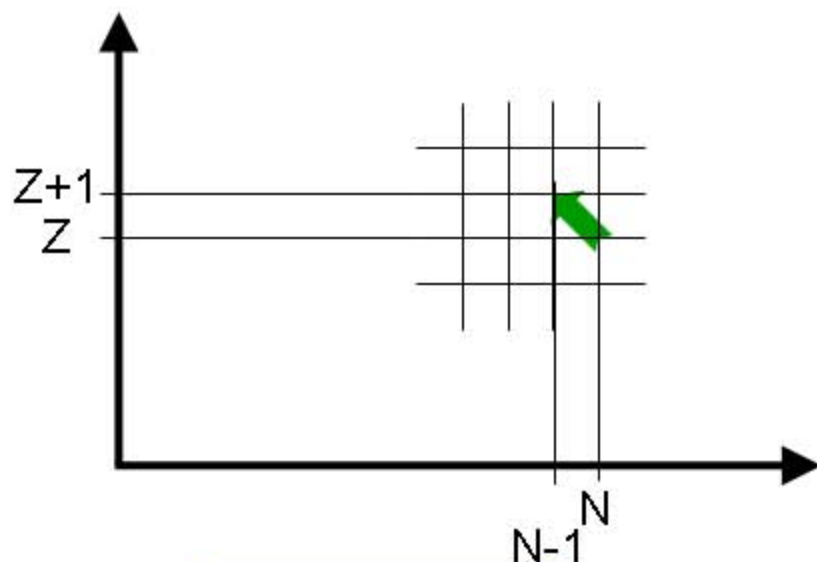
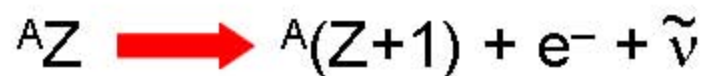
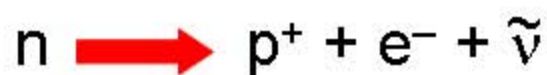
**$\beta^-$  - bomlás**



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

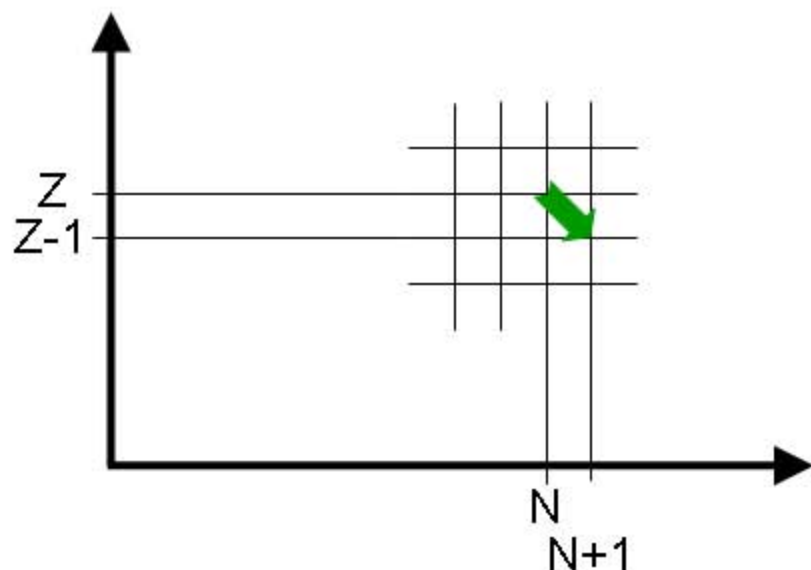
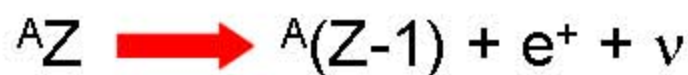
**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



**$\beta^-$  - bomlás**

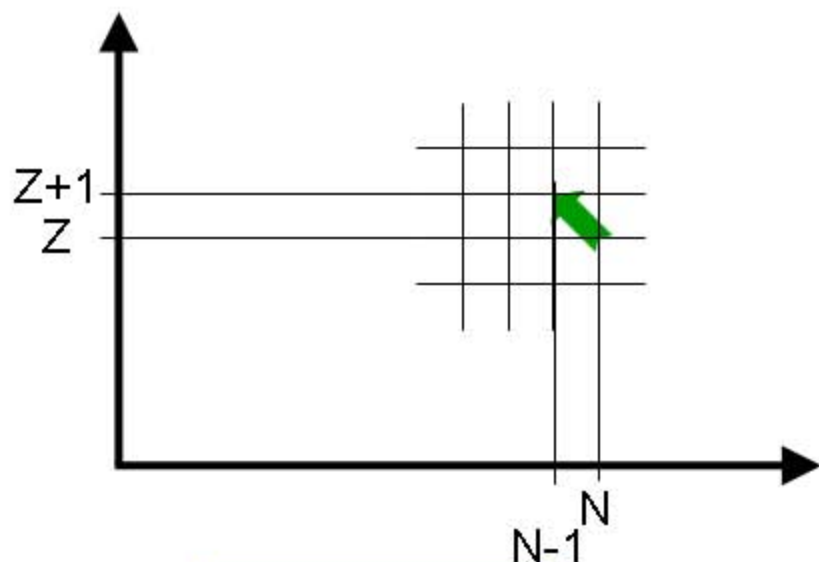
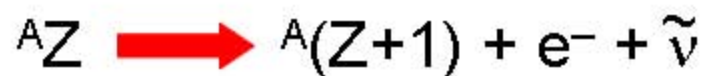
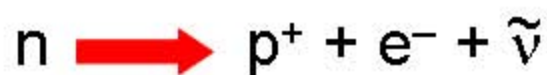
ha túl sok a proton:



Túl sok proton vagy neutron  
meredeken a szakadékba:

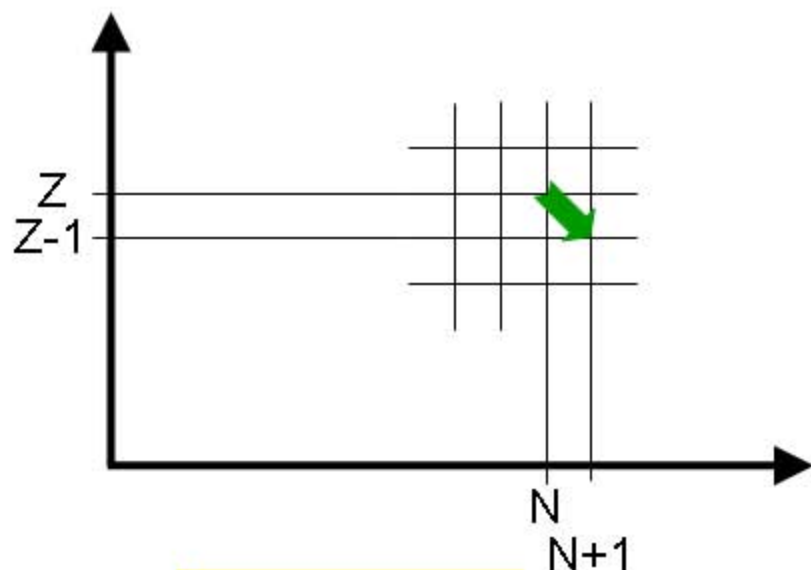
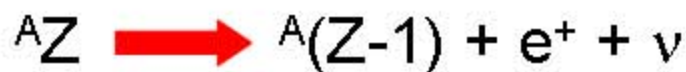
**béta-bomlás**

ha túl sok a neutron:



**$\beta^-$  - bomlás**

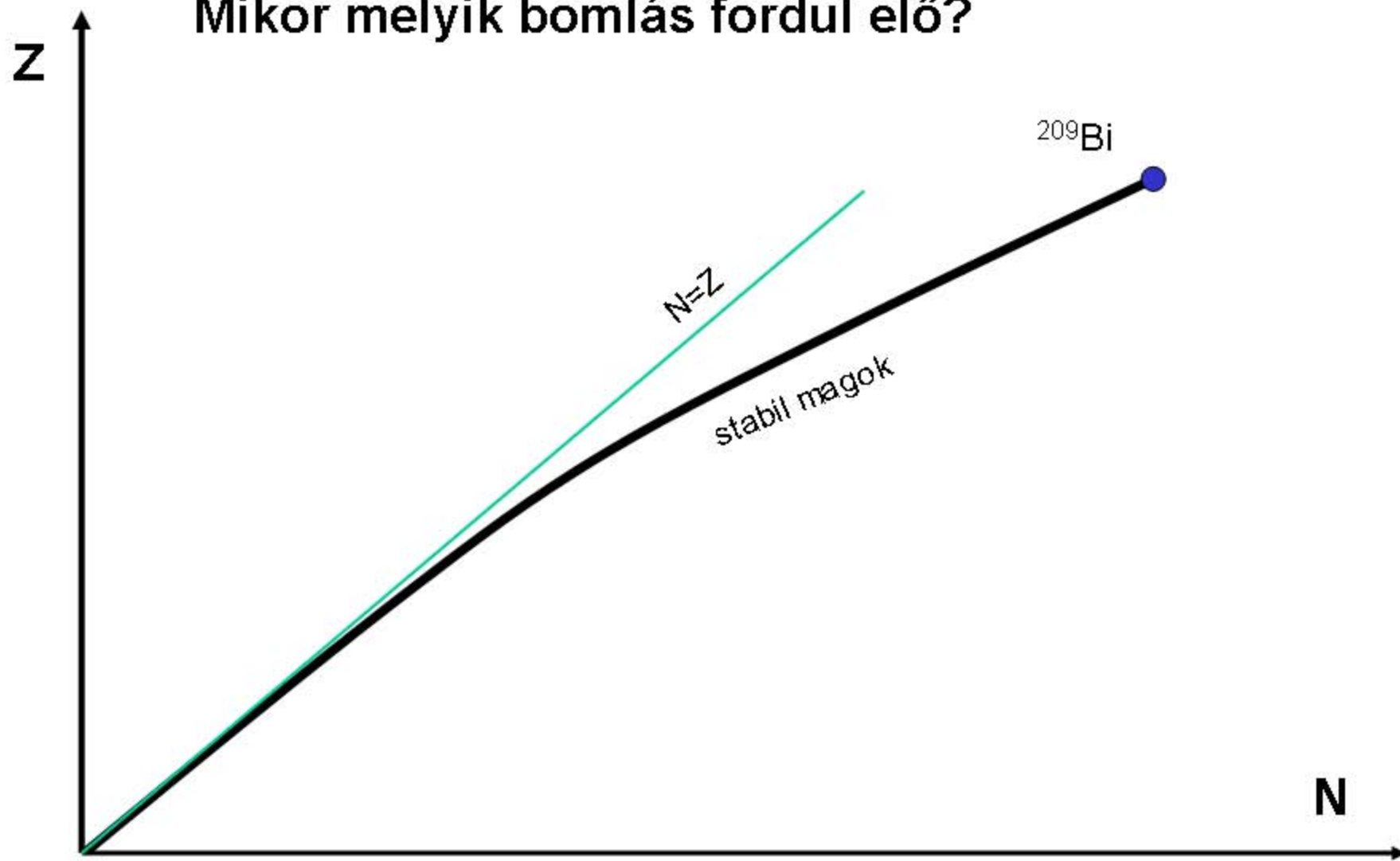
ha túl sok a proton:



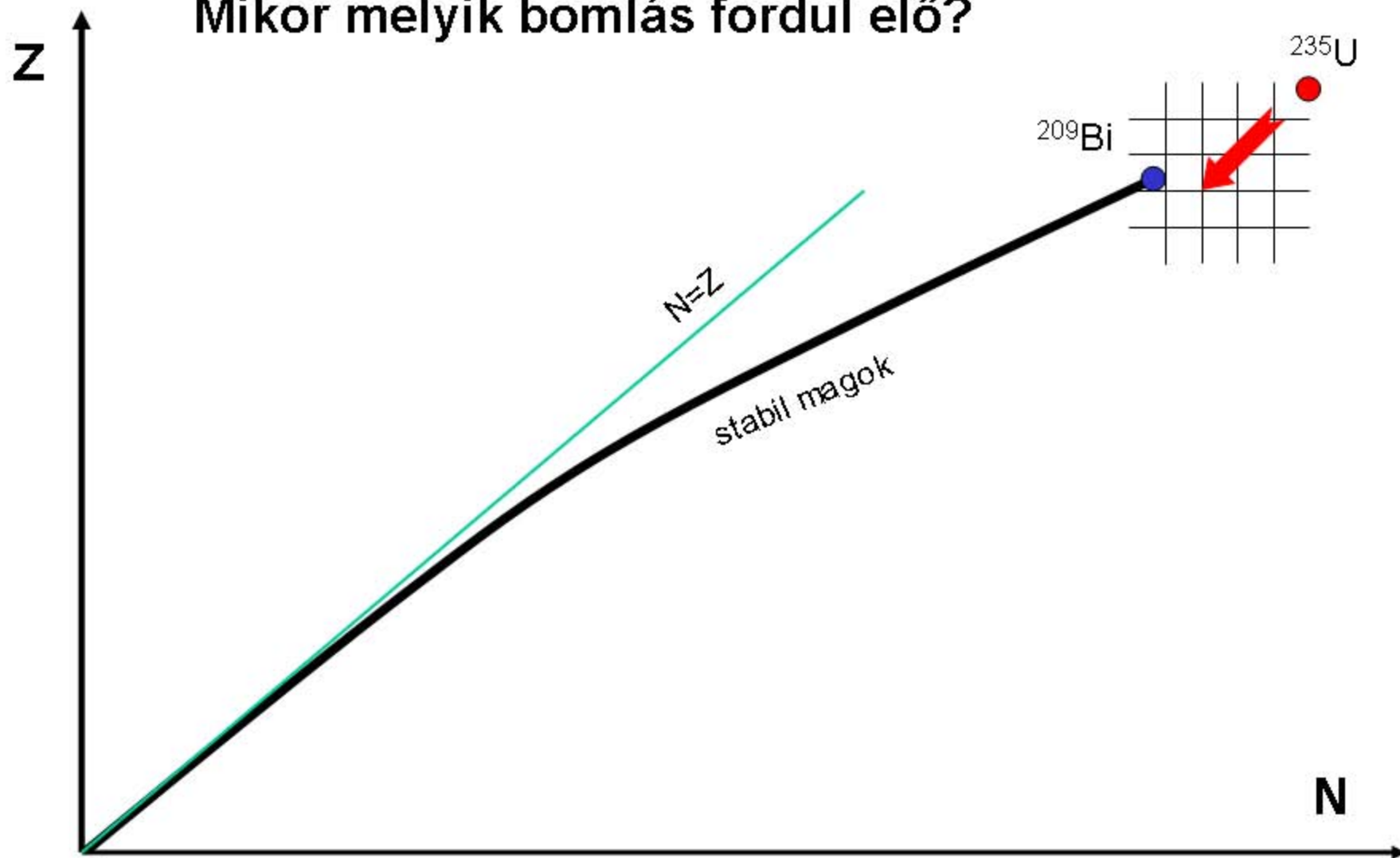
**$\beta^+$  - bomlás**



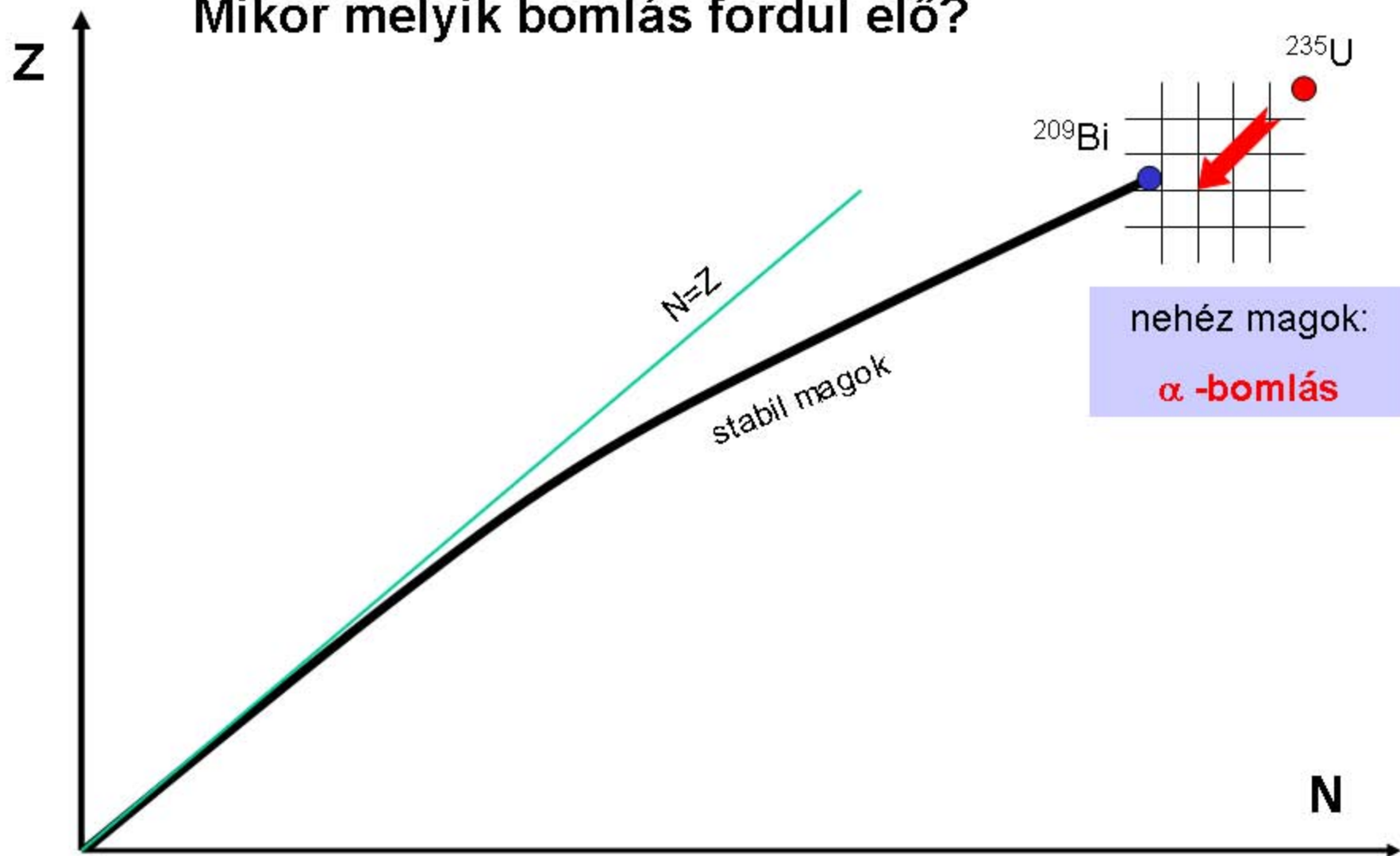
# Mikor melyik bomlás fordul elő?



# Mikor melyik bomlás fordul elő?

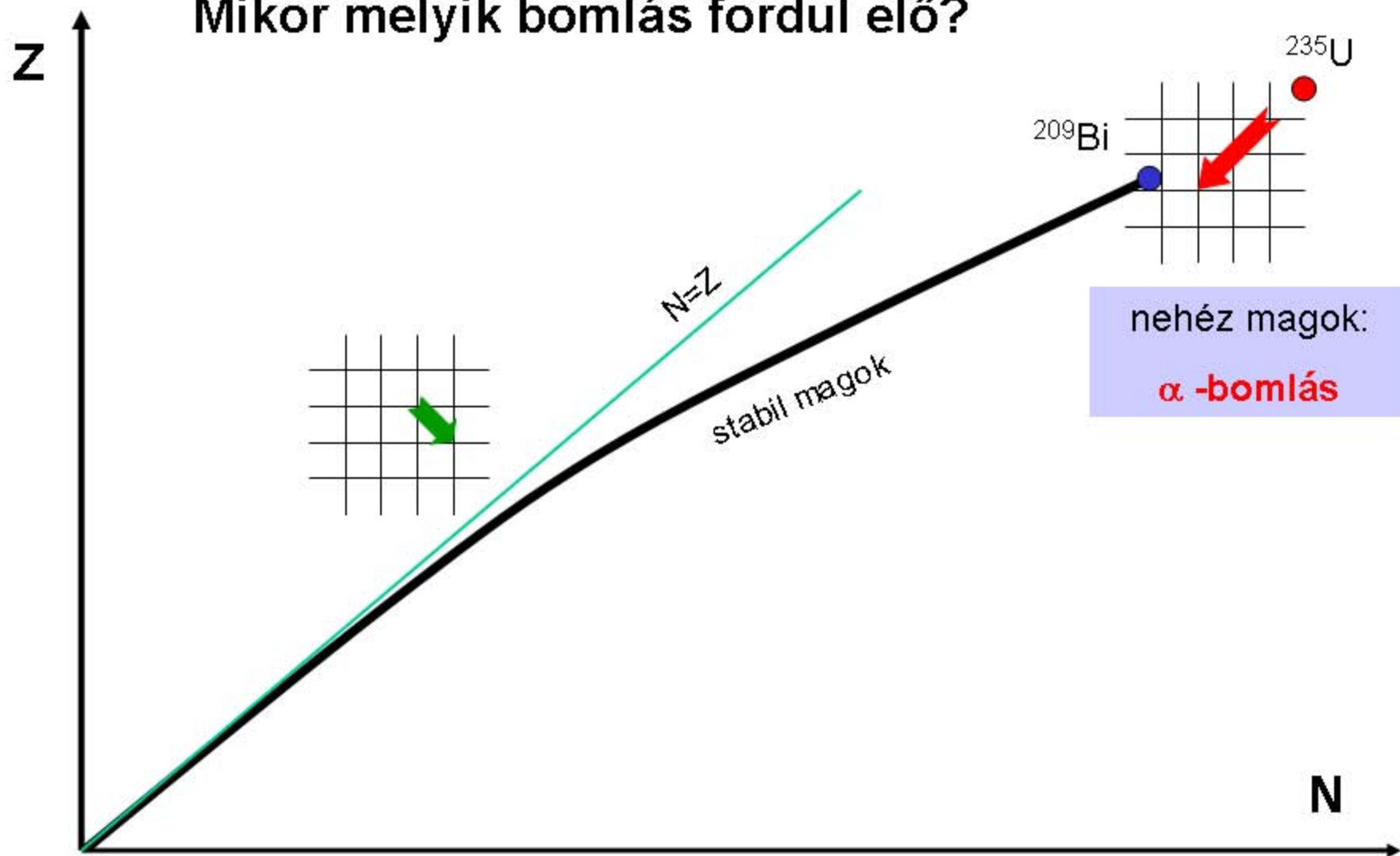


# Mikor melyik bomlás fordul elő?

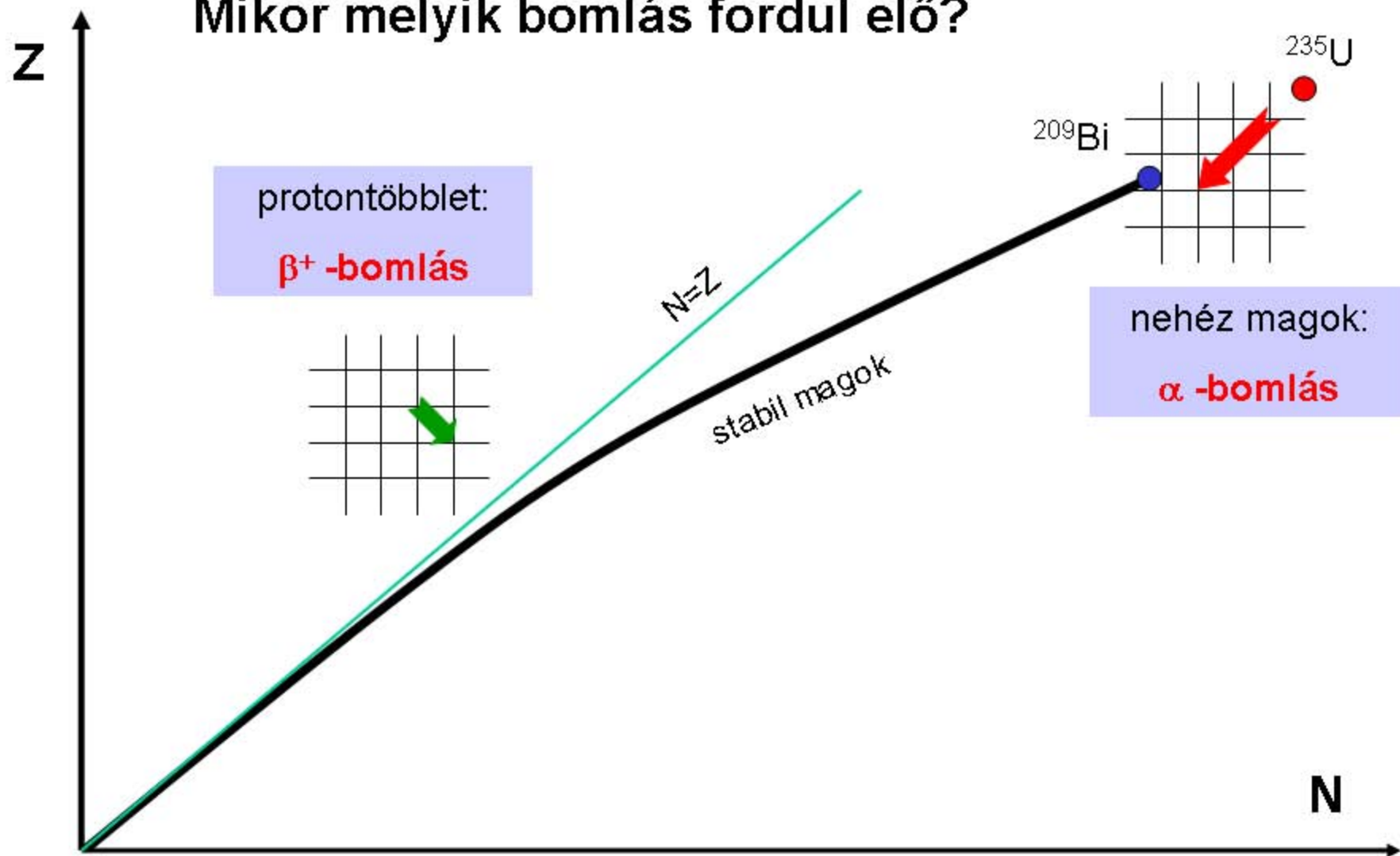




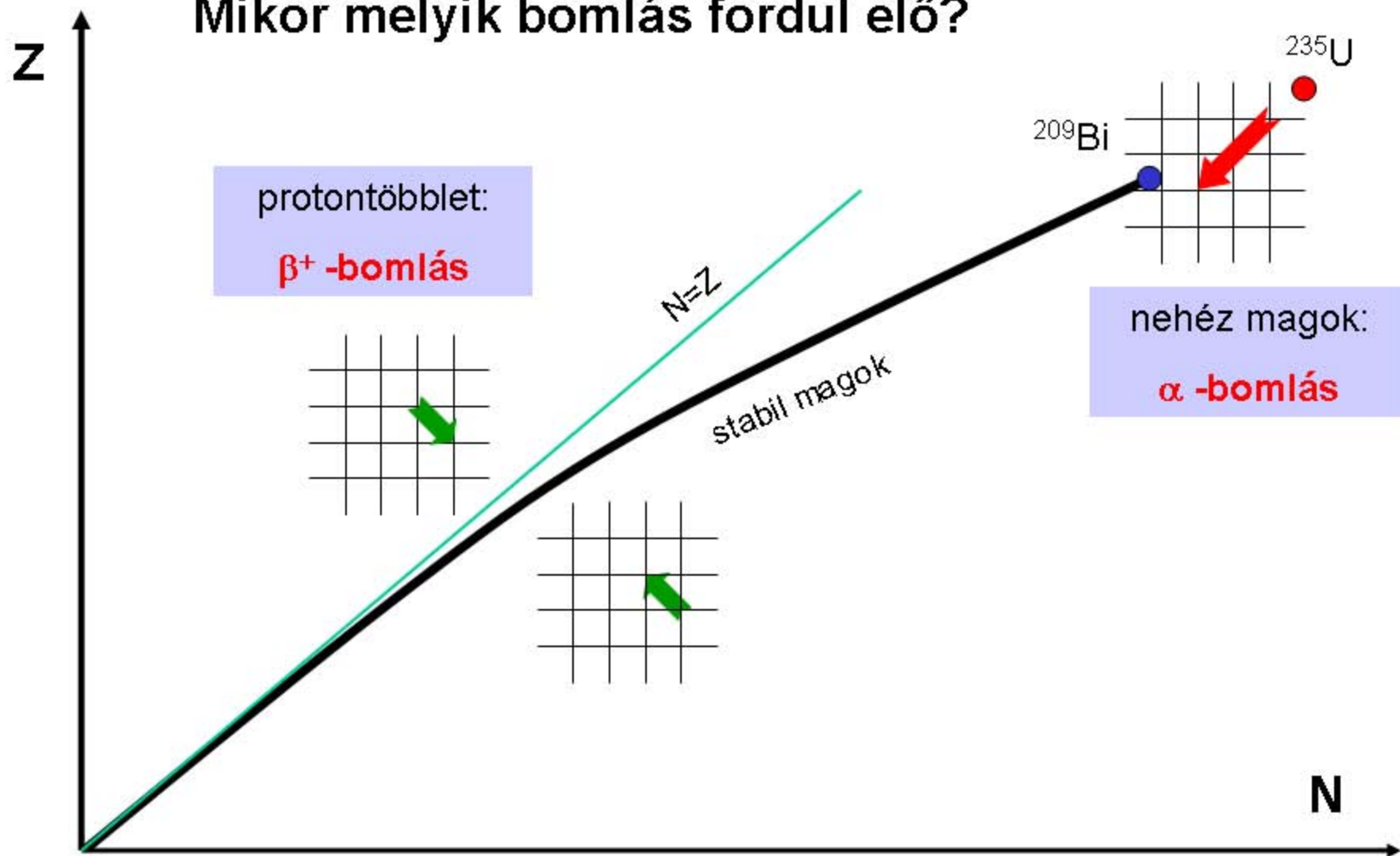
# Mikor melyik bomlás fordul elő?



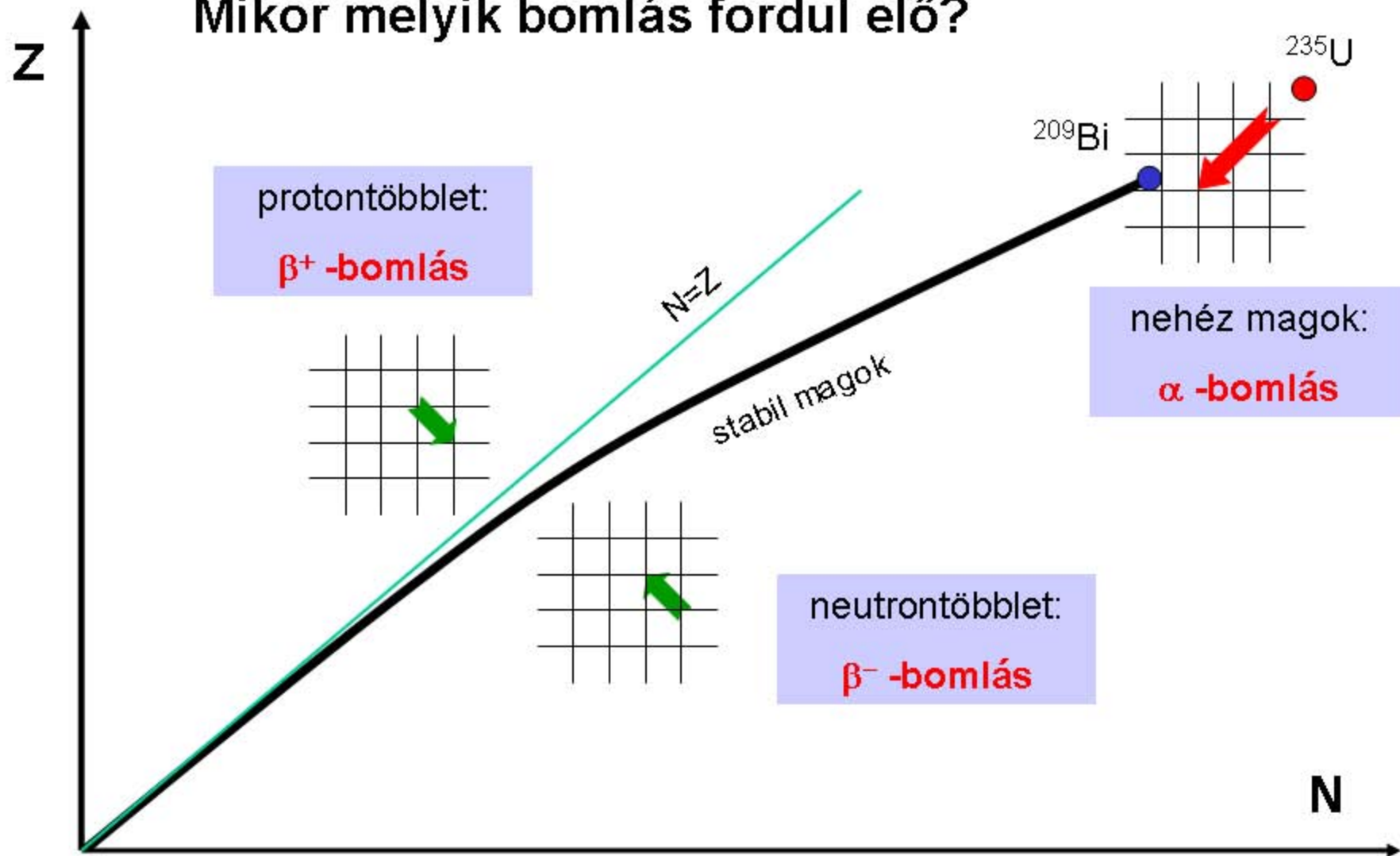
# Mikor melyik bomlás fordul elő?



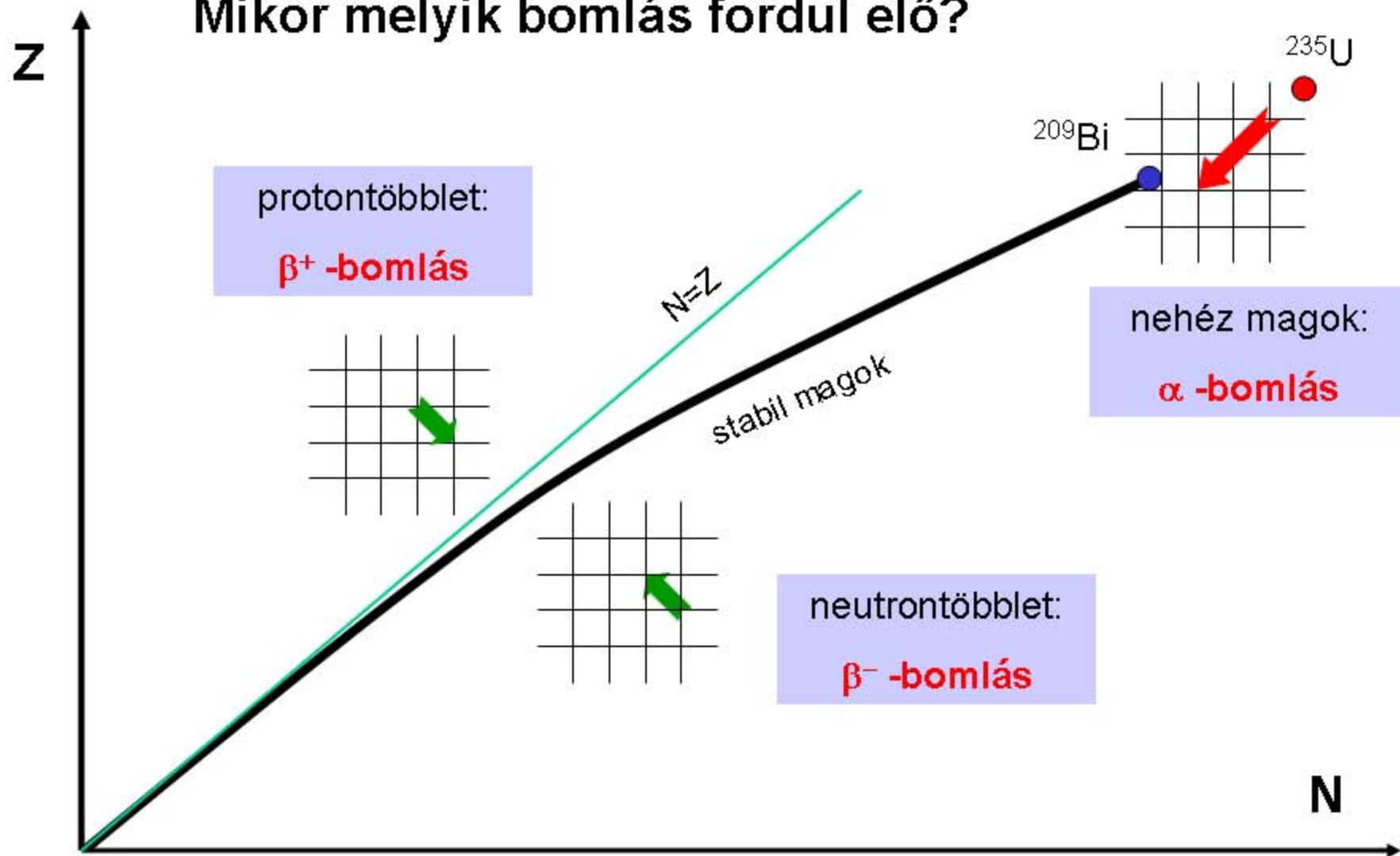
# Mikor melyik bomlás fordul elő?



# Mikor melyik bomlás fordul elő?



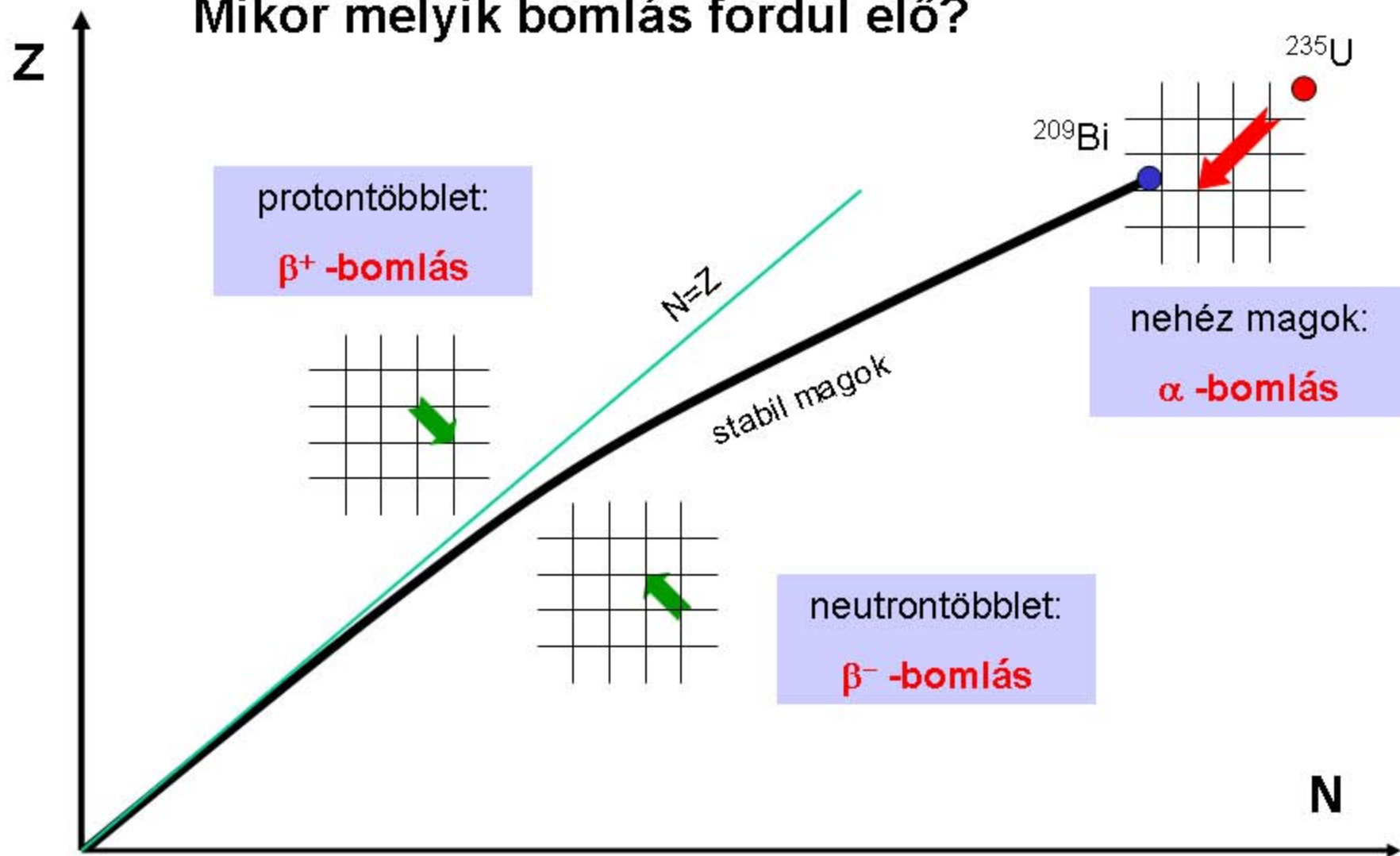
# Mikor melyik bomlás fordul elő?



$\gamma$ -bomlás:



# Mikor melyik bomlás fordul elő?



protontöbblet:

$\beta^+$ -bomlás

$N=Z$

stabil magok

$^{209}\text{Bi}$

$^{235}\text{U}$

nehéz magok:

$\alpha$ -bomlás

neutrontöbblet:

$\beta^-$ -bomlás

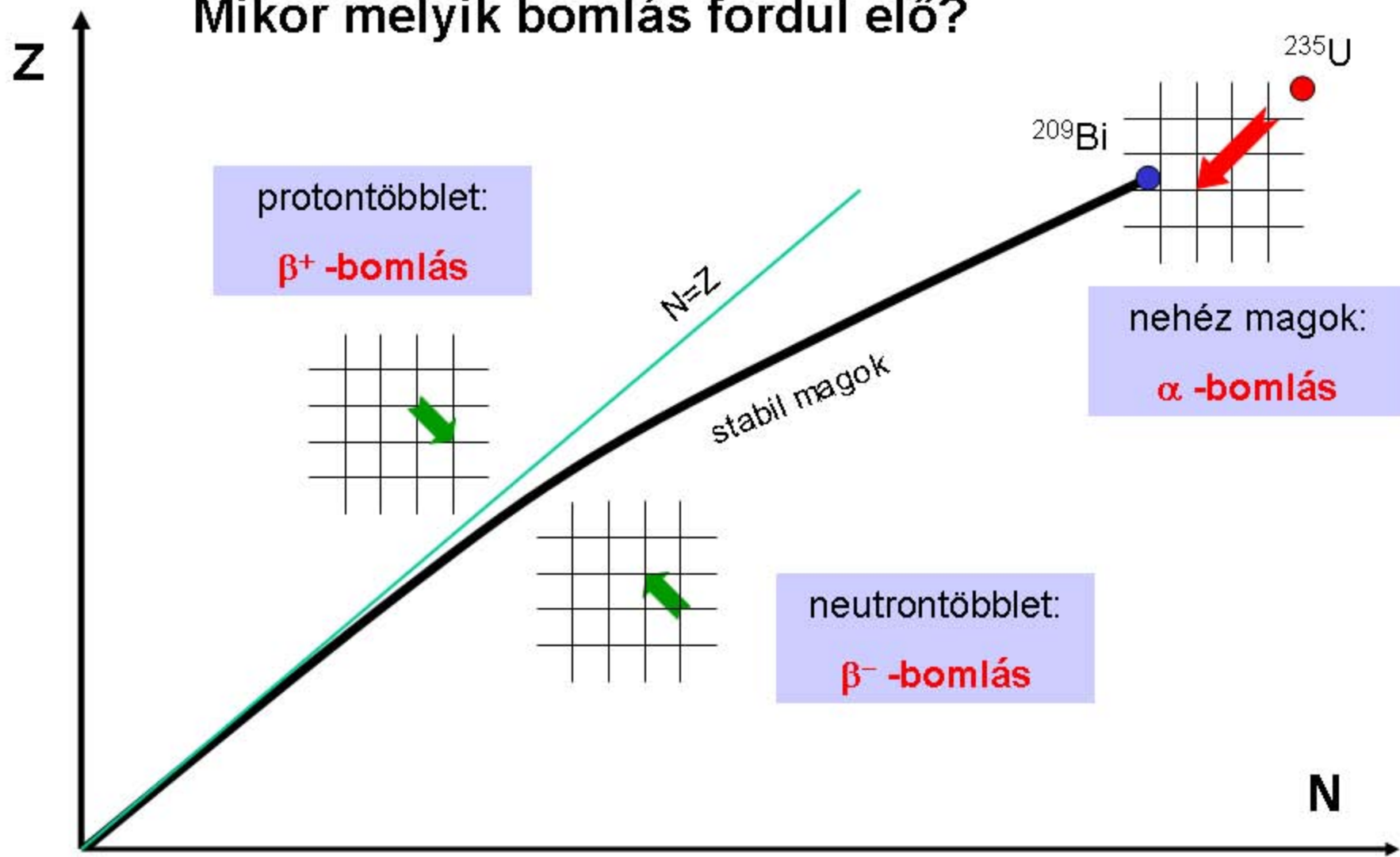
N

$\gamma$ -bomlás:

ugyanazon atommag „rezgő”, gerjesztett állapotából alapállapotba



# Mikor melyik bomlás fordul elő?

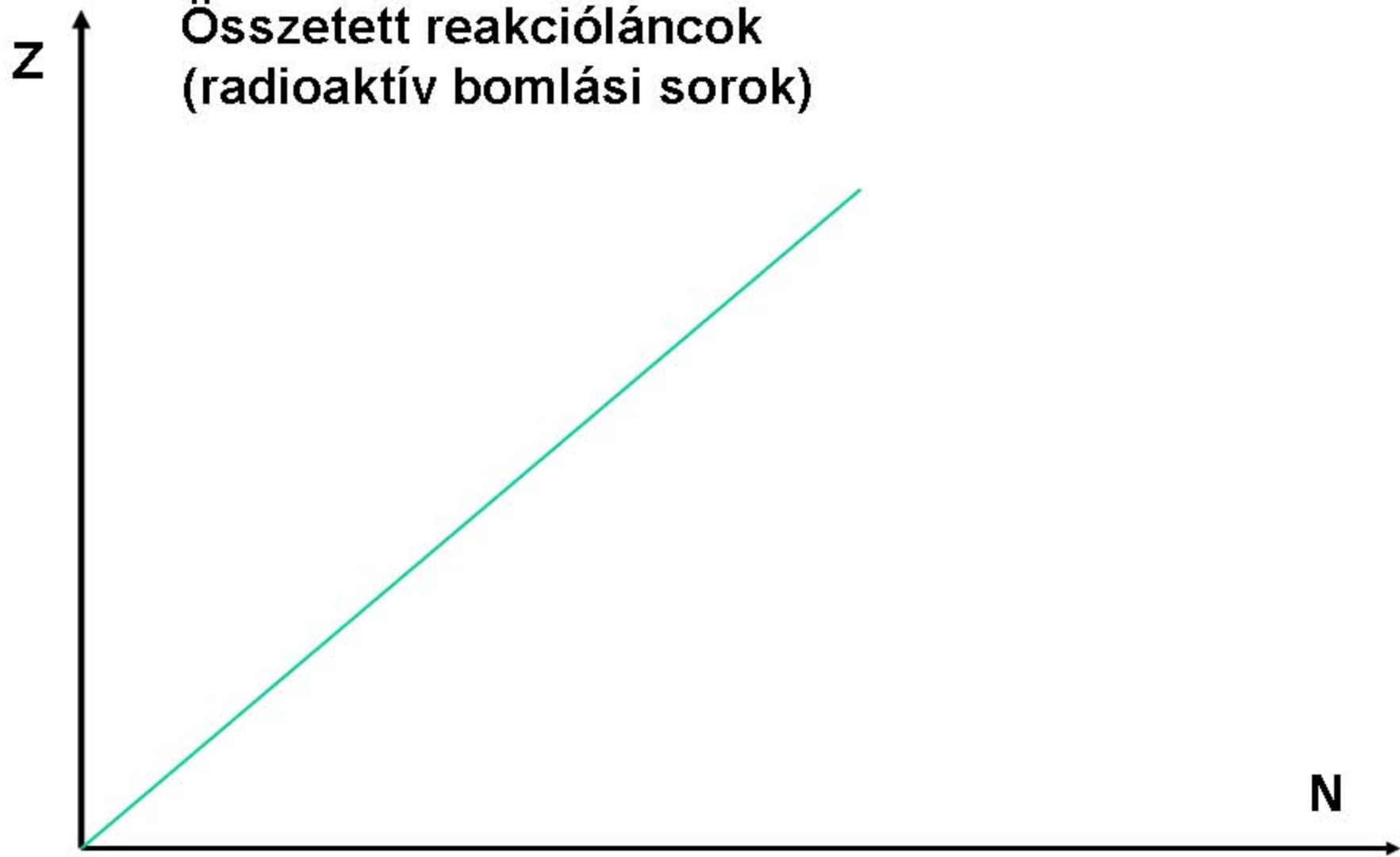


**$\gamma$ -bomlás:** ugyanazon atommag „rezgő”, gerjesztett állapotából alapállapotba  
Z és N nem változik, foton viszi el az energiát

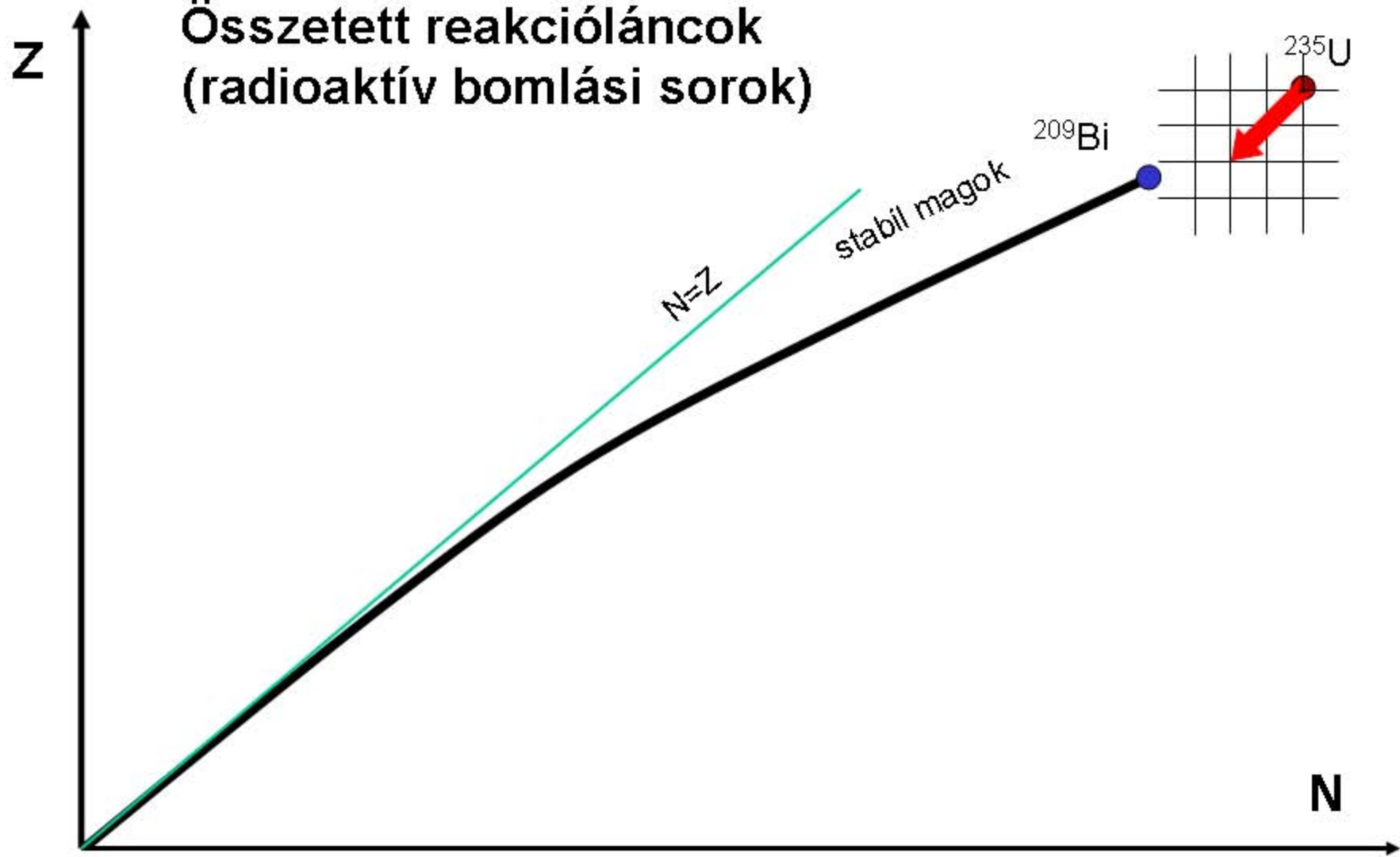




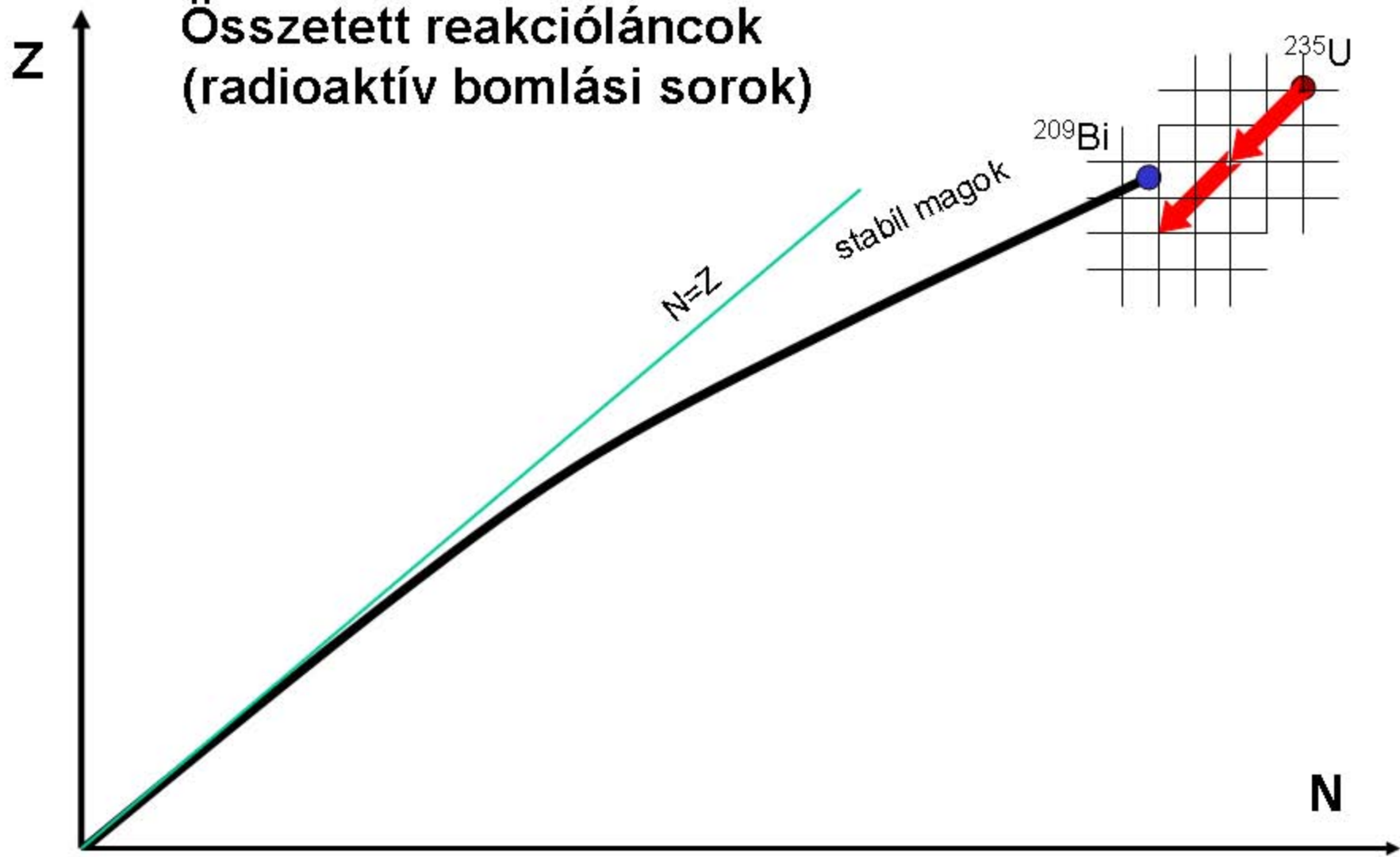
**Összetett reakcióláncok  
(radioaktív bomlási sorok)**



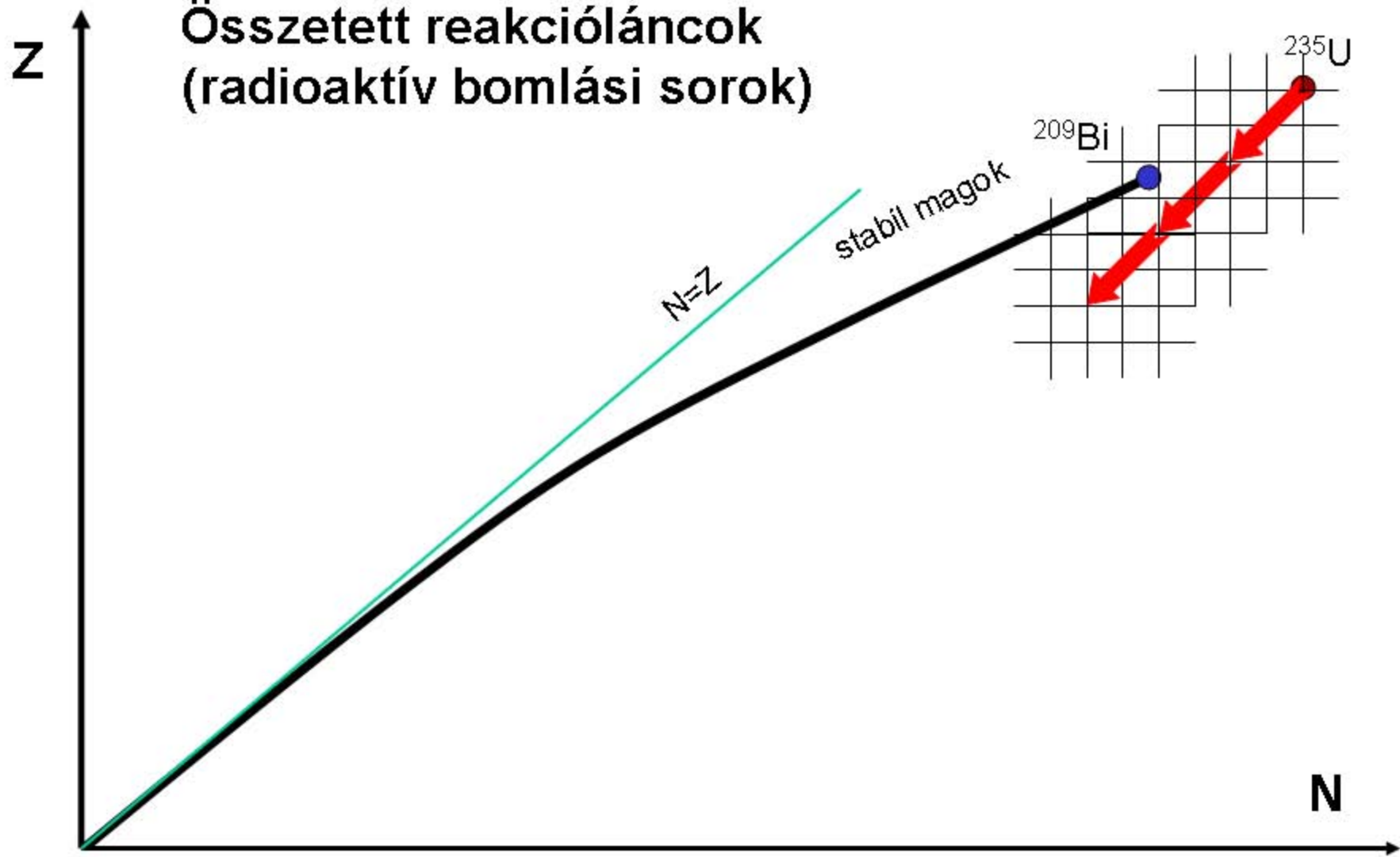
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



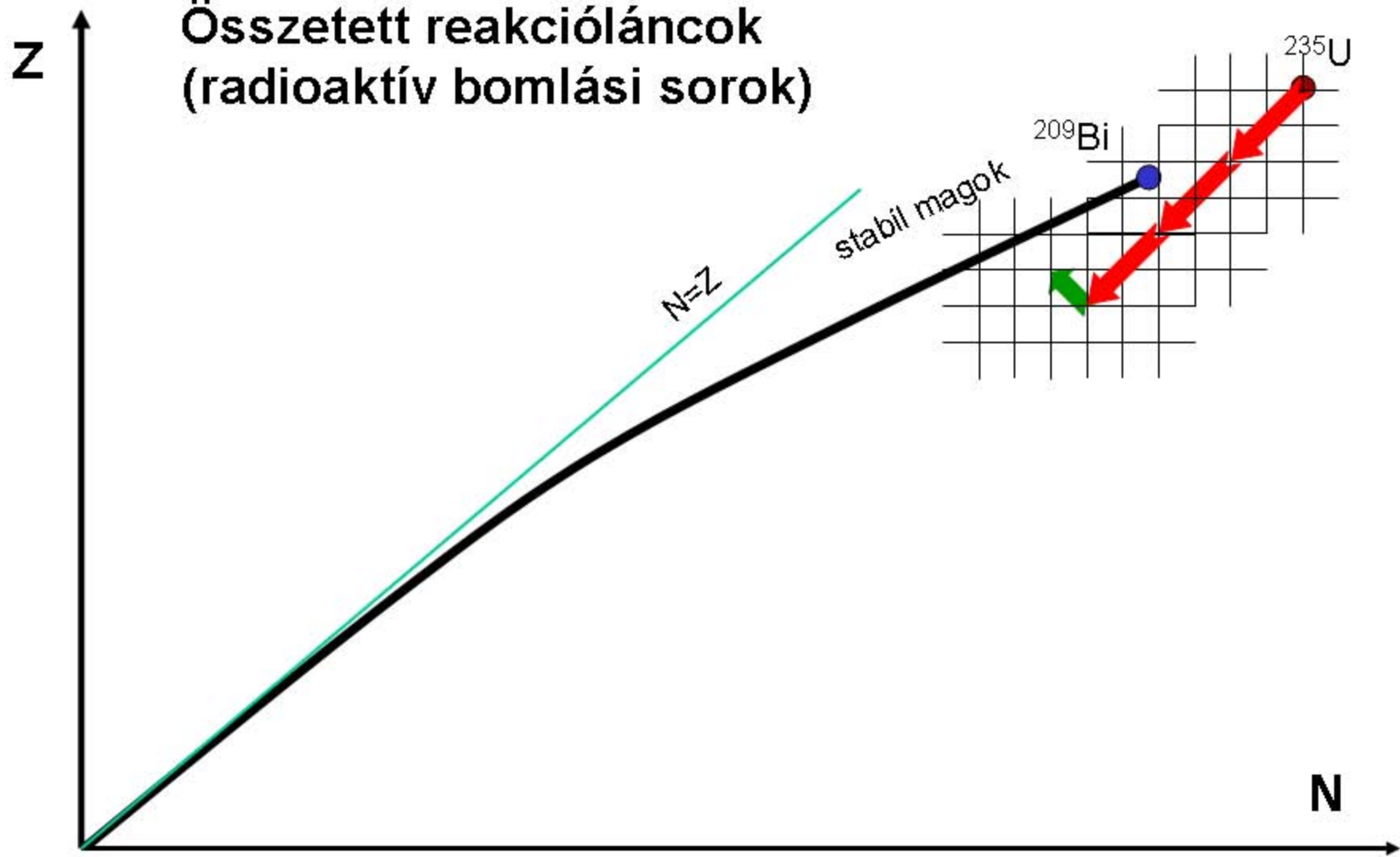
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



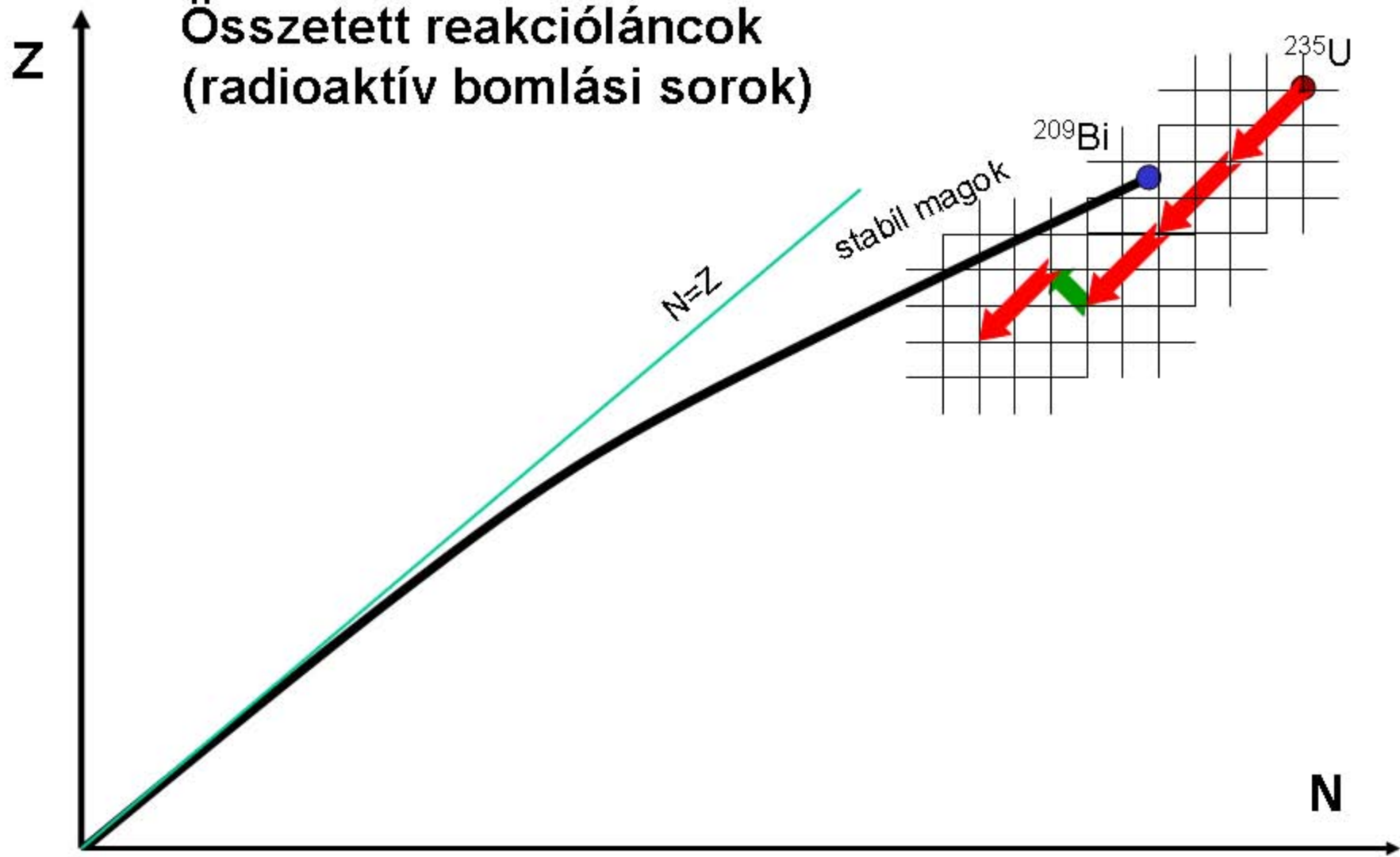
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



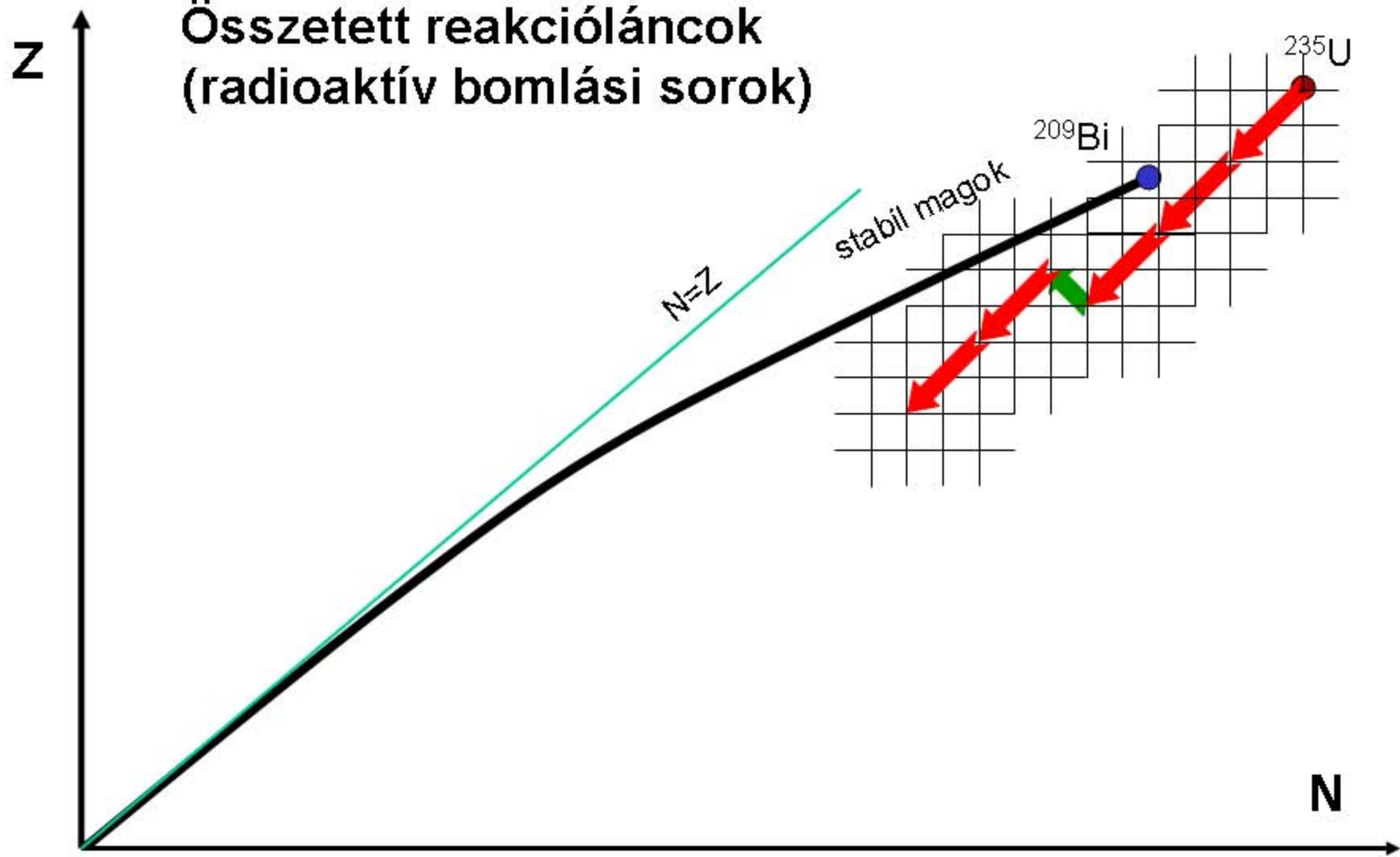
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)

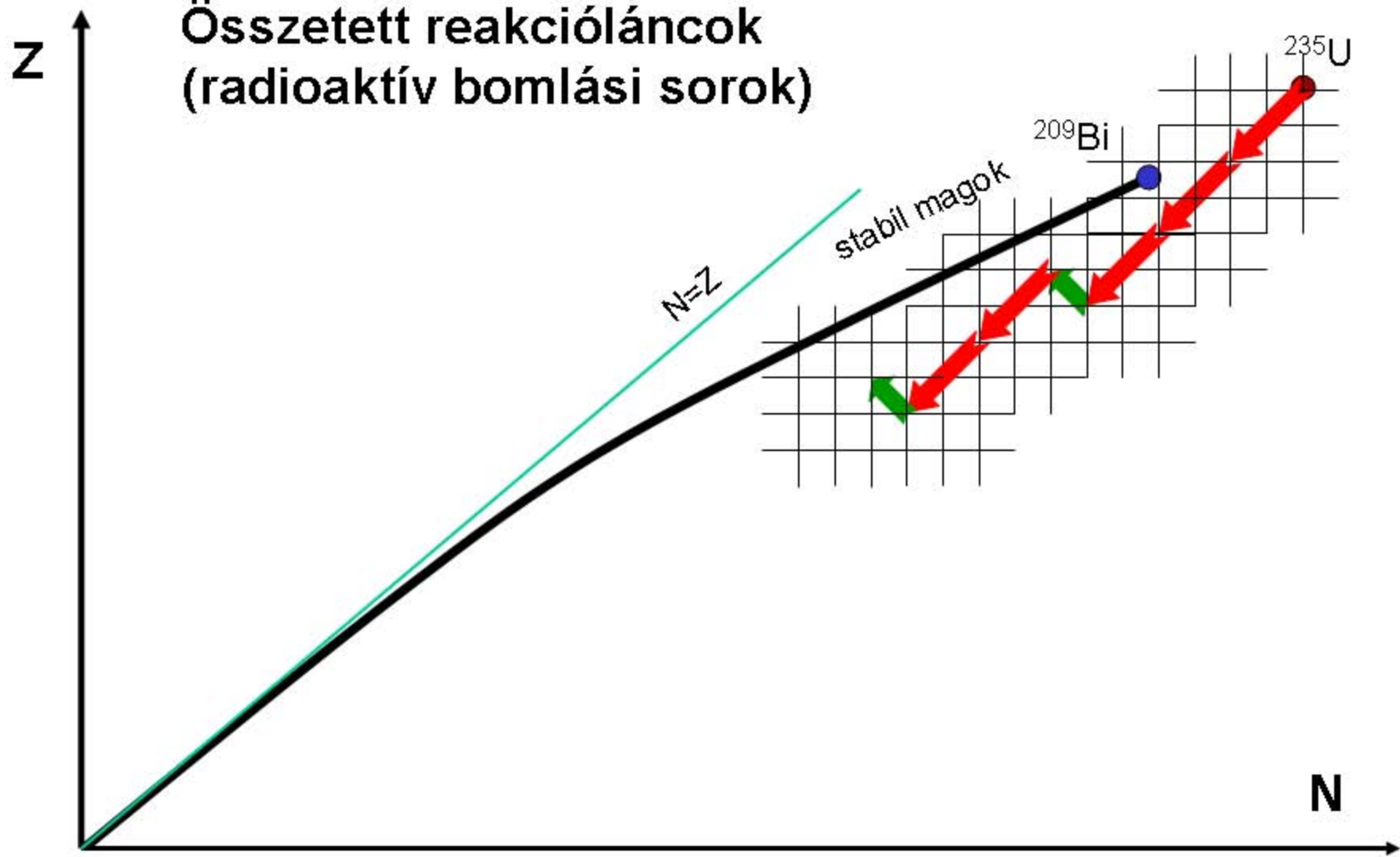


# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)

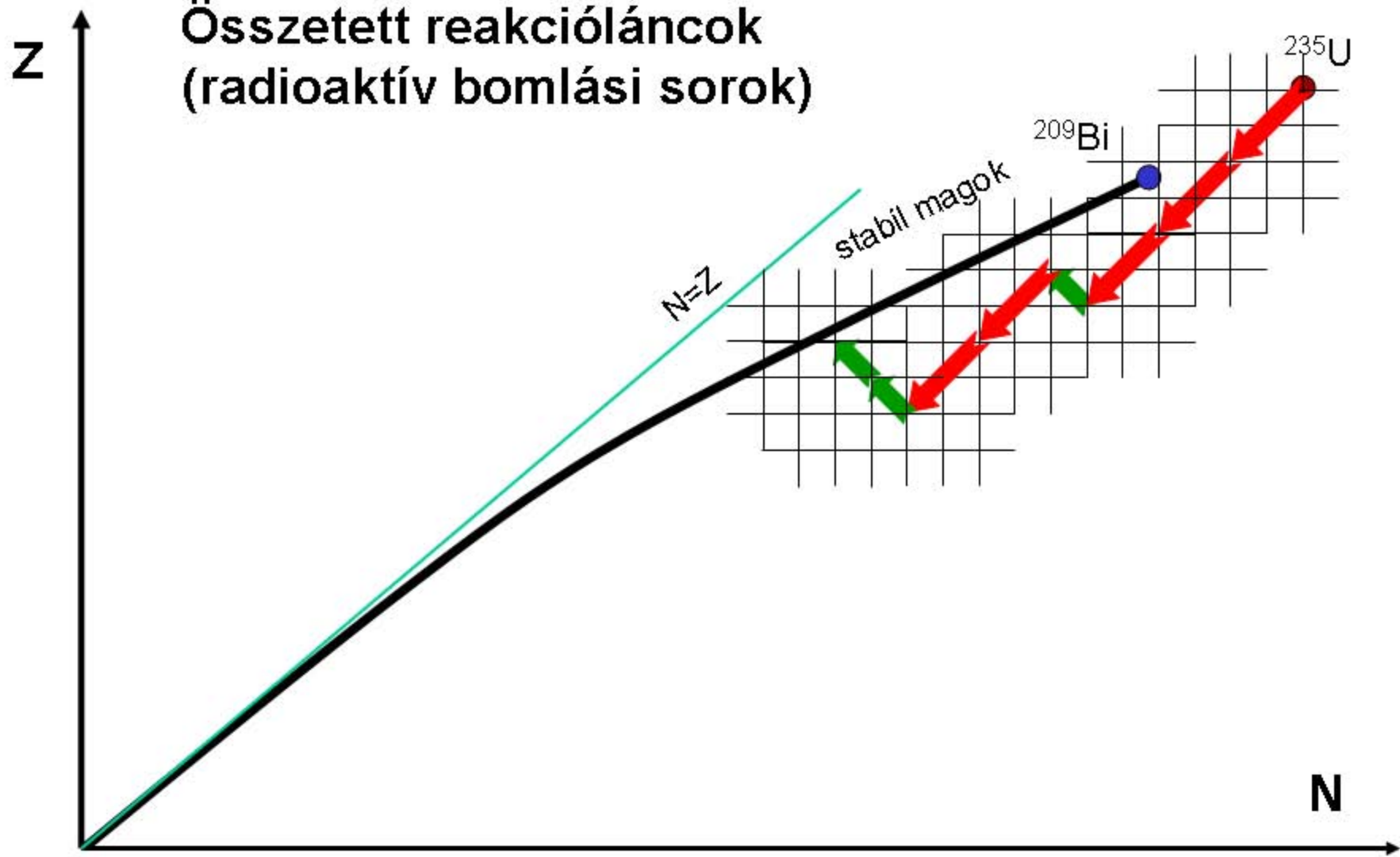




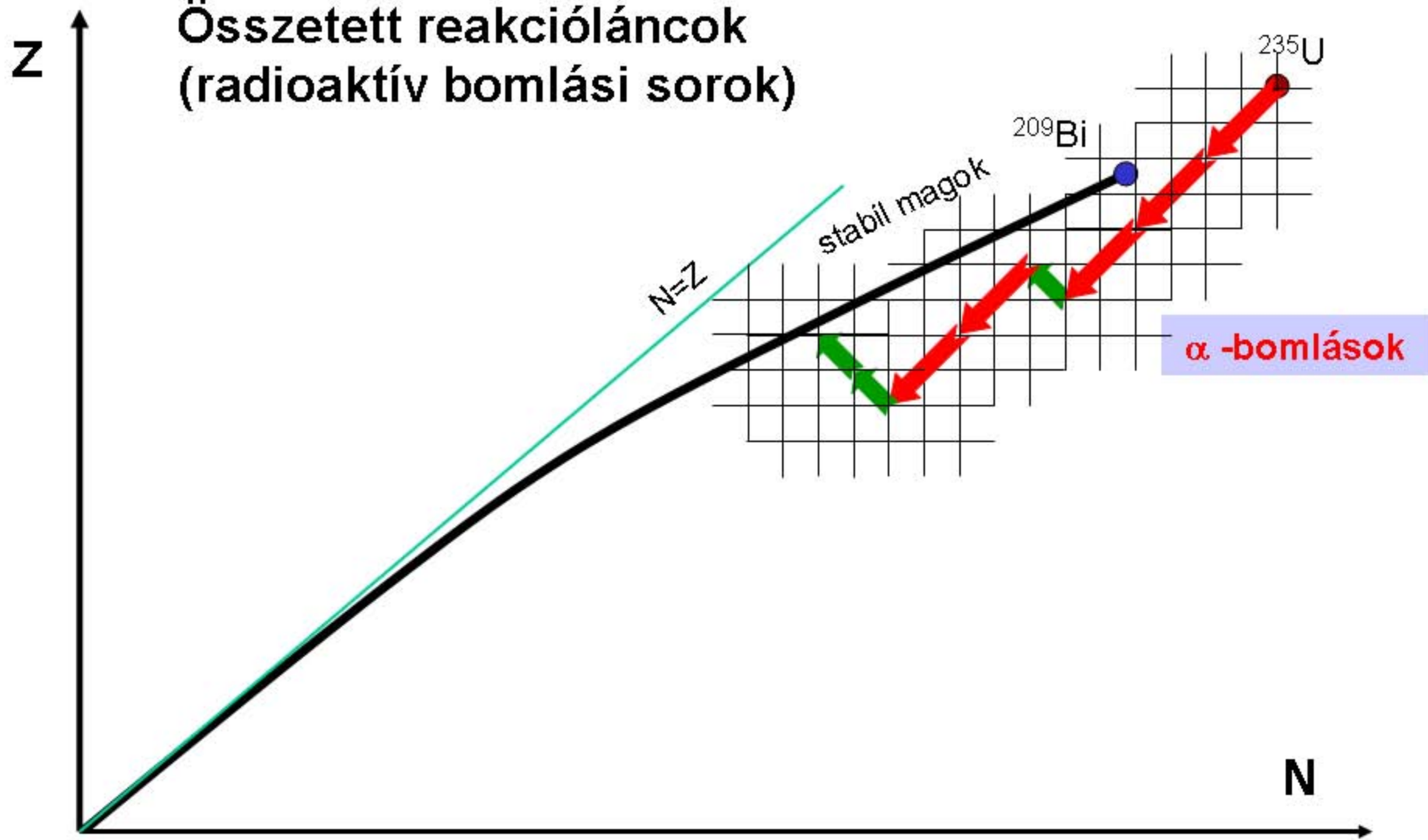
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



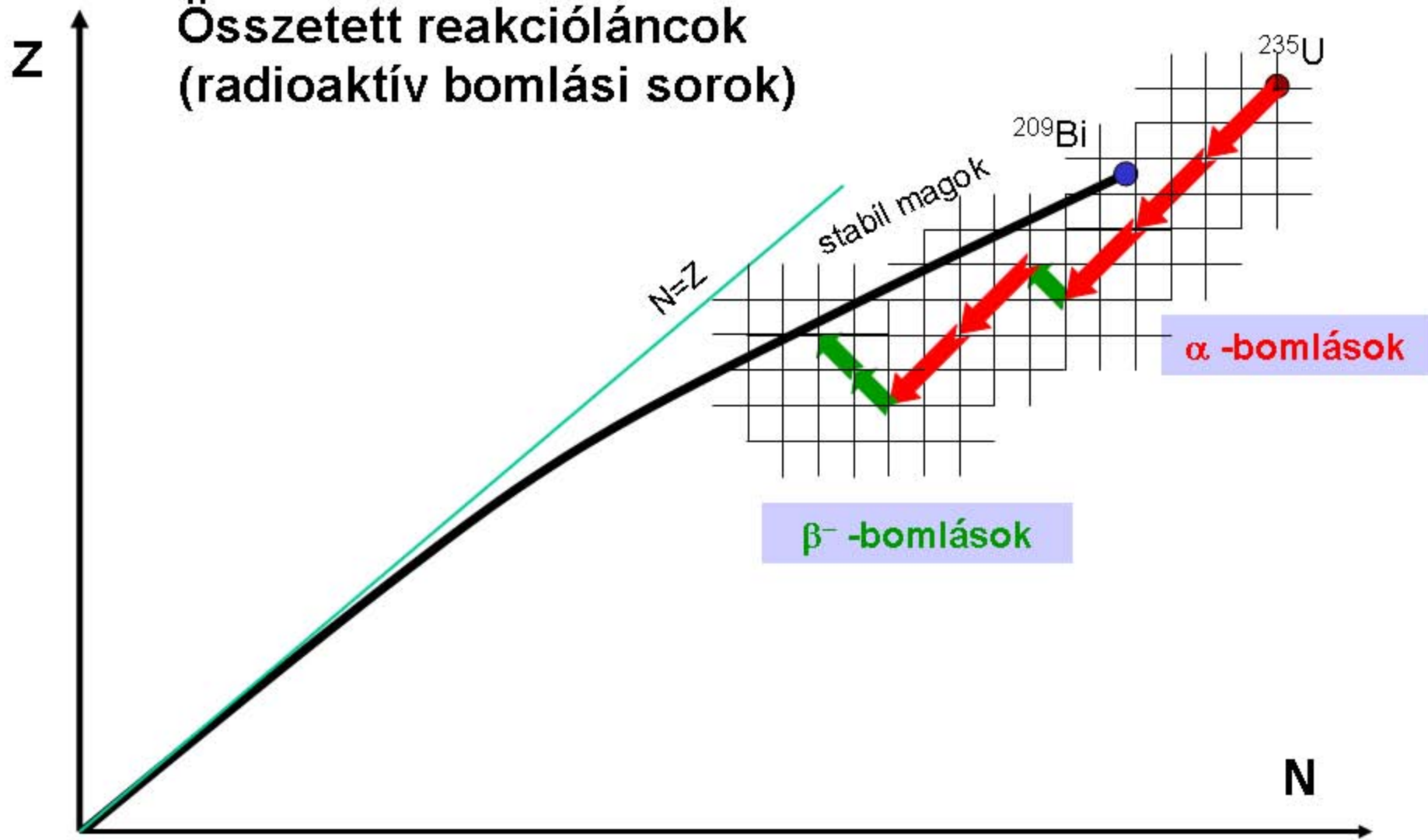
# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



# Összetett reakcióláncok (radioaktív bomlási sorok)



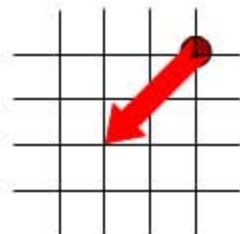
## Elágazó reakcióláncok



## Elágazó reakcióláncok

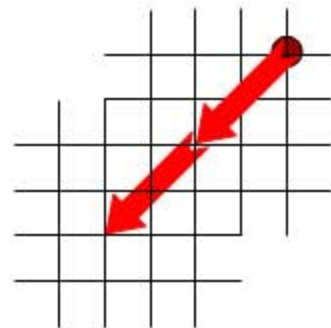


## Elágazó reakcióláncok

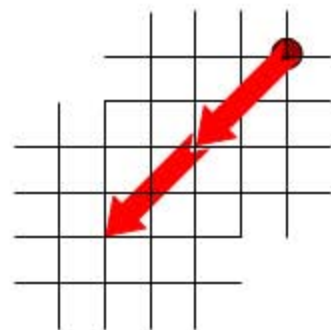




## Elágazó reakcióláncok



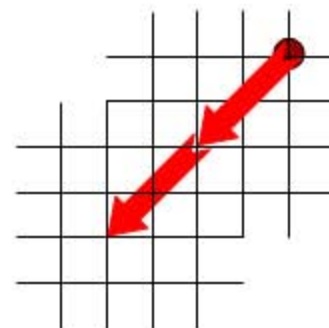
## Elágazó reakcióláncok



$\alpha$  -bomlások



# Elágazó reakcióláncok



$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások



## Elágazó reakcióláncok

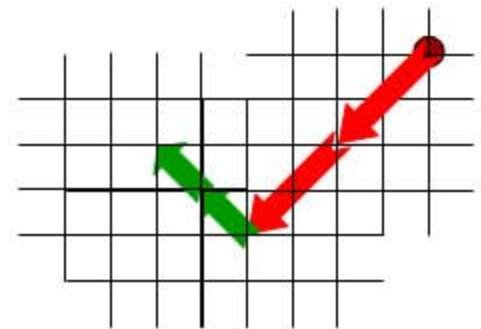


$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások



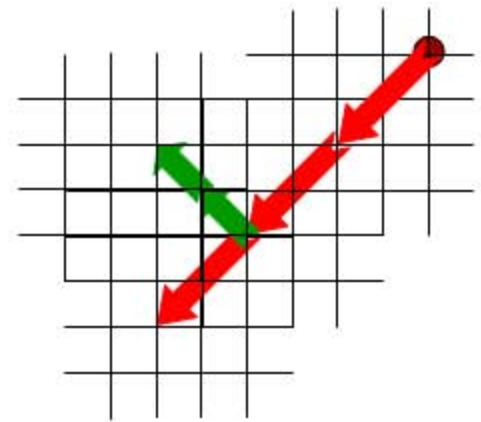
## Elágazó reakcióláncok



$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások

## Elágazó reakcióláncok

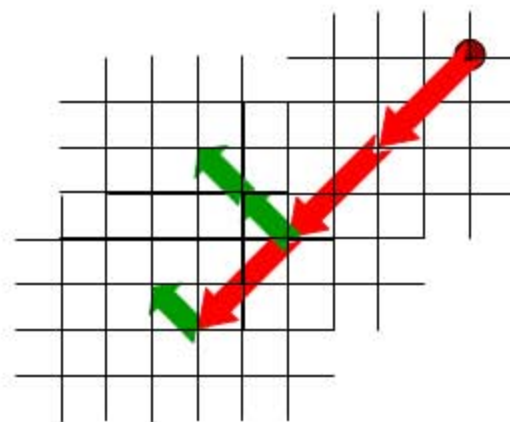


$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások



## Elágazó reakcióláncok



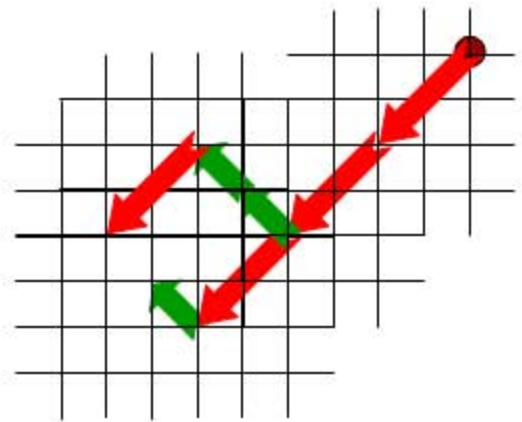
$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások





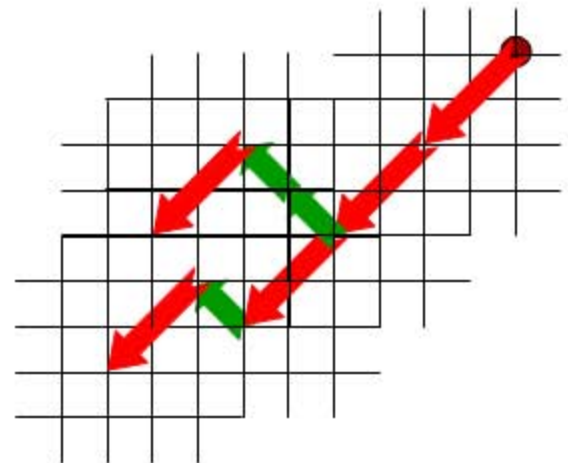
## Elágazó reakcióláncok



$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások

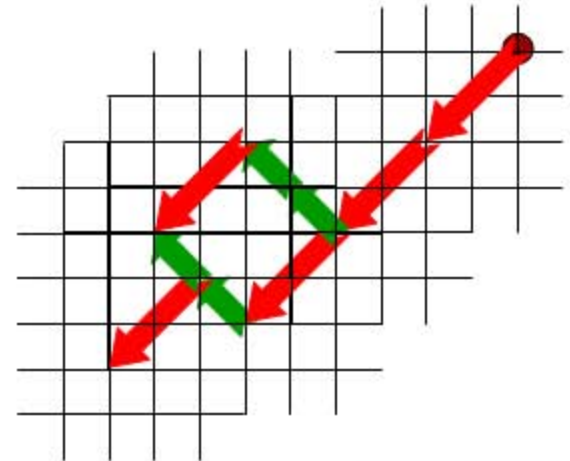
## Elágazó reakcióláncok



$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások

# Elágazó reakcióláncok

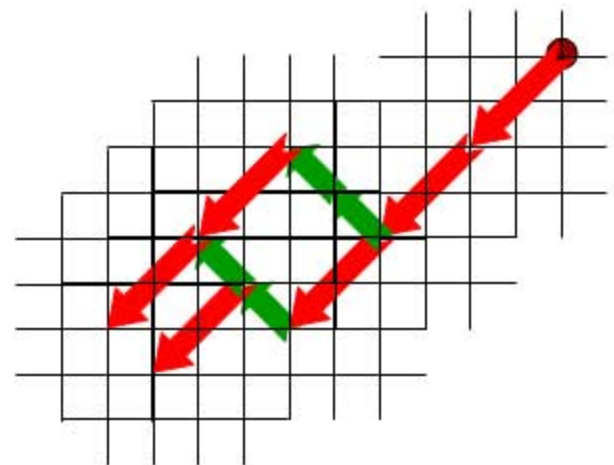


$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások



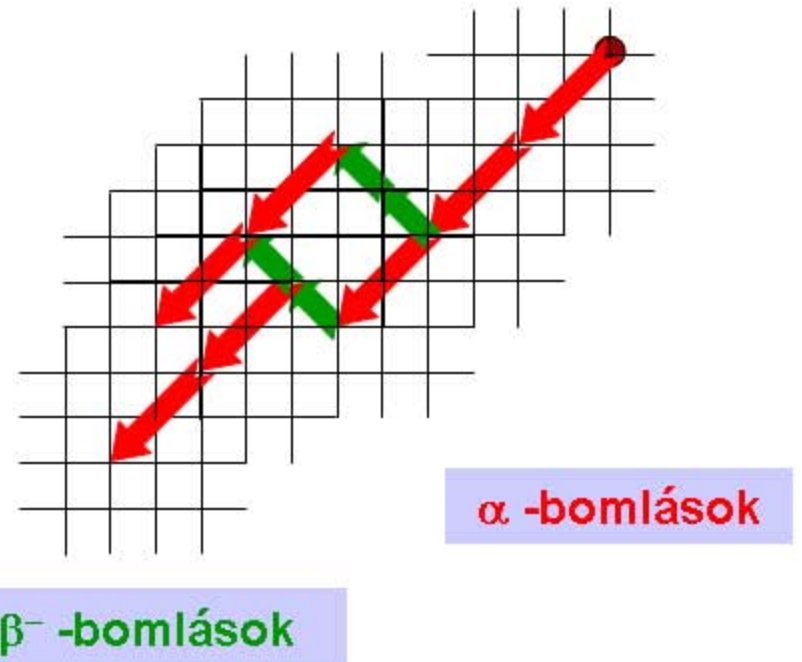
## Elágazó reakcióláncok



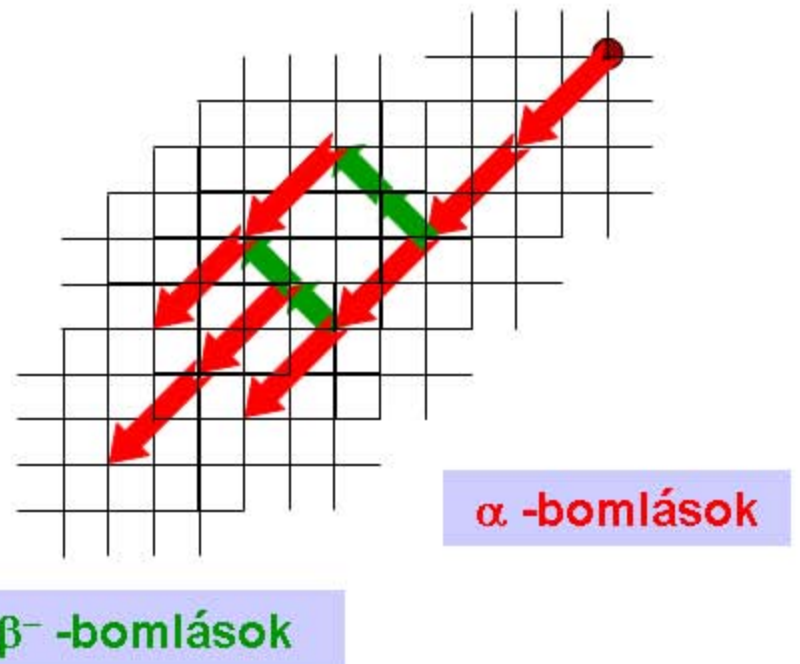
$\alpha$  -bomlások

$\beta^-$  -bomlások

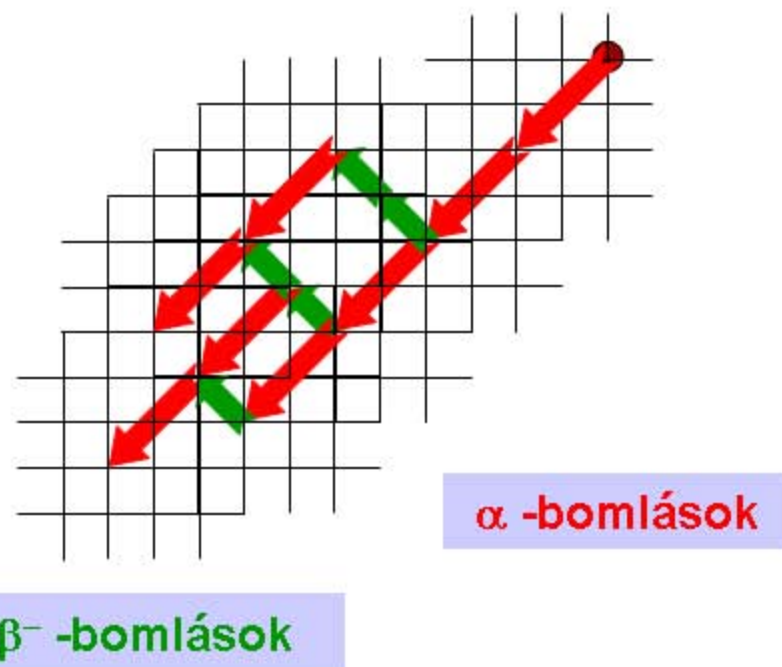
## Elágazó reakcióláncok



## Elágazó reakcióláncok

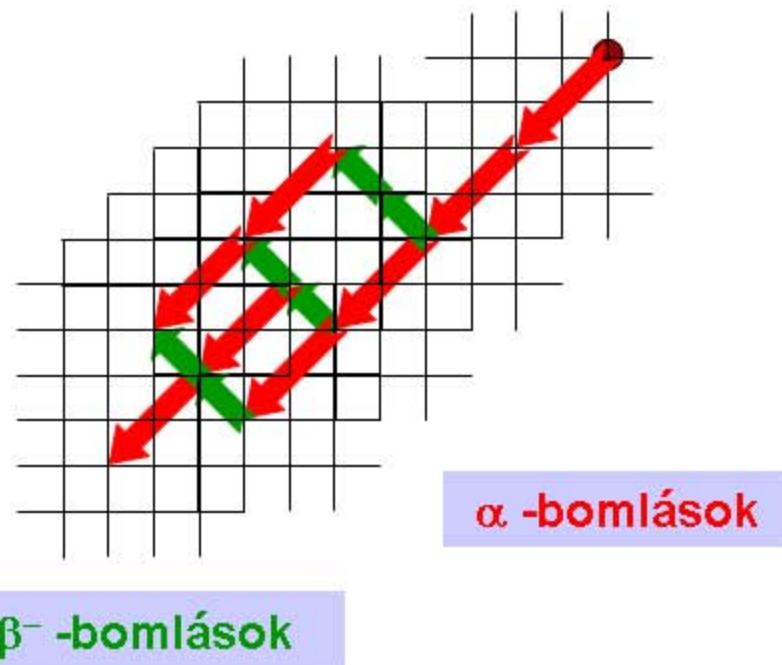


## Elágazó reakcióláncok

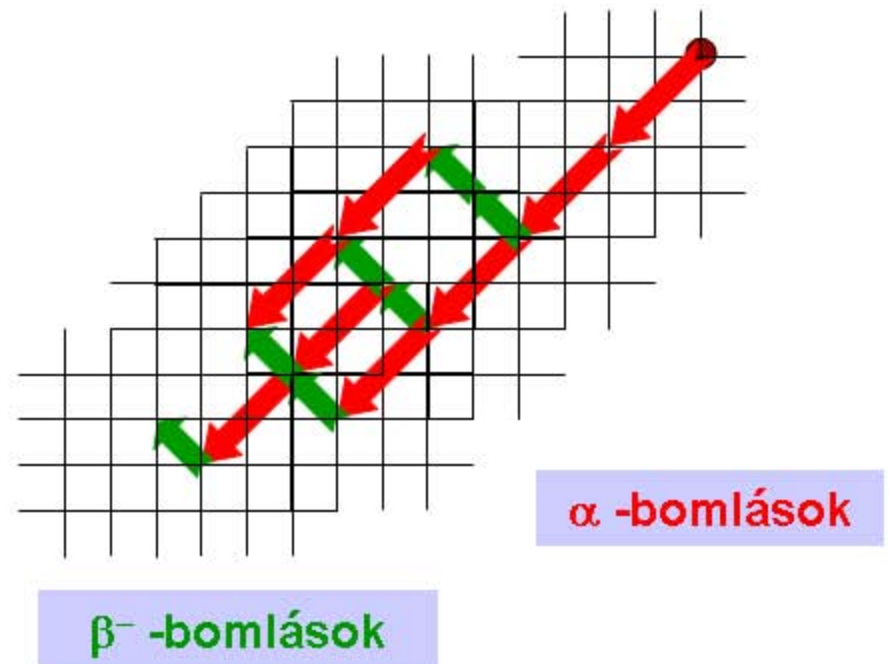




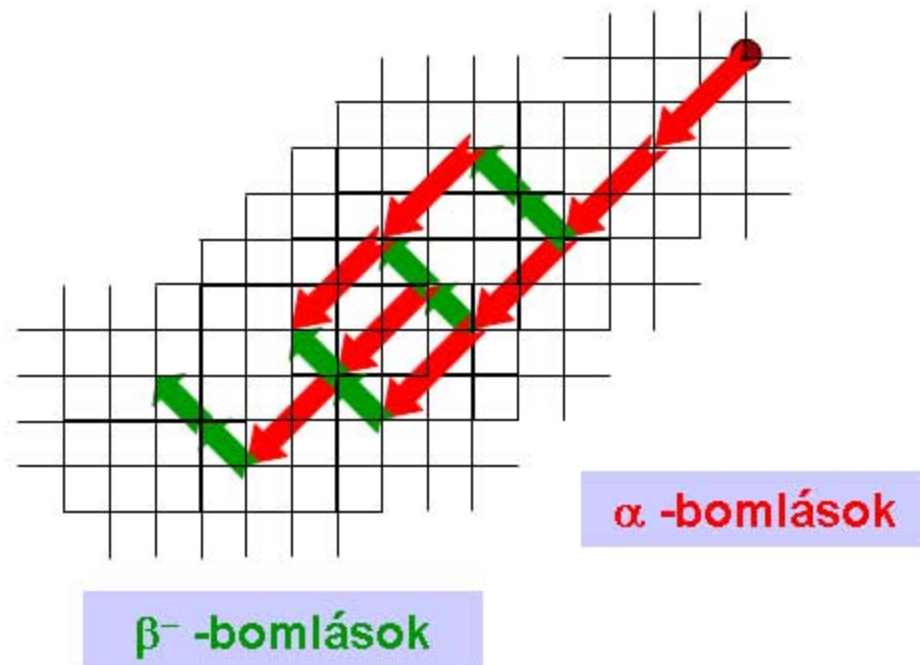
# Elágazó reakcióláncok



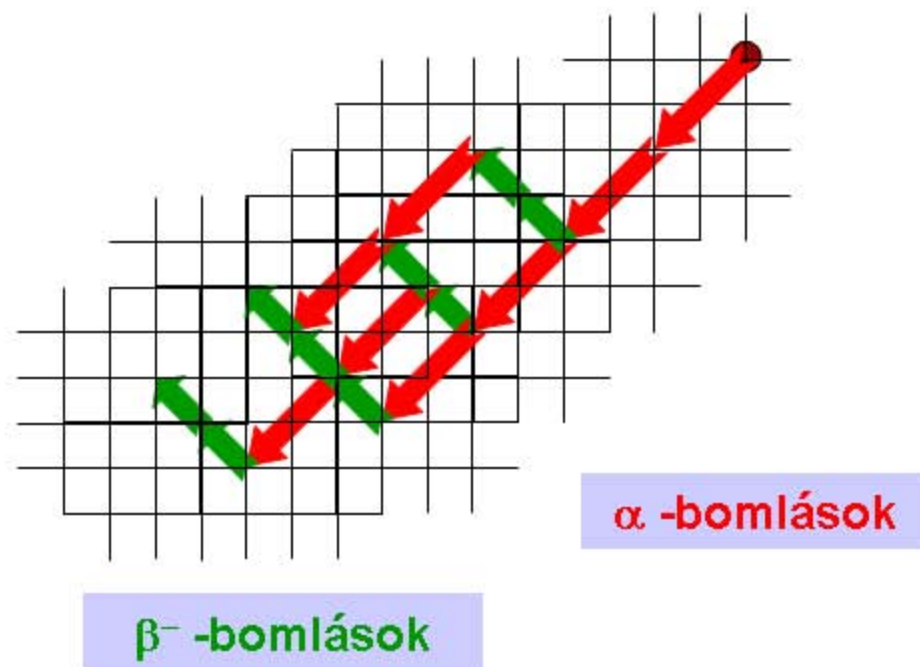
## Elágazó reakcióláncok



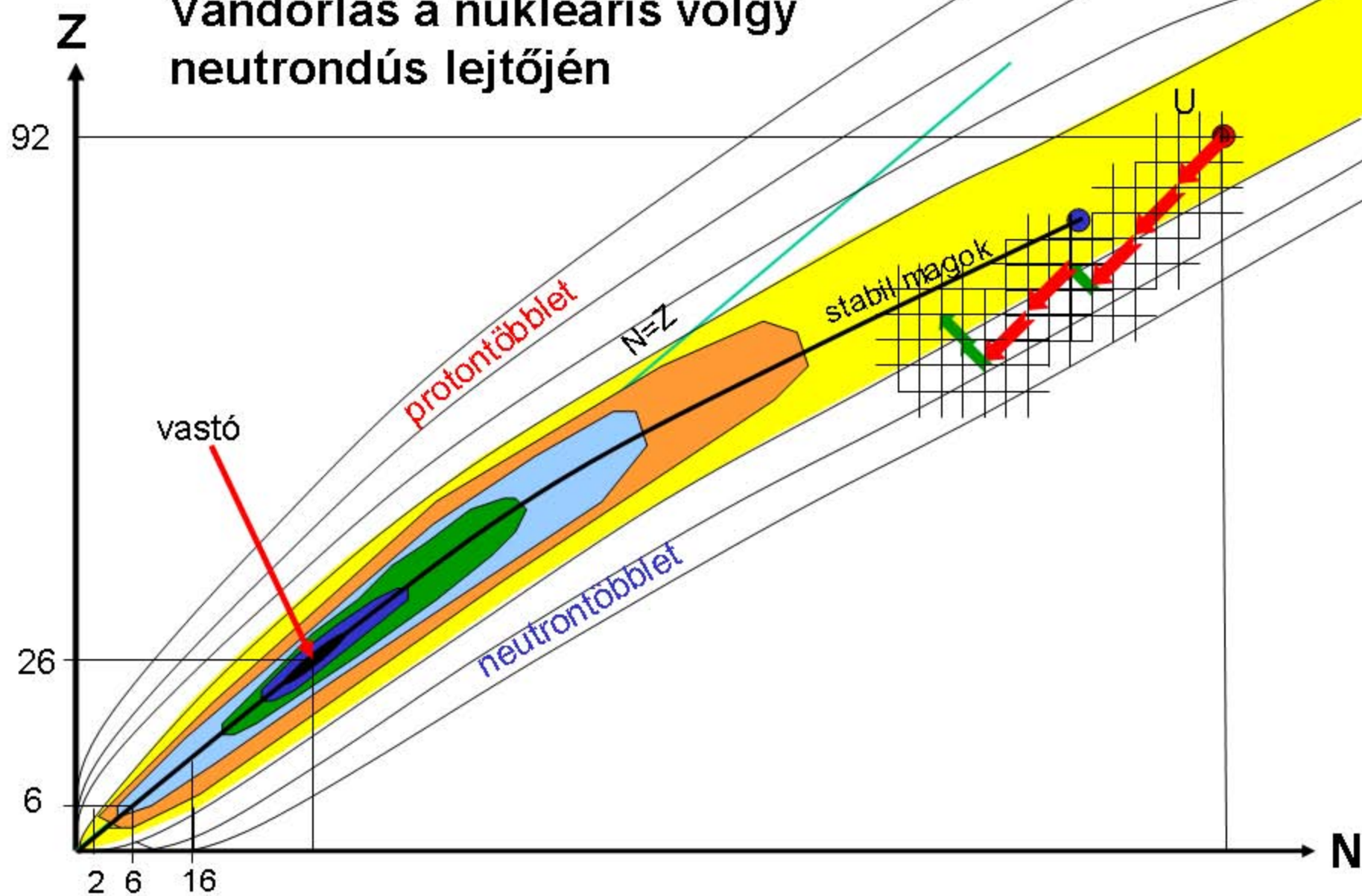
## Elágazó reakcióláncok



## Elágazó reakcióláncok



# Vándorlás a nukleáris völgy neutronsúlyos lejtőjén



# Drasztikus magátalakulás:



# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**



# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!

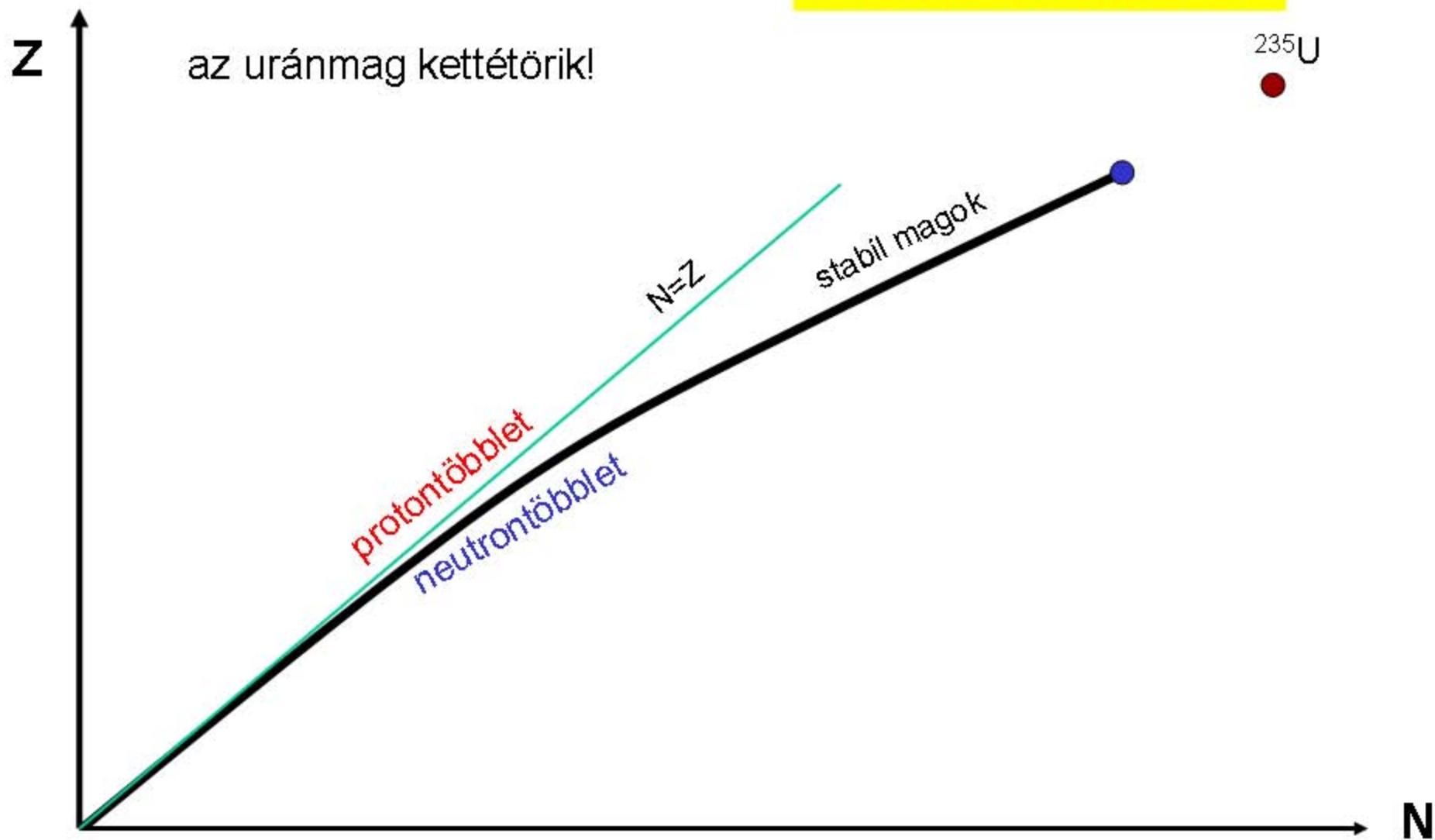




# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

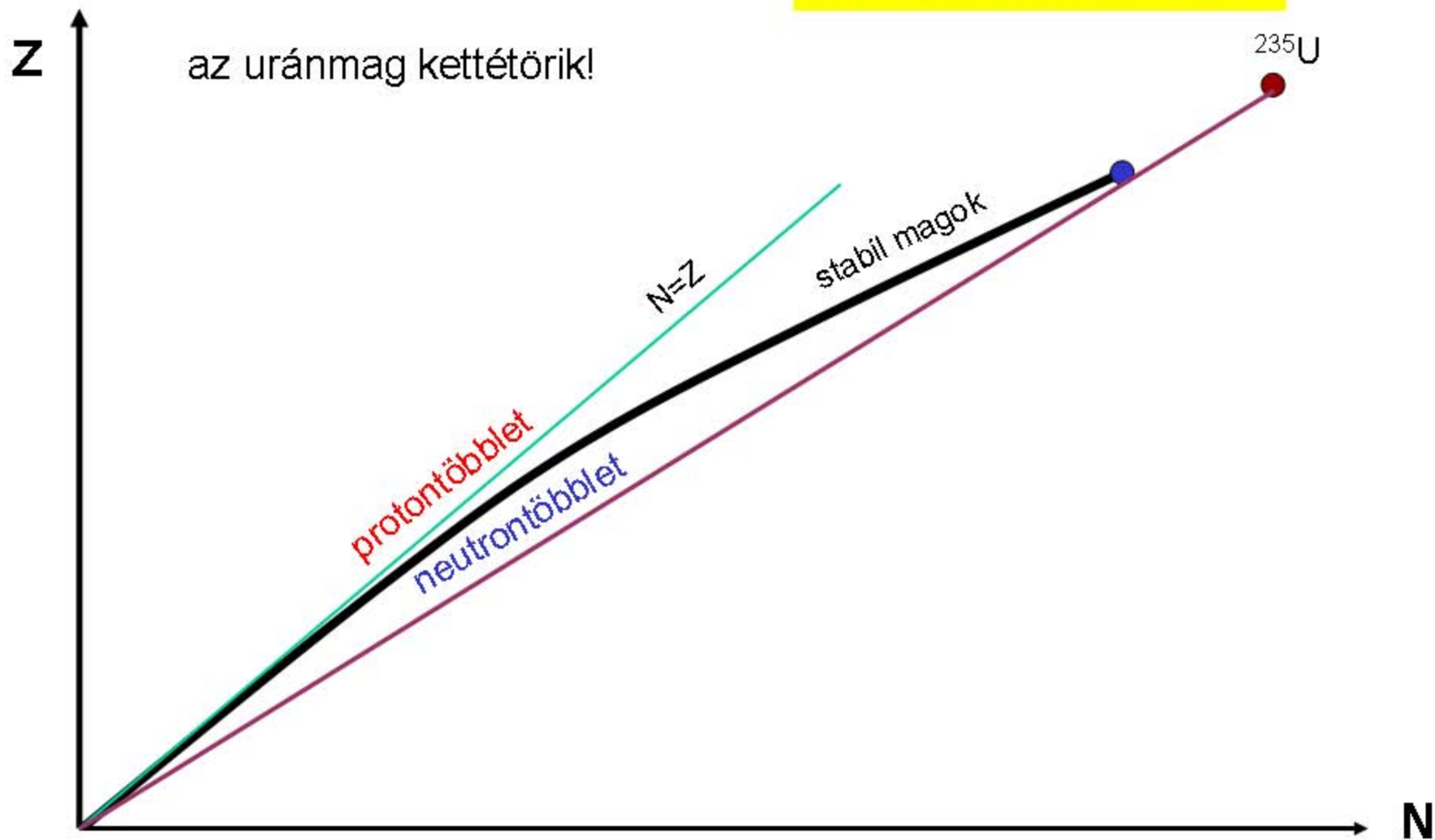
az uránmag kettétörik!

$^{235}\text{U}$



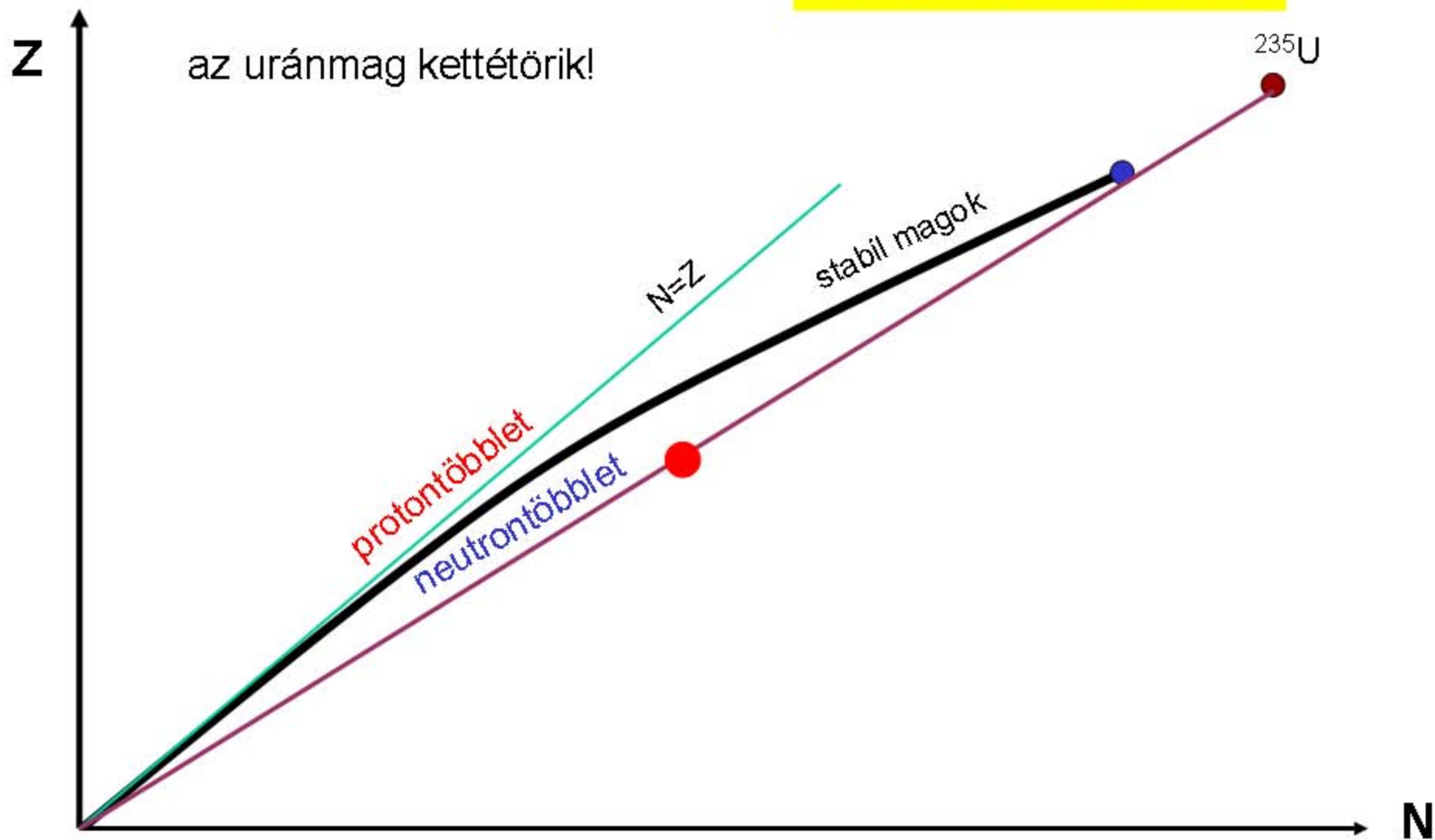
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!



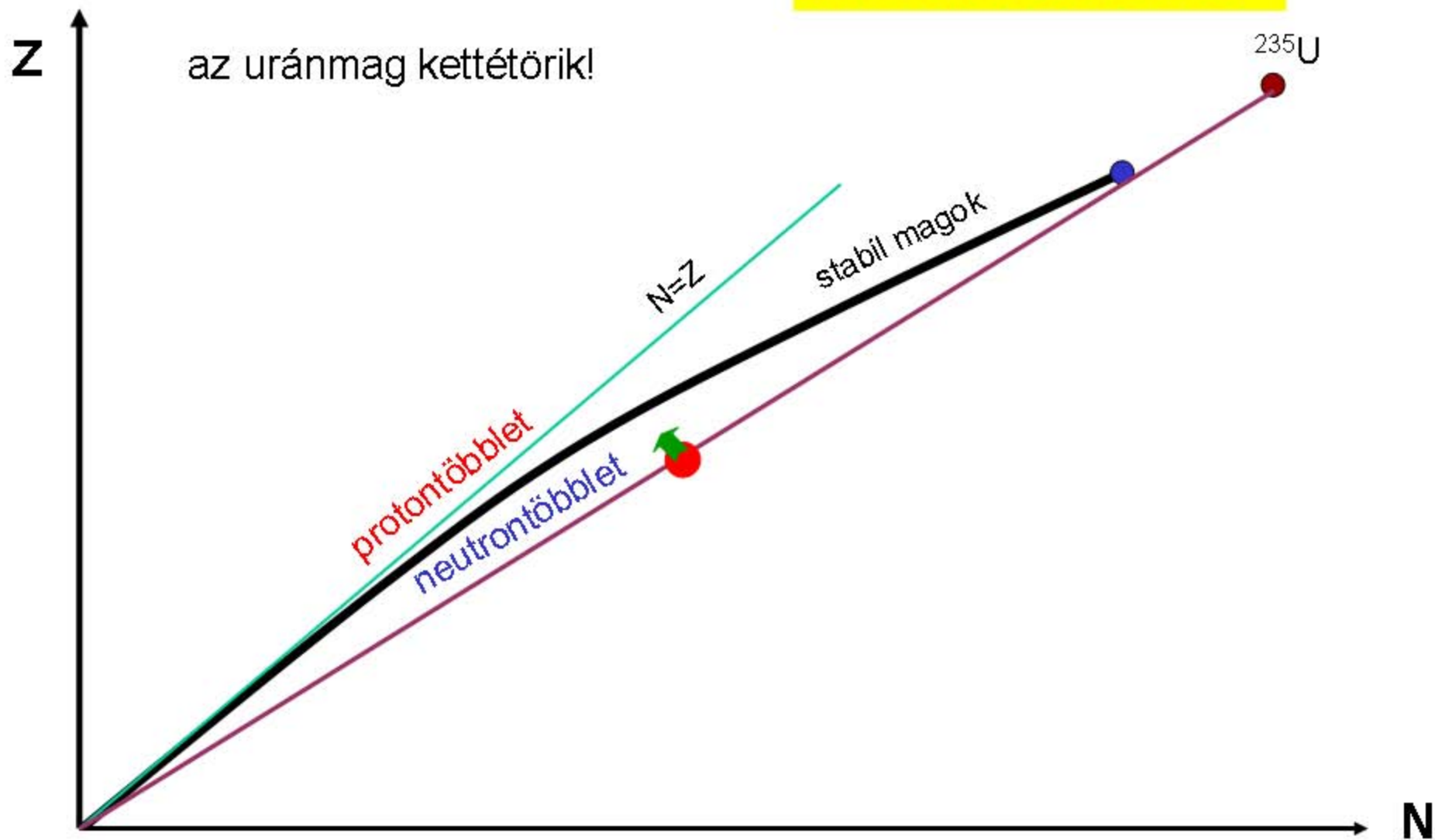
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!



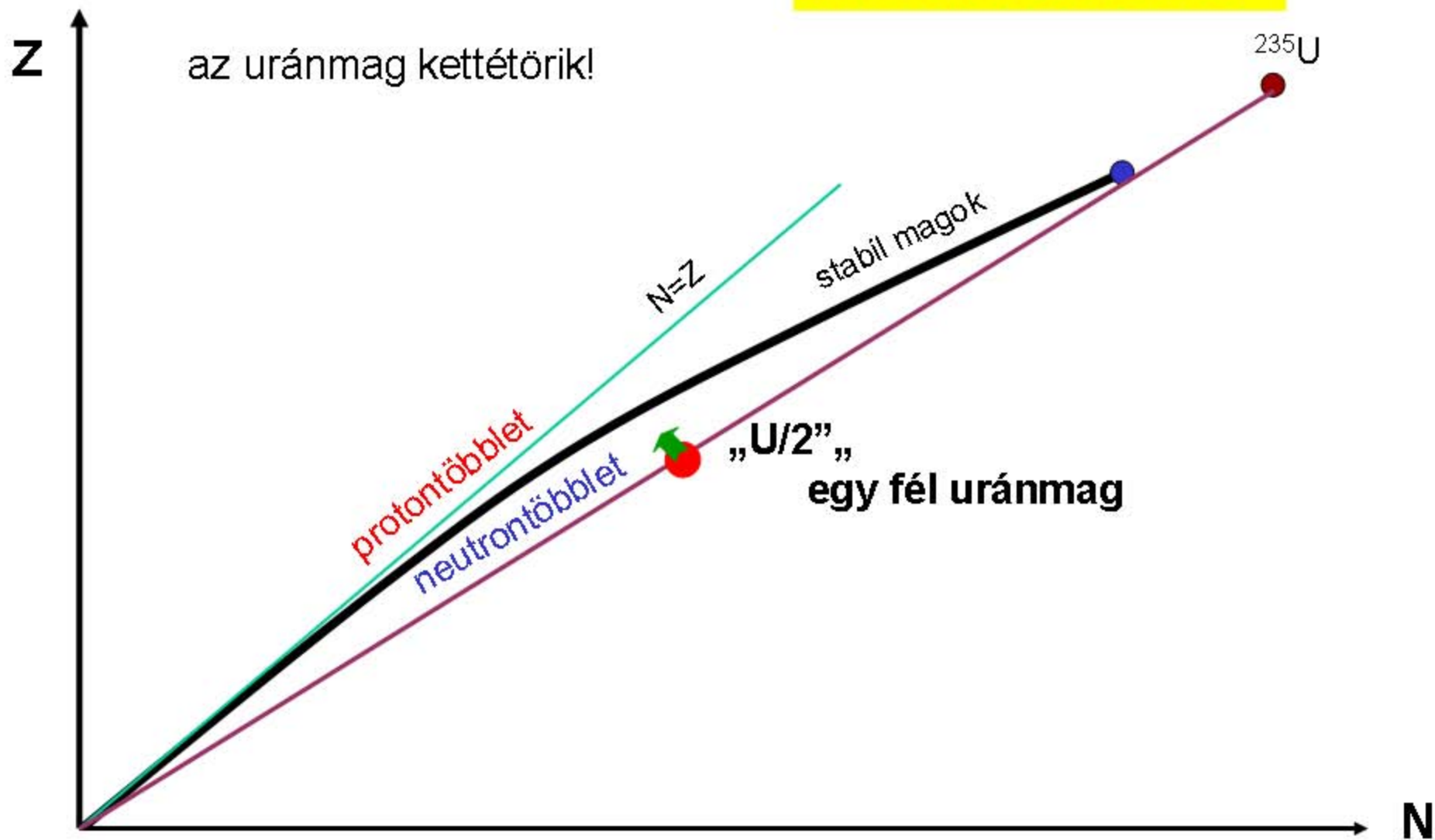
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!



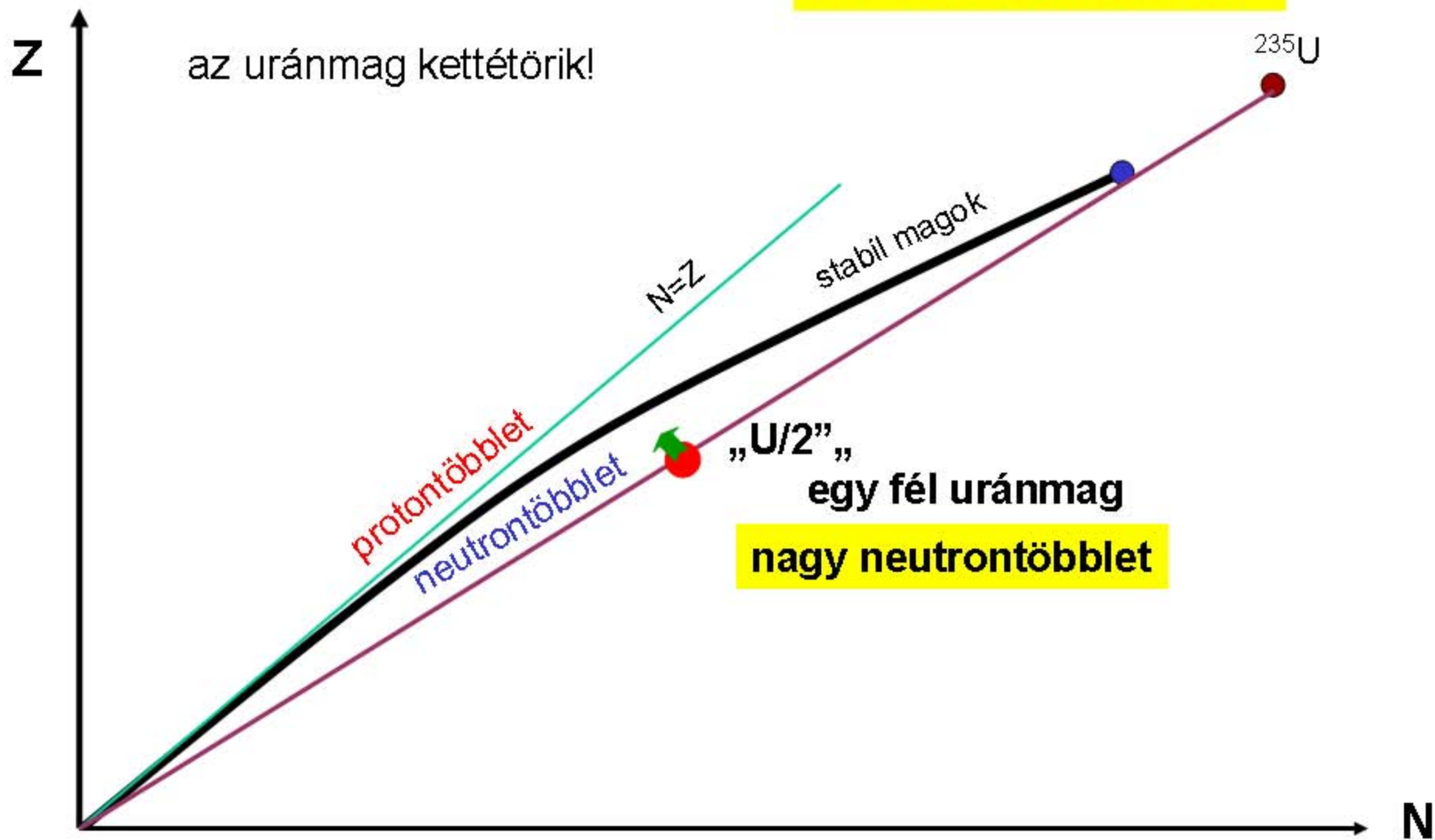
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!



# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

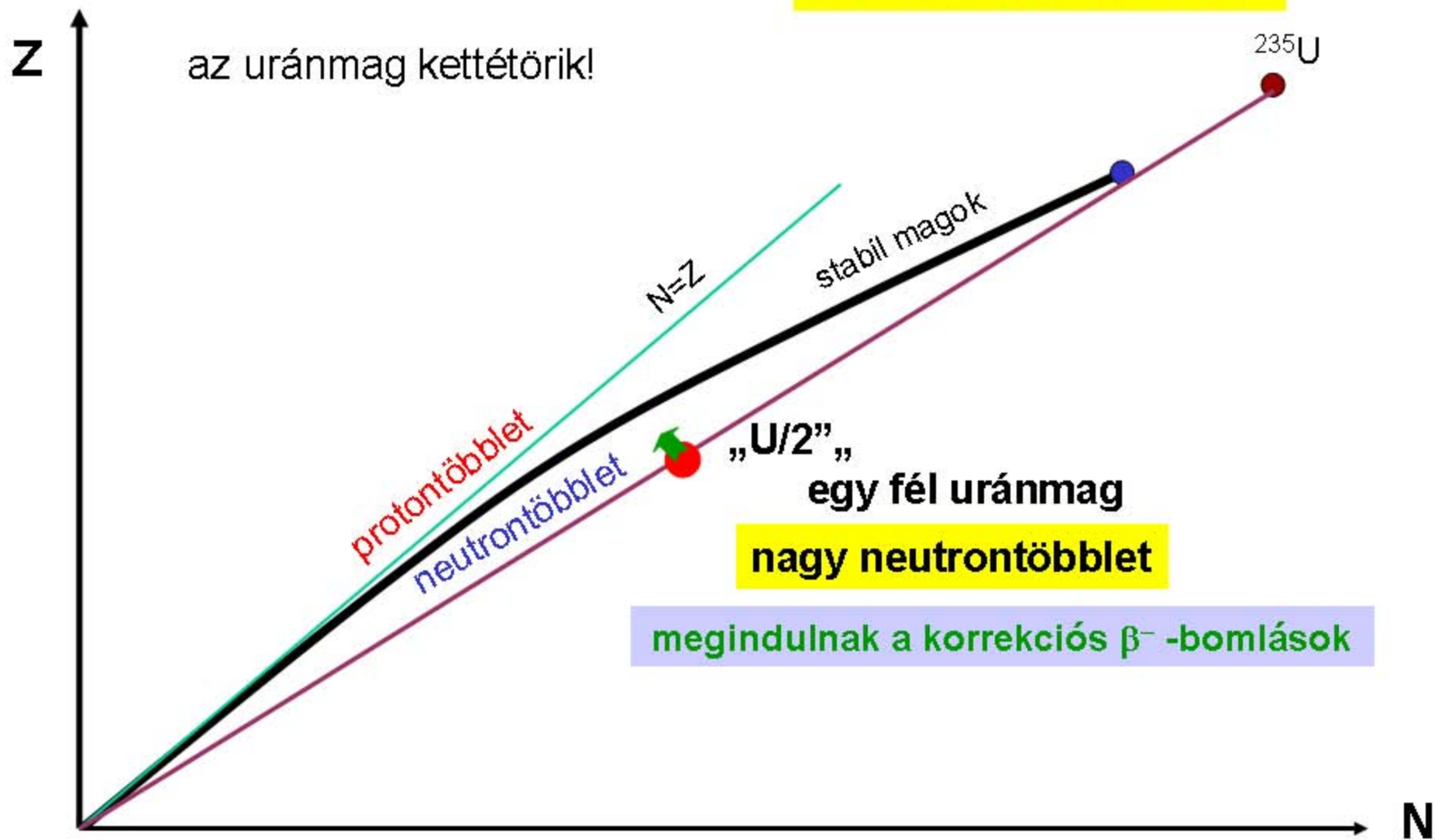
az uránmag kettétörik!





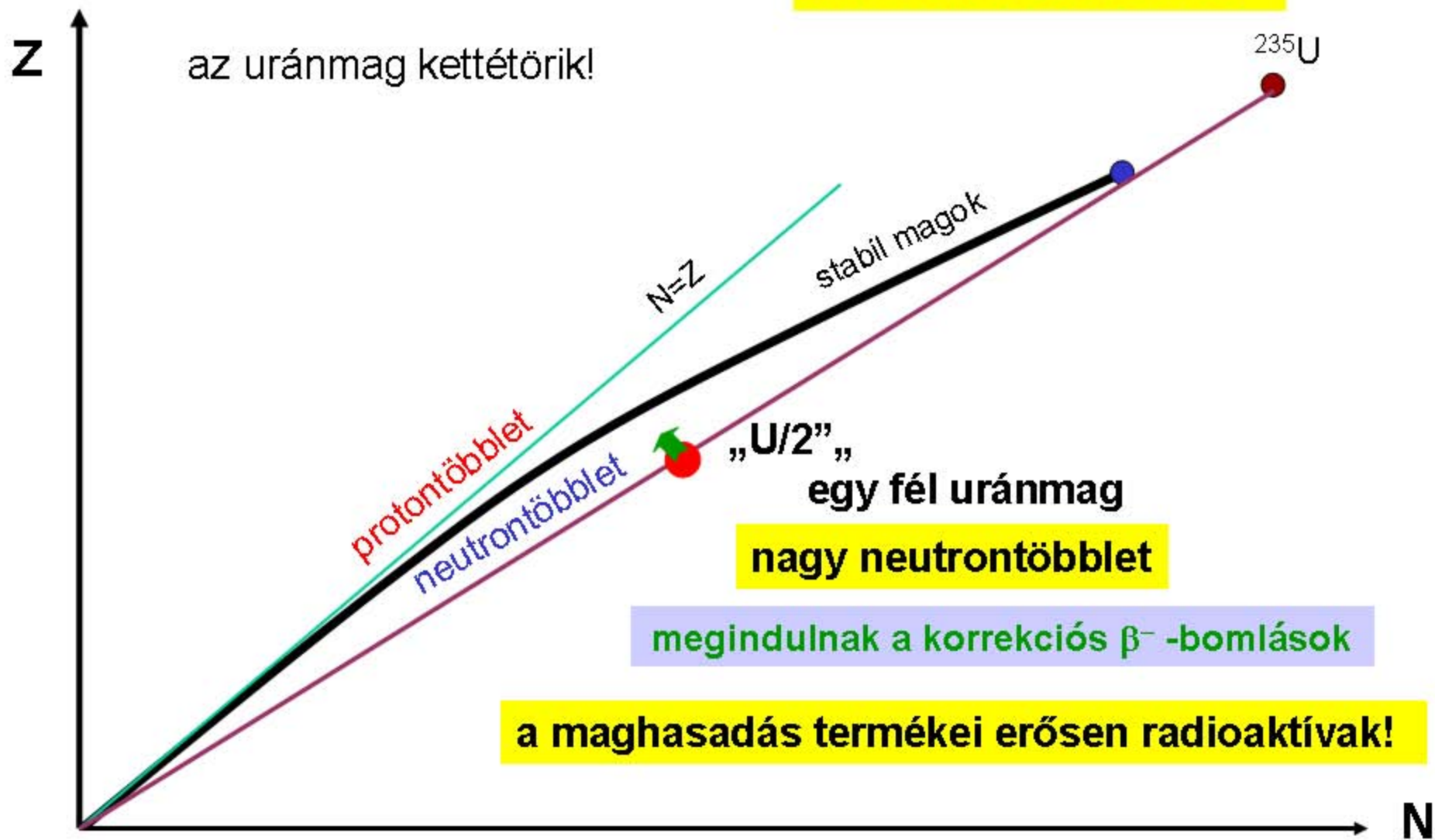
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

az uránmag kettétörik!

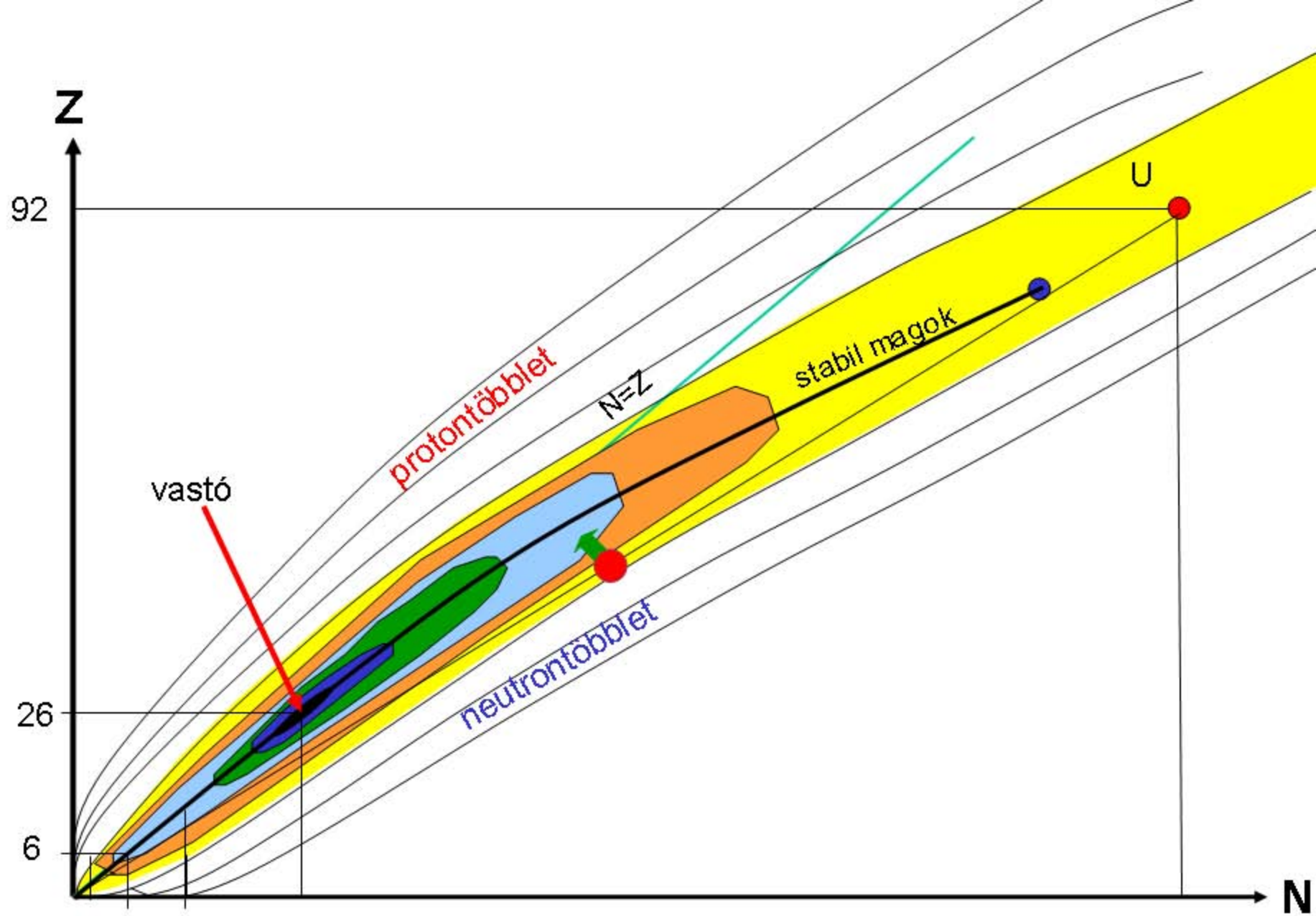


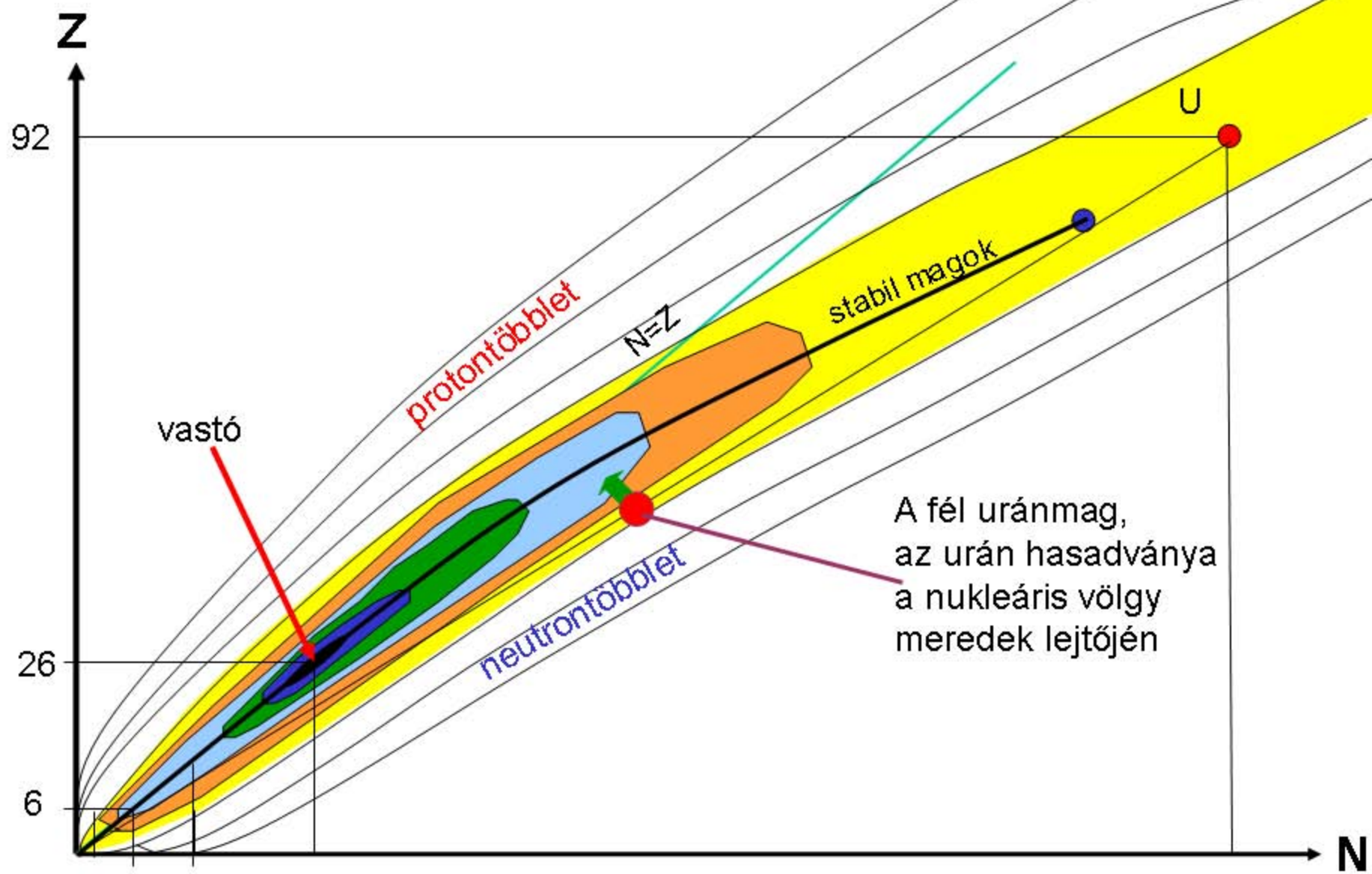
# Drasztikus magátalakulás: **MAGHASADÁS**

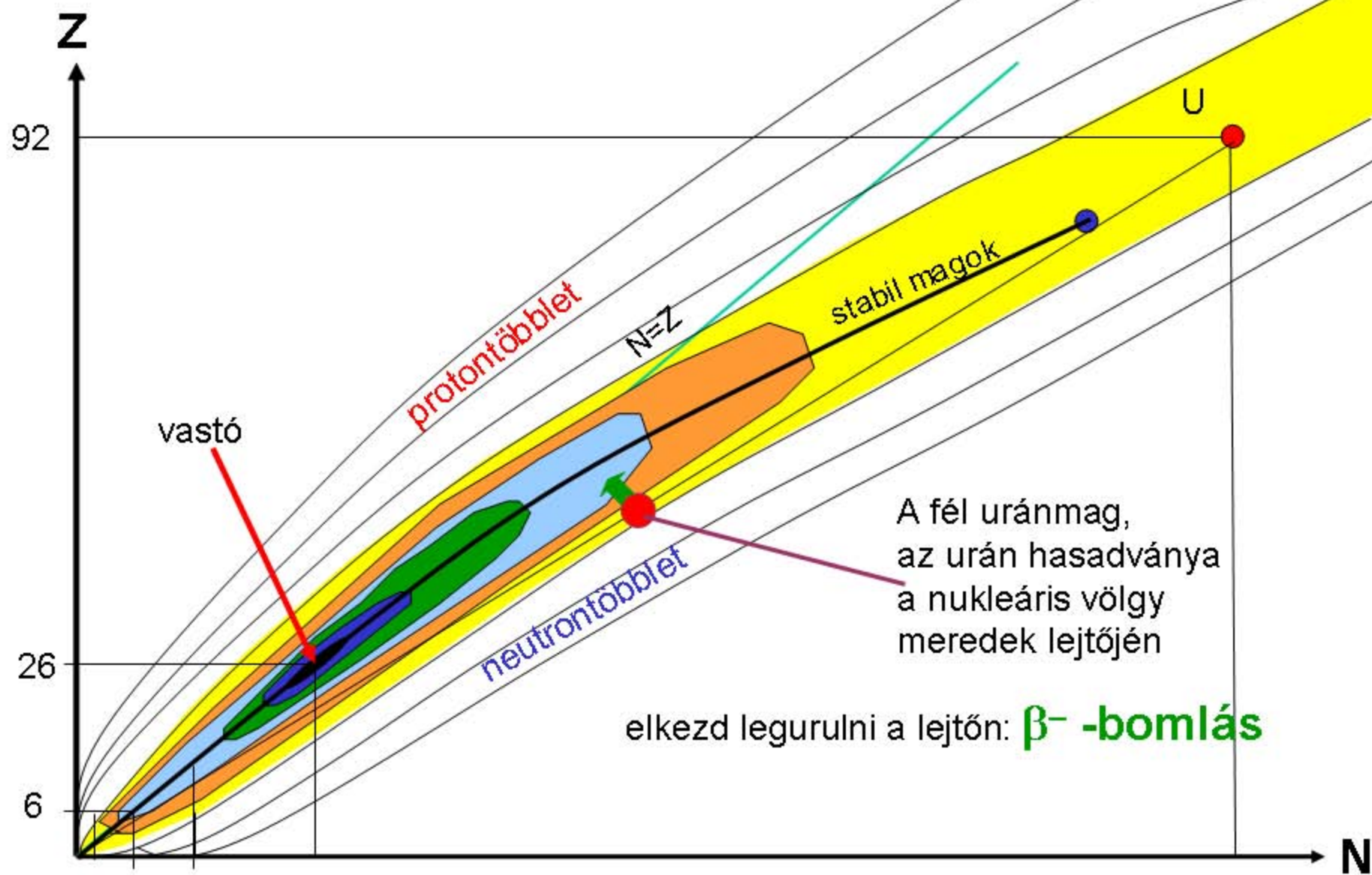
az uránmag kettétörlik!



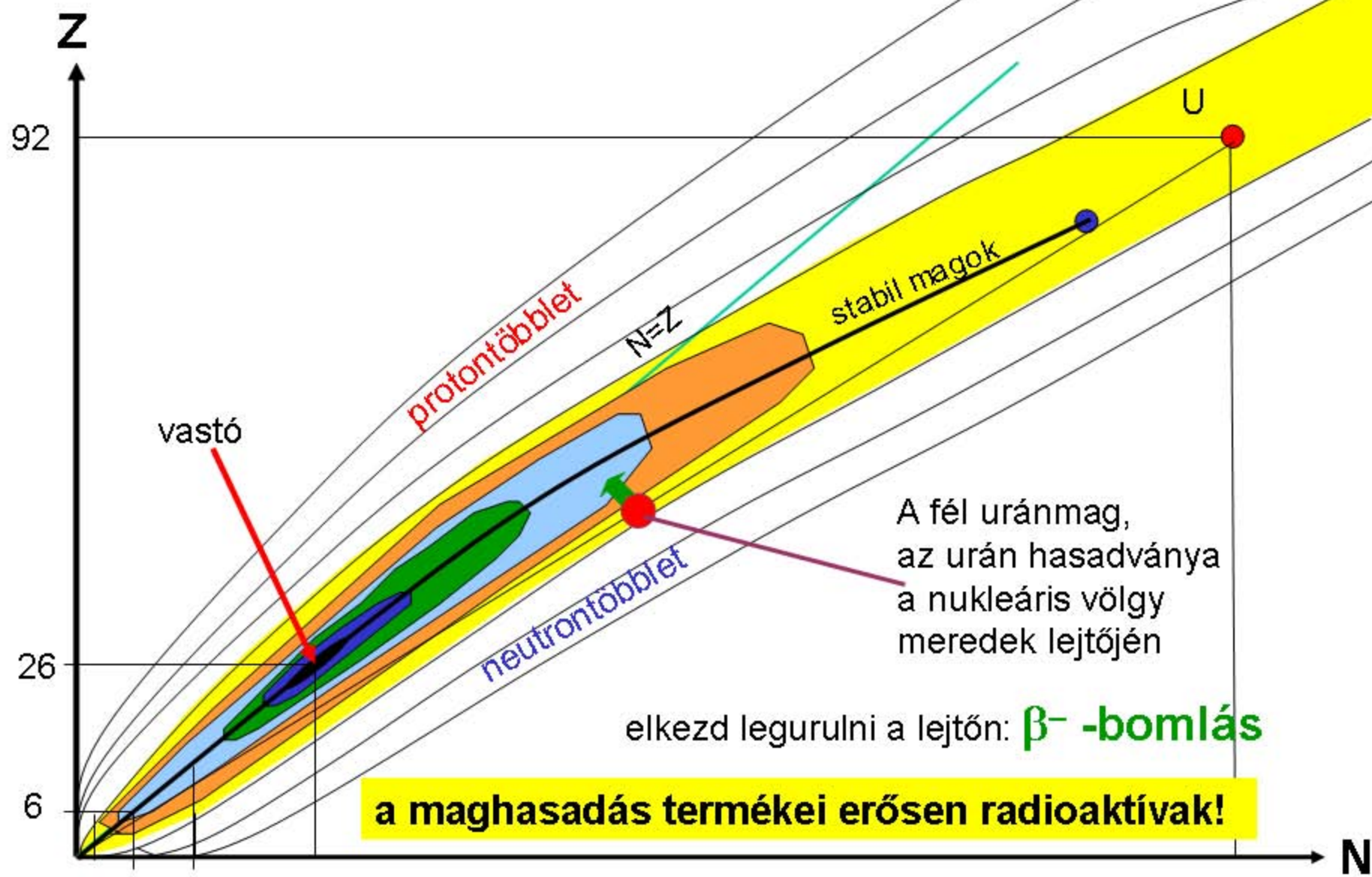








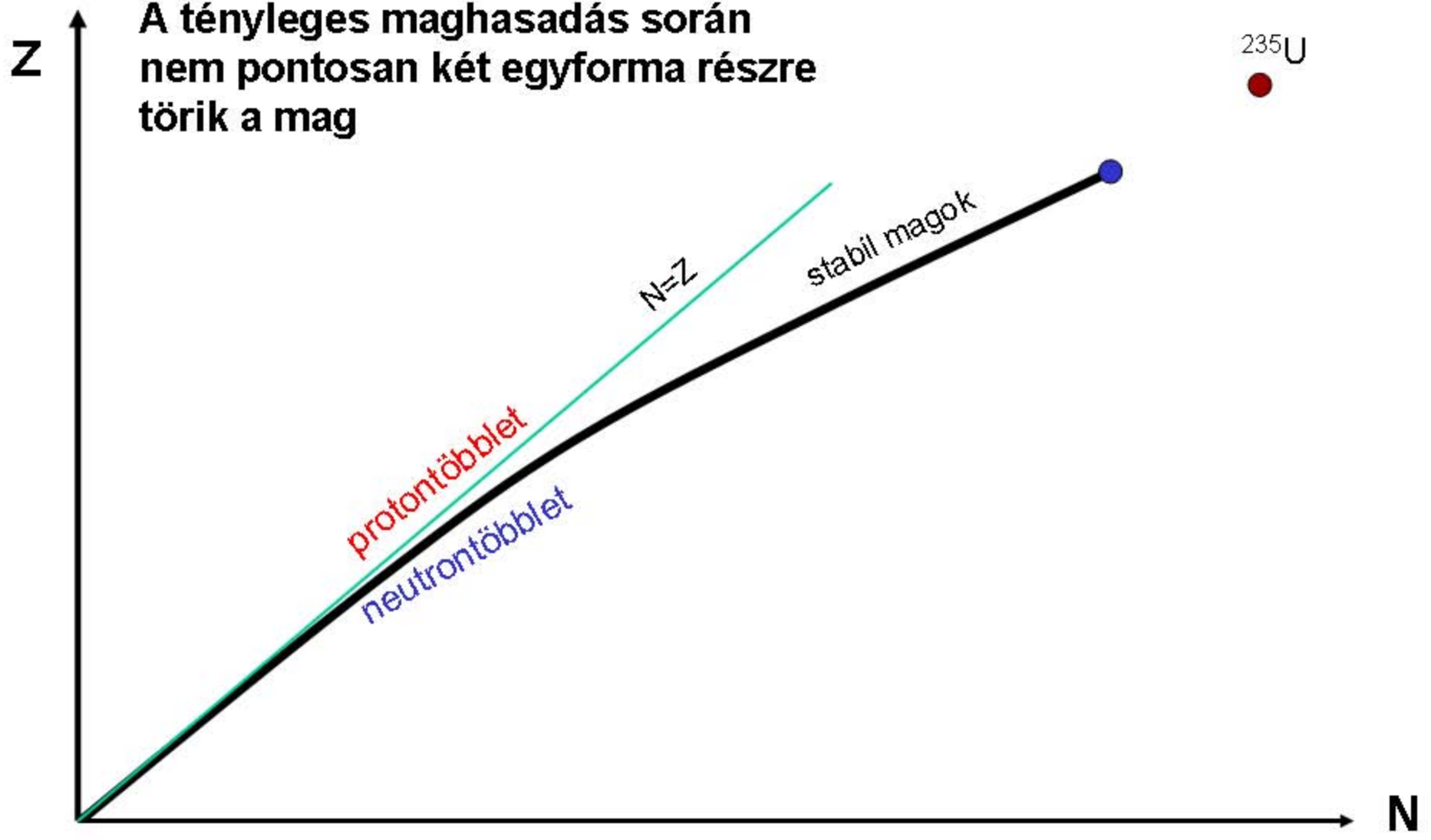




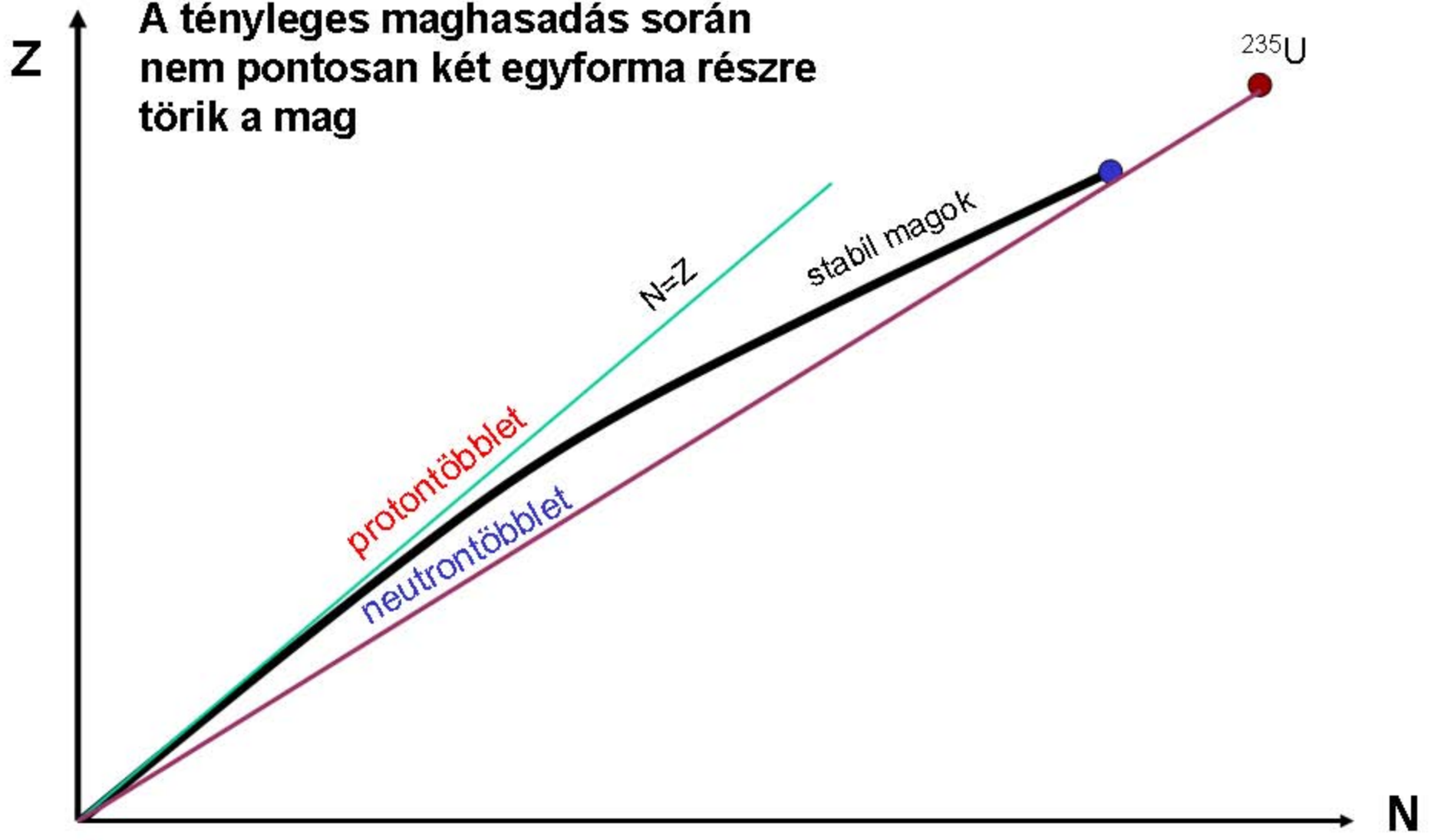
**A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag**



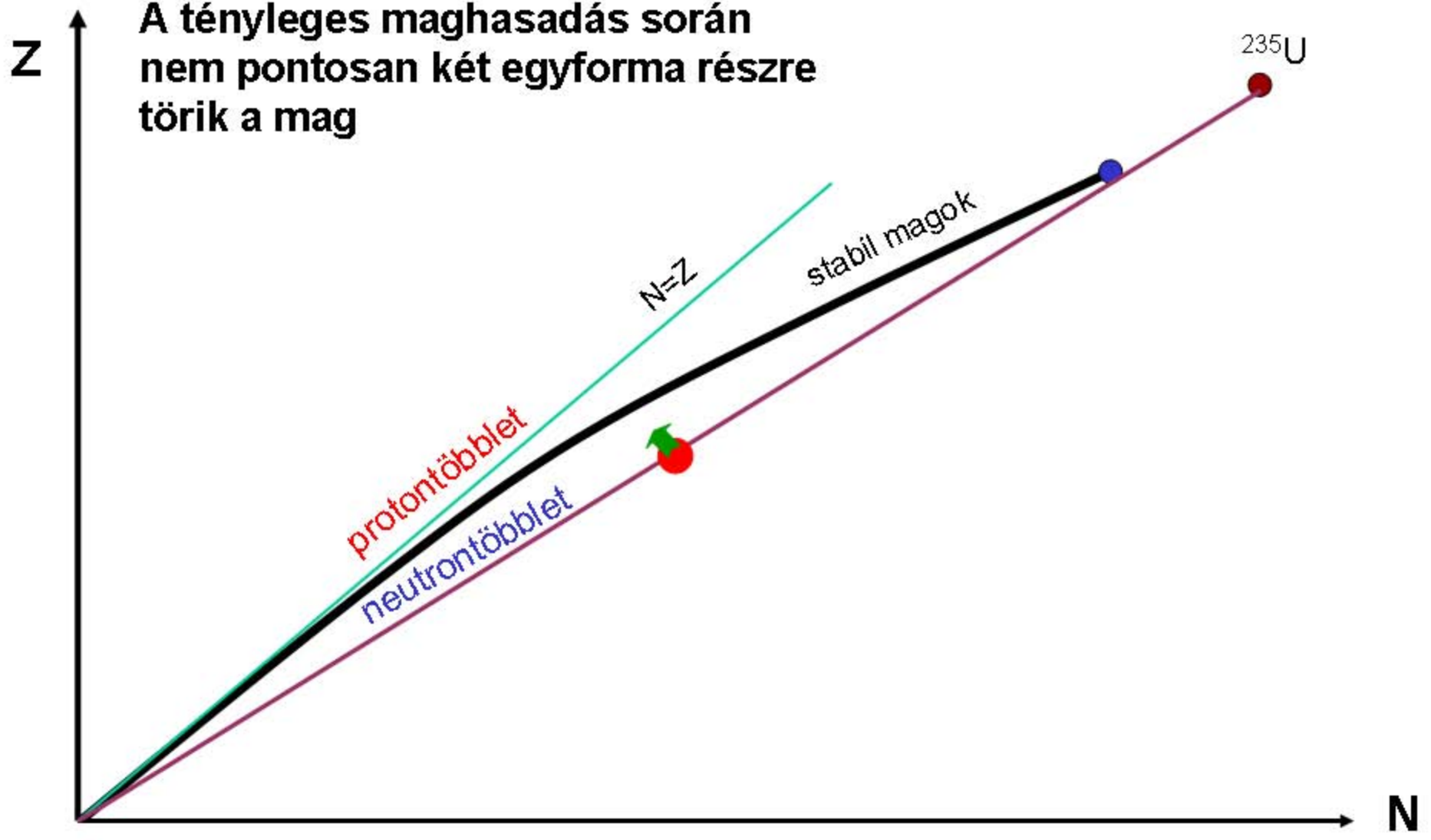
A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag



A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag

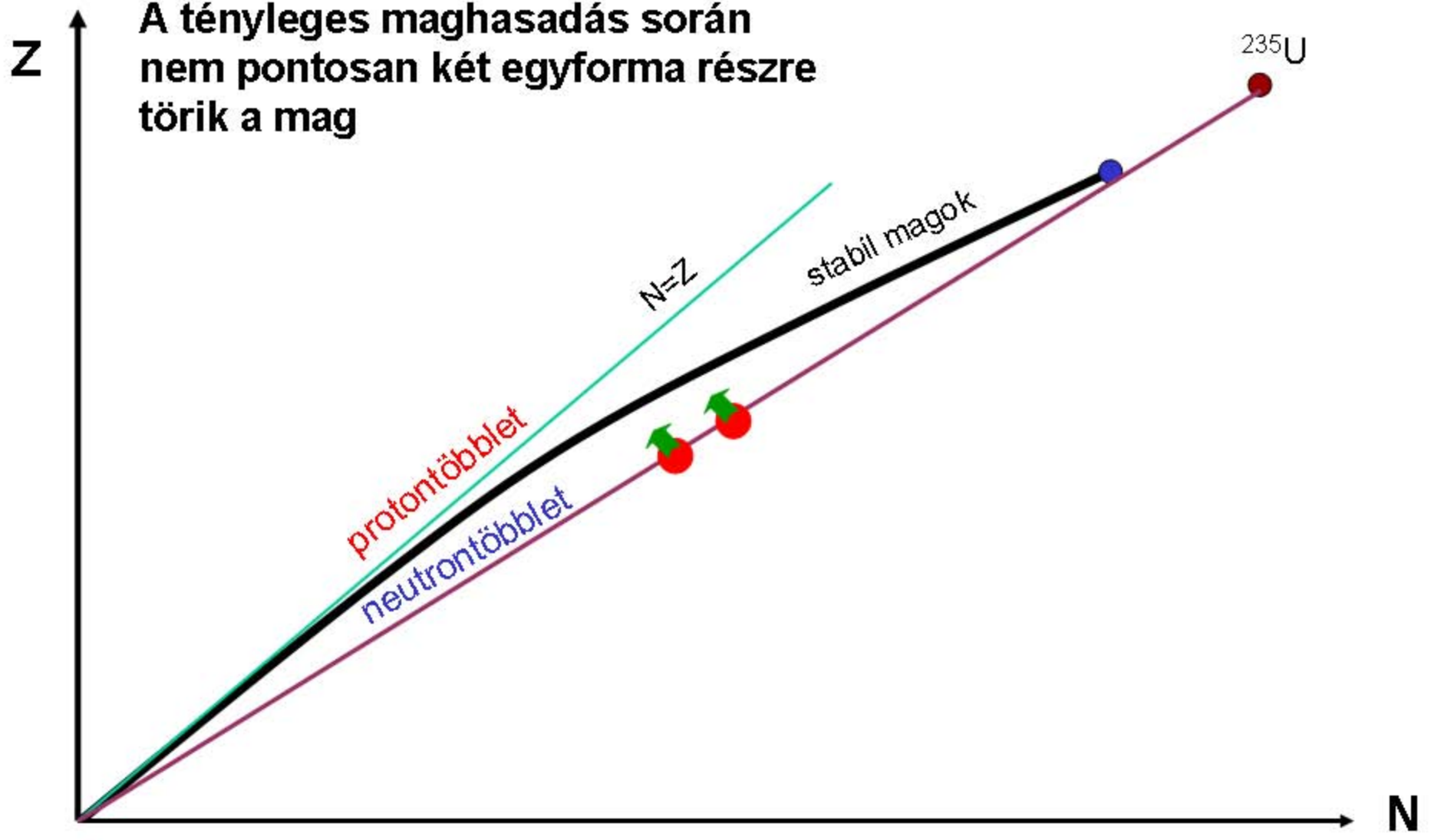


A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag

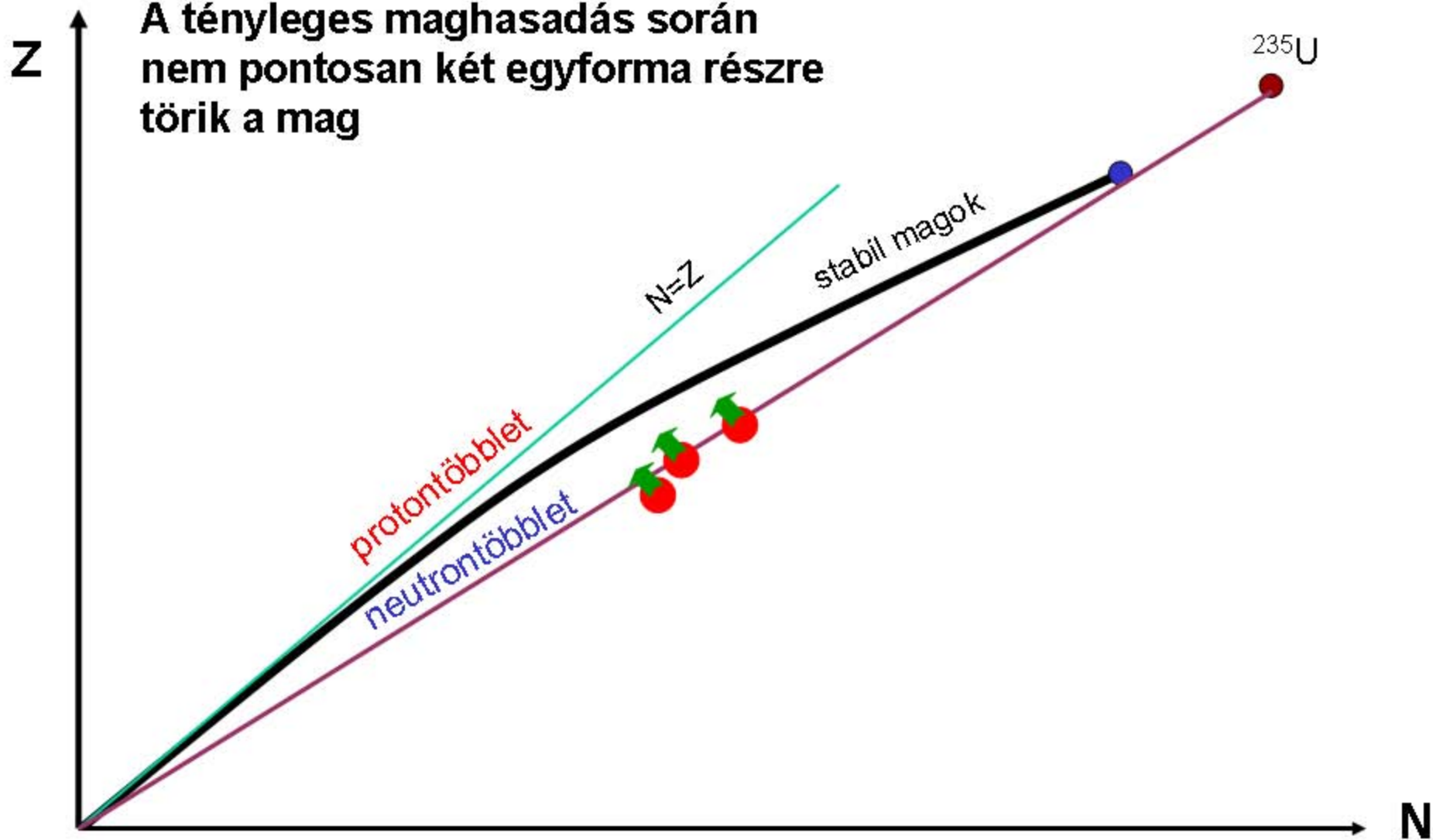




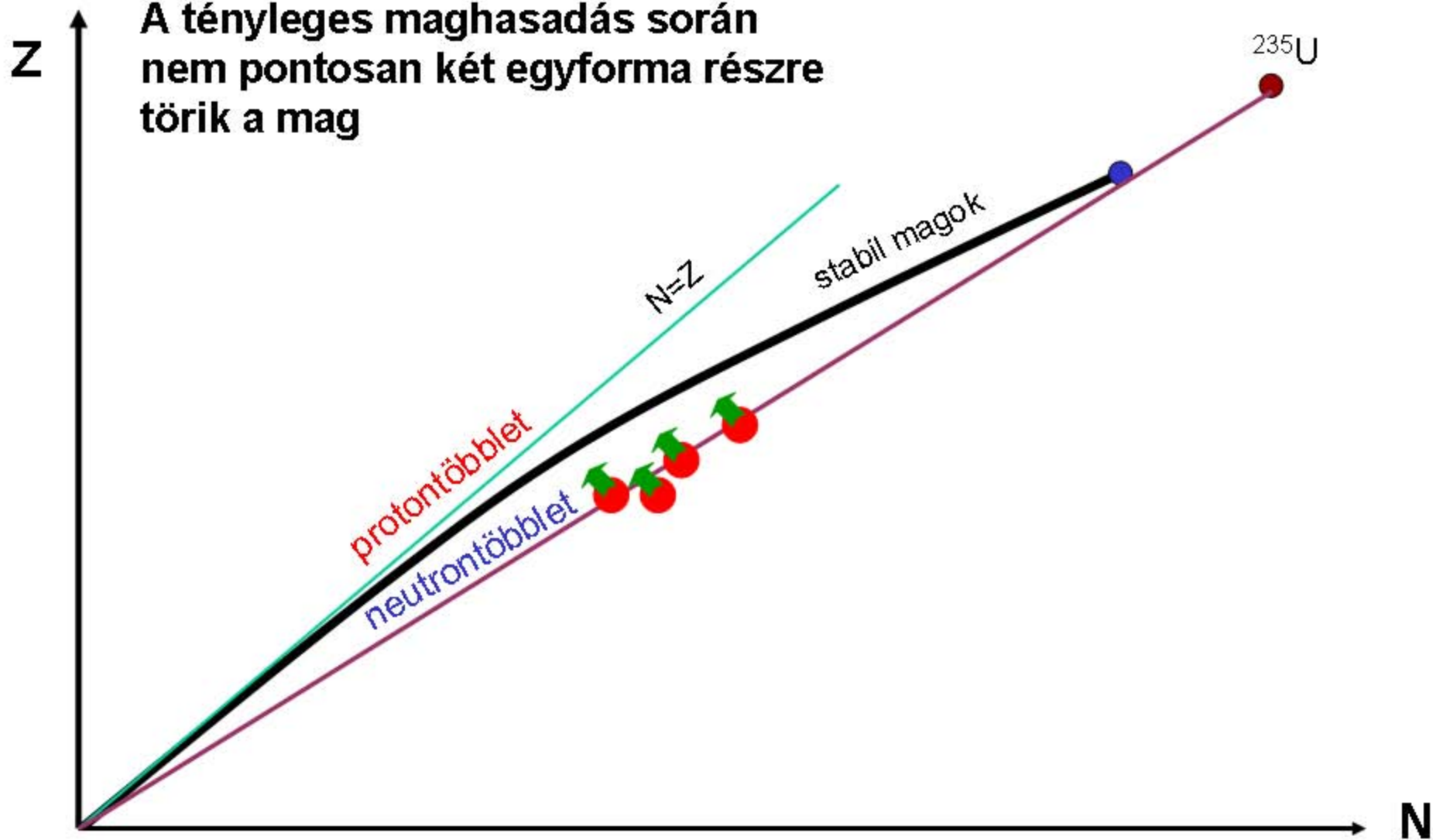
A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag



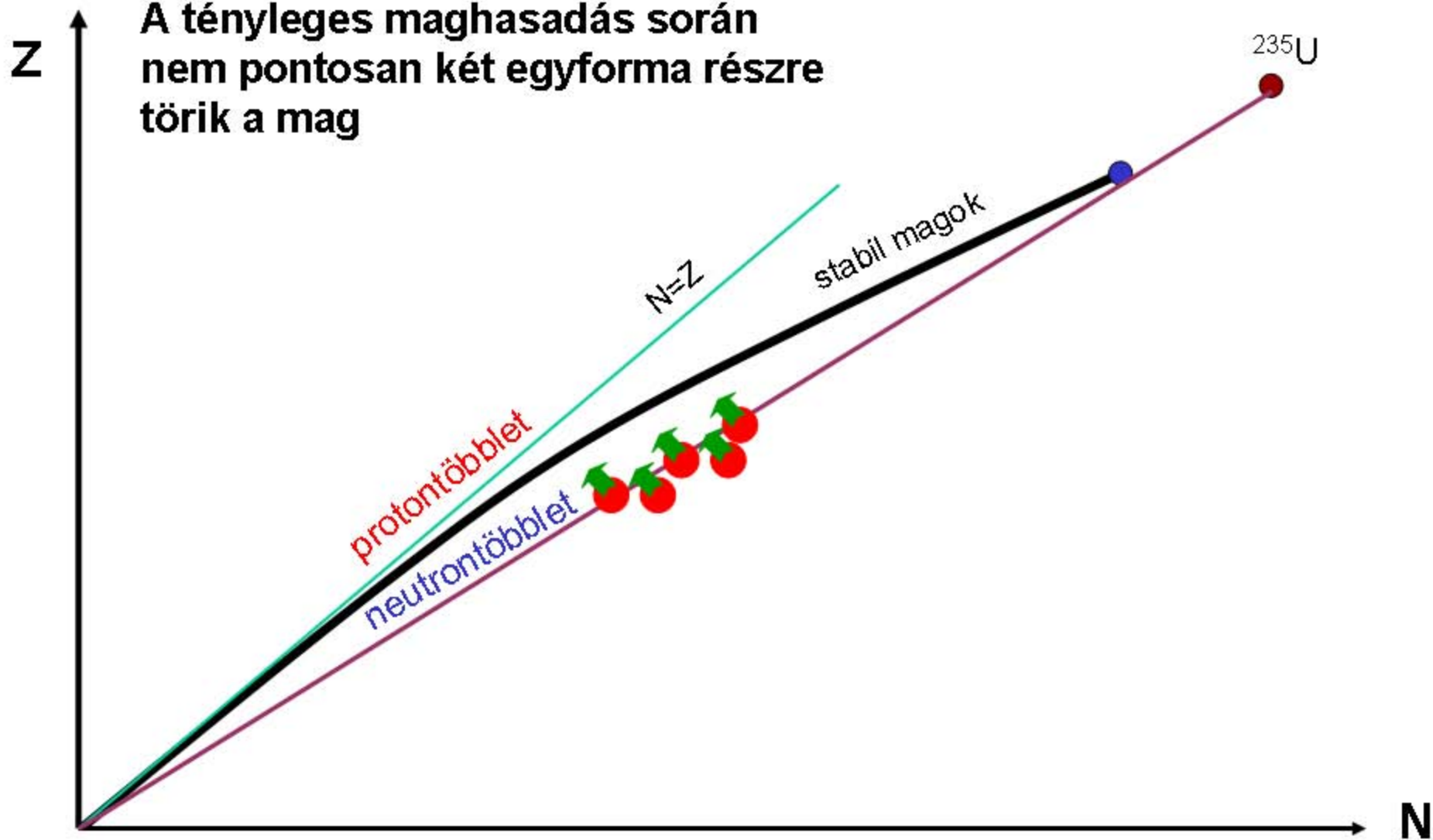
A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag



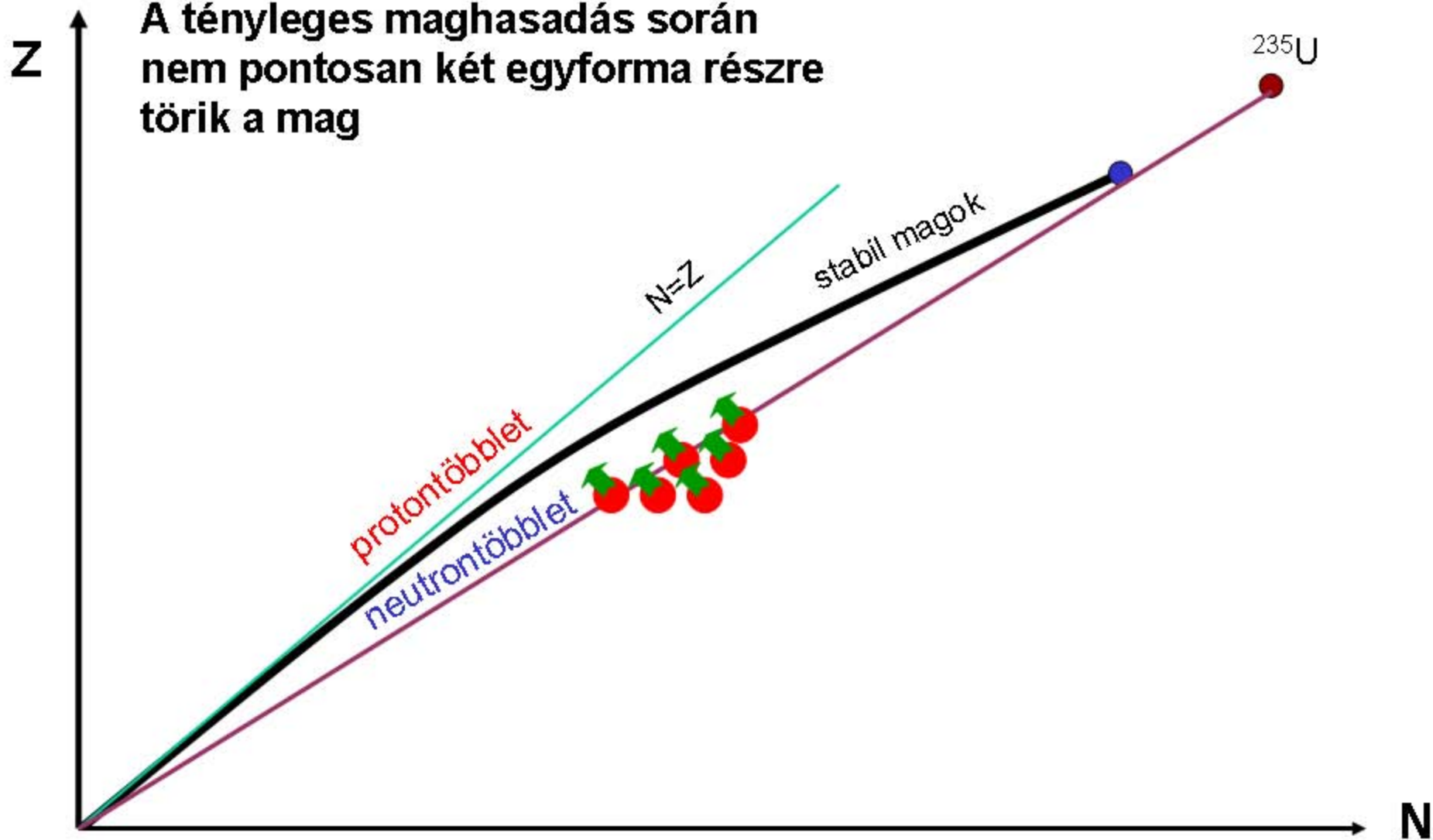
A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag

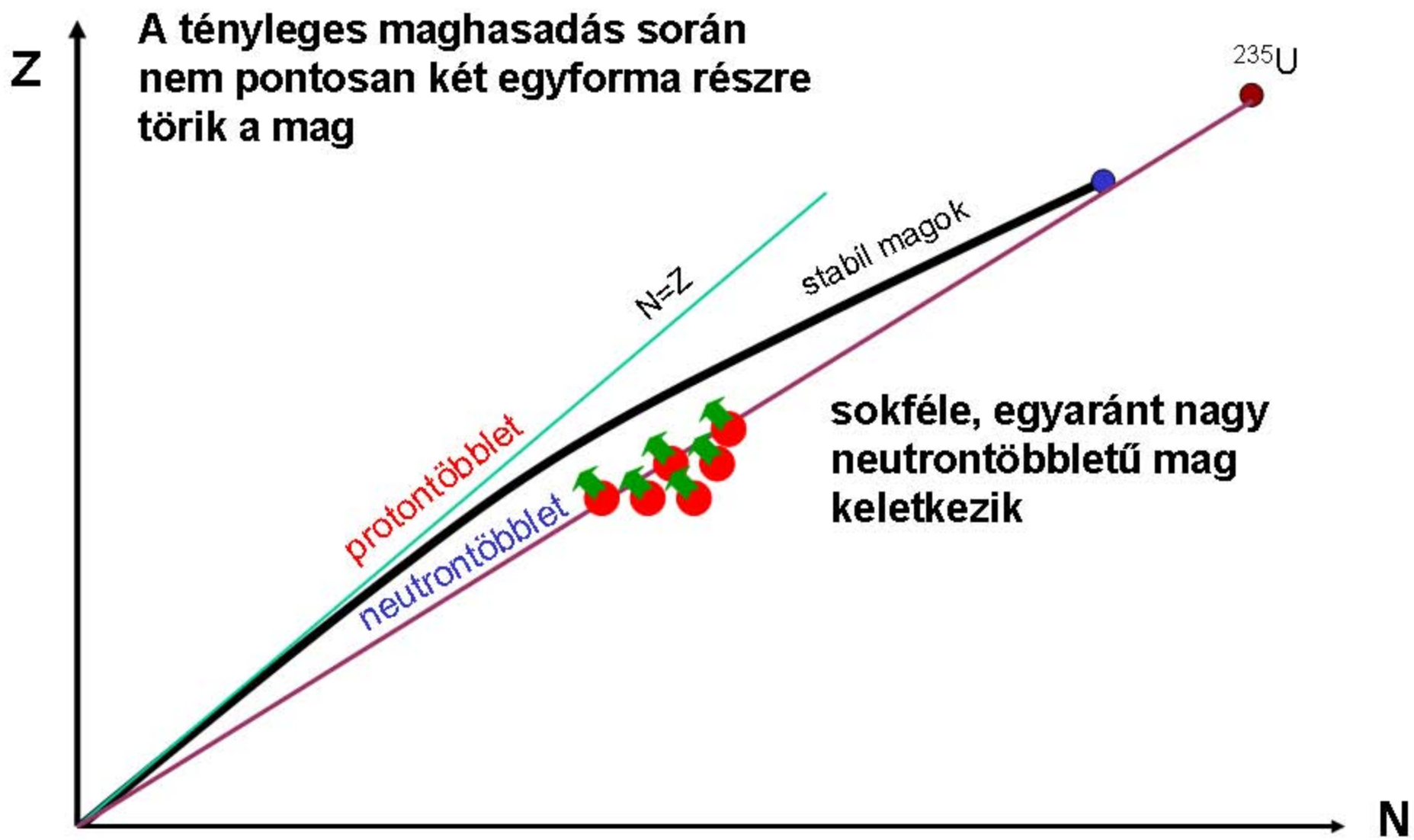


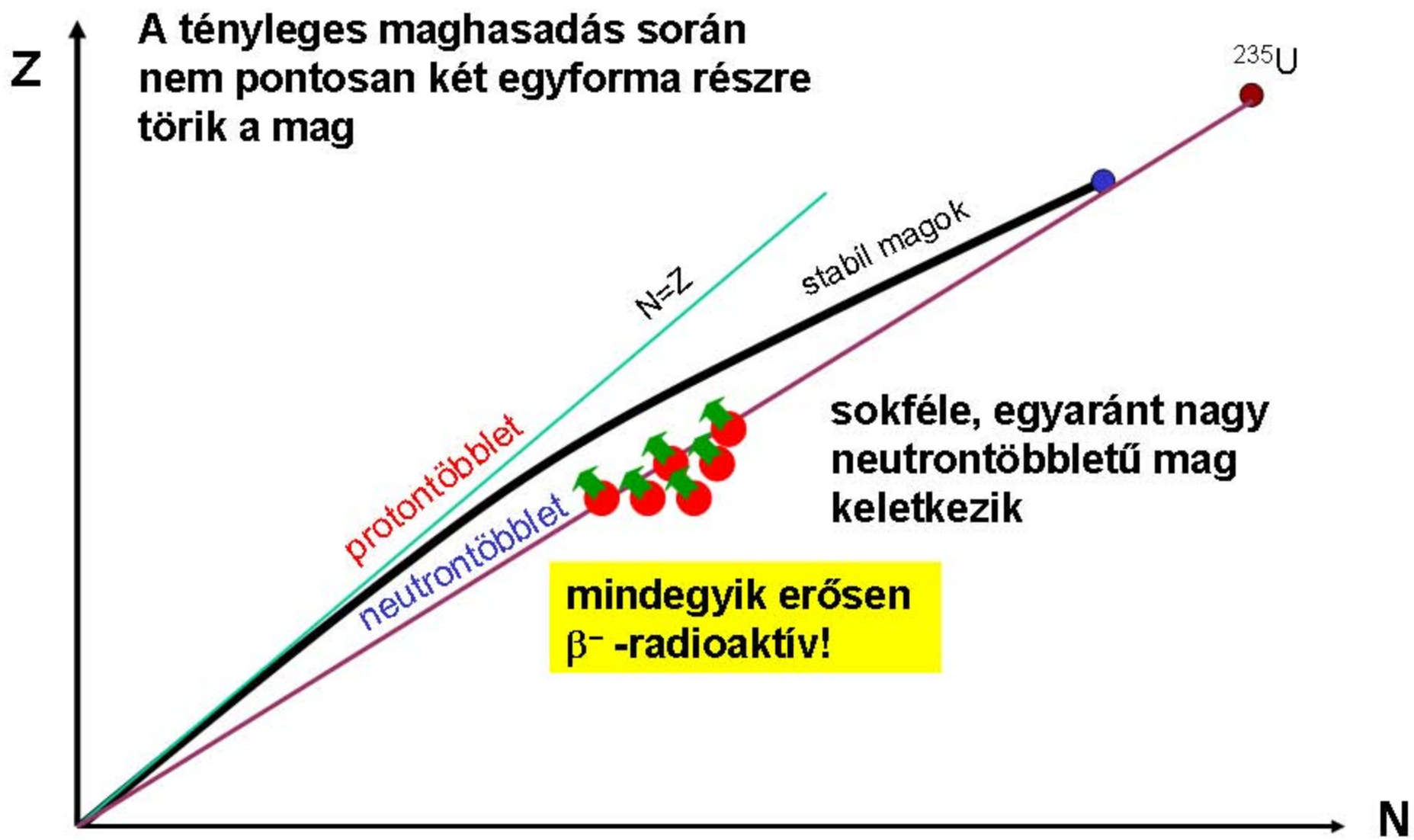
A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag



A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag







A tényleges maghasadás során  
nem pontosan két egyforma részre  
törik a mag

<sup>235</sup>U

$N=Z$

stabil magok

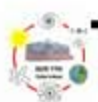
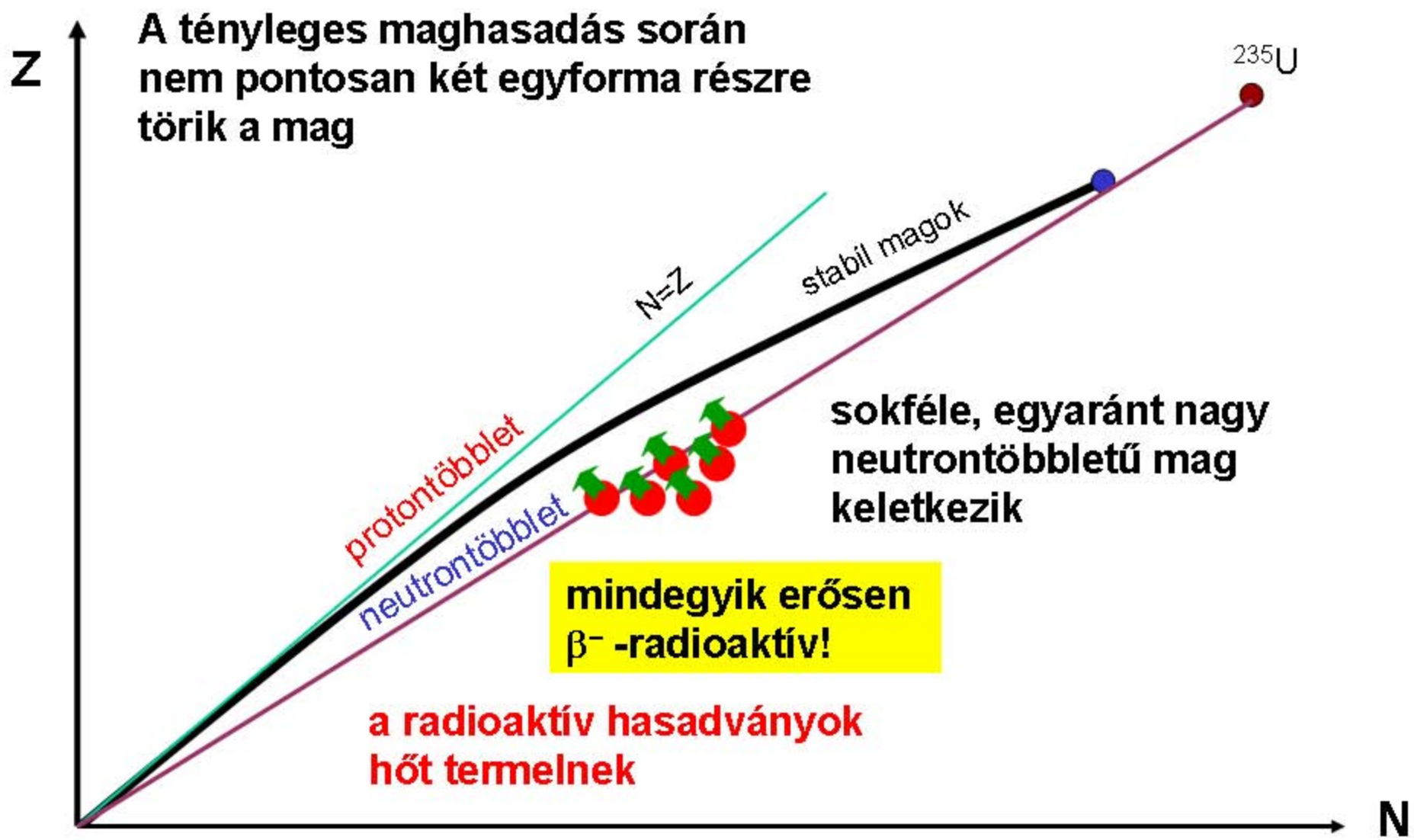
protontöbblet  
neutrontöbblet

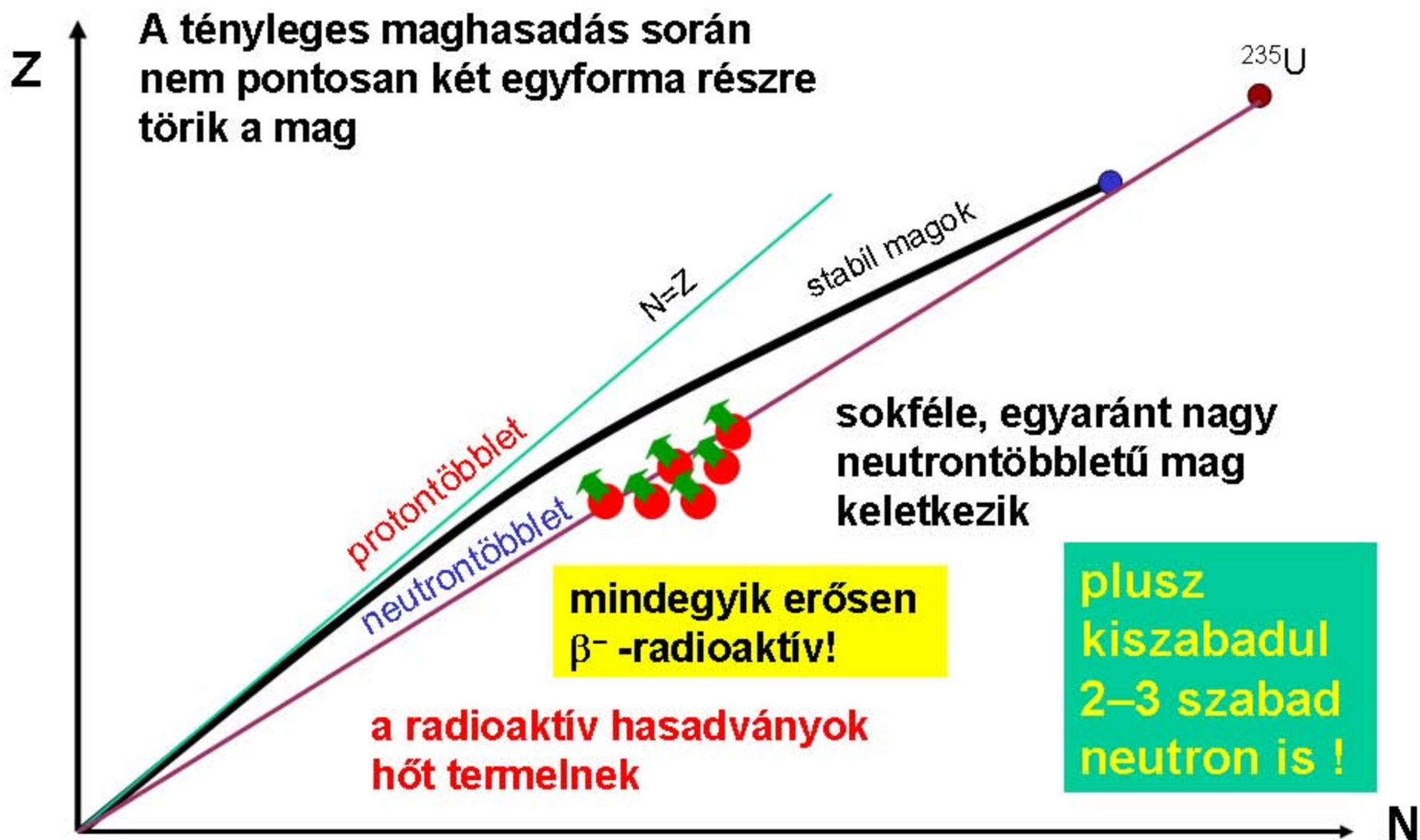
sokféle, egyaránt nagy  
neutrontöbbletű mag  
keletkezik

mindegyik erősen  
 $\beta^-$ -radioaktív!









# Radioaktív hőtermelés



# Radioaktív hőtermelés

Lefelé a nukleáris völgy lejtőjén: energia szabadul fel!



# Radioaktív hőtermelés

Lefelé a nukleáris völgy lejtőjén: energia szabadul fel!

Milyen formában?



## Radioaktív hőtermelés

Lefelé a nukleáris völgy lejtőjén: energia szabadul fel!

Milyen formában?

A kirepülő részecskék  
(alfa-részek, elektronok, hasadt magok)  
**mozgási energiája** formájában



## Radioaktív hőtermelés

Lefelé a nukleáris völgy lejtőjén: energia szabadul fel!

Milyen formában?

A kirepülő részecskék  
(alfa-részek, elektronok, hasadt magok)  
**mozgási energiája** formájában

A gyorsan mozgó részecskék meglölik a környező atomokat  
– az energia eloszlik, a közeg **MELEGSZIK**.





## Radioaktív hőtermelés

Lefelé a nukleáris völgy lejtőjén: energia szabadul fel!

Milyen formában?

A kirepülő részecskék  
(alfa-részek, elektronok, hasadt magok)  
**mozgási energiája** formájában

A gyorsan mozgó részecskék meglölik a környező atomokat  
– az energia eloszlik, a közeg **MELEGSZIK**.

**A radioaktív hulladékok olykor  
évekig annyi hőt fejlesztenek, hogy  
hűtés nélkül megolvadnának!**

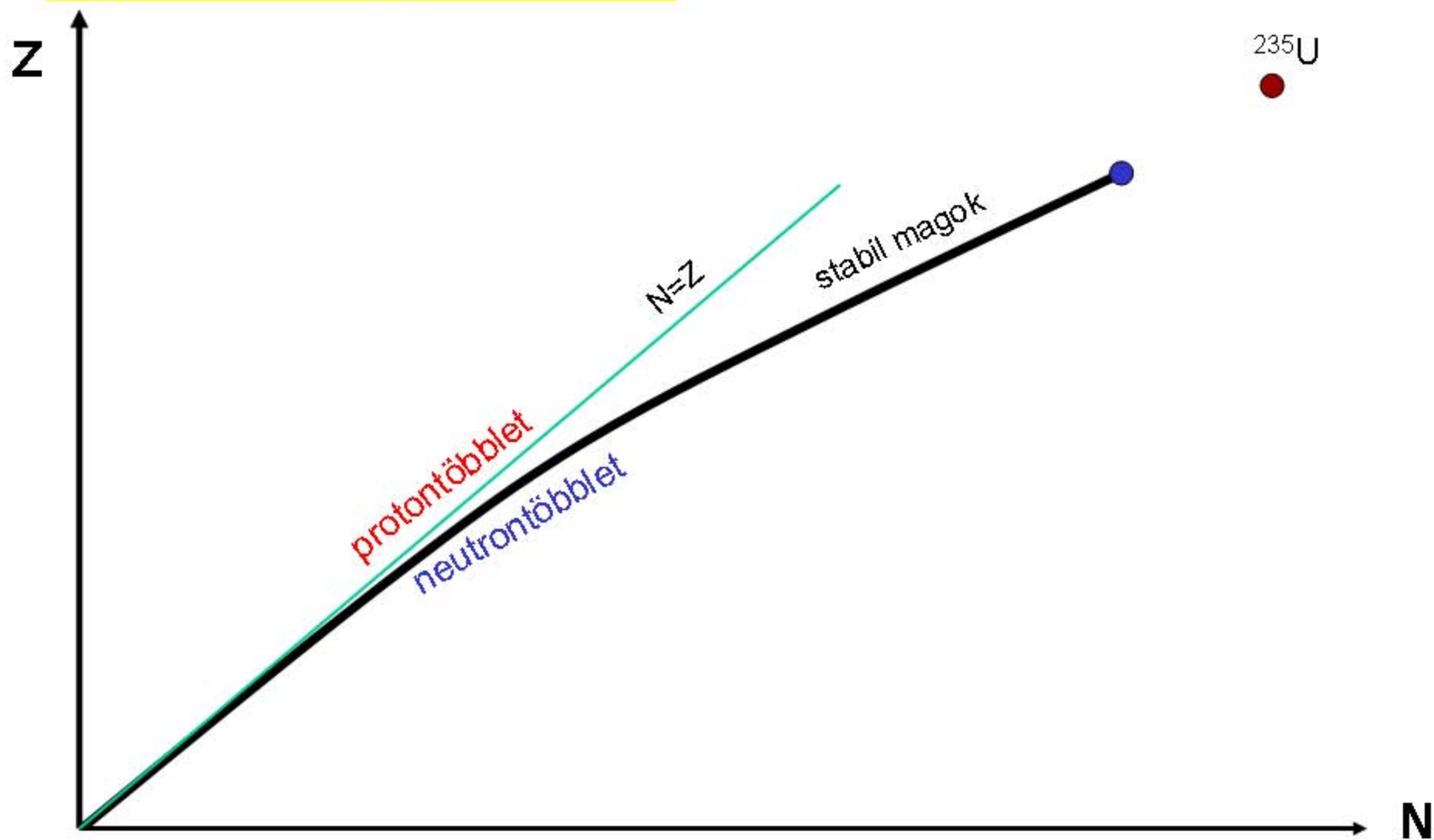


# Spontán maghasadás

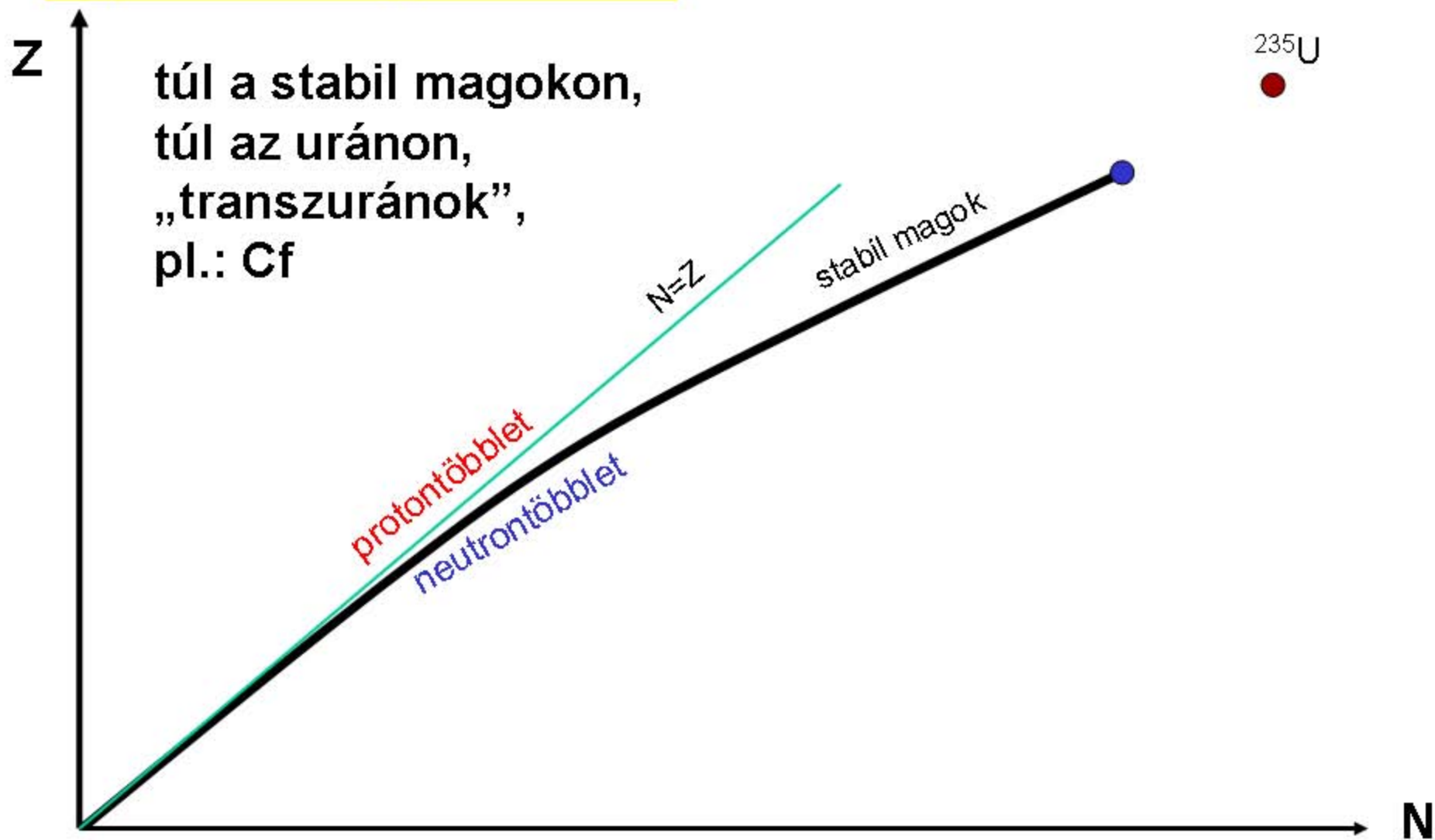
N



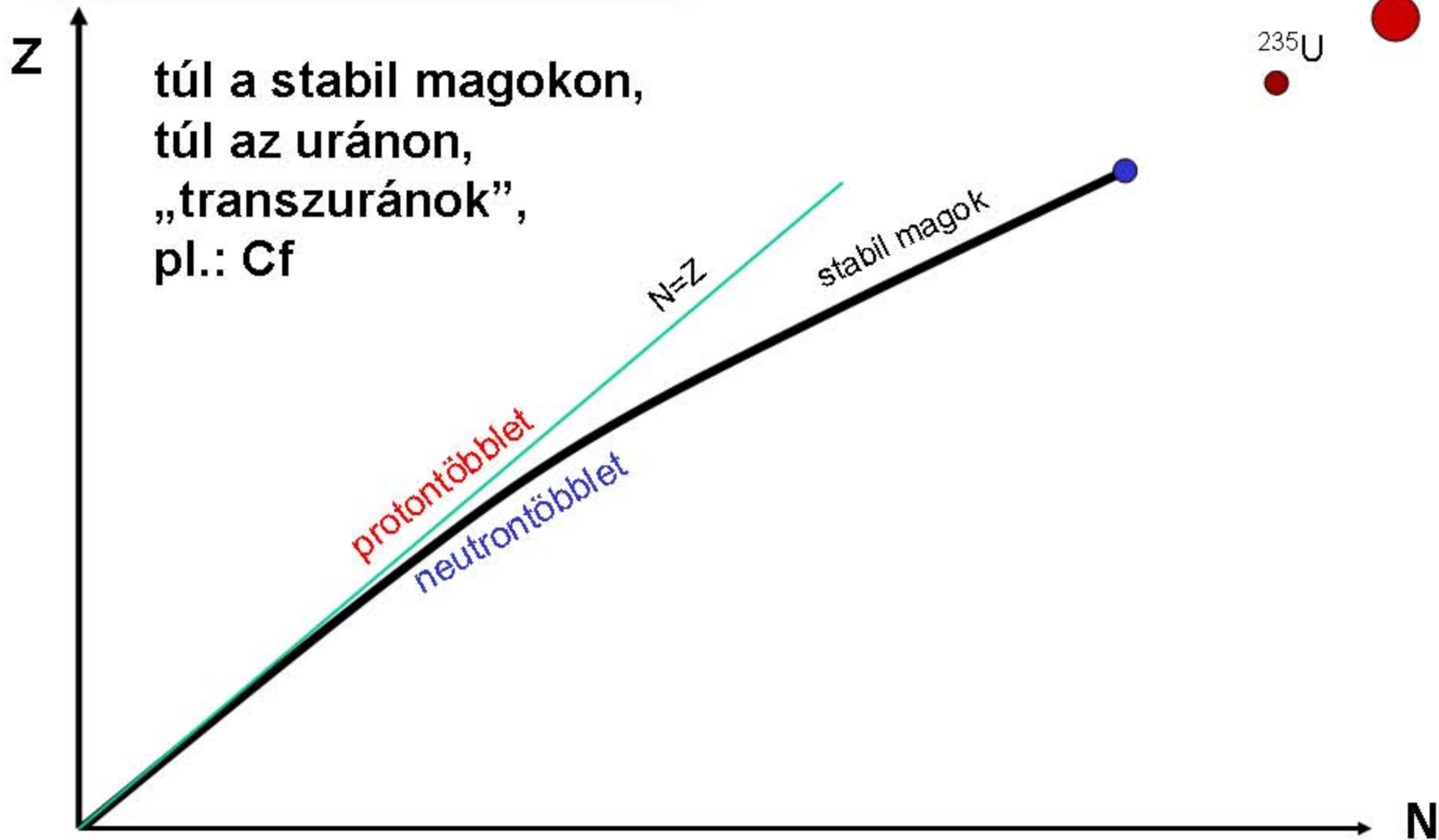
# Spontán maghasadás



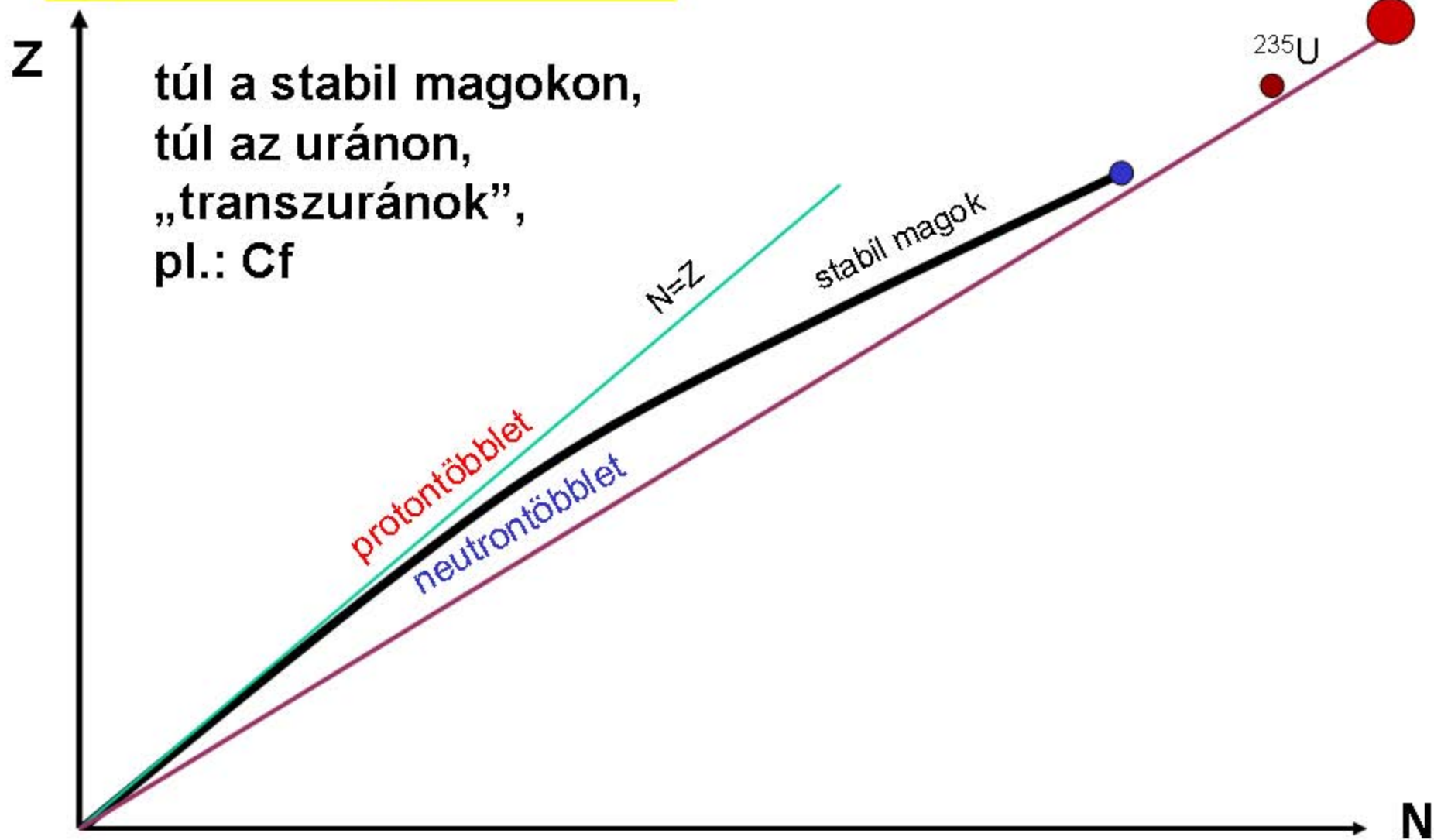
# Spontán maghasadás



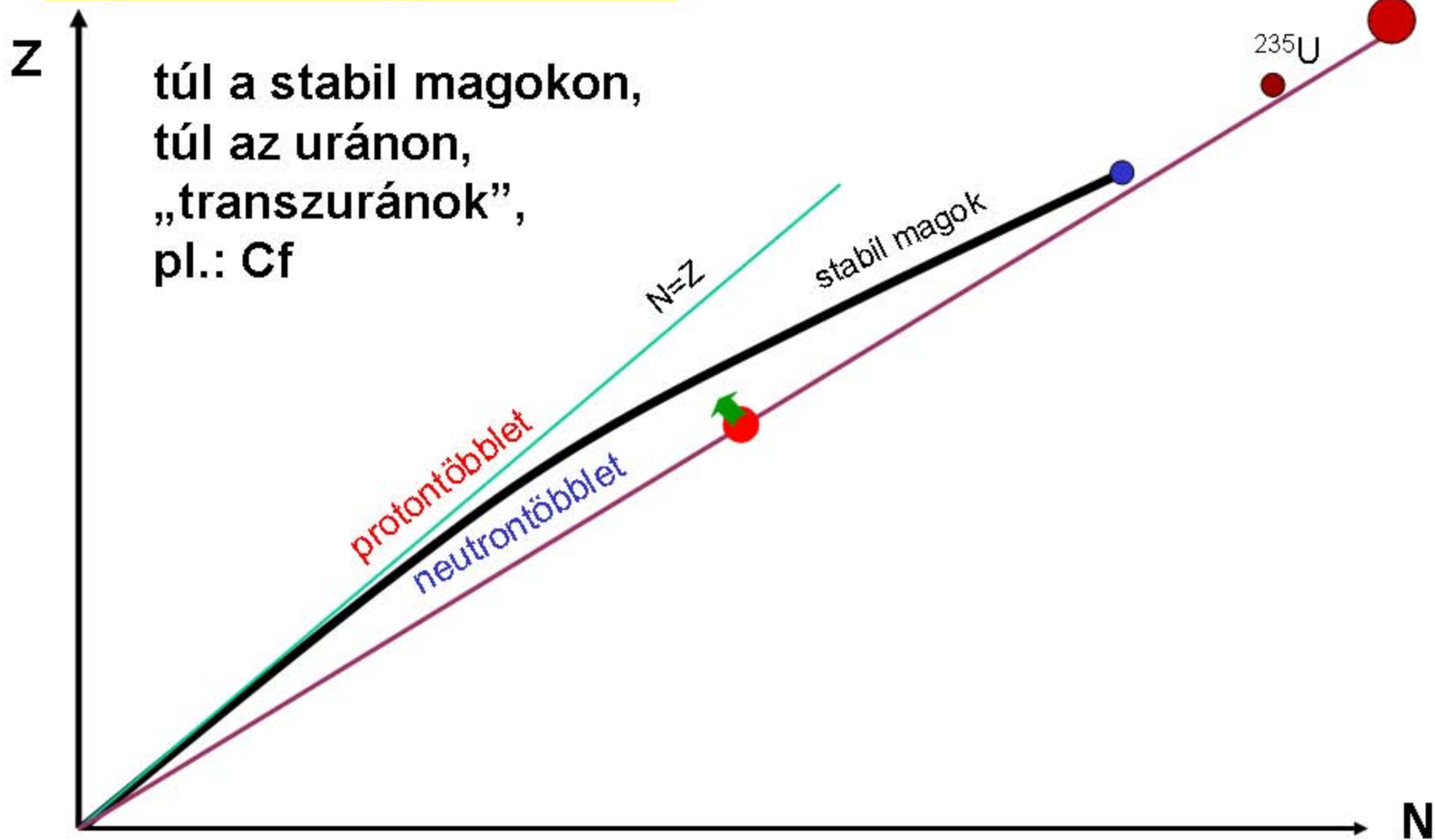
# Spontán maghasadás



# Spontán maghasadás



# Spontán maghasadás

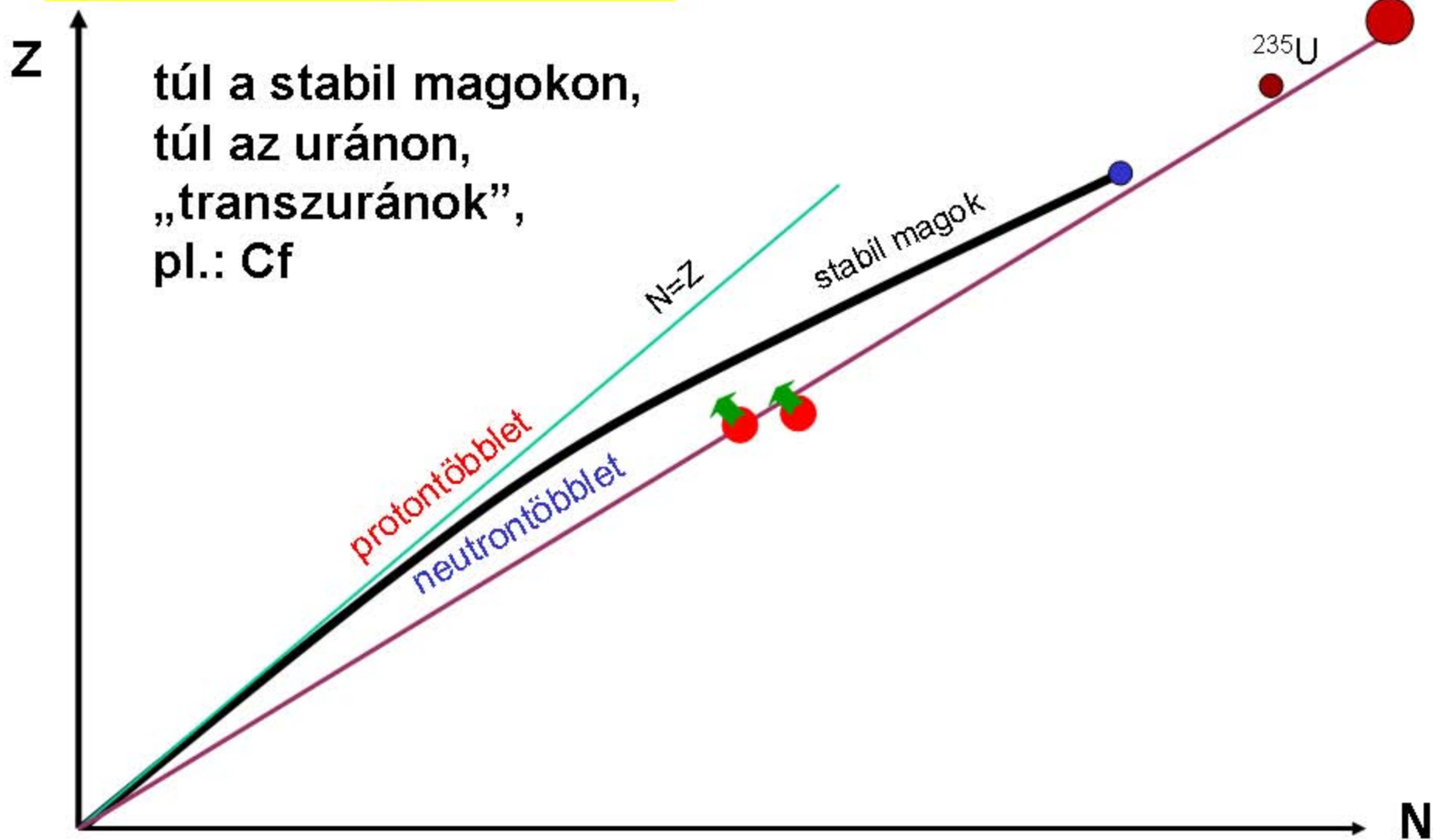


túl a stabil magokon,  
túl az uránon,  
„transzuránok”,  
pl.: Cf

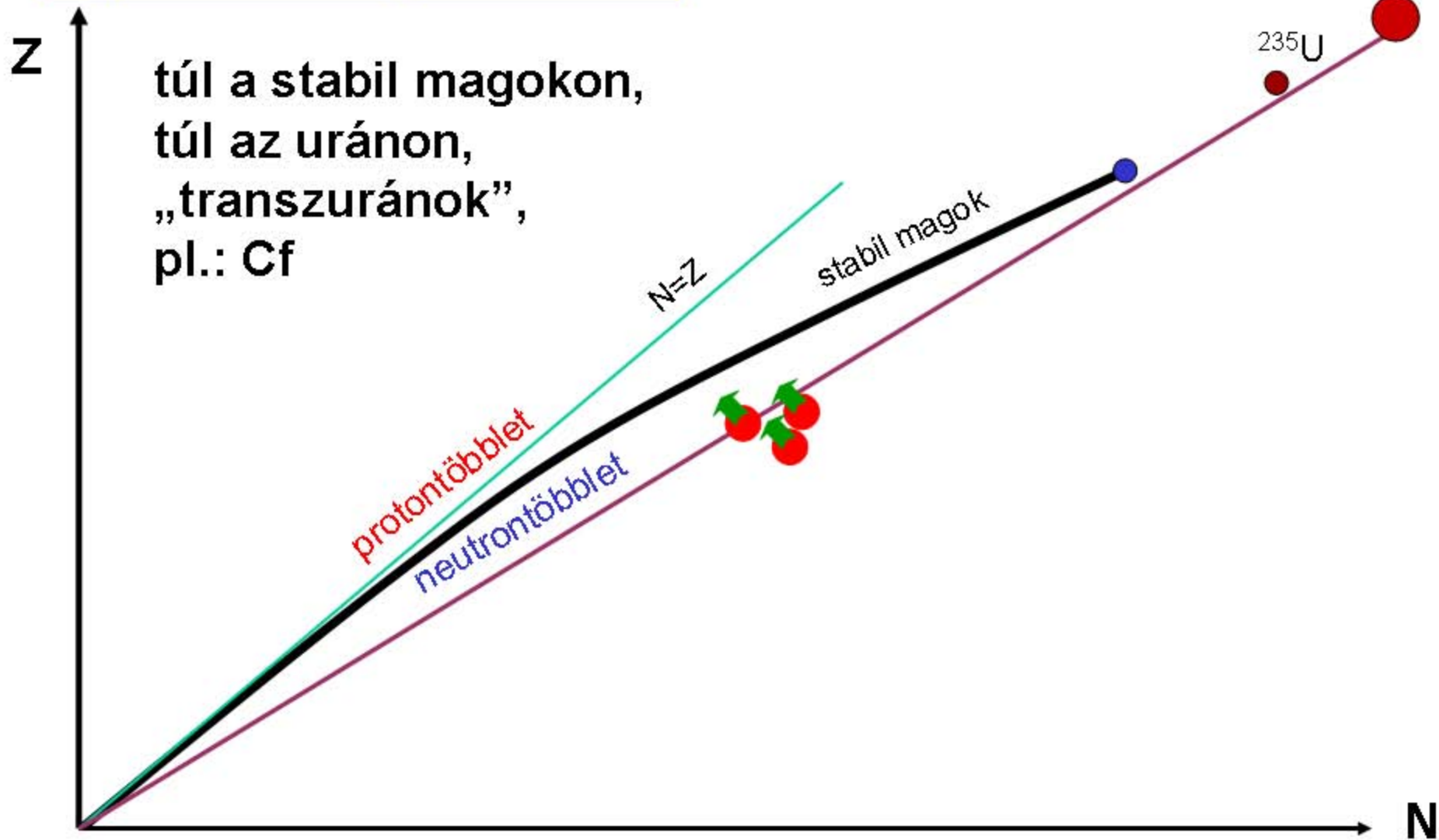




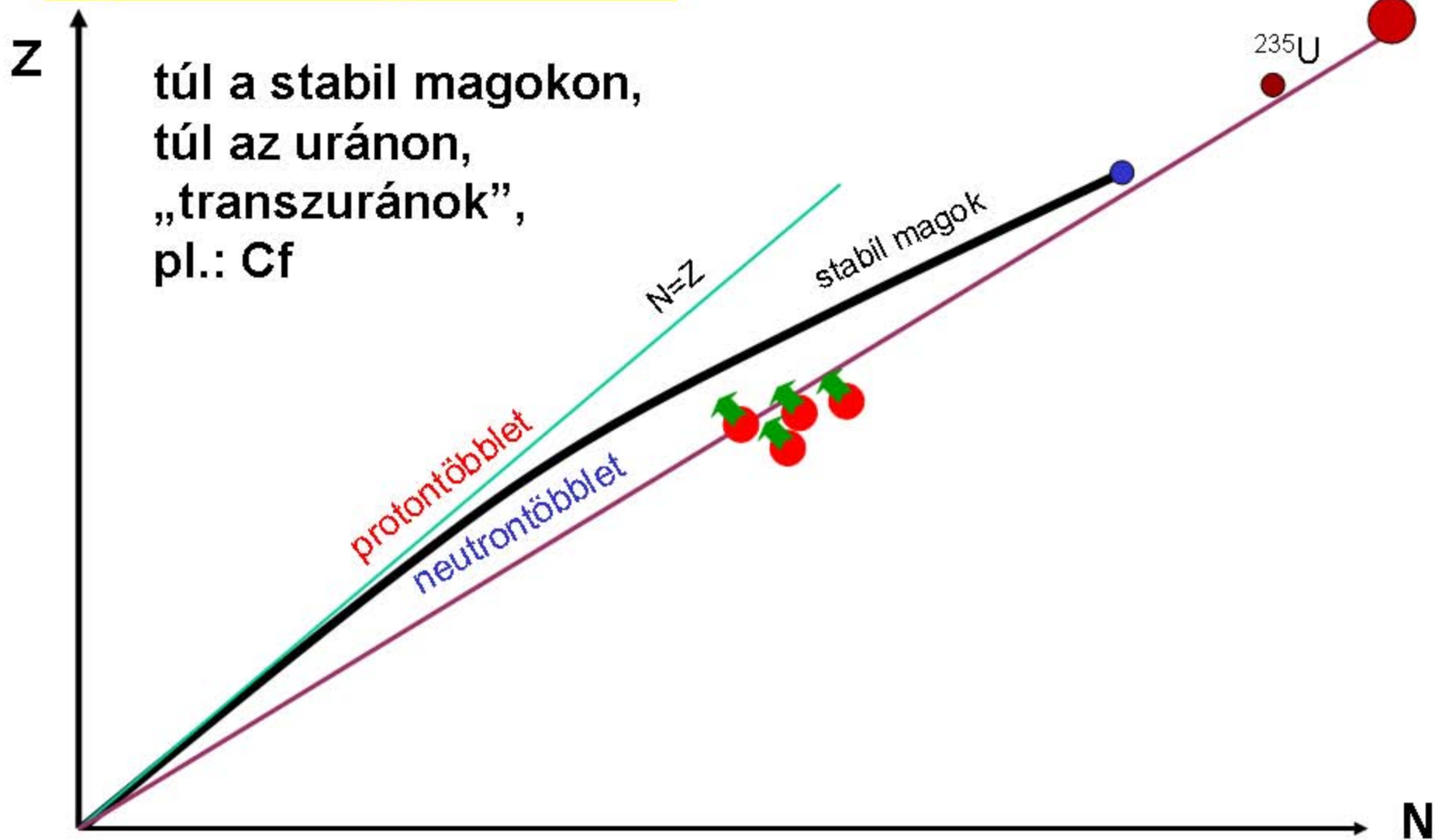
# Spontán maghasadás



# Spontán maghasadás



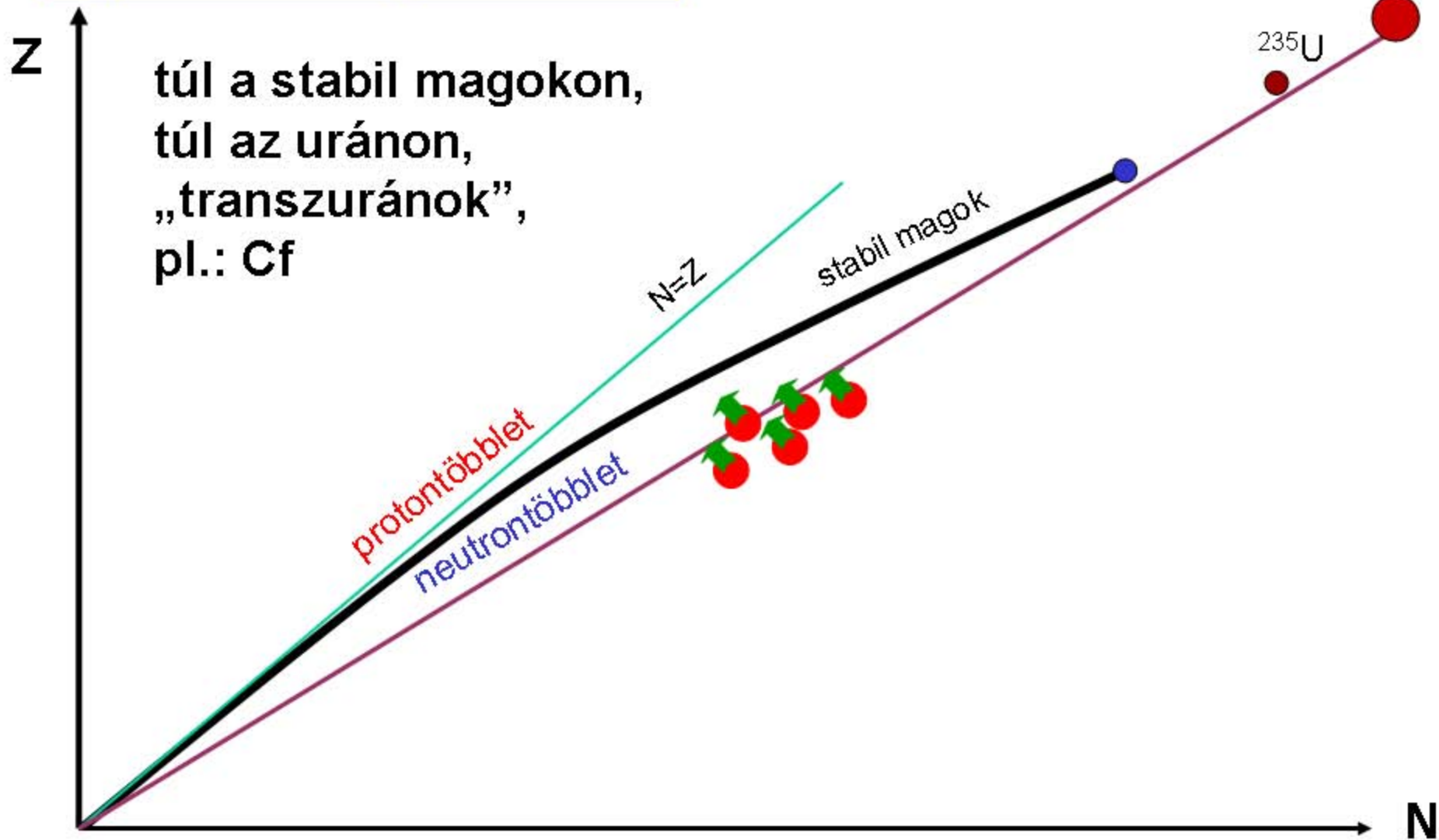
# Spontán maghasadás



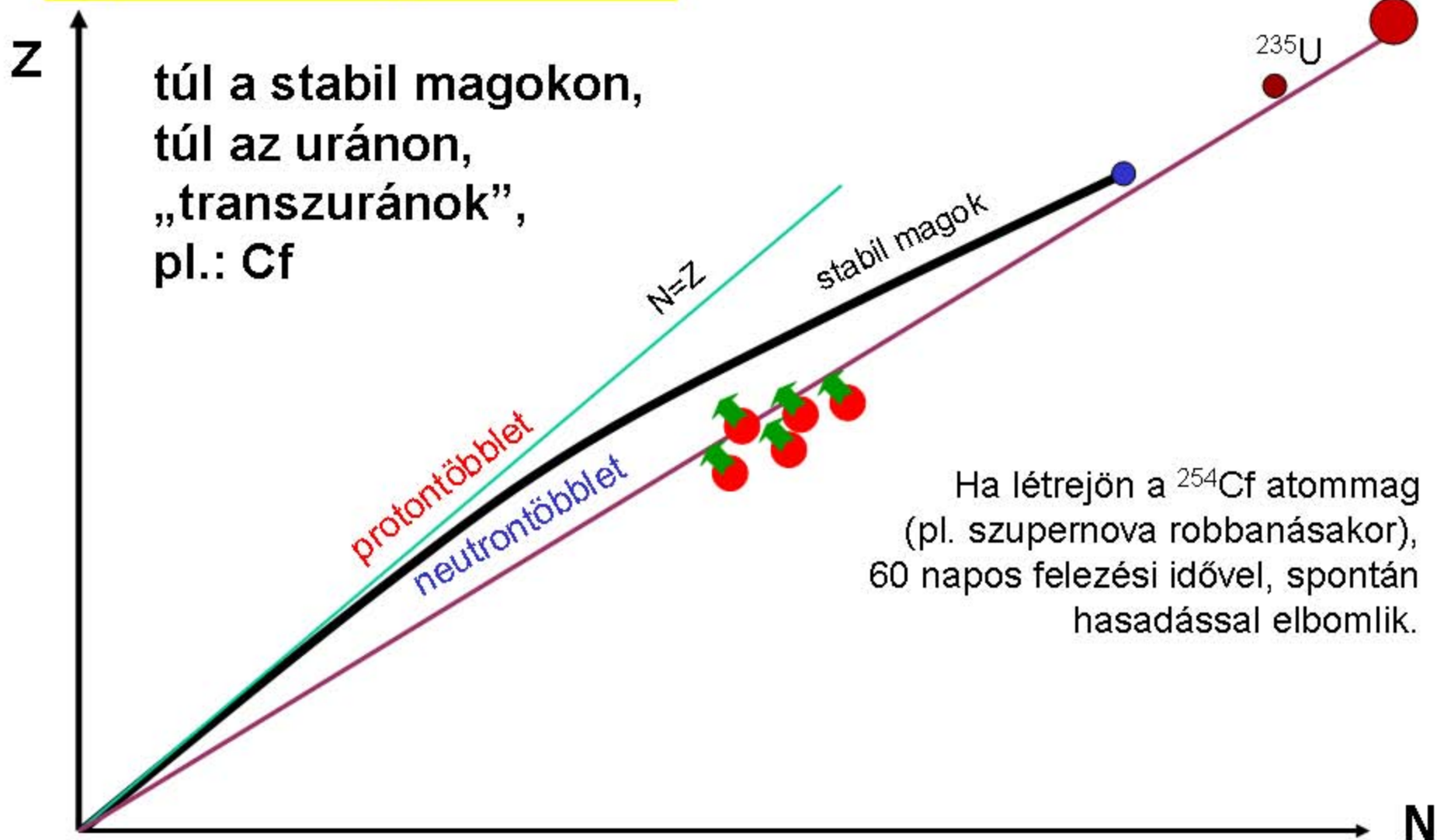
túl a stabil magokon,  
túl az uránon,  
„transzuránok”,  
pl.: Cf



# Spontán maghasadás



# Spontán maghasadás



# Indukált (nem spontán) maghasadás



## Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).





## Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)



## Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

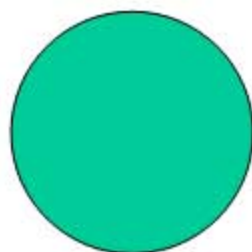


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:



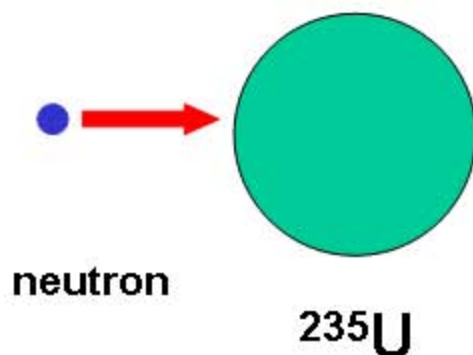
$^{235}\text{U}$

# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

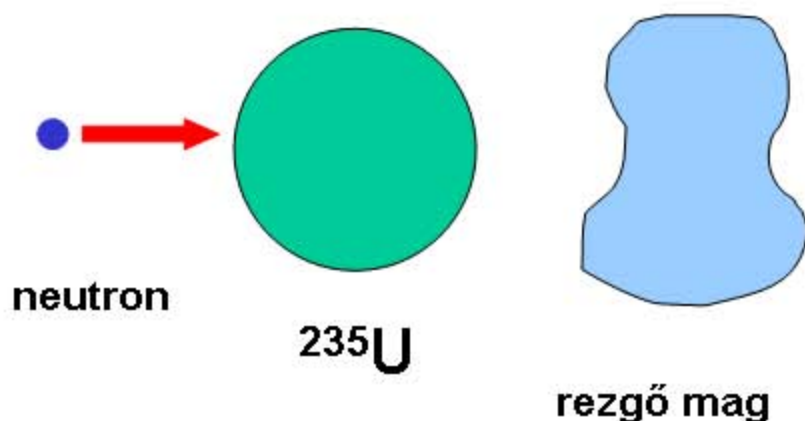


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

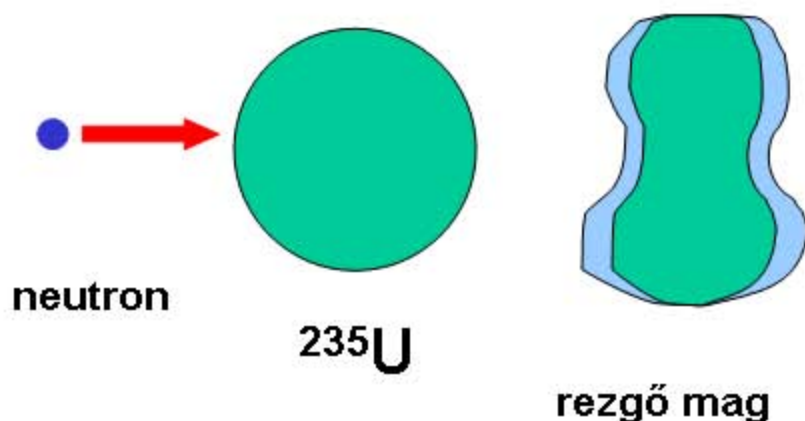


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

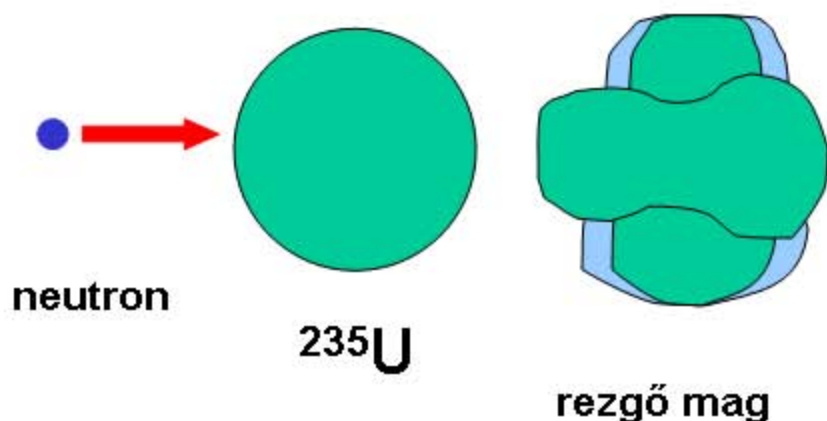


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:



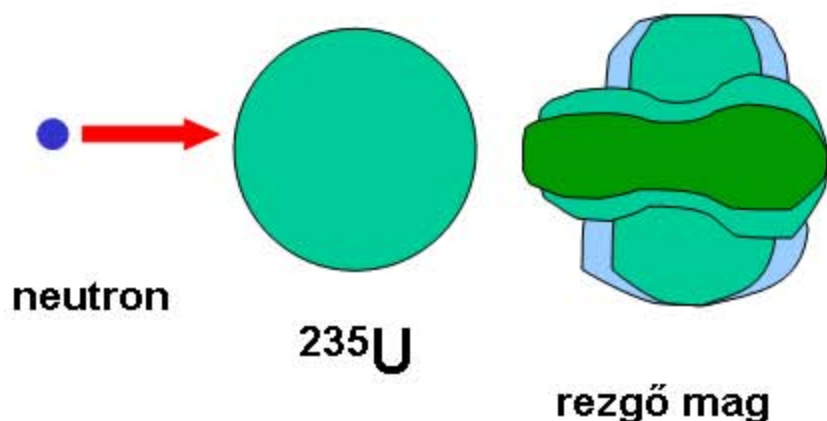


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

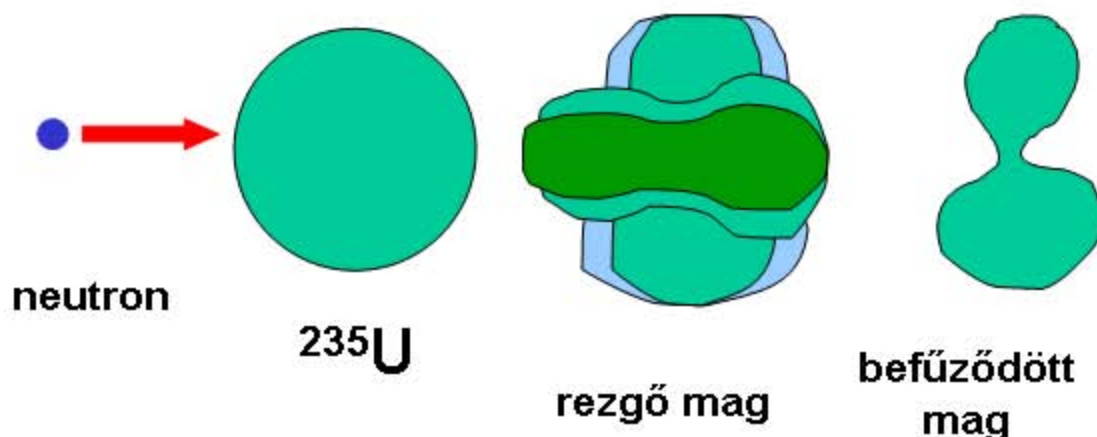


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

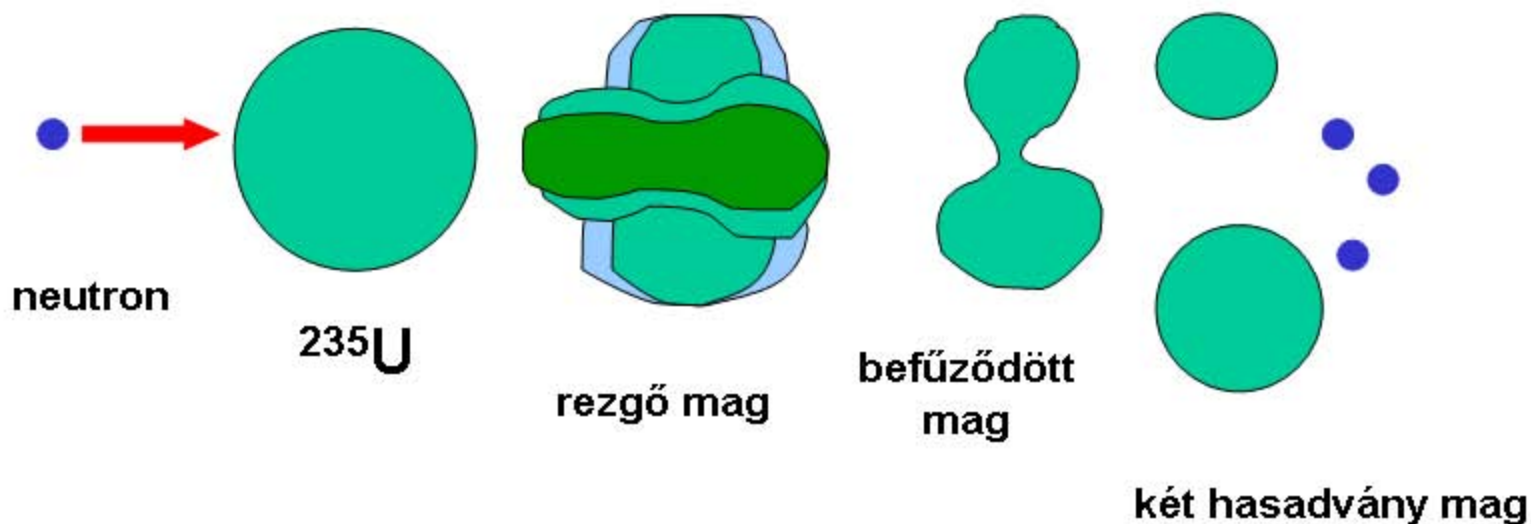
ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:



# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**  
ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

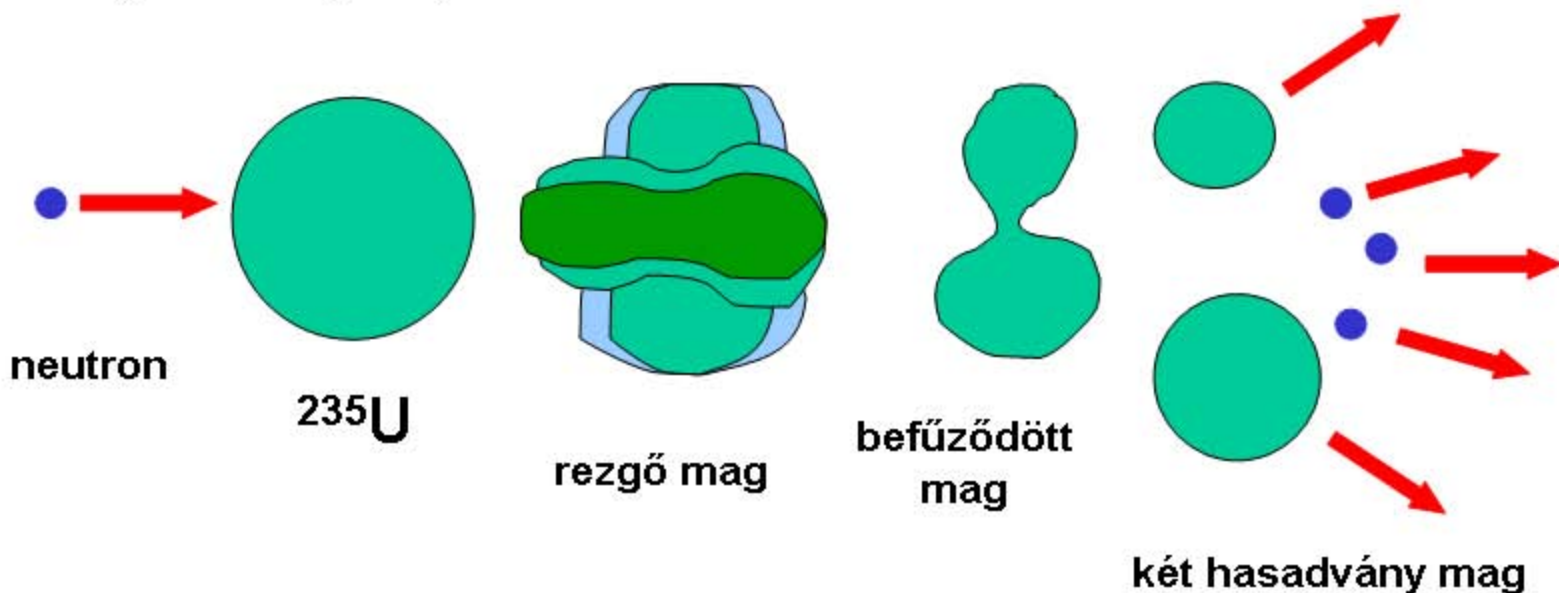


# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**

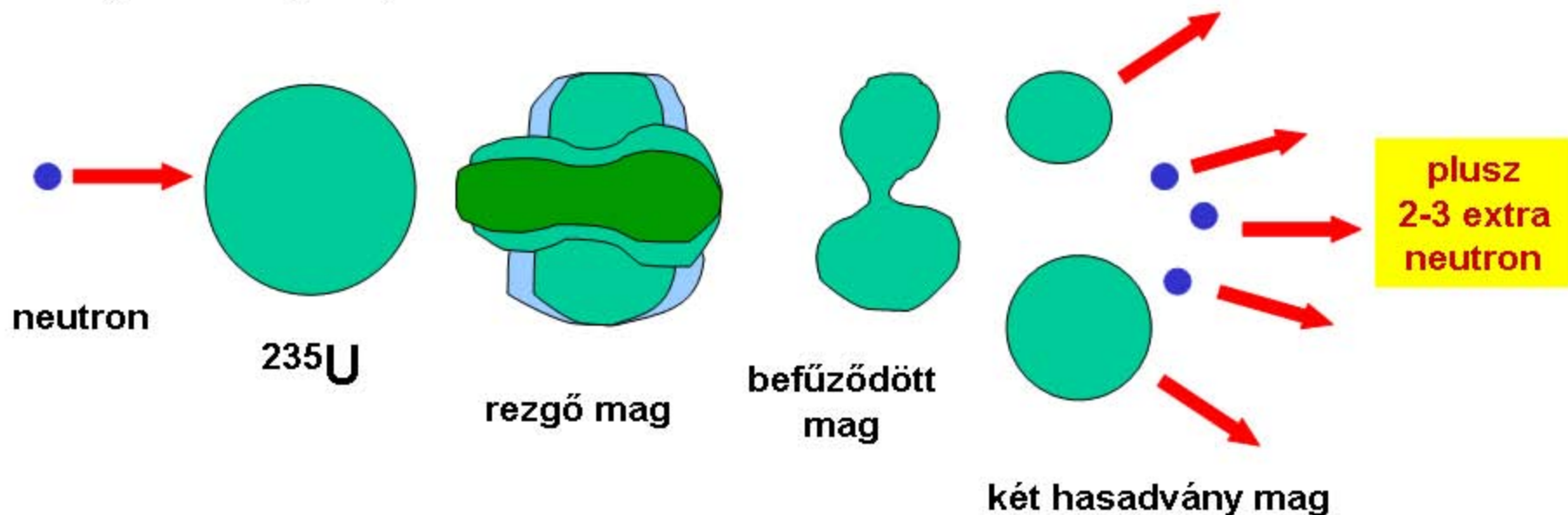
ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:



# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**  
ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:

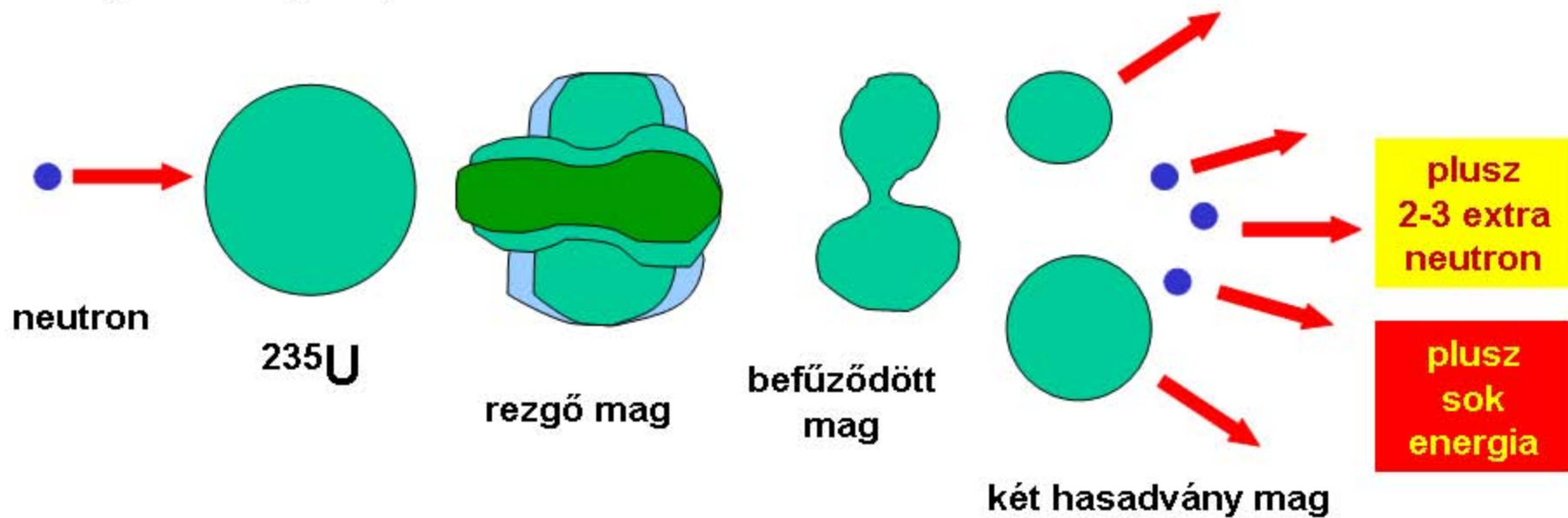




# Indukált (nem spontán) maghasadás

Az urán izotópjai nem stabilak – alfa-bomlással bomlanak, a felezési idő 4,5 milliárd év (kb. a Föld életkora).  
(Egyáltalán: mi az, hogy stabil?)

**DE:**  
ha a  $^{235}\text{U}$  magot neutronnal megpiszkáljuk, rezegni kezd, majd elhasad:



# A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa





## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa



kirepülhetnek a rendszerből

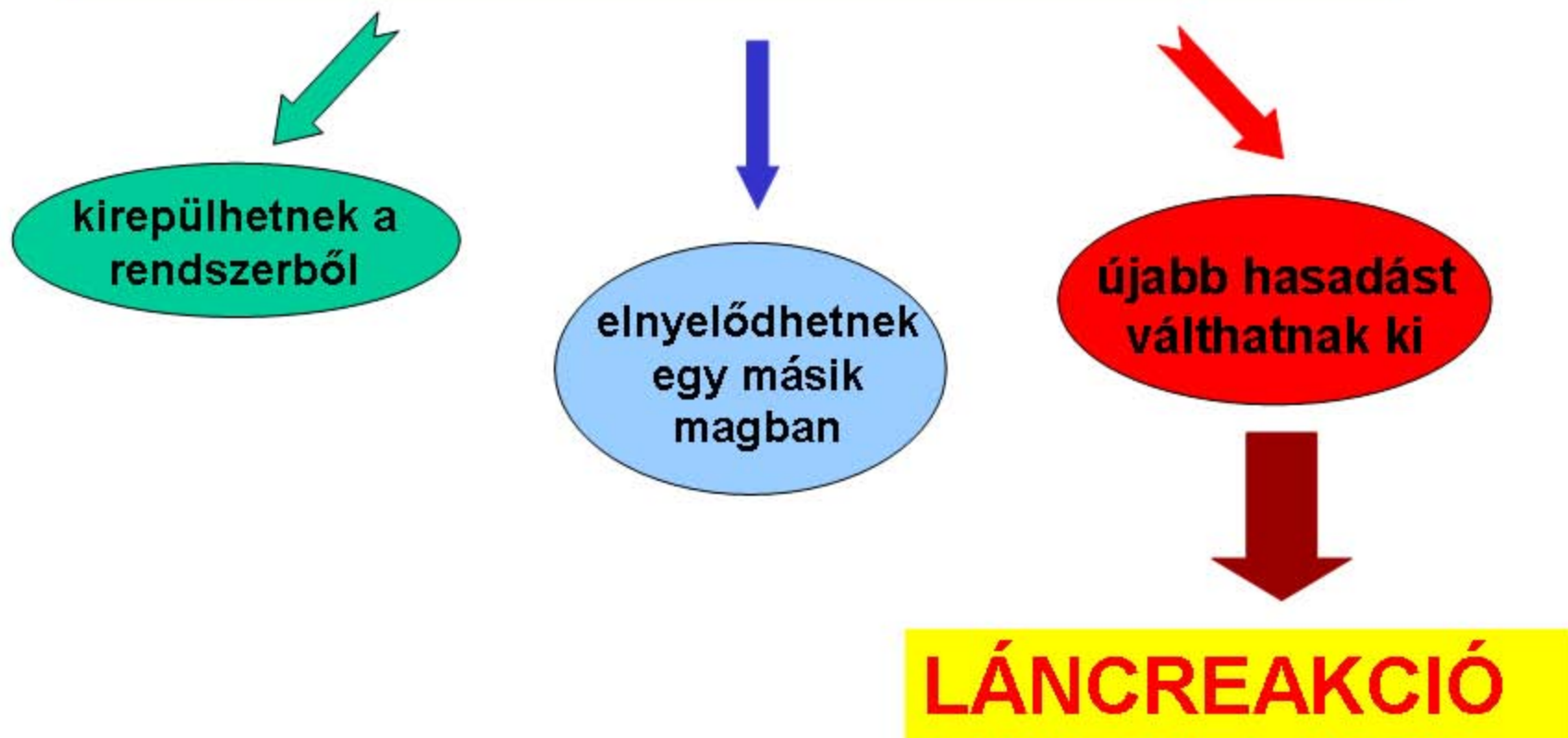
## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa



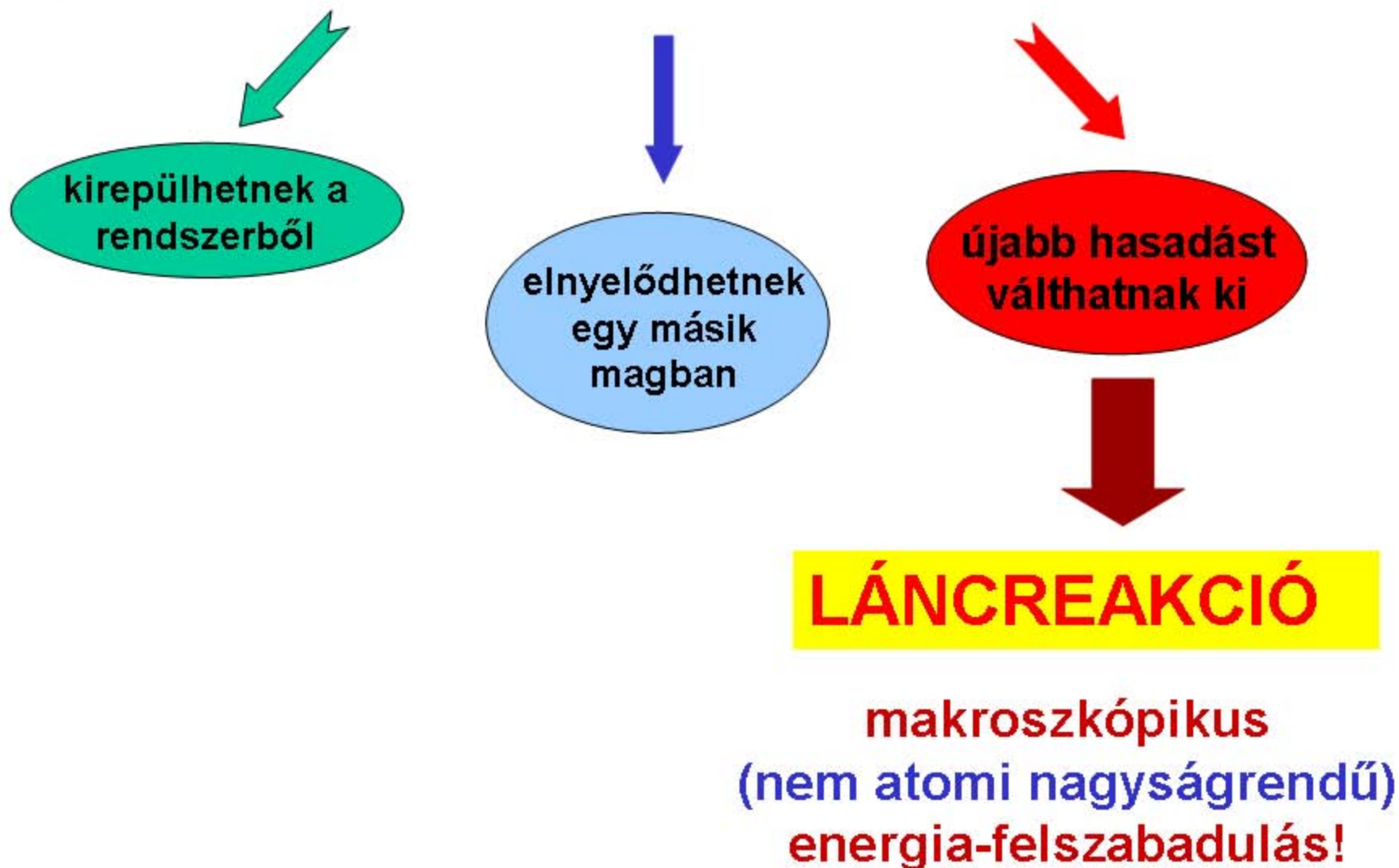
## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa



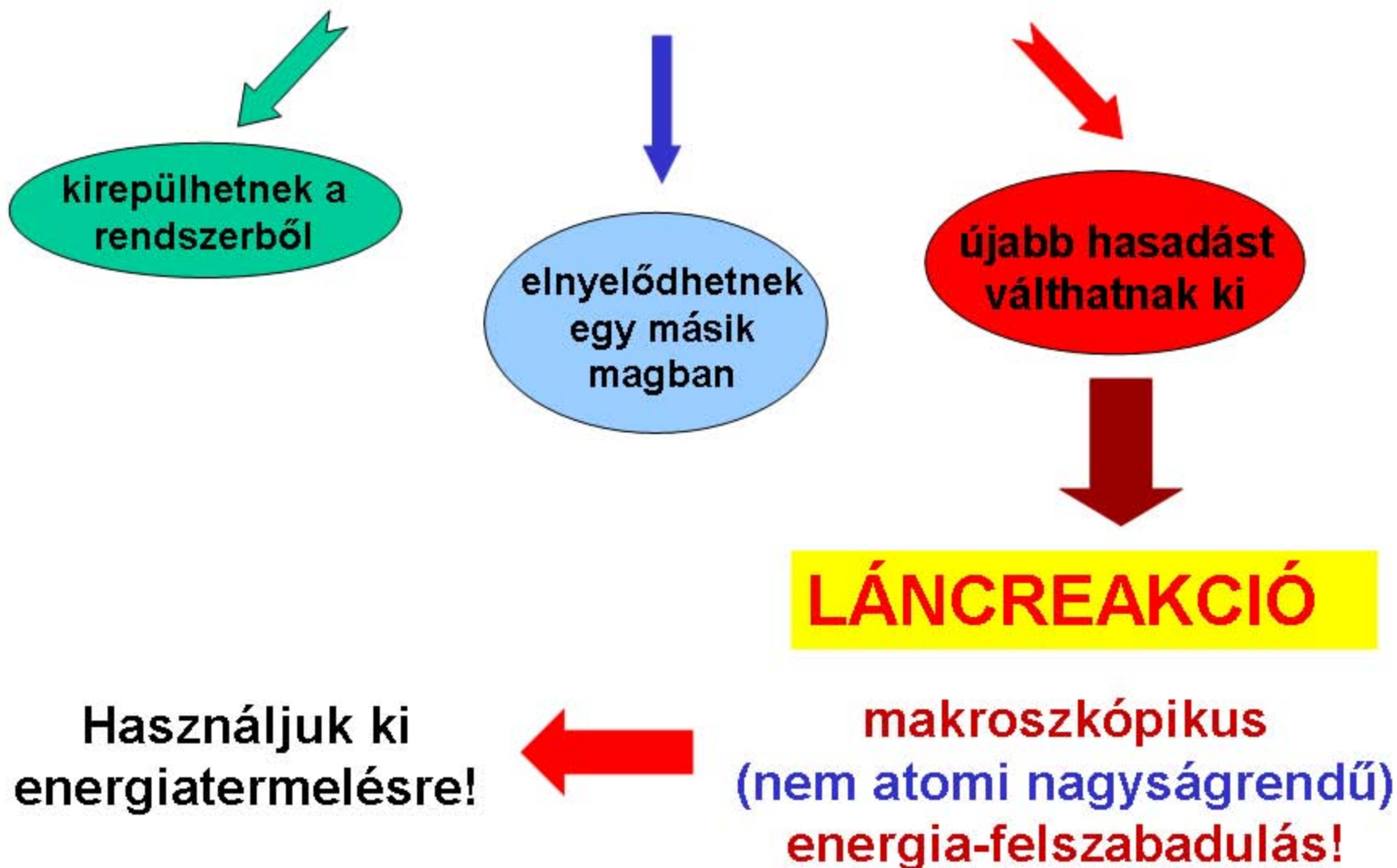
## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa



## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa

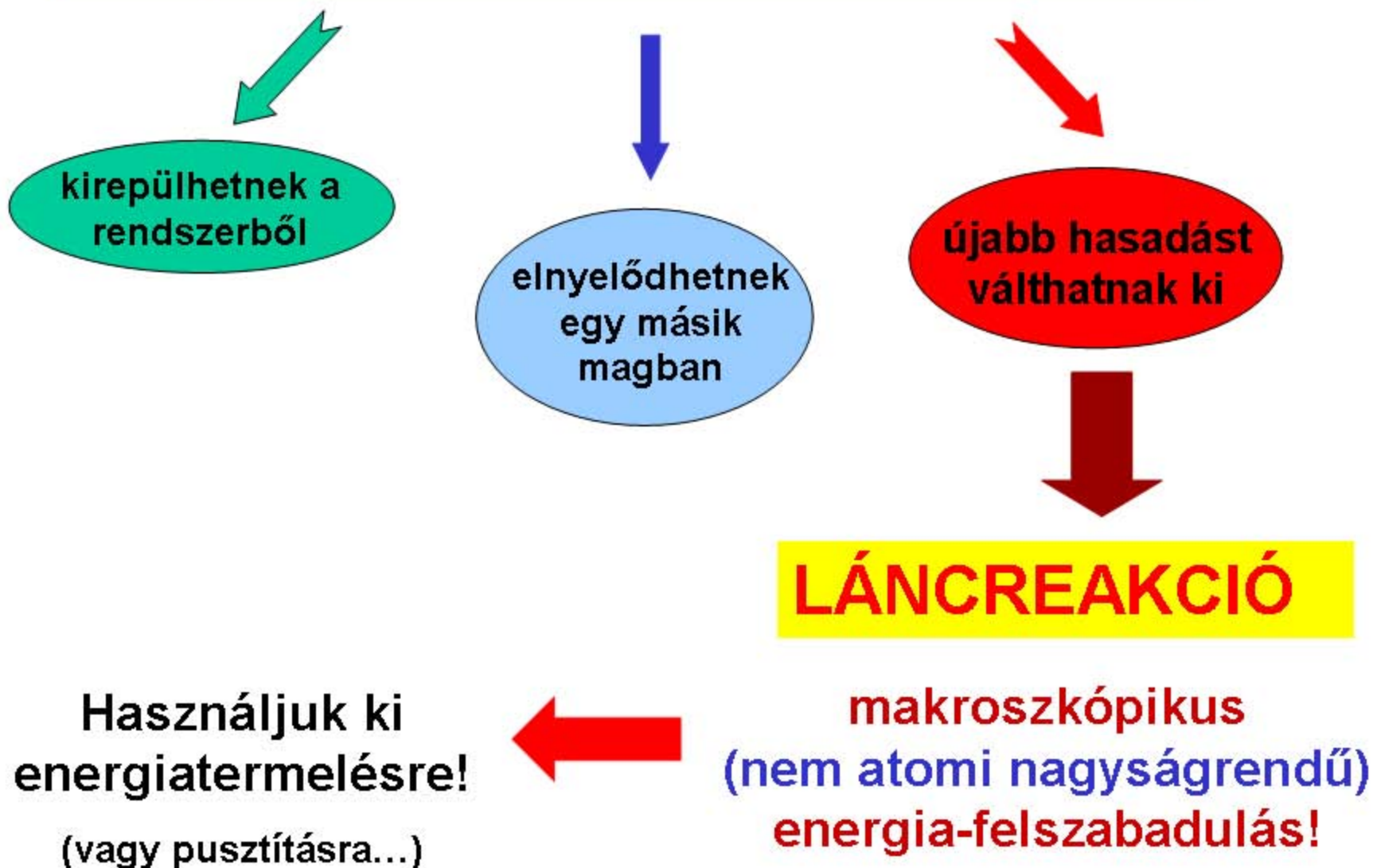


## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa



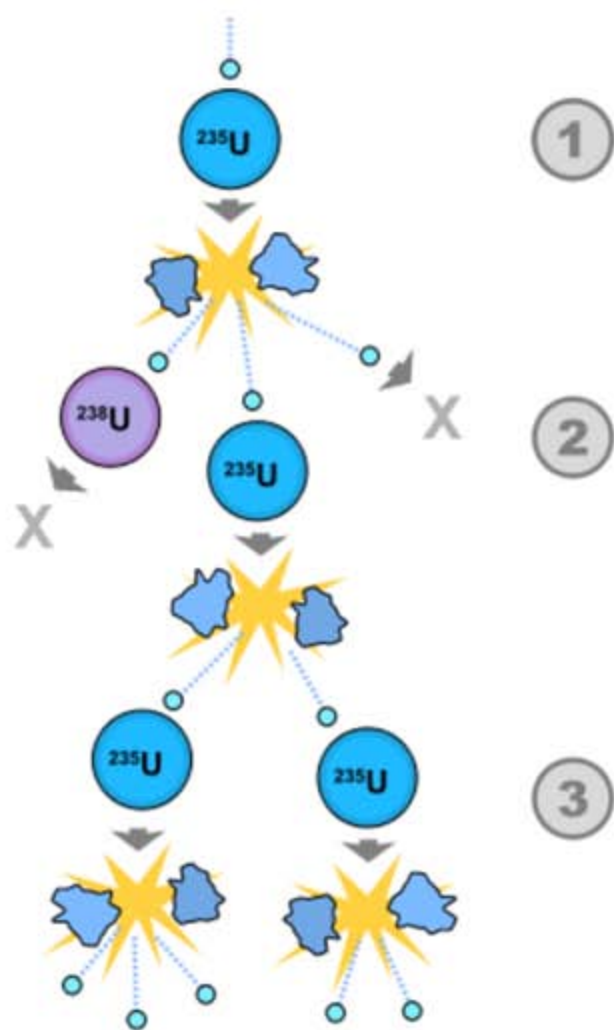


## A maghasadáskor keletkező neutronok sorsa





# LÁNCREAKCIÓ



# Az ördög a részletekben lakik



Az ördög a részletekben lakik



## Az ördög a részletekben lakik



- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között



## Az ördög a részletekben lakik



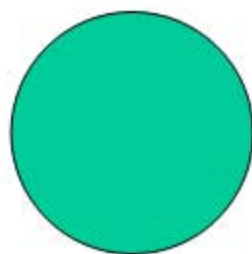
- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



## Az ördög a részletekben lakik



- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak

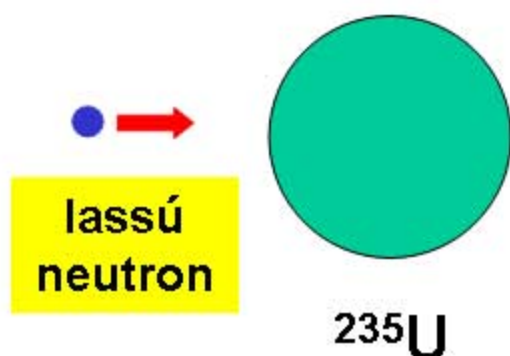


$^{235}\text{U}$

## Az ördög a részletekben lakik



- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



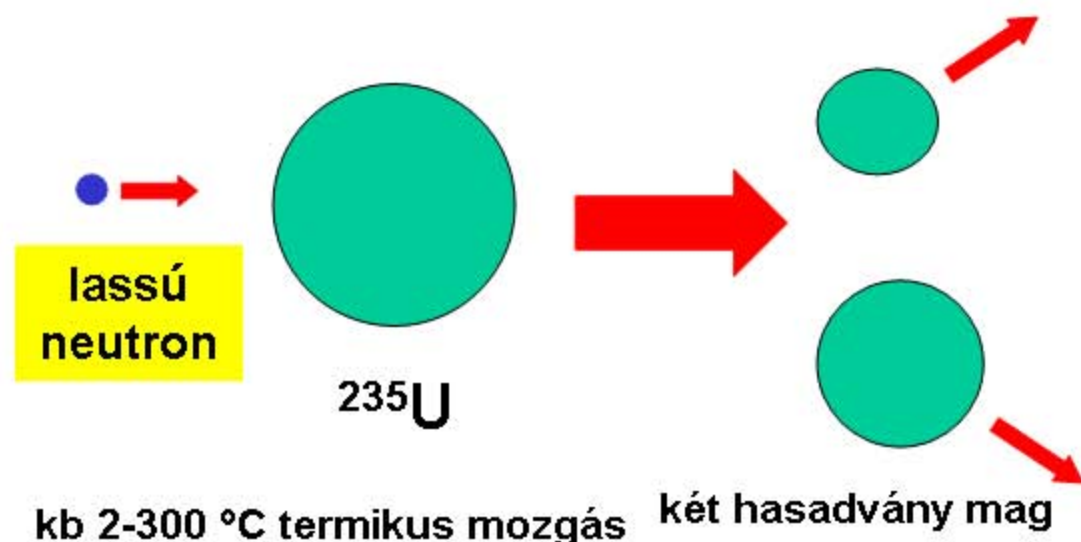
kb 2-300 °C termikus mozgás



## Az ördög a részletekben lakik



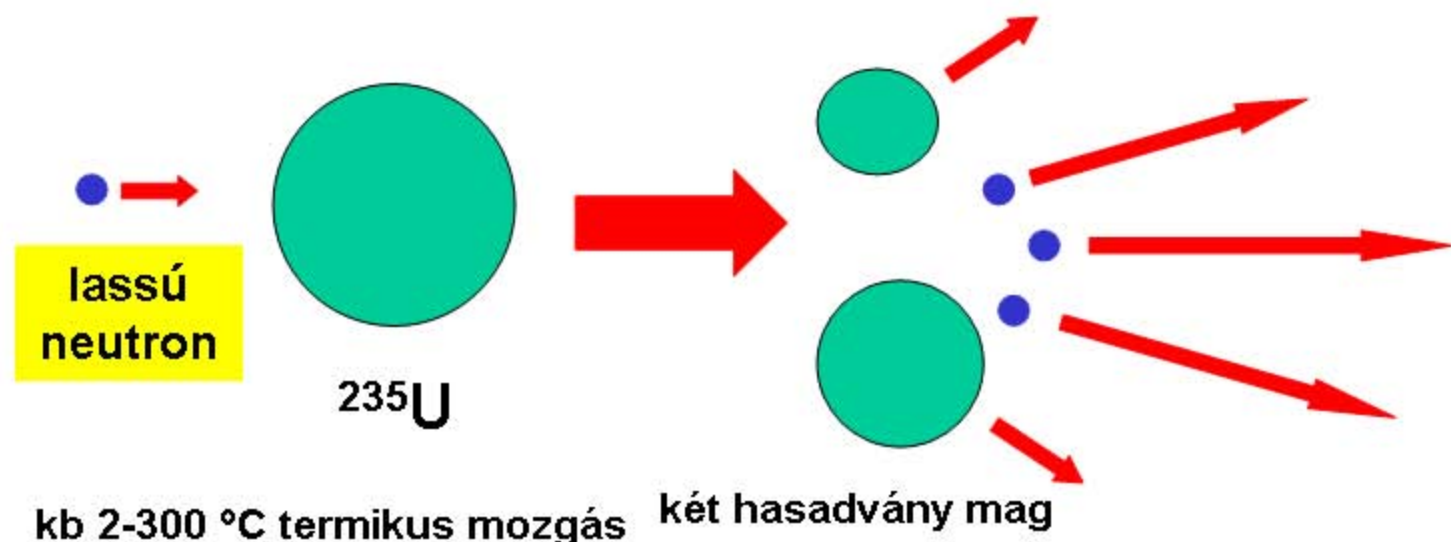
- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



## Az ördög a részletekben lakik



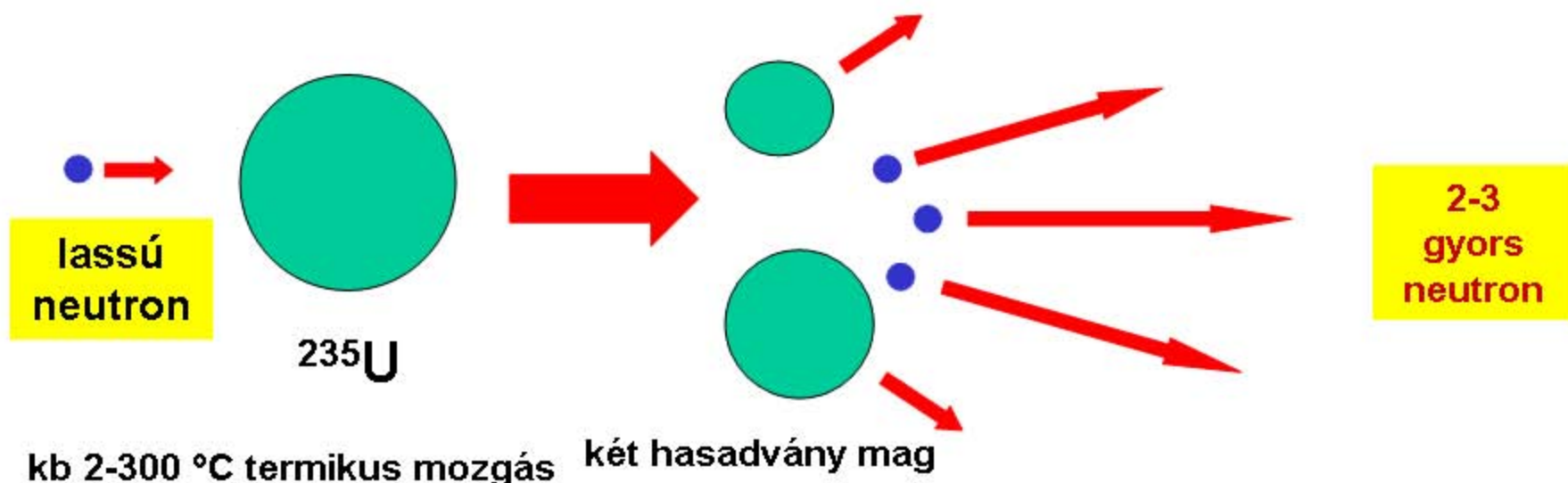
- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



## Az ördög a részletekben lakik



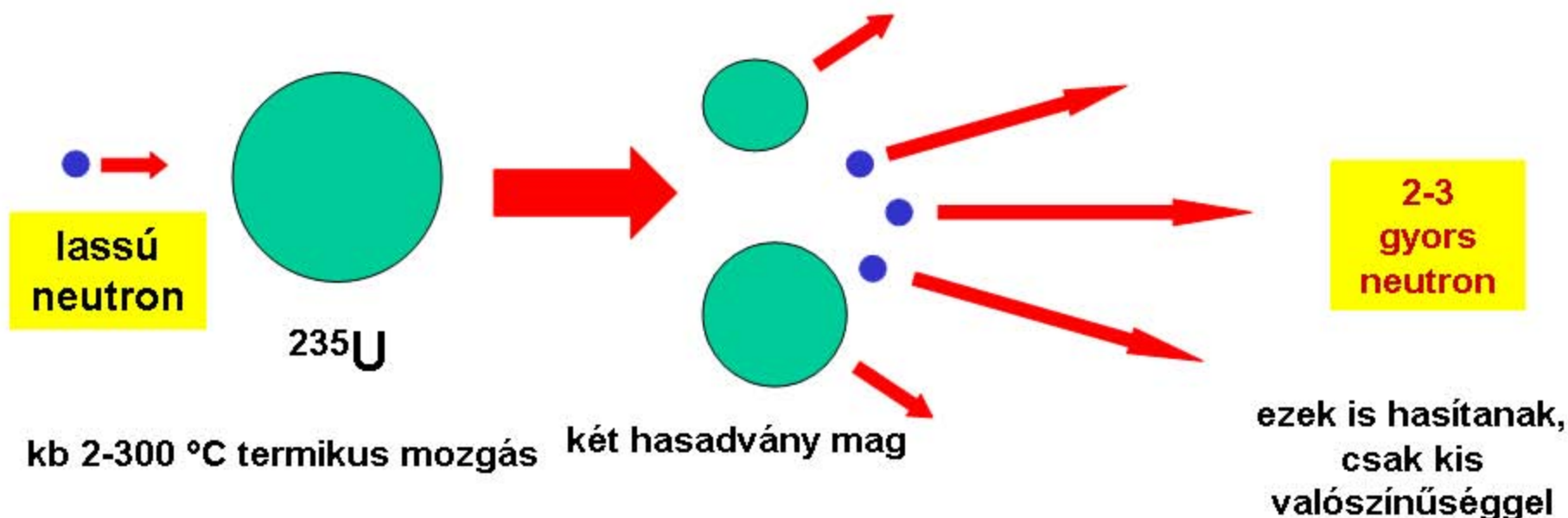
- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



## Az ördög a részletekben lakik



- a hasadásra képes  $^{235}\text{U}$  magok aránya csak néhány % a nem hasadó  $^{238}\text{U}$  magok között
- hasítani csak lassú neutronok képesek, a keletkező neutronok viszont gyorsak



# Megoldási stratégiák



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**







## Megoldási stratégiák

### 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)



## Megoldási stratégiák

### 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

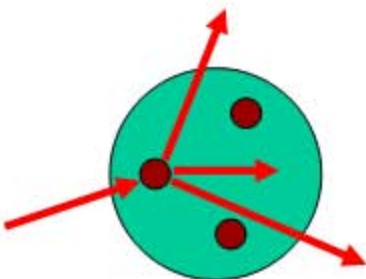
Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)



# Megoldási stratégiák

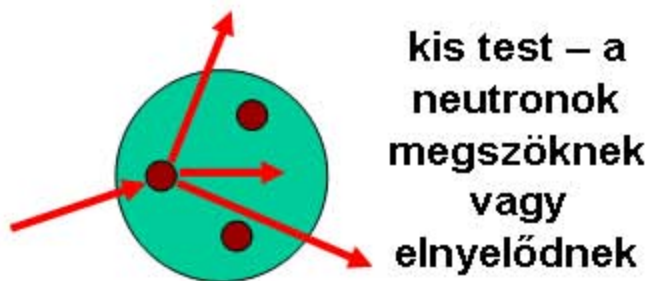


## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$



kis test – a neutronok megszöknek vagy elnyelődnek

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

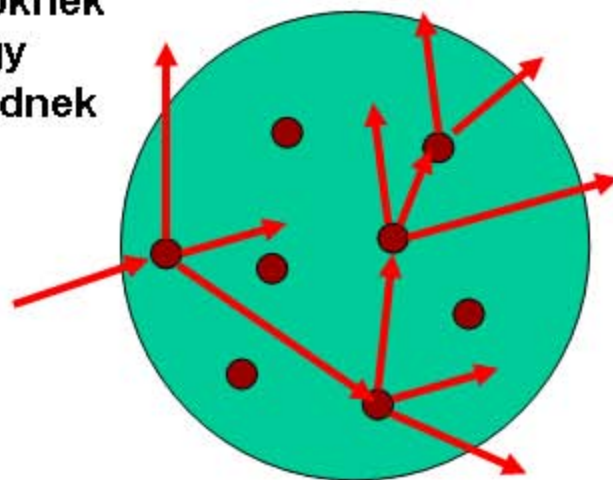
ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)

kis test – a neutronok megszöknek vagy elnyelődnek





# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

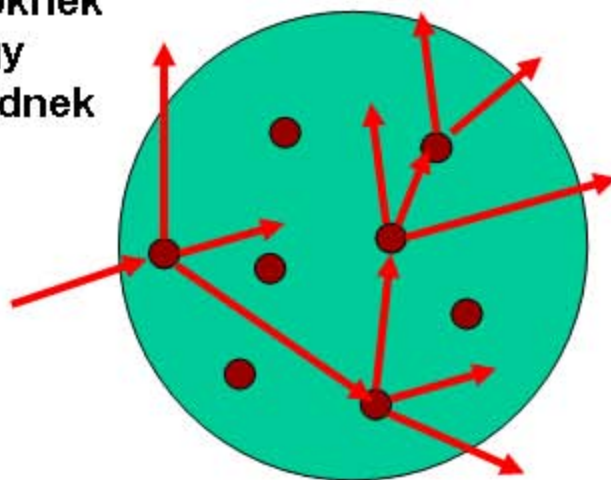
$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)

kis test – a neutronok megszöknek vagy elnyelődnek

elegendően nagy test – átlagosan legalább egy gyors neutron talál hasítani való magot



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)

határ:

**a kritikus tömeg**

**$m^*$**

kis test – a neutronok megszöknek vagy elnyelődnek

elegendően nagy test – átlagosan legalább egy gyors neutron talál hasítani való magot



# Megoldási stratégiák



## 1. Brute force

Használjunk **SOK ANYAGOT!**

ráadásul **dúsítva** (növeljük meg a  $^{235}\text{U}$  arányát)

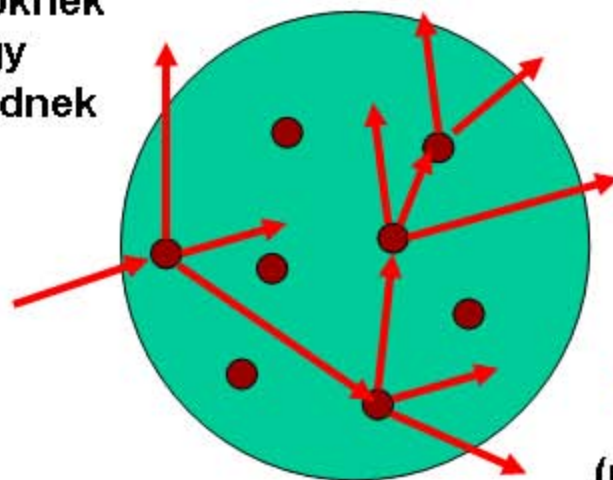
$$^{235}\text{U} / \text{U} \approx 80\%$$

Ez nehéz és drága, mert **NINCS KÉMIAI** különbség a  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  között

Fizikai módszerek (gázállapotú vegyületek szeparálása több ezer ultracentrifugával)

kis test – a neutronok megszöknek vagy elnyelődnek

legendően nagy test – átlagosan legalább egy gyors neutron talál hasítani való magot



határ:

**a kritikus tömeg**  $m^*$

(néhányszor 10 kg körül van)



**Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...**





**Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...**

de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???



## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...

de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze  
a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!



## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze  
a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell





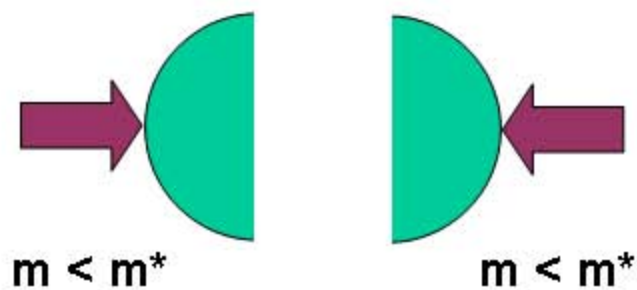
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



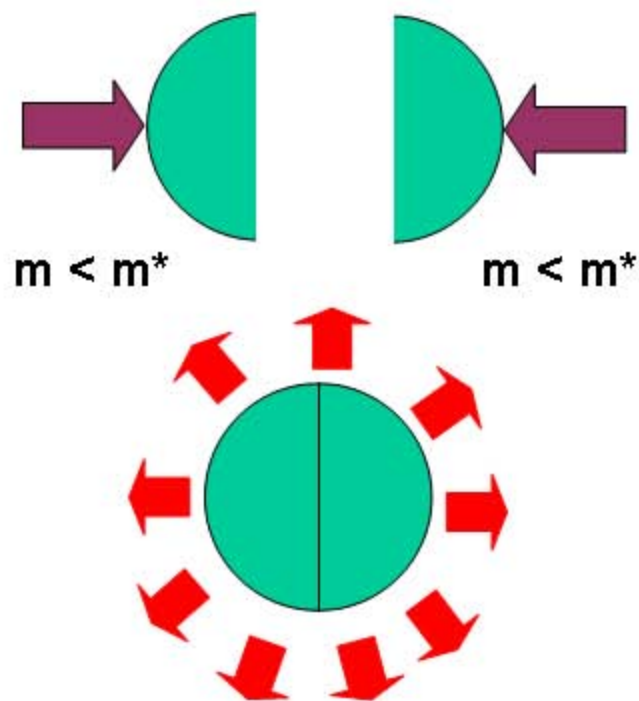
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



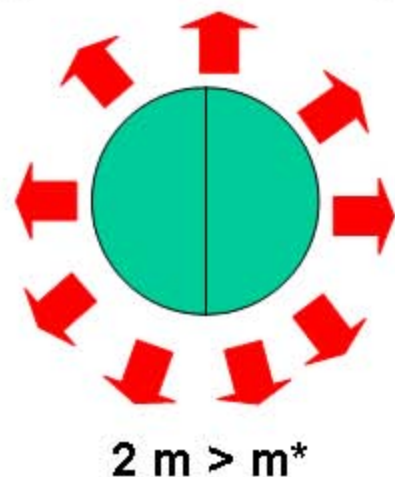
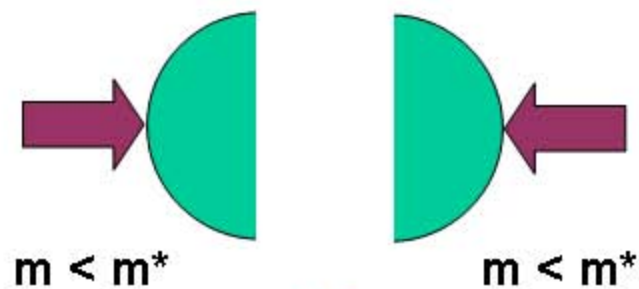
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



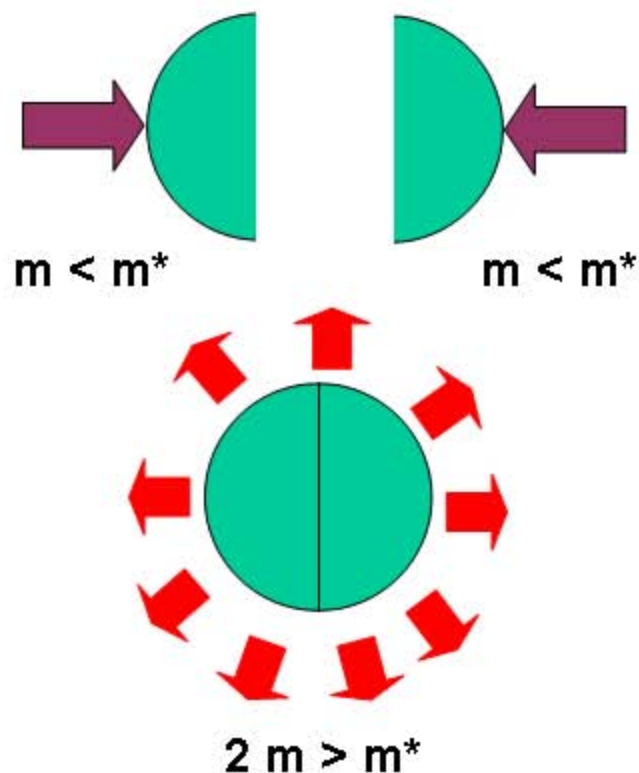
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



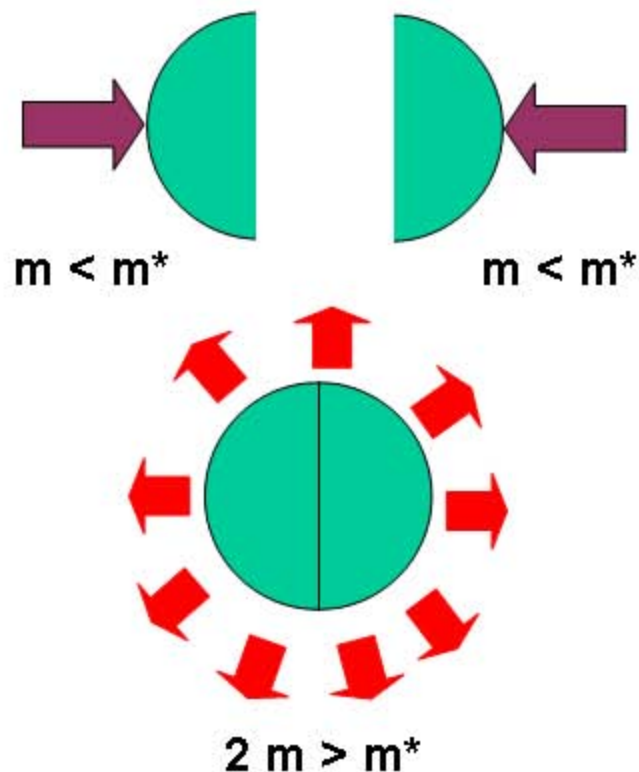
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



ágyúcső-bomba



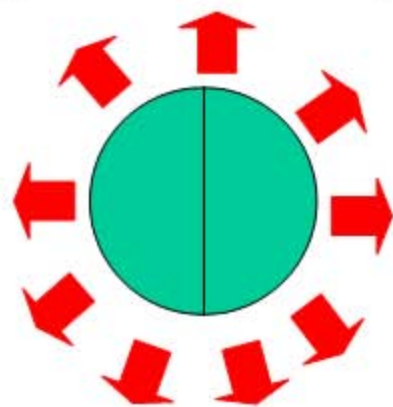
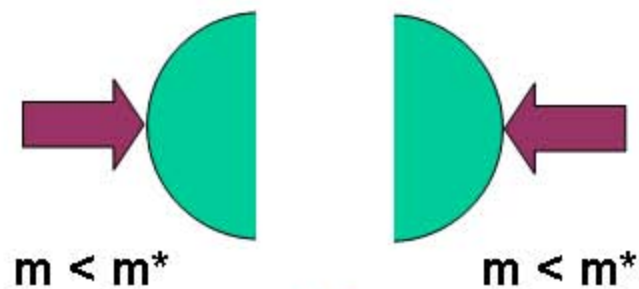
## Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



ágyúcső-bomba





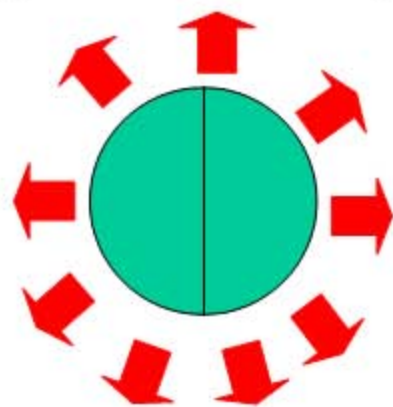
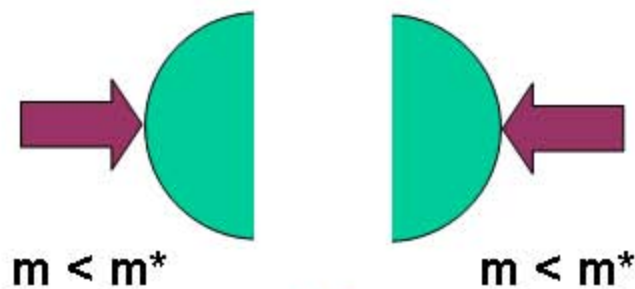
# Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

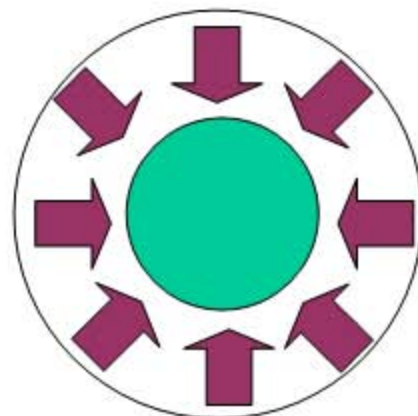
Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



$2 m > m^*$

ágyúcső-bomba





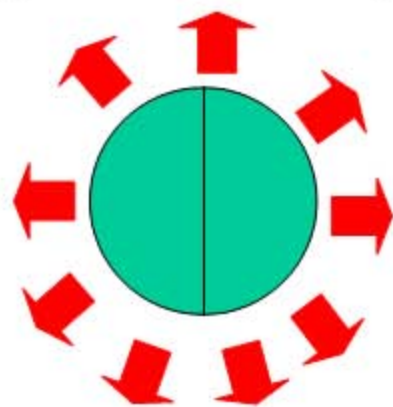
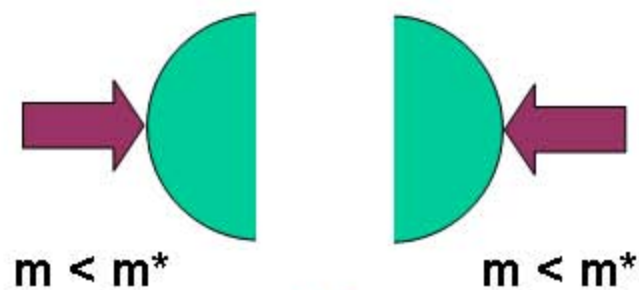
# Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



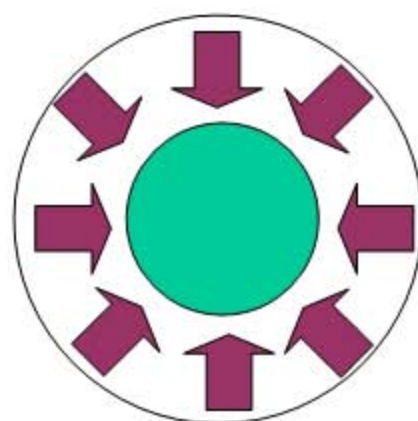
de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell



ágyúcső-bomba



radiális berobbantás



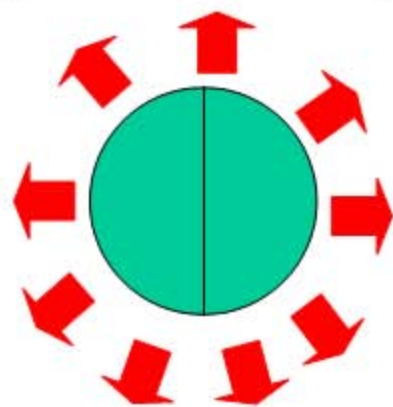
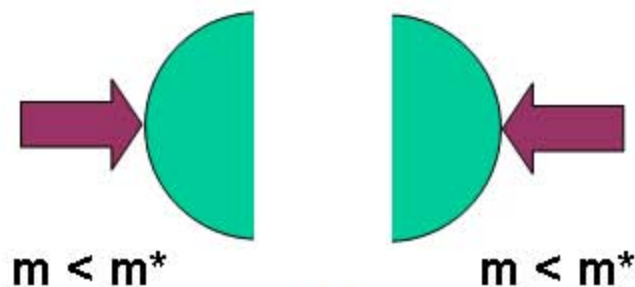
# Ha együtt a kritikus tömeg, megindul a láncreakció...



de miért nem robban fel a rendszer már készítésekor???

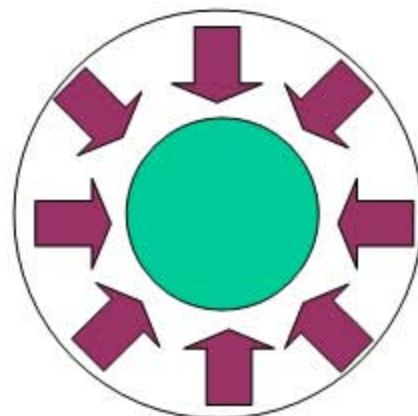
Mert csak előkészítik, de nem rakják össze a kritikus tömegnyi hasadóanyagot!

elvi modell

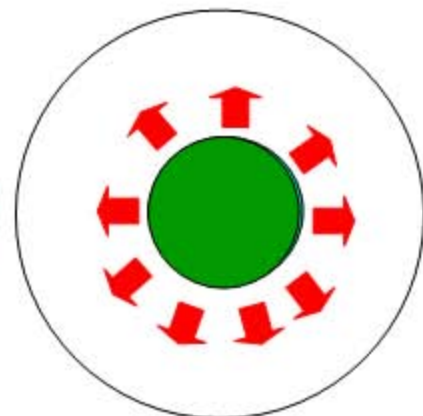


$2 m > m^*$

ágyúcső-bomba



radiális berobbantás





beindul és  
felgyorsul a  
láncreakció –  
pillanatok alatt  
felszabadul a  
rendszerből az  
összes energia





beindul és  
felgyorsul a  
láncreakció –  
pillanatok alatt  
felszabadul a  
rendszerből az  
összes energia



# Megoldási stratégiák



# Megoldási stratégiák





# Megoldási stratégiák

## 2. Mérsékeljük magunkat!





# Megoldási stratégiák

## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)



# Megoldási stratégiák

## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)



lassítás ütközéssel



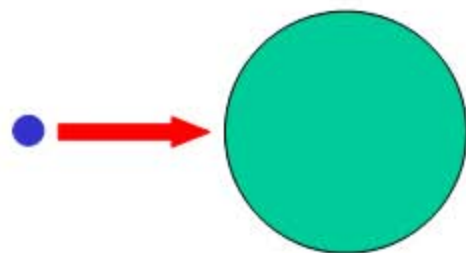
# Megoldási stratégiák

## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)



lassítás ütközéssel



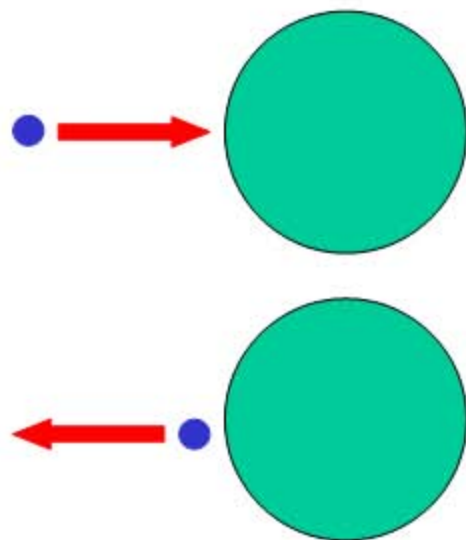
# Megoldási stratégiák

## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)



lassítás ütközéssel



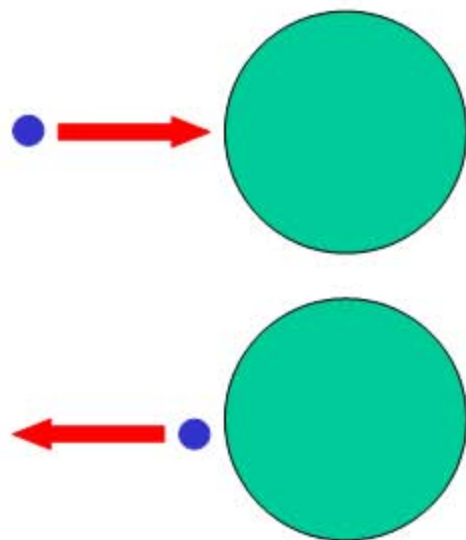
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$



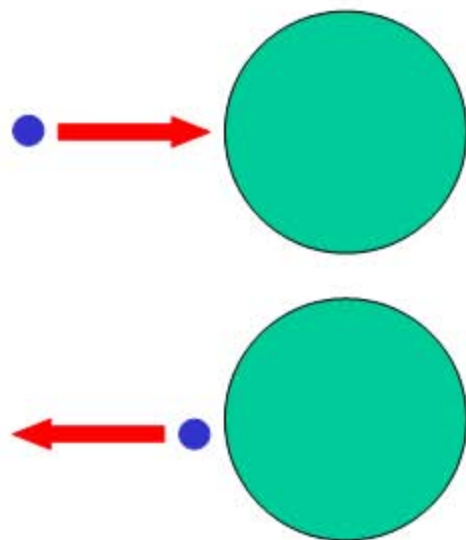
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

a neutron visszapattan



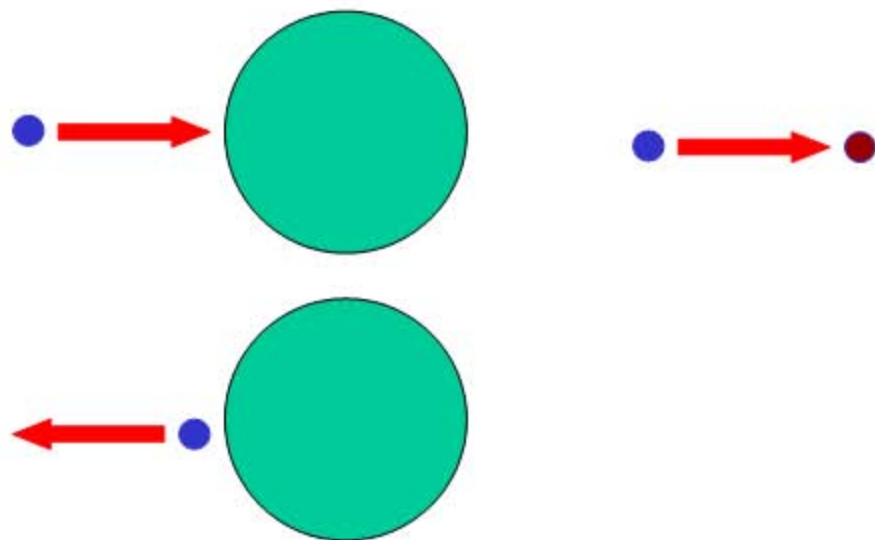
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

a neutron visszapattan





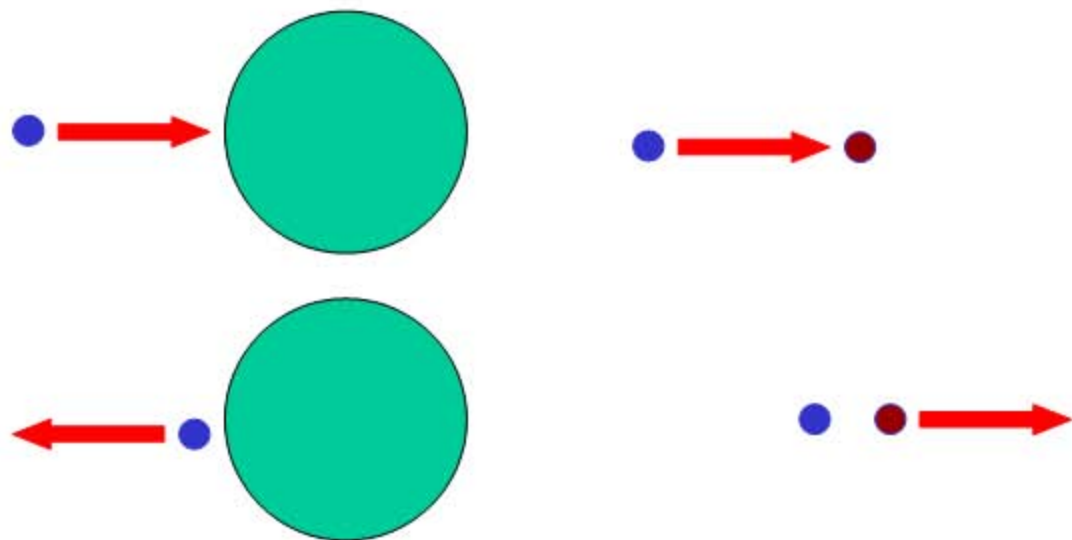
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

a neutron visszapattan

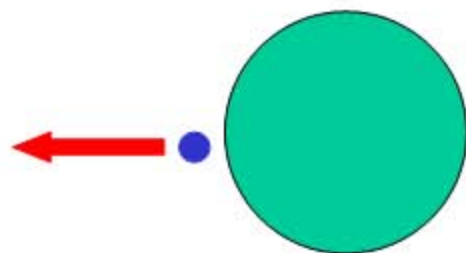
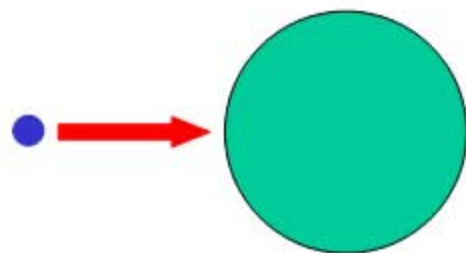


# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat! (azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

$$m_n = M$$

a neutron visszapattan

a neutron megáll



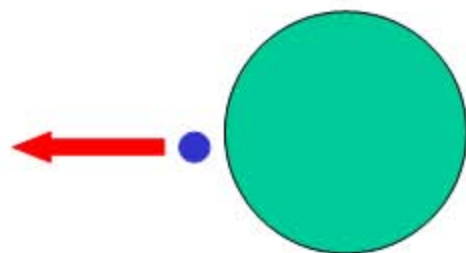
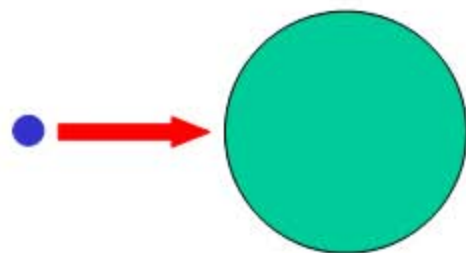
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

$$m_n = M$$

a neutron visszapattan

a neutron megáll



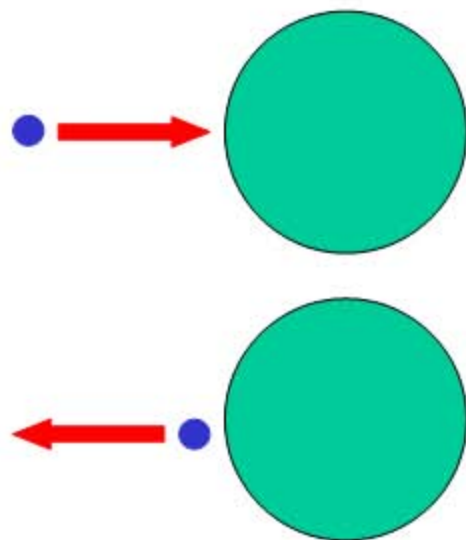
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

a neutron visszapattan



$$m_n = M$$

a neutron megáll



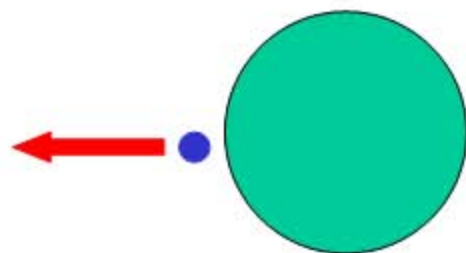
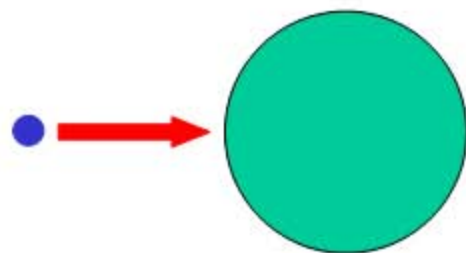
# Megoldási stratégiák



## 2. Mérsékeljük magunkat!

(azaz a neutronokat)

lassítás ütközéssel



$$m_n \ll M$$

a neutron visszapattan

$$m_n = M$$

a neutron megáll

$$m_n < M$$

a neutron lelassul





## Mi az optimális lassító anyag?





## Mi az optimális lassító anyag?

$$m_n \approx m_p$$



## Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutront!



## Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutront!



Milyen anyagban van sok magányos proton?

Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutront!



Milyen anyagban van sok magányos proton? a hidrogénben!



Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!



Milyen anyagban van sok magányos proton? a hidrogénben!

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...



Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutront!



Milyen anyagban van sok magányos proton? a hidrogénben!

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**



Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!



Milyen anyagban van sok magányos proton? a hidrogénben!

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**

Jelentős része hidrogén,  
és viszonylag sűrű  
még 200 fokon is.





## Mi az optimális lassító anyag?

$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!



Milyen anyagban van sok magányos proton? **a hidrogénben!**

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**

Jelentős része hidrogén,  
és viszonylag sűrű  
még 200 fokon is.

De a víz nem szerkezeti anyag:  
nem lehet belőle megépíteni a  
berendezést:  
kell egy fix méretű fémtartály –  
nehéz tovább bővíteni



## Mi az optimális lassító anyag?



$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!

Milyen anyagban van sok magányos proton? **a hidrogénben!**

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**

Jelentős része hidrogén,  
és viszonylag sűrű  
még 200 fokon is.

De a víz nem szerkezeti anyag:  
nem lehet belőle megépíteni a  
berendezést:  
kell egy fix méretű fémtartály –  
nehéz tovább bővíteni

**kompromisszumos megoldás:  
a szén, a grafit**



## Mi az optimális lassító anyag?



$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!

Milyen anyagban van sok magányos proton? **a hidrogénben!**

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**

De a víz nem szerkezeti anyag:  
nem lehet belőle megépíteni a  
berendezést:

kell egy fix méretű fémtartály –  
nehéz tovább bővíteni

**kompromisszumos megoldás:  
a szén, a grafit**

Jelentős része hidrogén,  
és viszonylag sűrű  
még 200 fokon is.

Elég jól lassítja  
a neutronokat,  
és szerkezeti anyagnak  
is megfelel



## Mi az optimális lassító anyag?



$m_n \approx m_p$  a proton majdnem megállítja a neutron!

Milyen anyagban van sok magányos proton? **a hidrogénben!**

De a hidrogéngáz ritka, a folyékony hidrogén meg hideg...

**Optimális megoldás: a víz**

De a víz nem szerkezeti anyag:  
nem lehet belőle megépíteni a  
berendezést:

kell egy fix méretű fémtartály –  
nehéz tovább bővíteni

**kompromisszumos megoldás:  
a szén, a grafit**

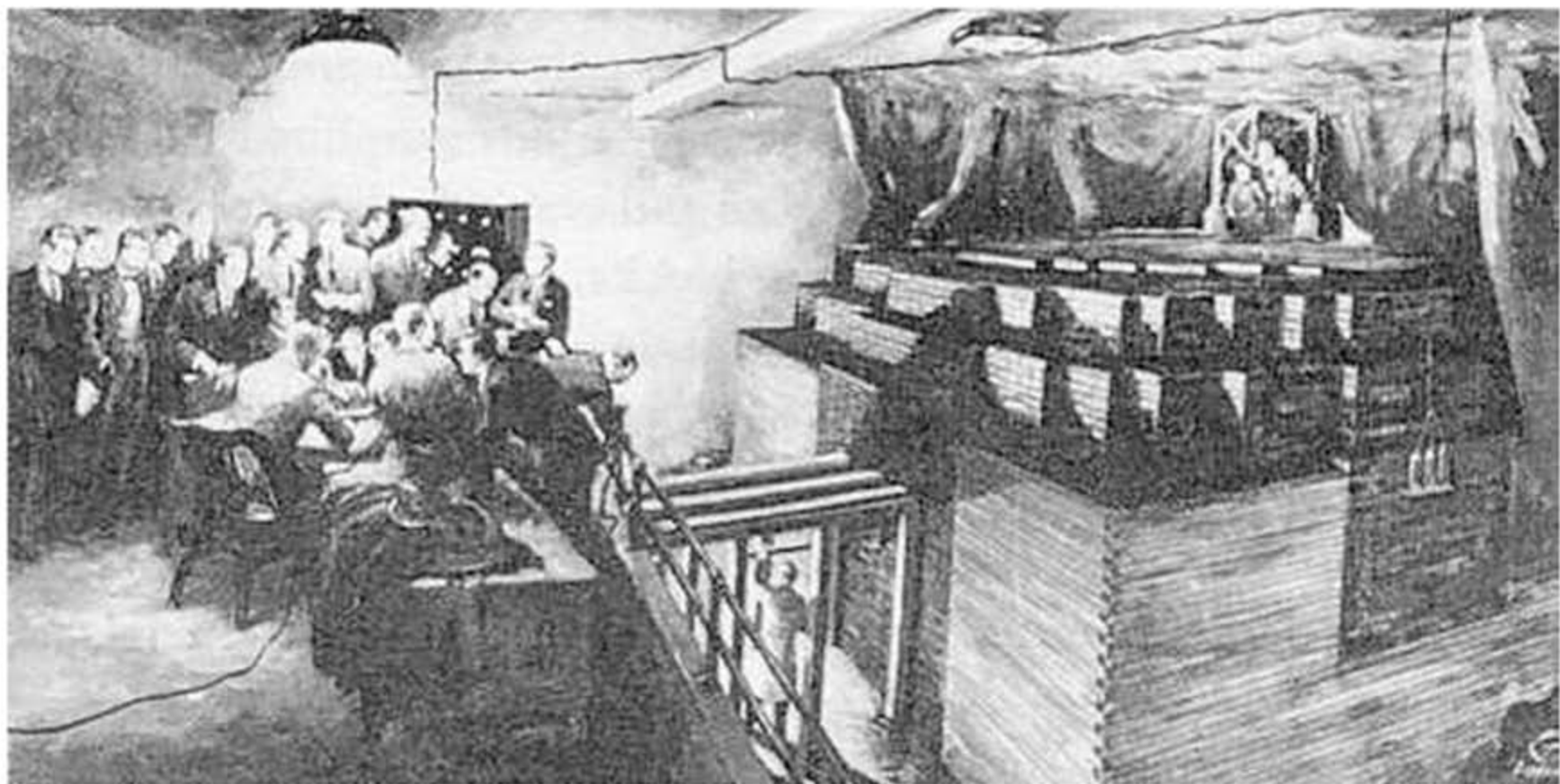
Jelentős része hidrogén,  
és viszonylag sűrű  
még 200 fokon is.

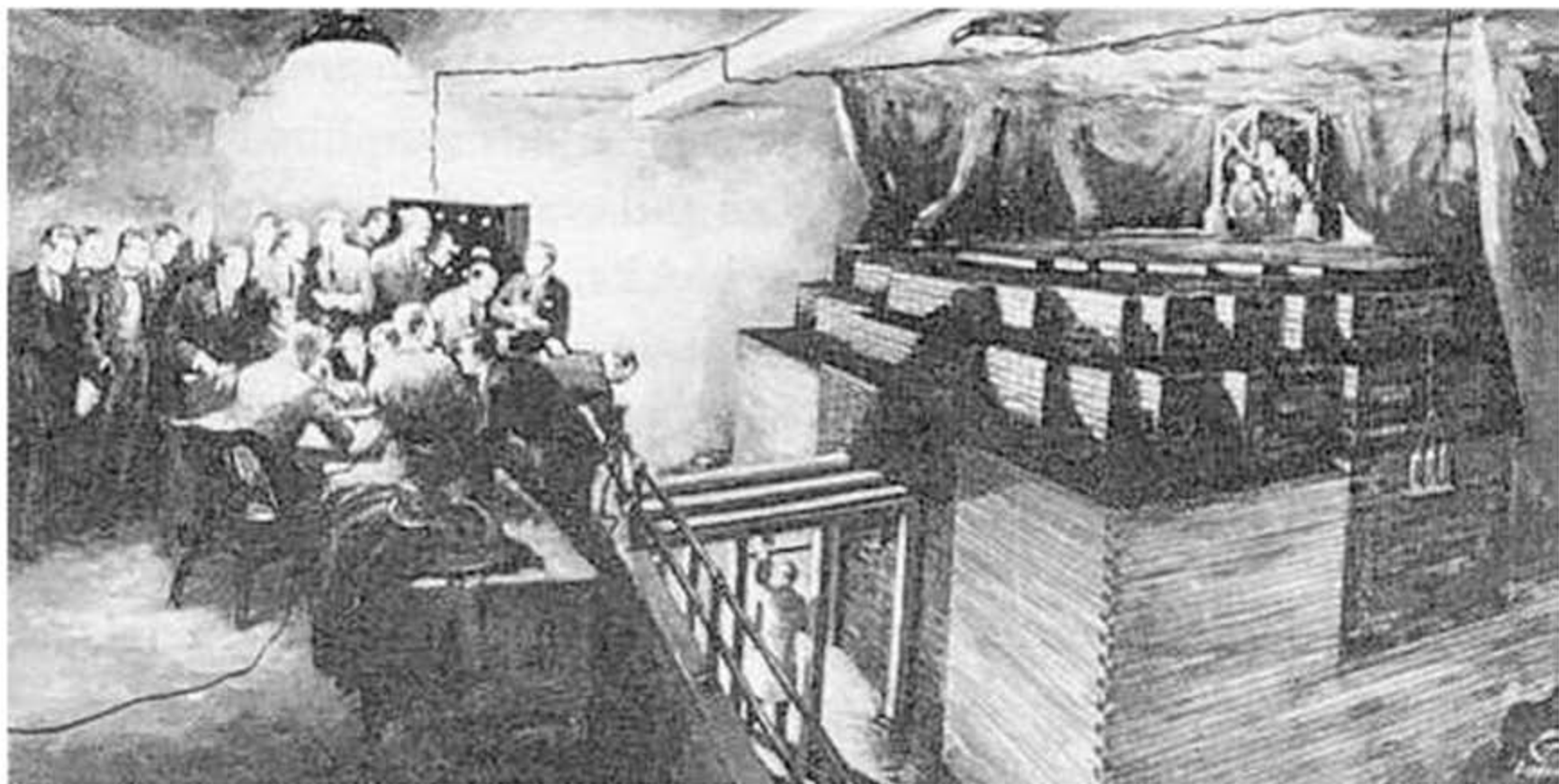
Elég jól lassítja  
a neutronokat,  
és szerkezeti anyagnak  
is megfelel

**„atommáglya”**



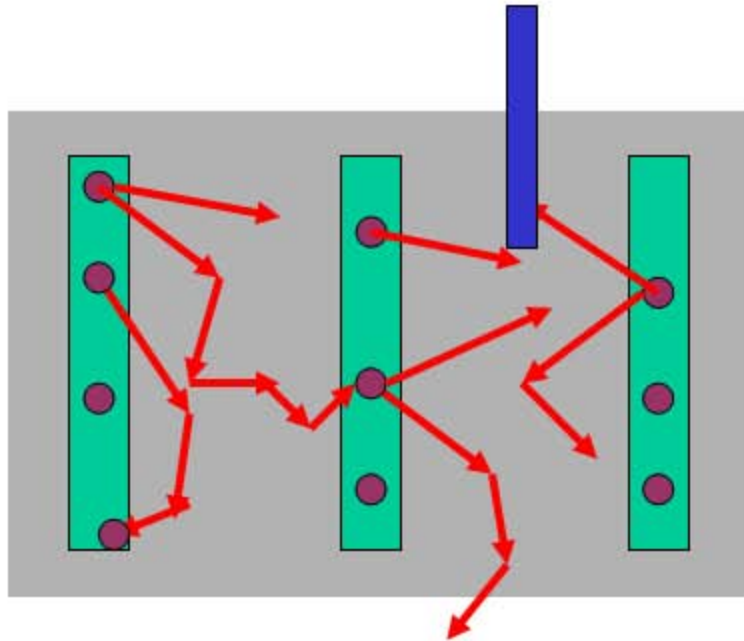






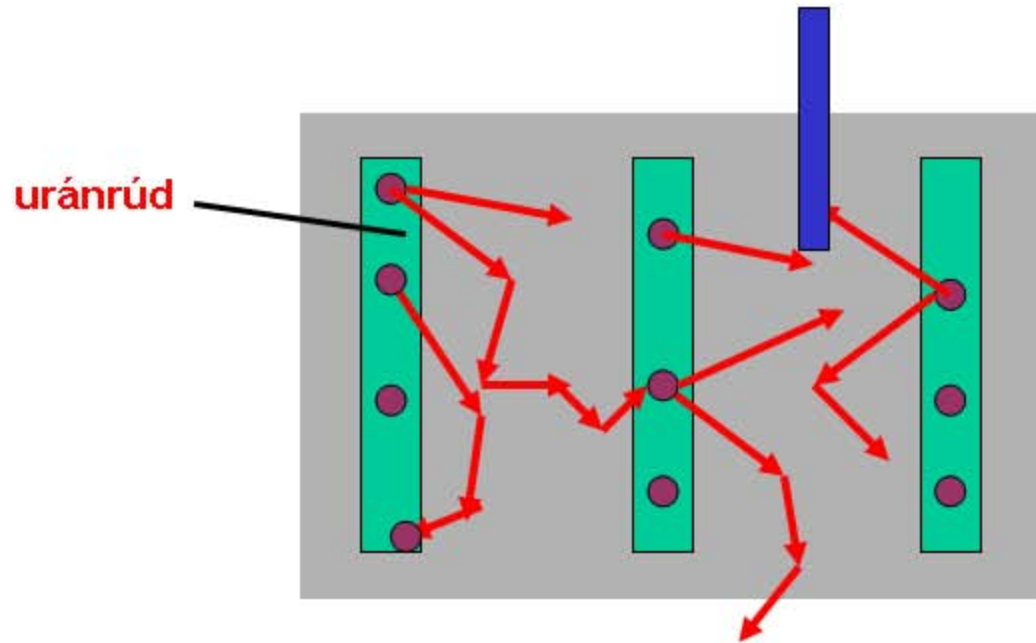
## Az első kísérleti atomreaktor beindítása Chicago, 1942. december 2.

# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata

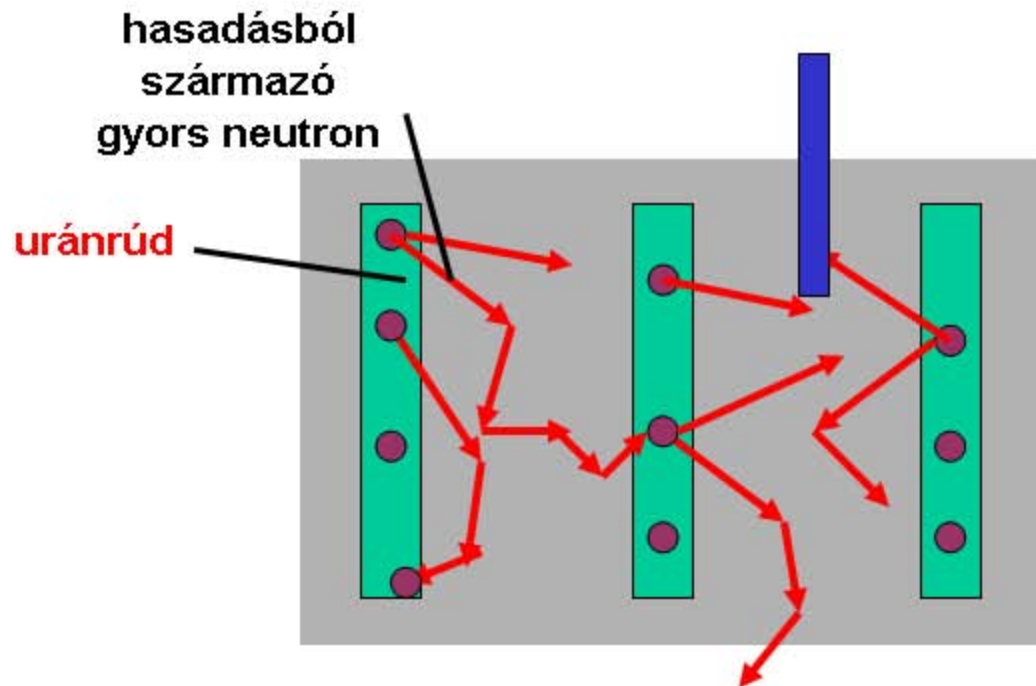




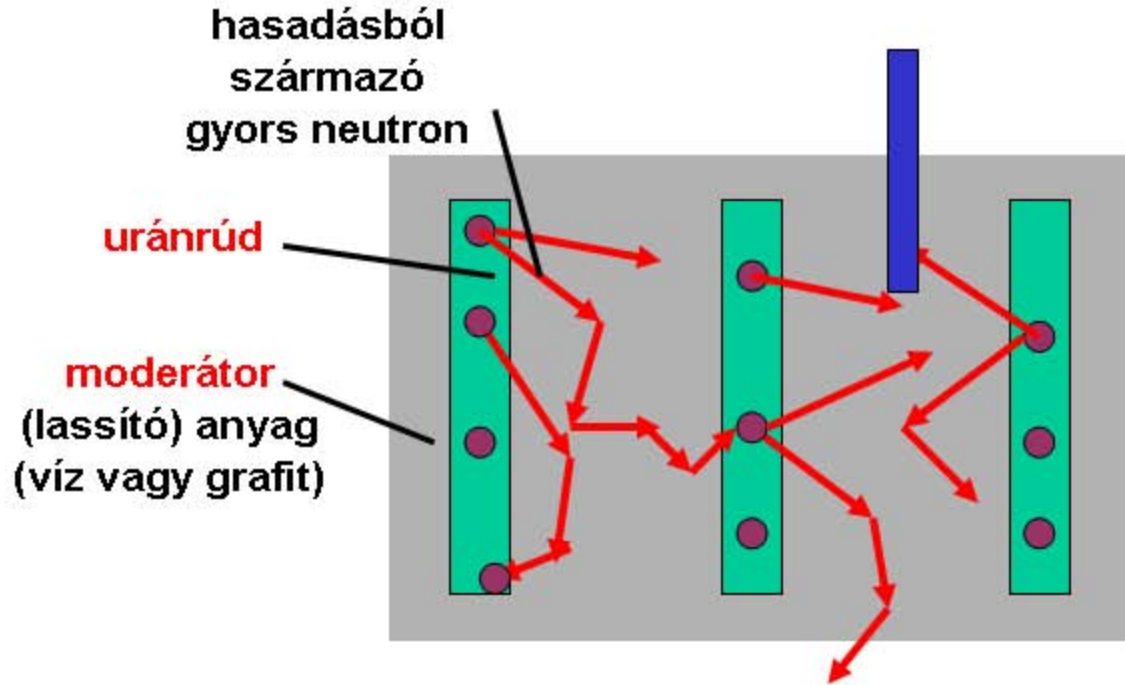
# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



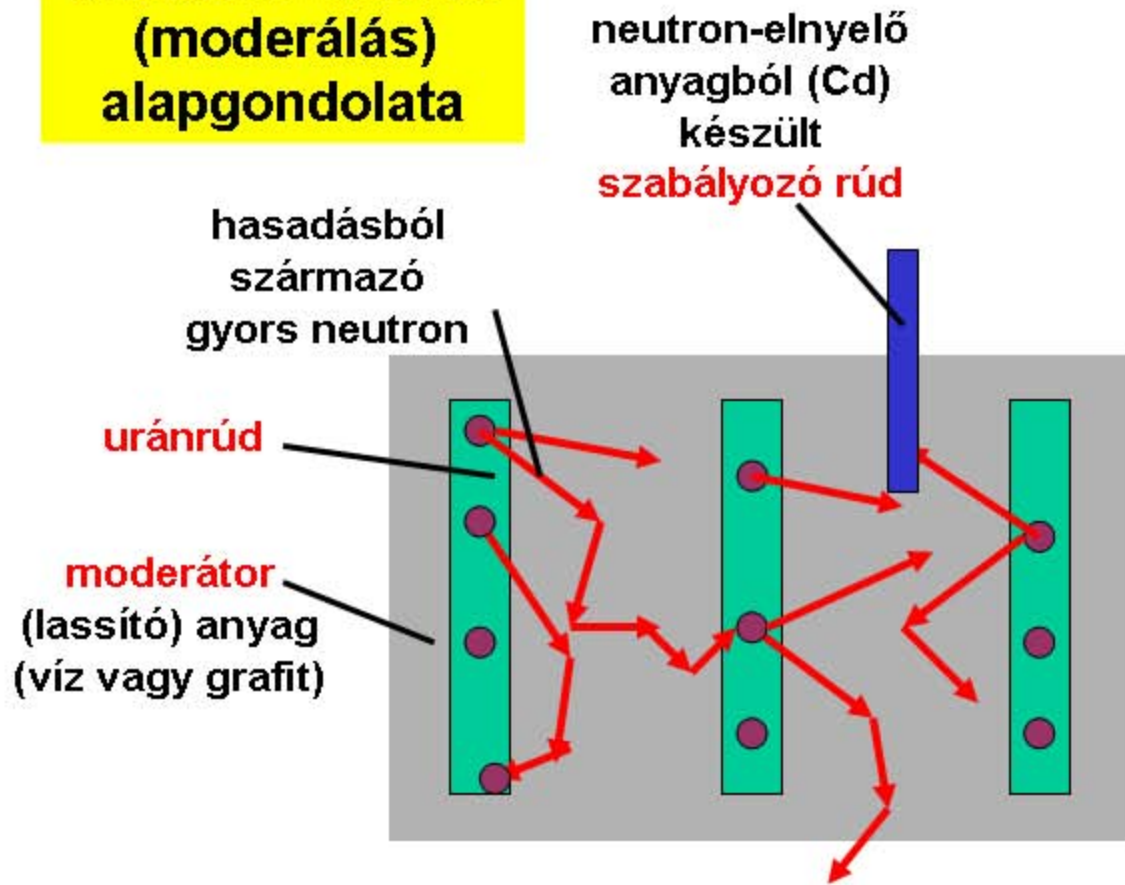
# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



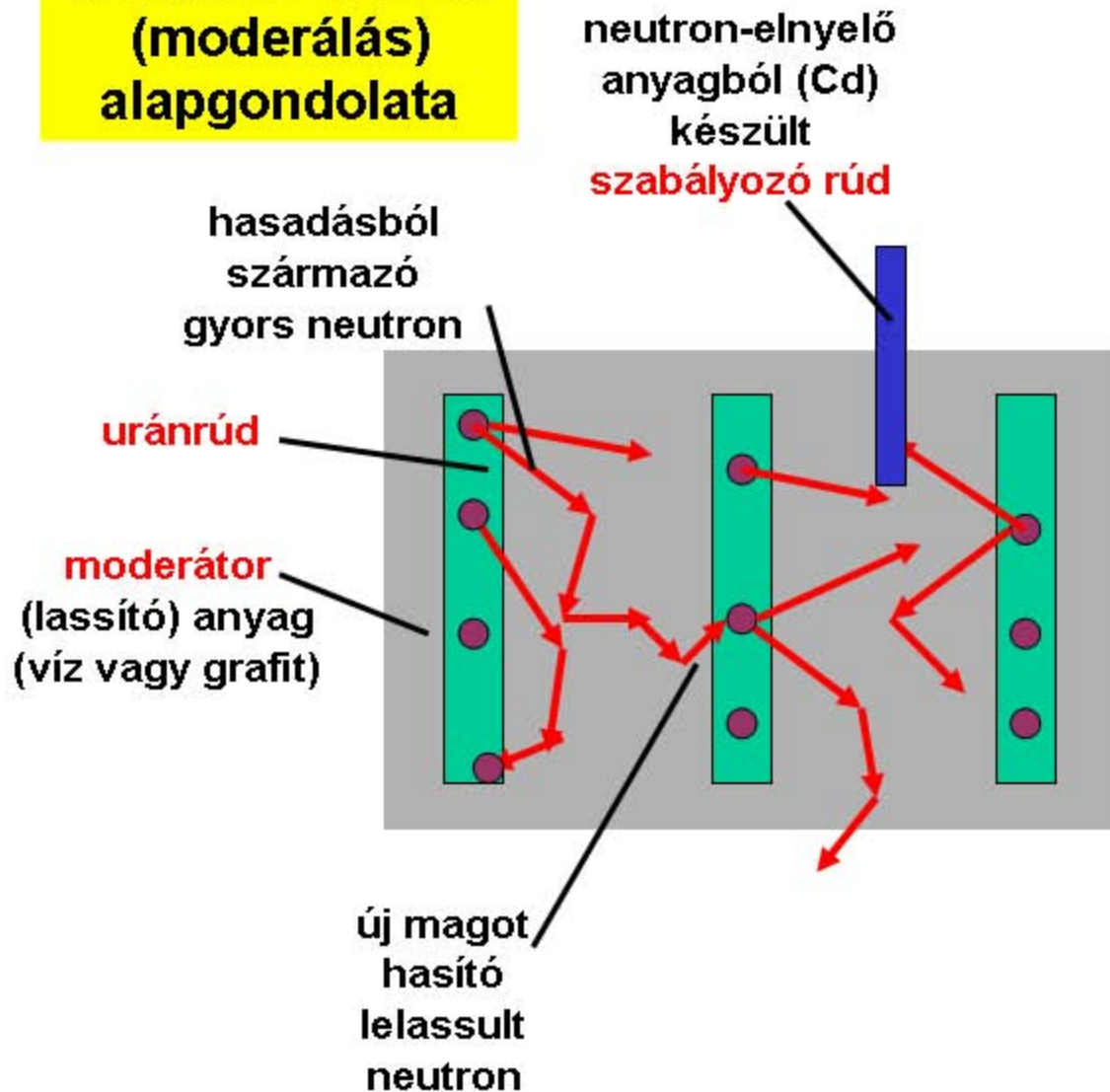
# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



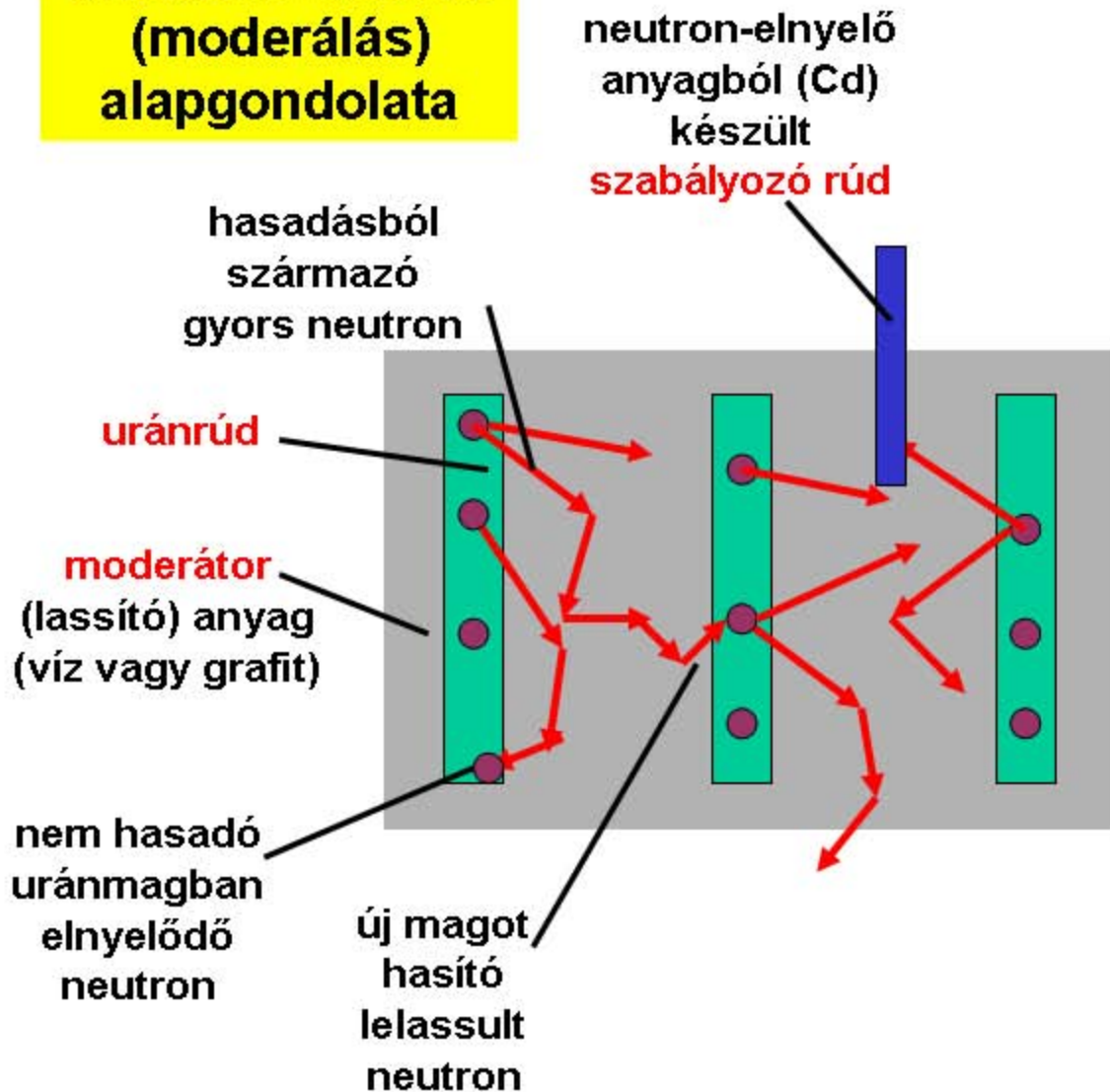
# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



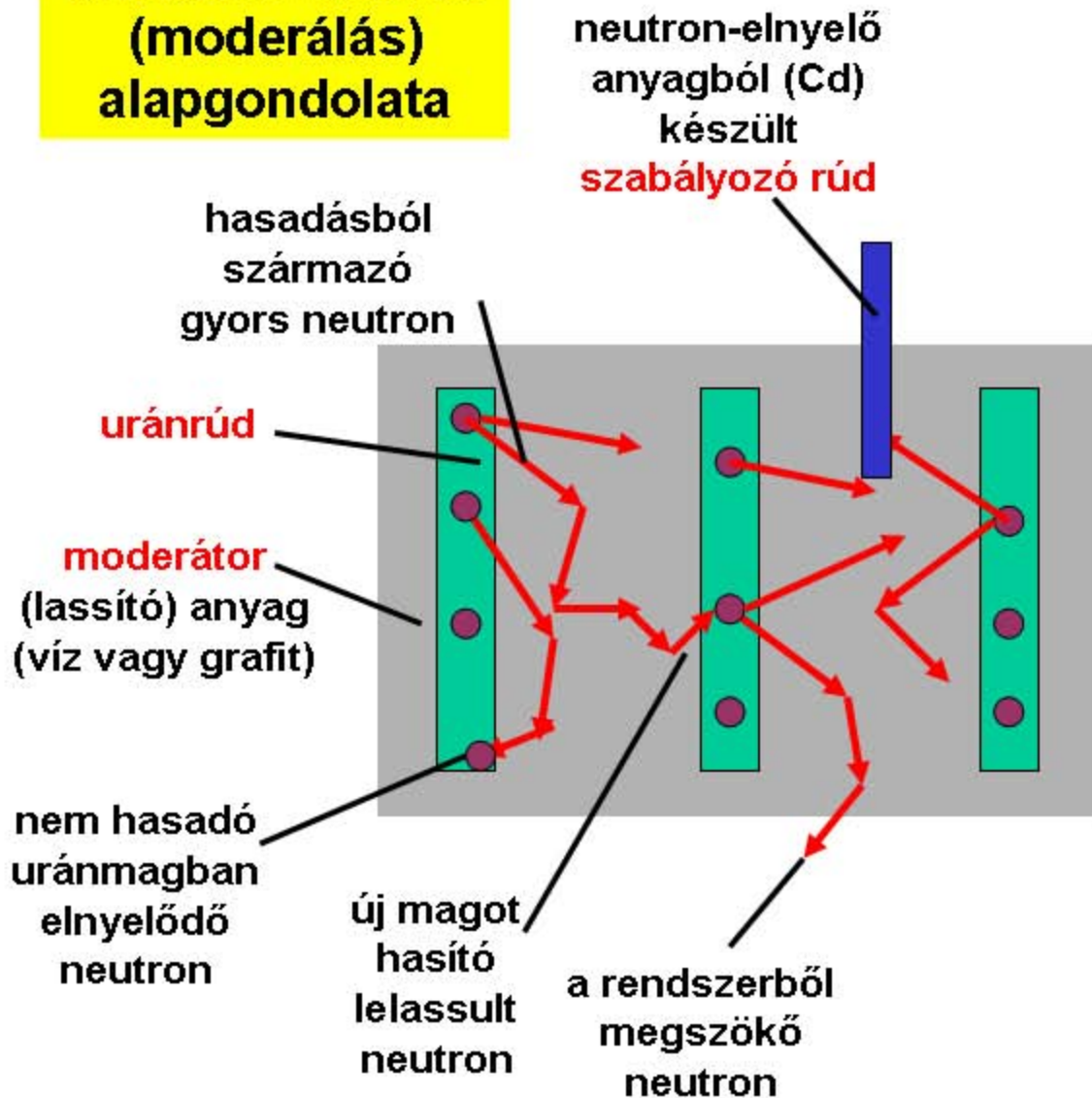
# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata

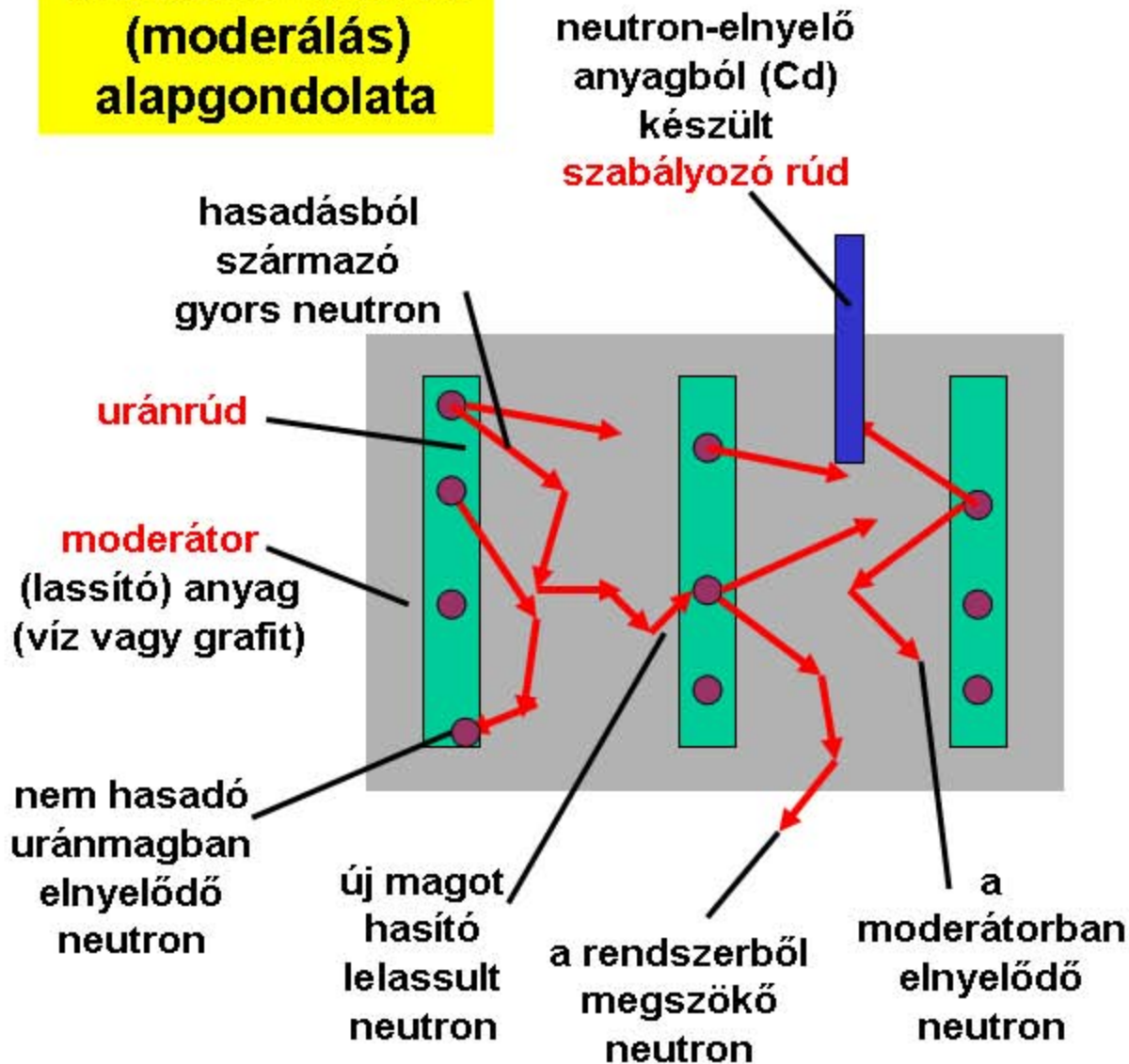


# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata

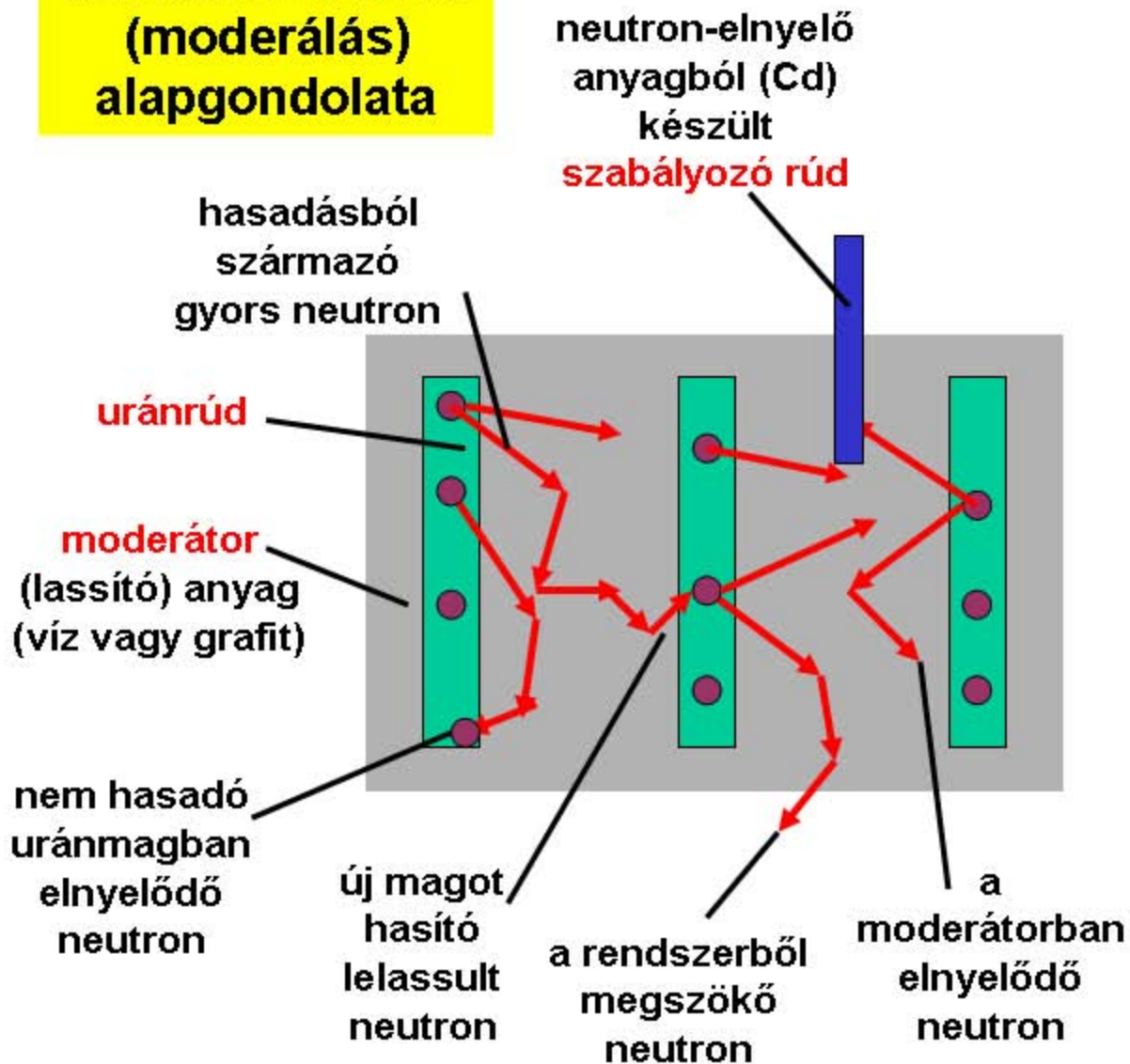




# a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



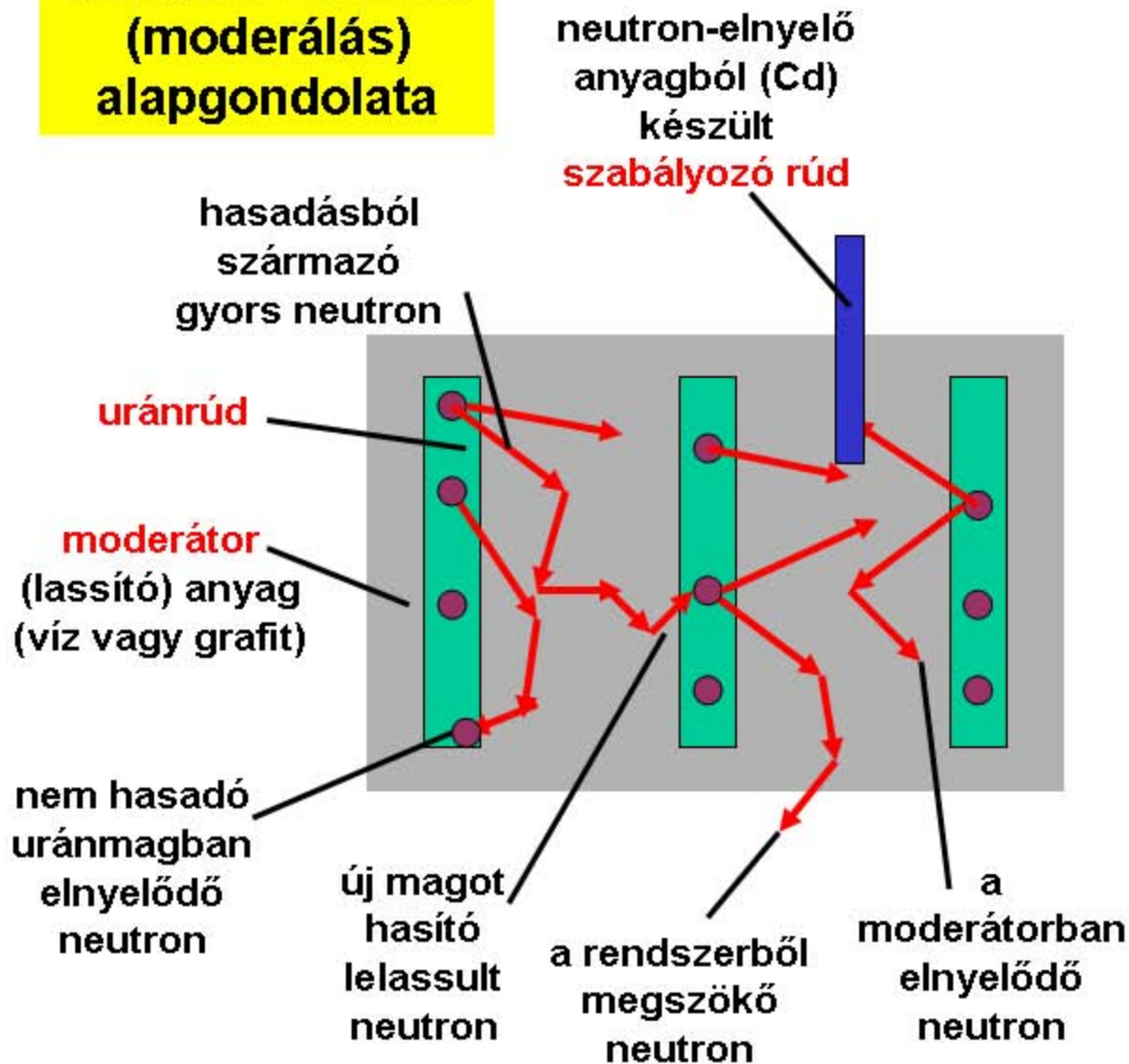
## a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



Ez a szerkezet az  
**atomreaktor**



## a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata

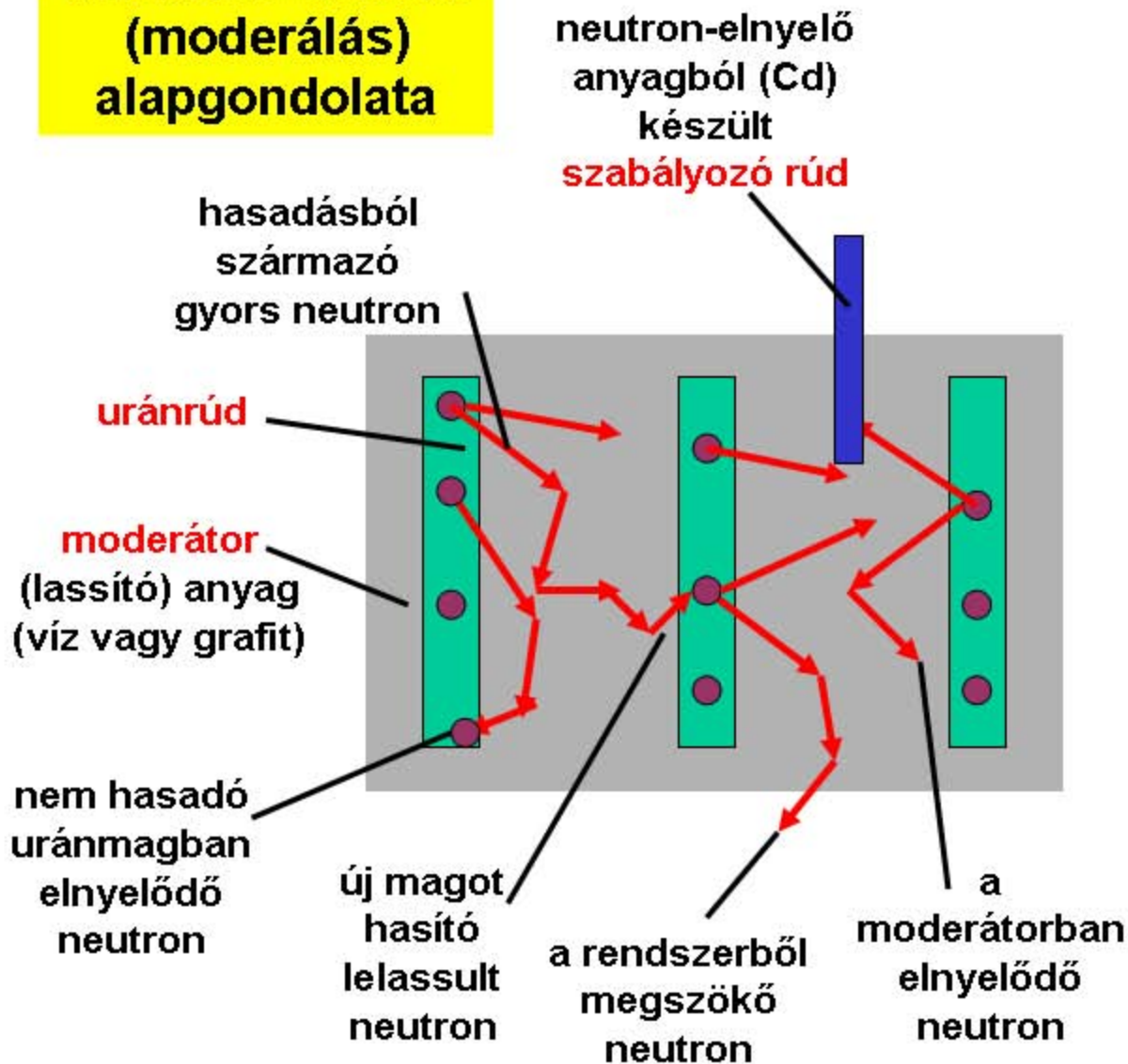


Ez a szerkezet az  
**atomreaktor**

egy neutron átlagosan  
egy új neutront kelt



## a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



## Ez a szerkezet az **atomreaktor**

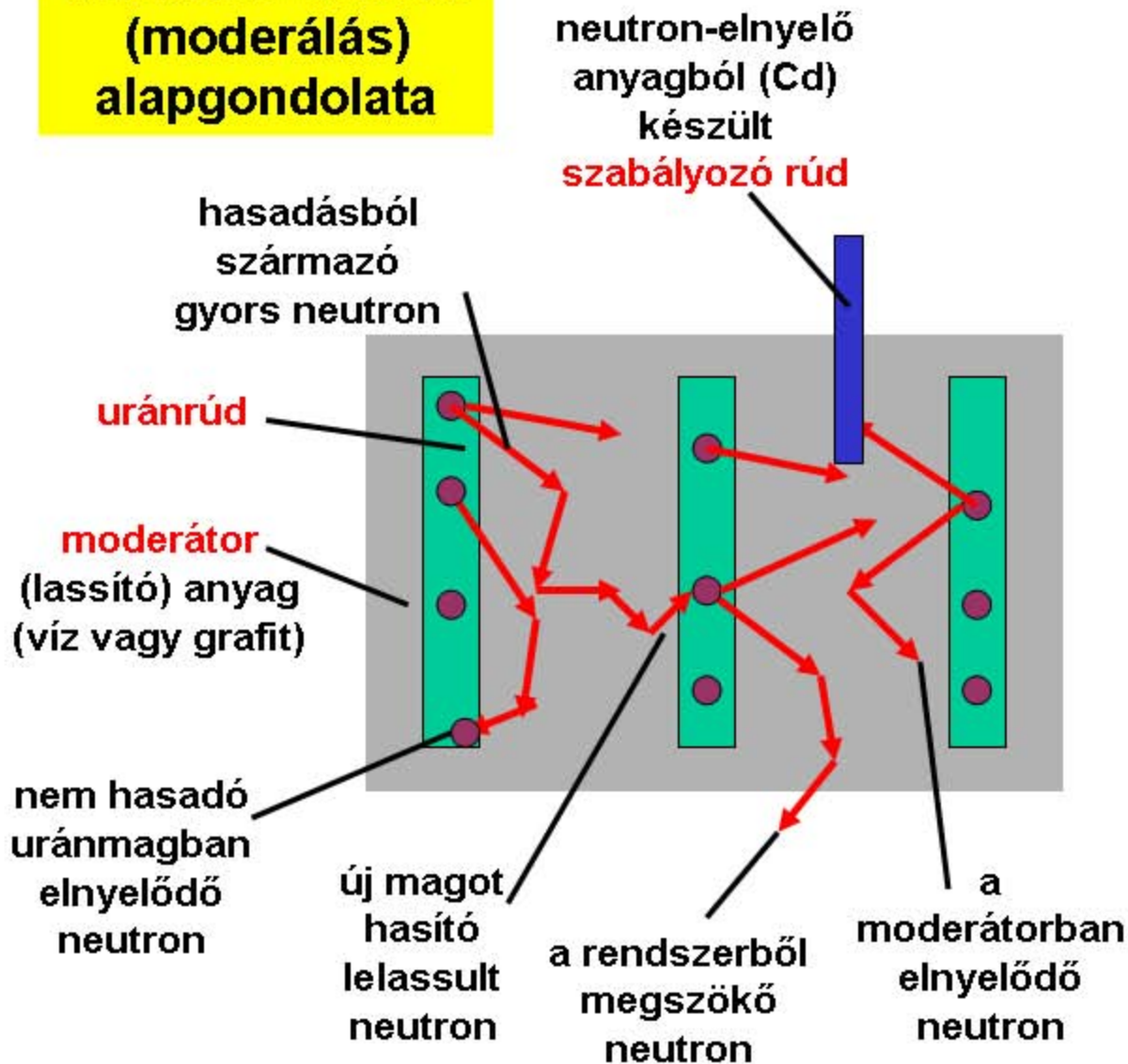
egy neutron átlagosan  
egy új neutront kelt

**a rendszer  
állandósult  
üzemben működik**





## a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



## Ez a szerkezet az atomreaktor

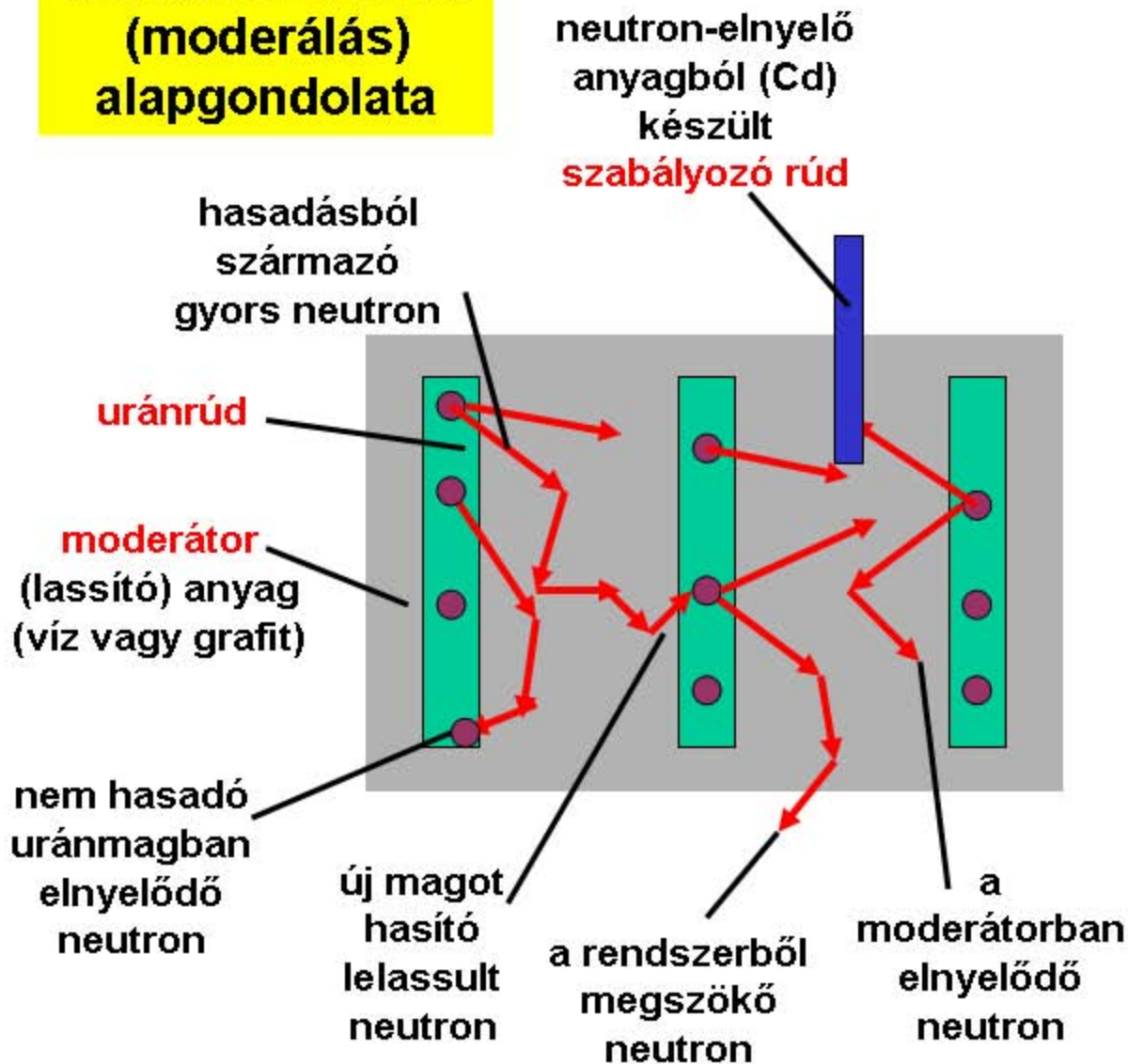
egy neutron átlagosan egy új neutront kelt

**a rendszer állandósult üzemben működik**

a lassú neutronok miatt nem kell annyira dúsítani az uránt (kb 20%), mint a bombához (80%)



## a neutronlassítás (moderálás) alapgondolata



## Ez a szerkezet az **atomreaktor**

egy neutron átlagosan  
egy új neutront kelt

**a rendszer  
állandósult  
üzemben működik**

a lassú neutronok  
miatt nem kell  
annyira dúsítani az  
uránt (kb 20%), mint  
a bombához (80%)

**Atomreaktorból  
sohasem lesz  
atombomba!**

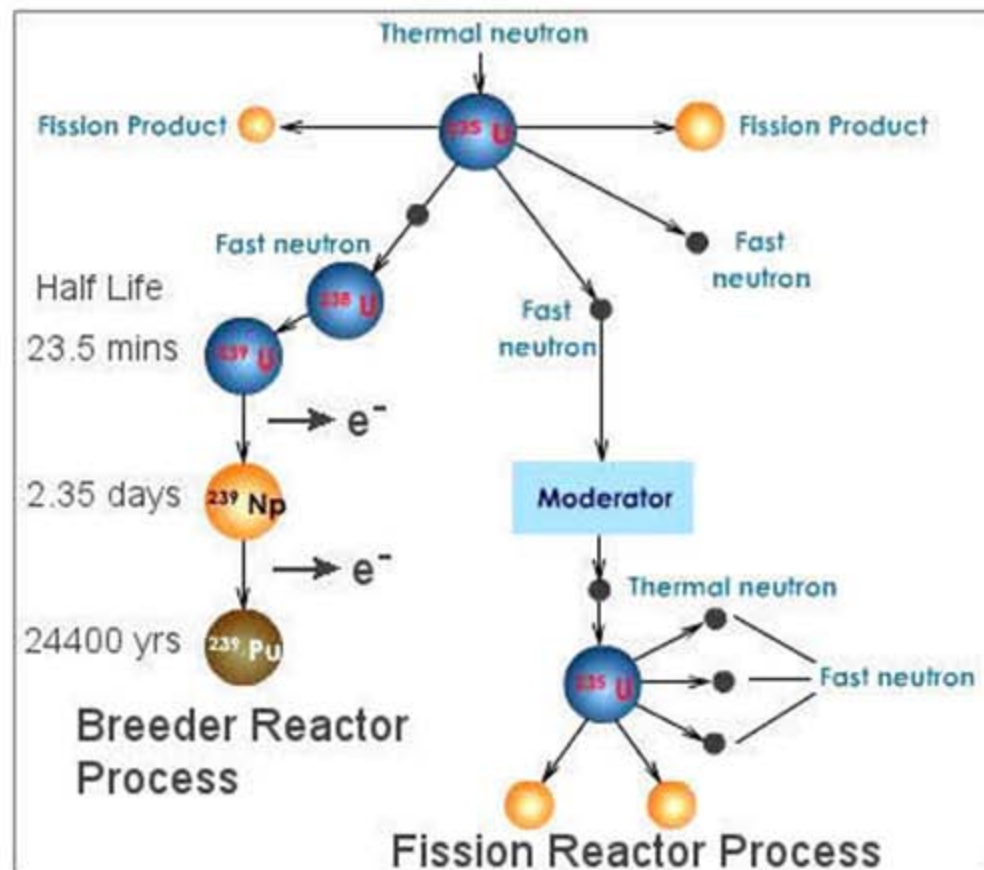


# Különutas neutronok



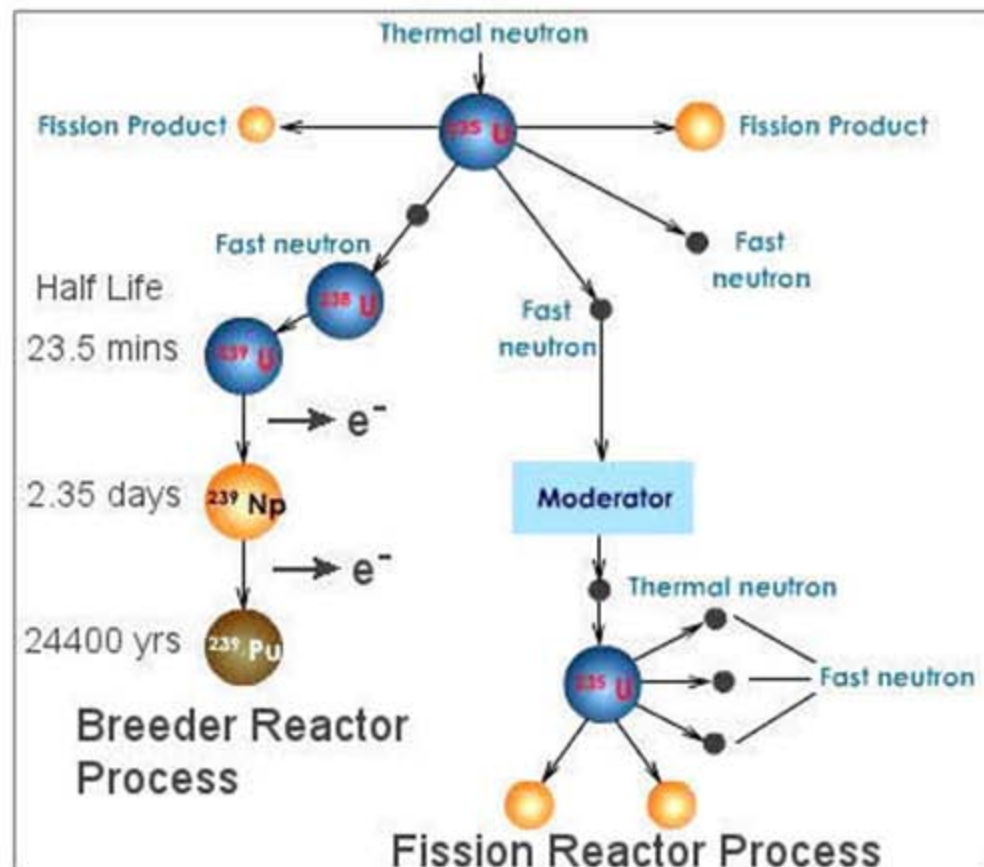


# Különutas neutronok



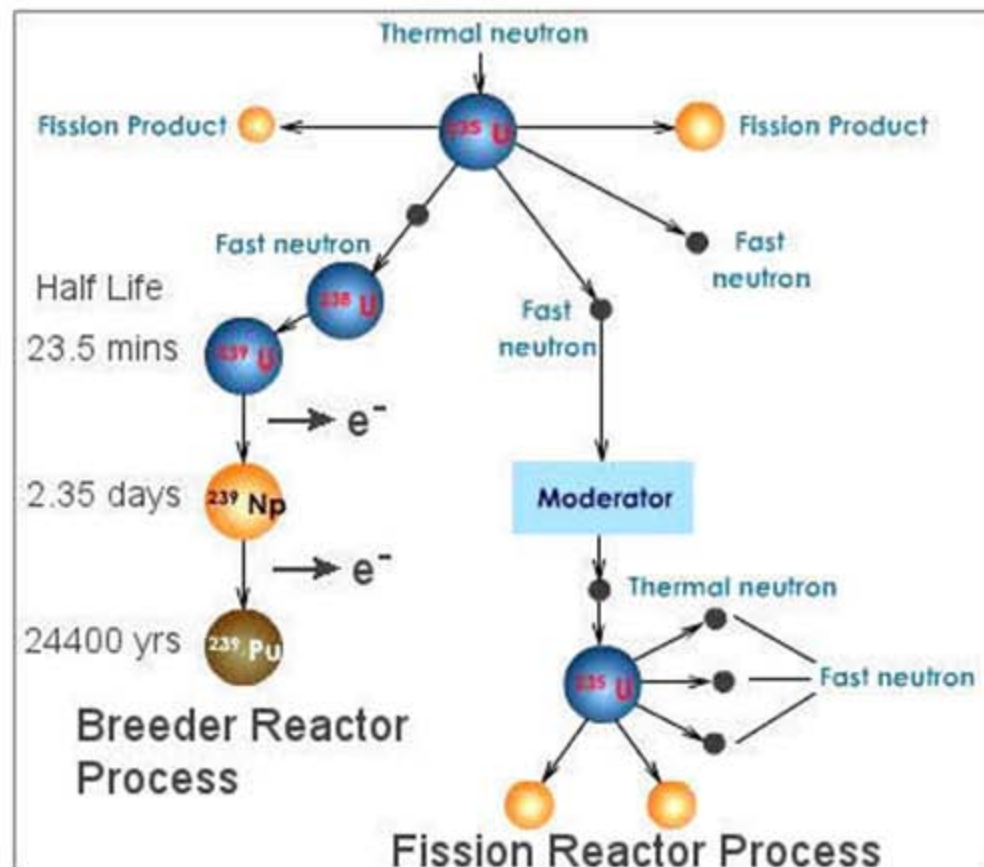
# Különutas neutronok

elnyelődnek a  $^{238}\text{U}$  magokban,



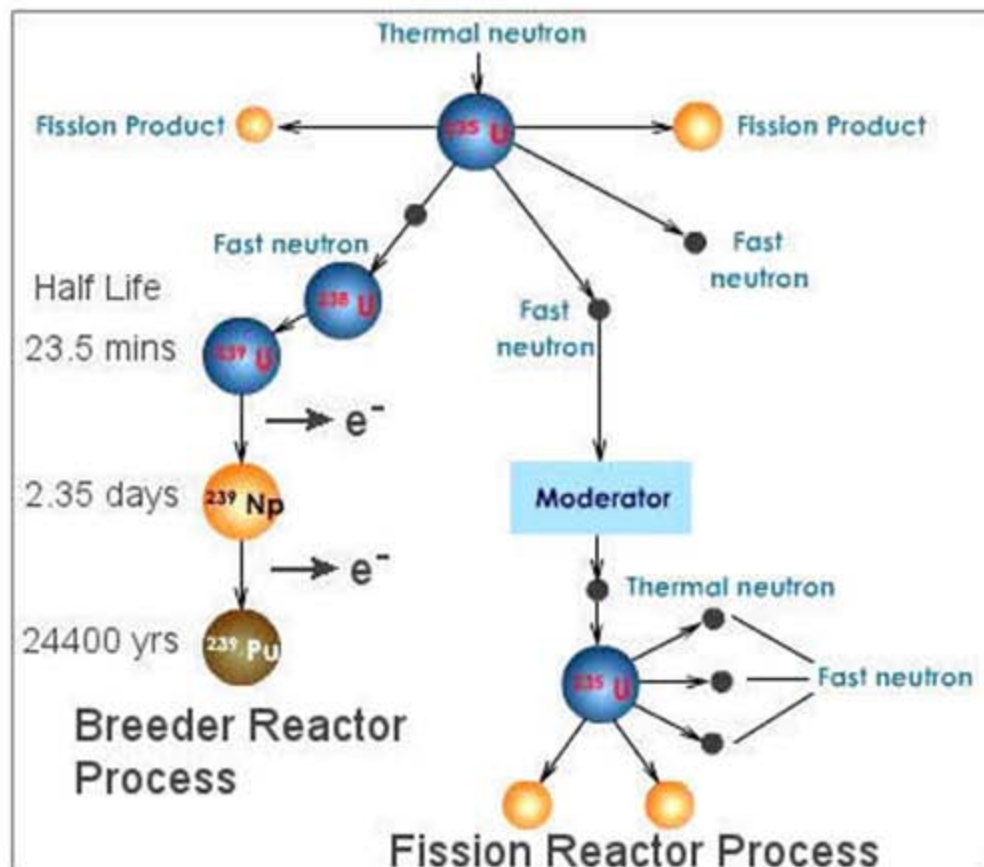
# Különutas neutronok

elnyelődnek a  $^{238}\text{U}$  magokban,  
és  $^{239}\text{Pu}$ -vá alakítják őket,



# Különutas neutronok

elnyelődnek a  $^{238}\text{U}$  magokban,  
és  $^{239}\text{Pu}$ -vá alakítják őket,  
ezek további hasadásra alkalmasak



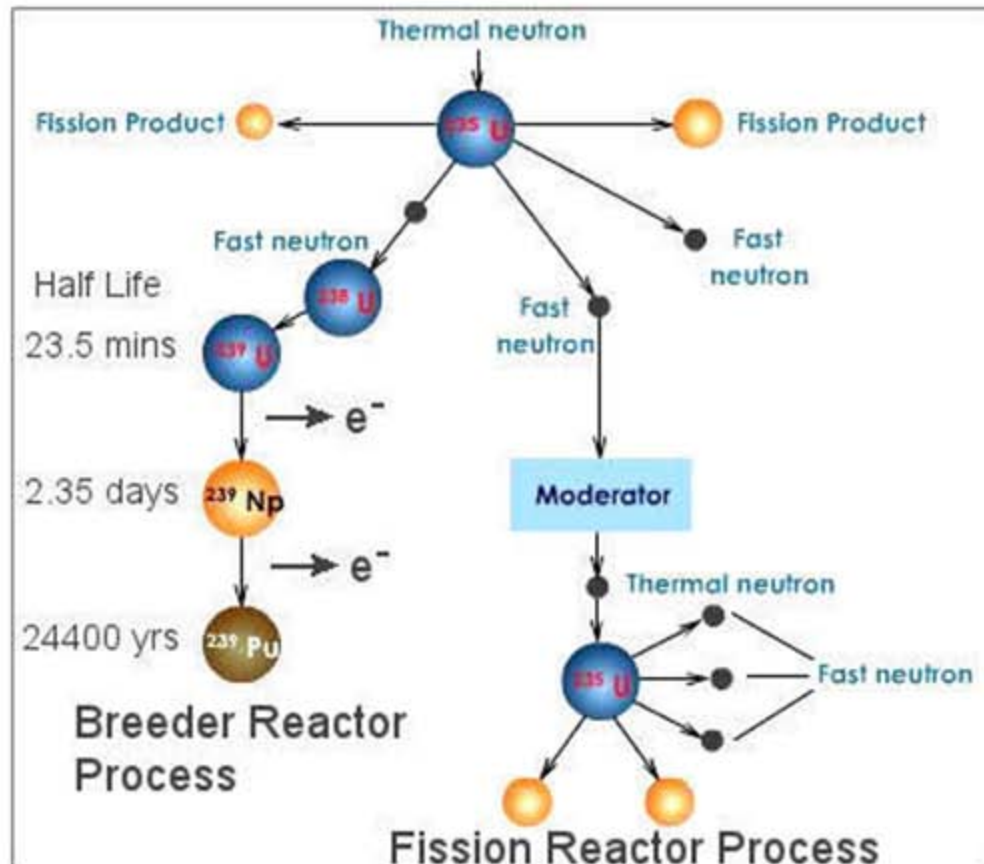
# Különutas neutronok

elnyelődnek a  $^{238}\text{U}$  magokban,

és  $^{239}\text{Pu}$ -vá alakítják őket,

ezek további hasadásra alkalmasak

– pl. atombombában



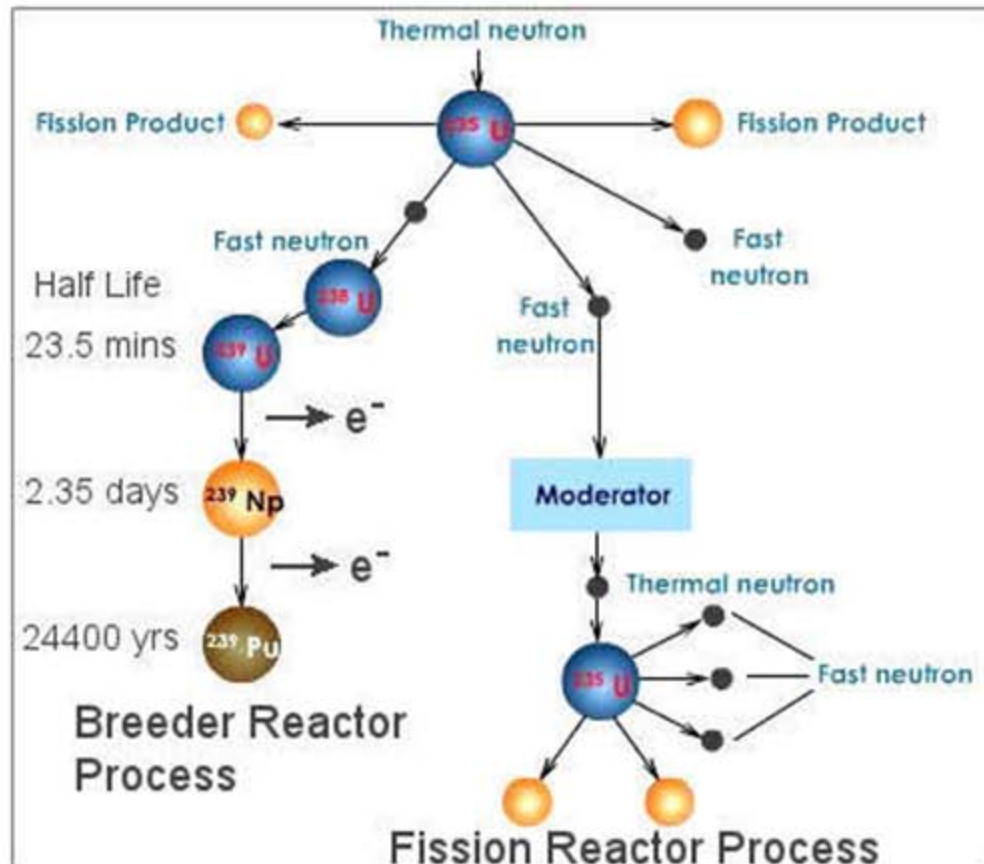
# Különutas neutronok

elnyelődnek a  $^{238}\text{U}$  magokban,

és  $^{239}\text{Pu}$ -vá alakítják őket,

ezek további hasadásra alkalmasak

– pl. atombombában



„szaporító reaktorok”





# Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?





## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**



## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**

a résztvevő részecskék – magtörmelékek és  
neutronok – mozgási energiája formájában



## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**

a résztvevő részecskék – magtörmelékek és neutronok – mozgási energiája formájában

Ez az energia **termalizálódik** – azaz eloszlik a környezetben: a környező anyag felmelegszik.



## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**

a résztvevő részecskék – magtörmelékek és neutronok – mozgási energiája formájában

Ez az energia **termalizálódik** – azaz eloszlik a környezetben: a környező anyag felmelegszik.

A folyamat **stacionárius** – ezért a meleg anyag hőenergiáját folyamatosan el kell vezetni.



## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**

a résztvevő részecskék – magtörmelékek és neutronok – mozgási energiája formájában

Ez az energia **termalizálódik** – azaz eloszlik a környezetben: a környező anyag felmelegszik.

A folyamat **stacionárius** – ezért a meleg anyag hőenergiáját folyamatosan el kell vezetni.

Erre szolgál a **HŐERŐMŰ**.



## Hová tesszük a felszabaduló magenergiát?

Lefelé a nukleáris völgyben – **energia szabadul fel**

a résztvevő részecskék – magtörmelékek és neutronok – mozgási energiája formájában

Ez az energia **termalizálódik** – azaz eloszlik a környezetben: a környező anyag felmelegszik.

A folyamat **stacionárius** – ezért a meleg anyag hőenergiáját folyamatosan el kell vezetni.

Erre szolgál a **HŐERŐMŰ**.

Az atomerőmű olyan hőerőmű, amelyben a hőt **nem kémiai reakció, hanem maghasadás** szolgáltatja. De a további folyamatok – **majdnem** – azonosak.

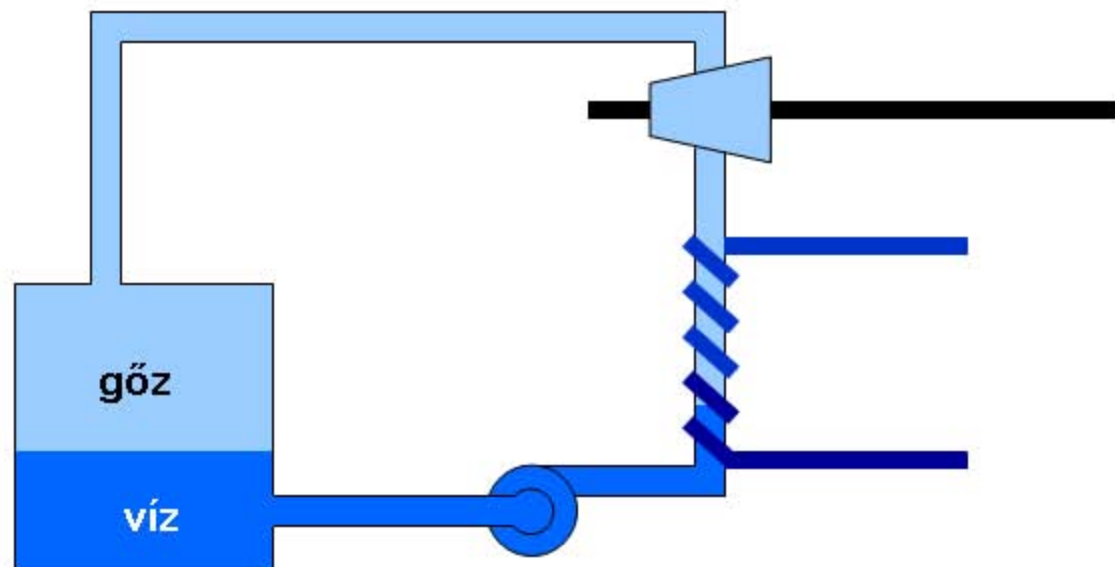


# Hőerőmű

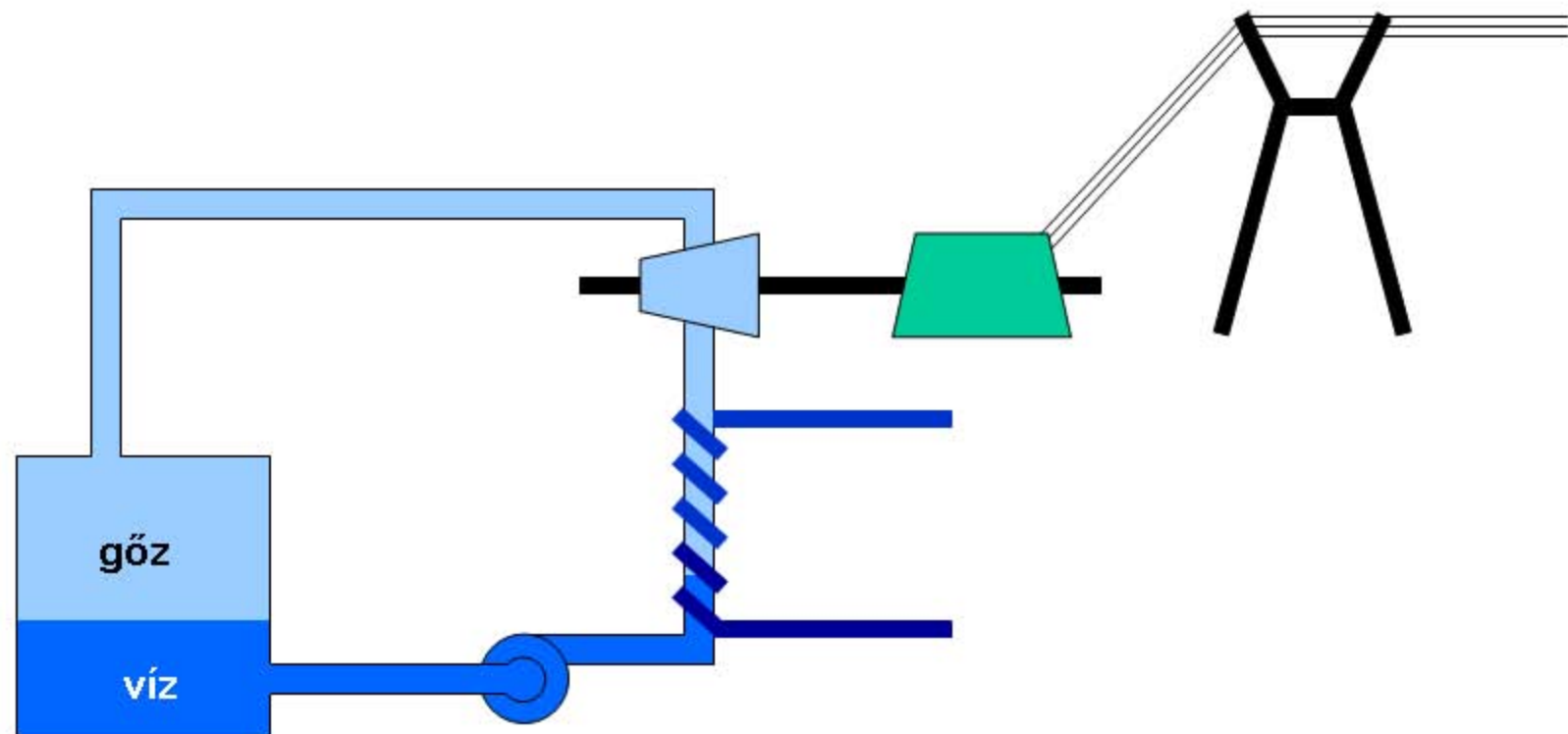




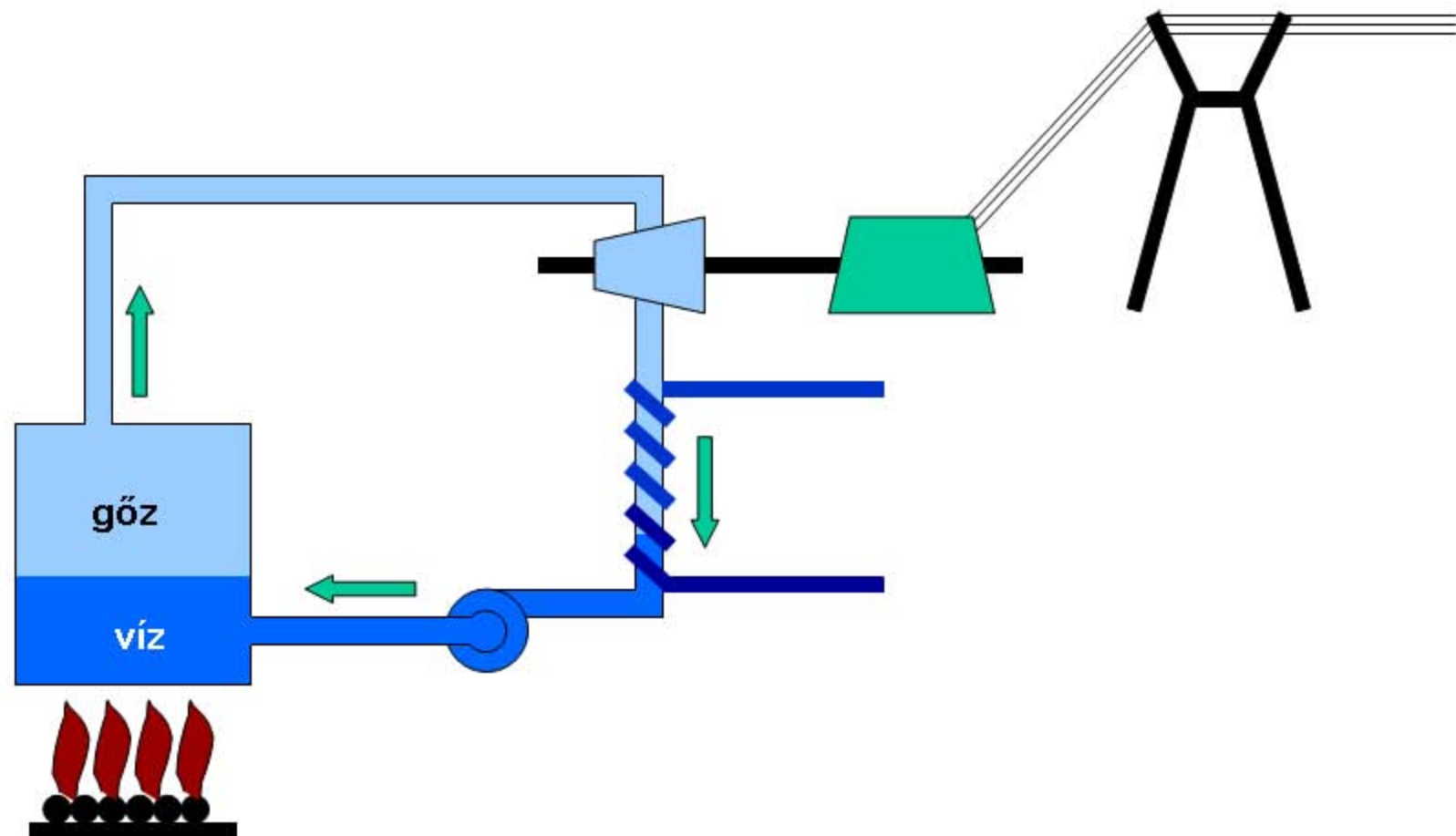
# Hőerőmű



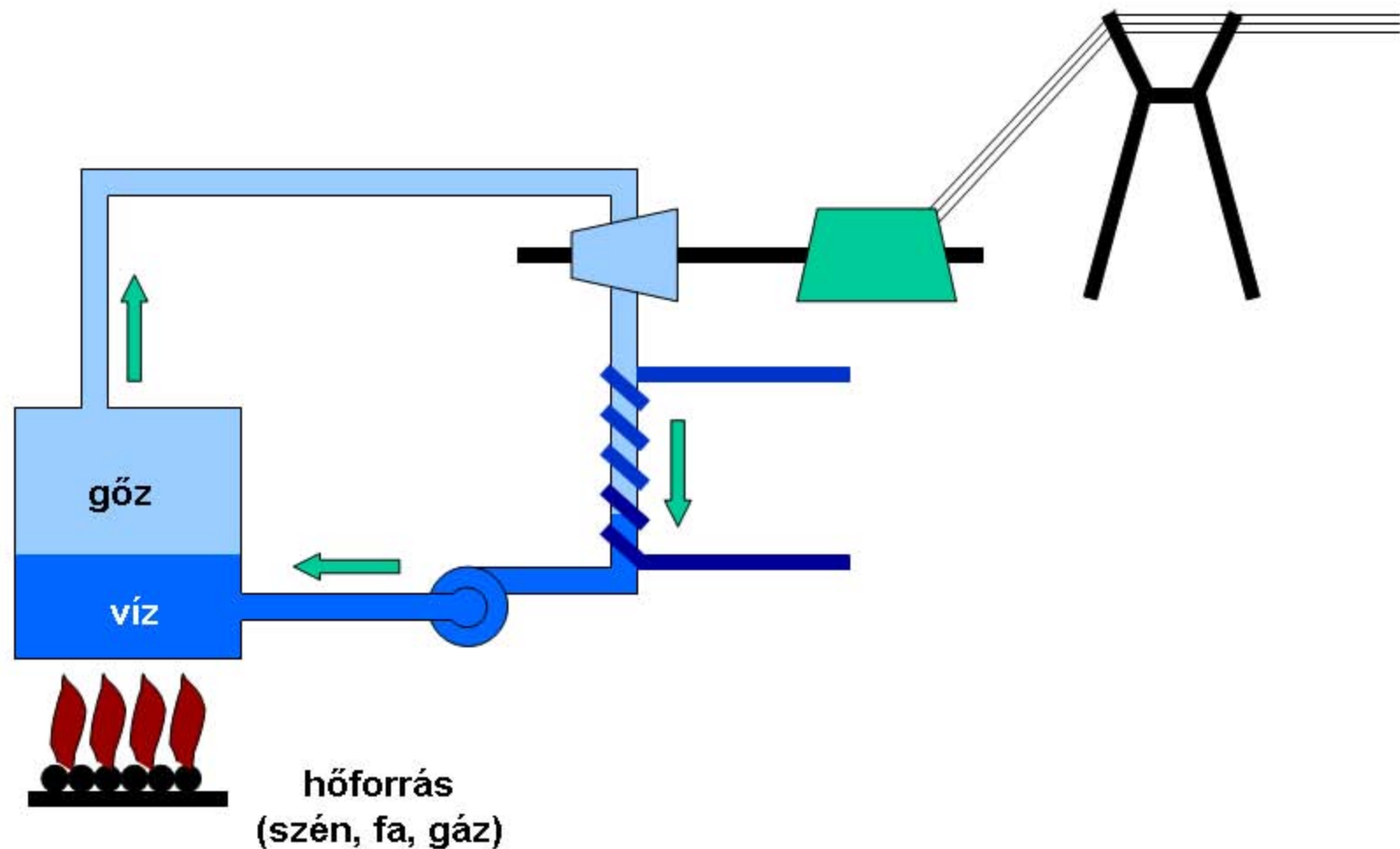
# Hőerőmű



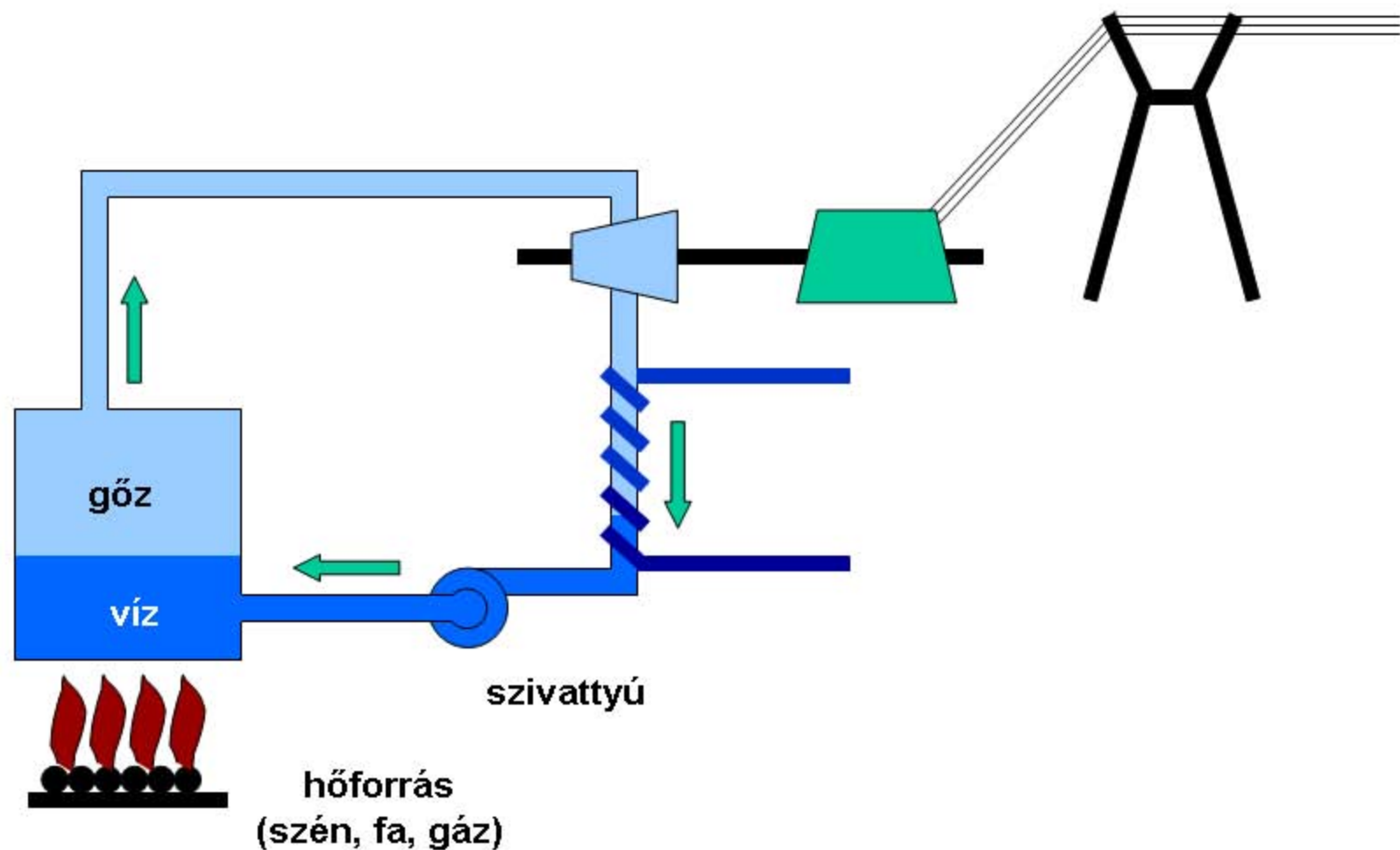
# Hőerőmű



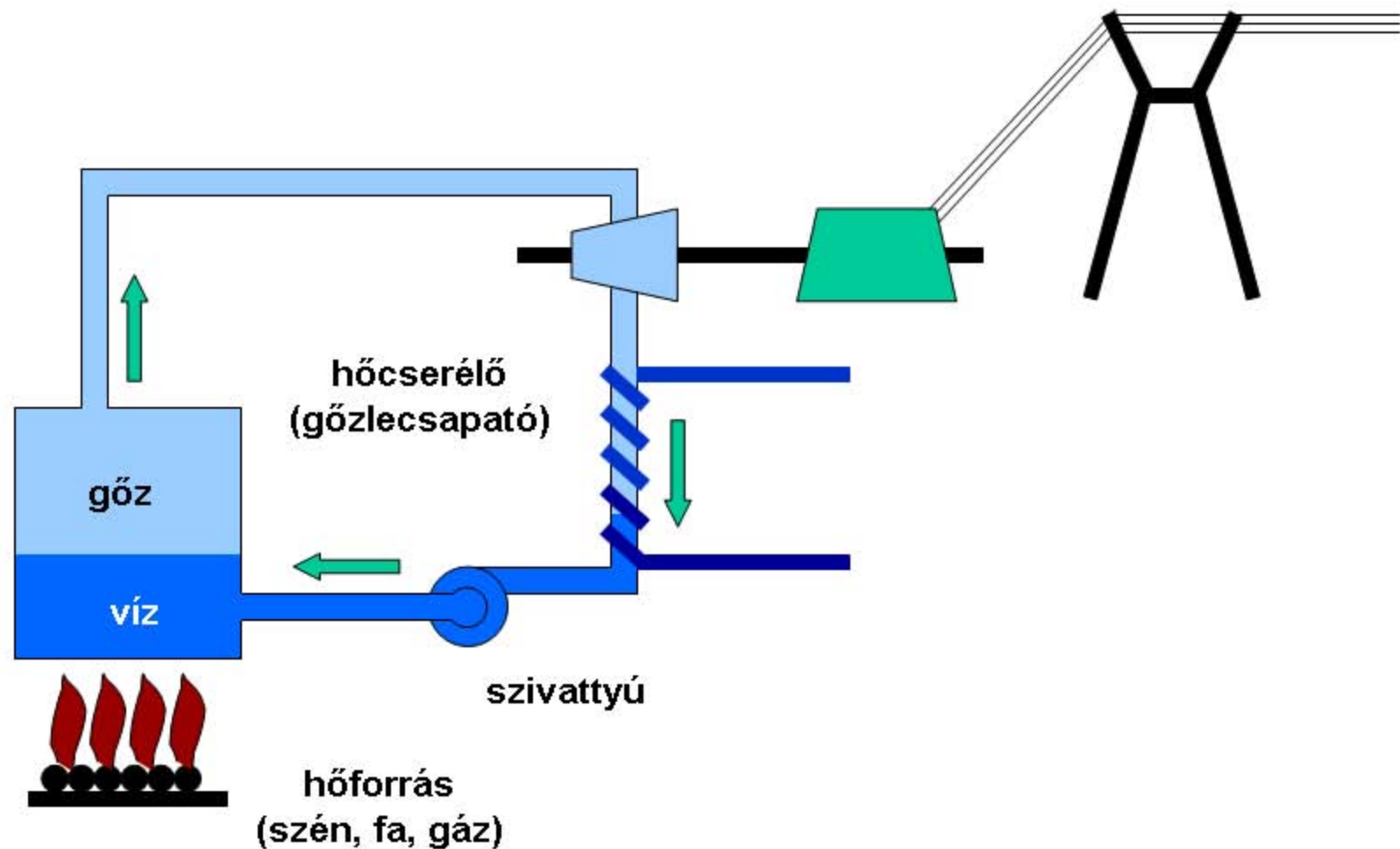
# Hőerőmű



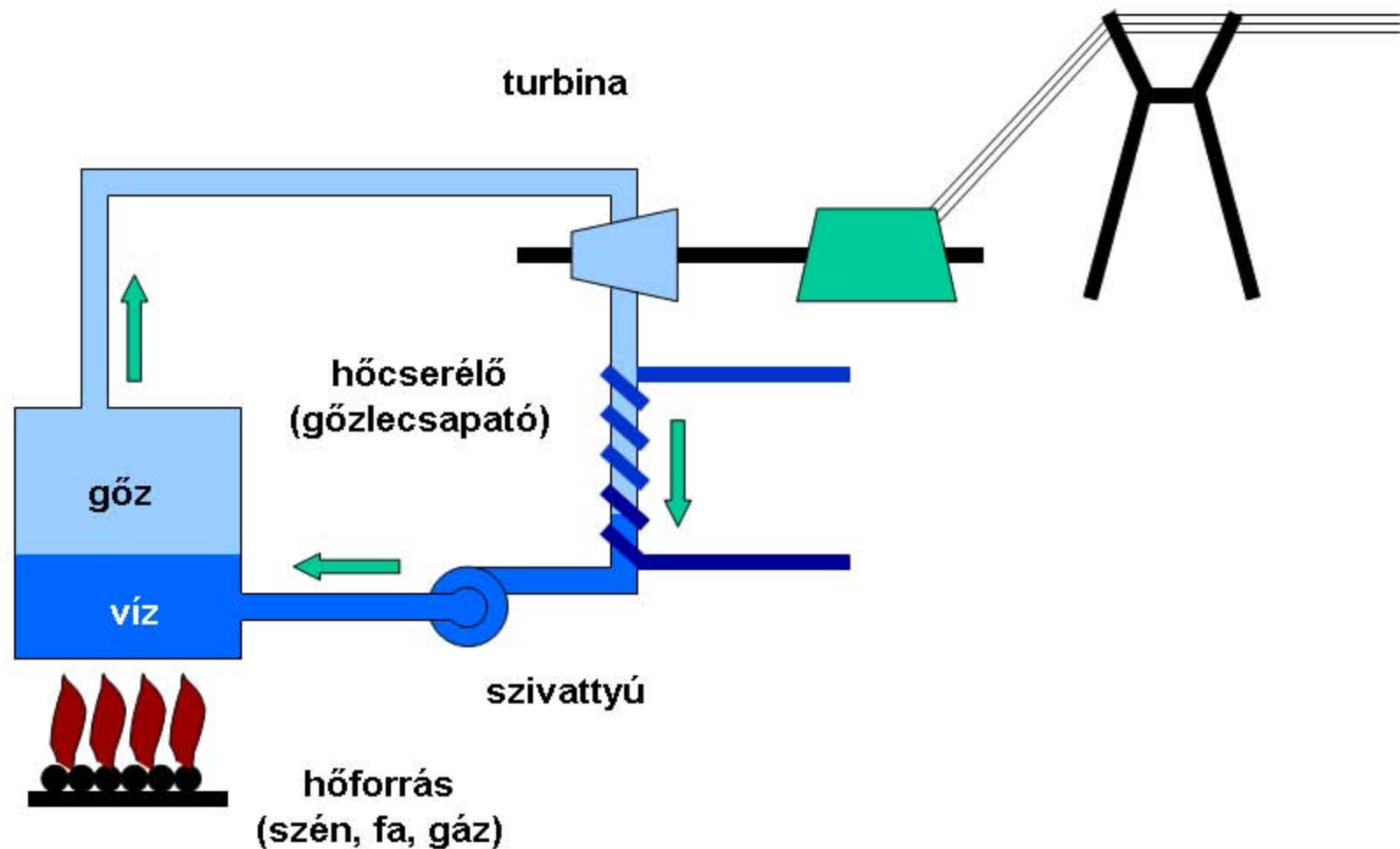
# Hőerőmű



# Hőerőmű

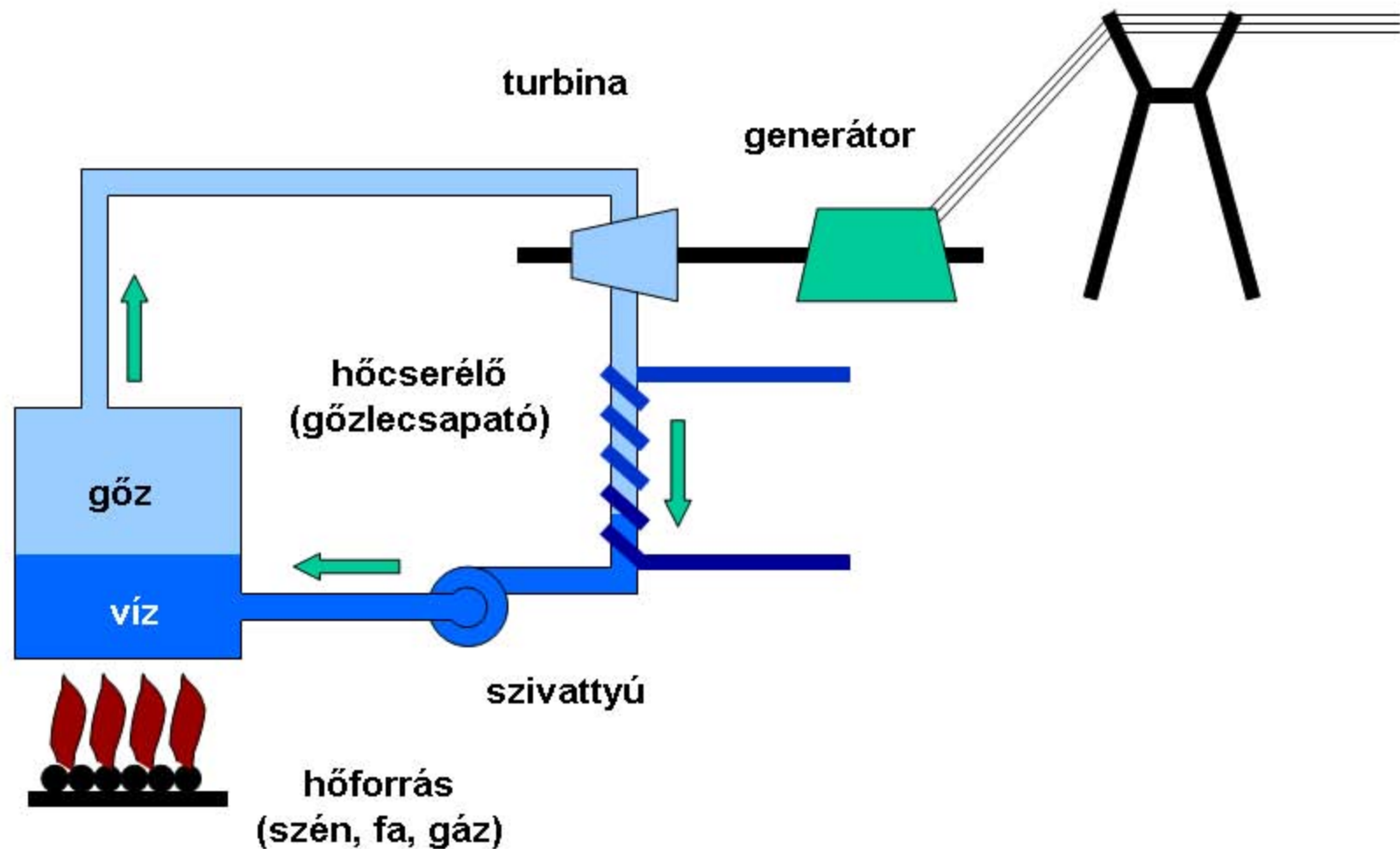


# Hőerőmű

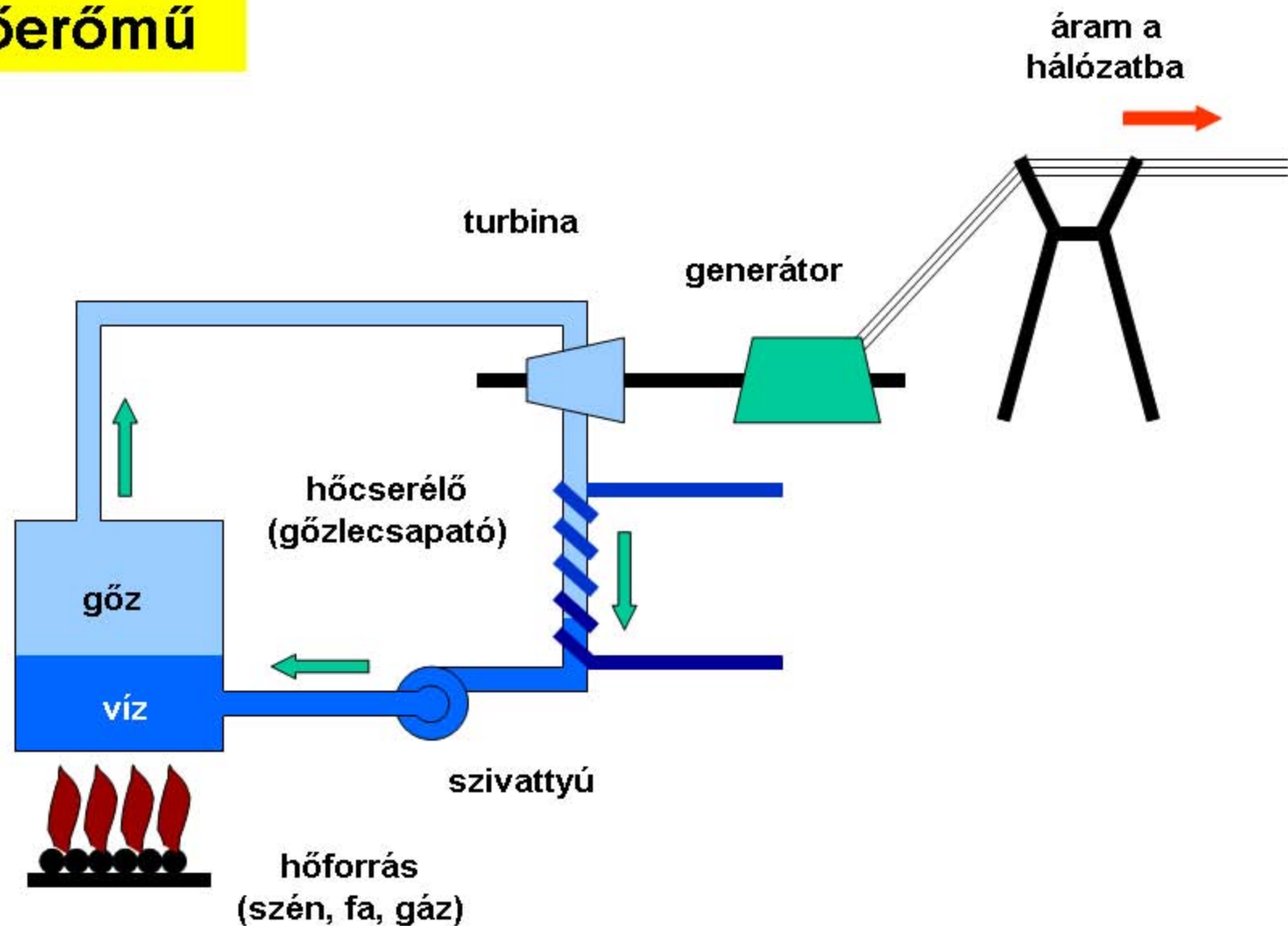




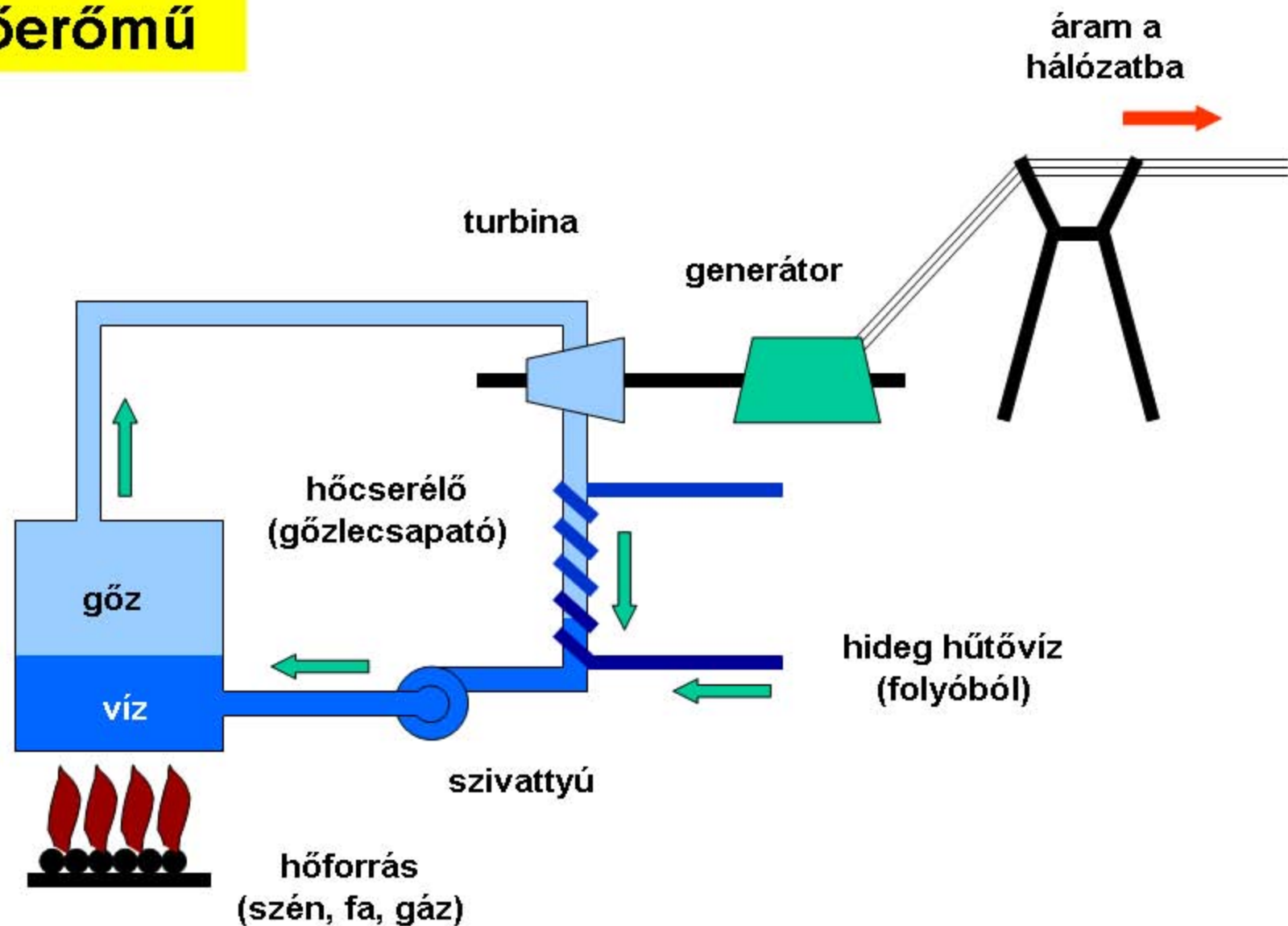
# Hőerőmű



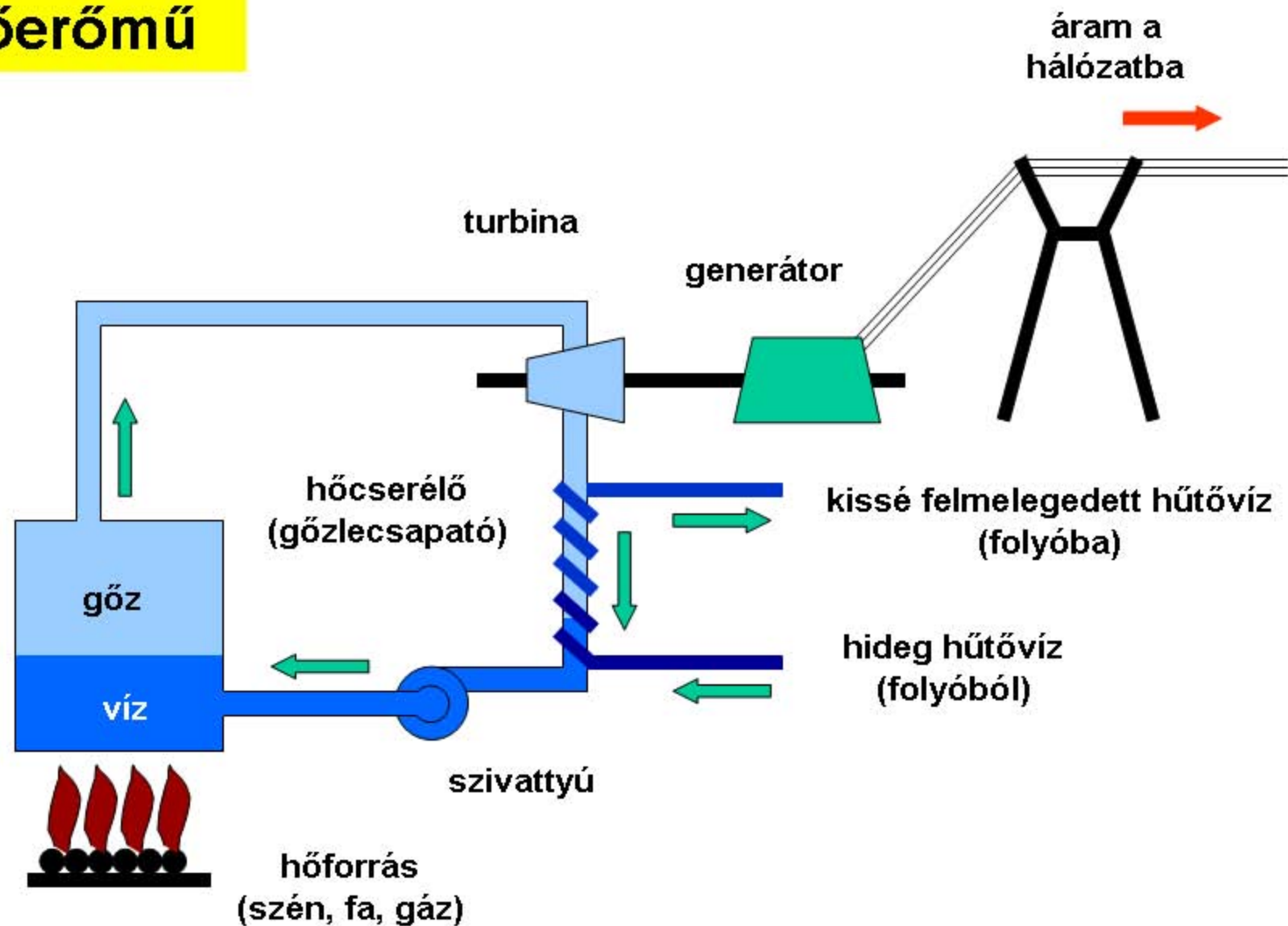
# Hőerőmű



# Hőerőmű



# Hőerőmű



# Atomerőmű



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**), és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!

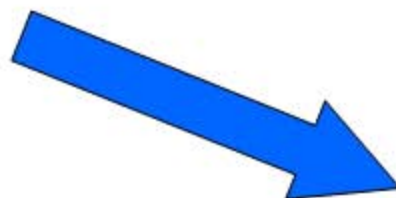




# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

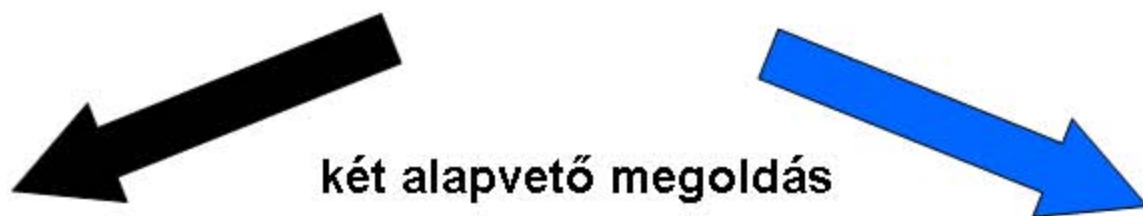
DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!



grafit



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**), és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban **moderátorra** is szükség van!



grafit

— szerkezeti anyag

# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!



grafit

szerkezeti anyag

**moderátor**

# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!

két alapvető megoldás



grafit

szerkezeti anyag

**moderátor**

víz

hűtőközeg



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!

két alapvető megoldás

grafit

szerkezeti anyag

**moderátor**

víz

hűtőközeg

víz





# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**), és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban **moderátorra** is szükség van!

két alapvető megoldás

grafit

szerkezeti anyag

moderátor

víz

hűtőközeg

víz

moderátor



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**), és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban **moderátorra** is szükség van!

két alapvető megoldás

grafit

szerkezeti anyag

moderátor

víz

hűtőközeg

víz

moderátor

hűtőközeg



# Atomerőmű

Cseréljük ki a hőforrást atomreaktorra (**szabályozott láncreakcióra**),  
és vezessük el a hőt vízzel, éppen úgy, mint a hagyományos hőerőműben!

DE az atomreaktorban  
**moderátorra** is szükség van!

két alapvető megoldás

grafit

szerkezeti anyag

moderátor

víz

hűtőközeg

víz

moderátor

hűtőközeg

acéltartály

szerkezeti anyag



# Grafitmoderátoros erőmű



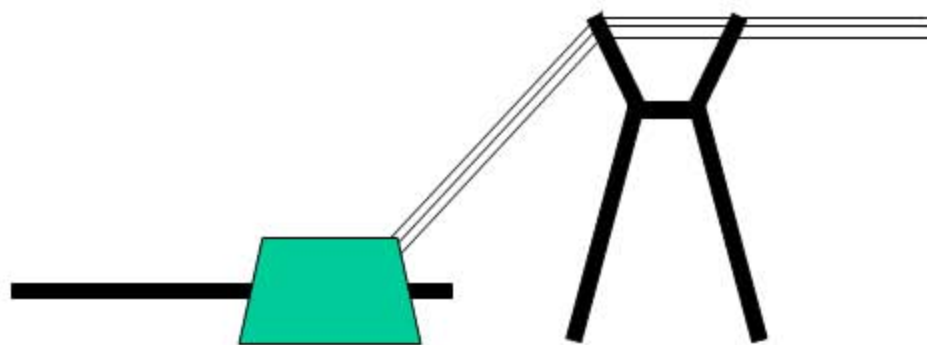
# Grafitmoderátoros erőmű

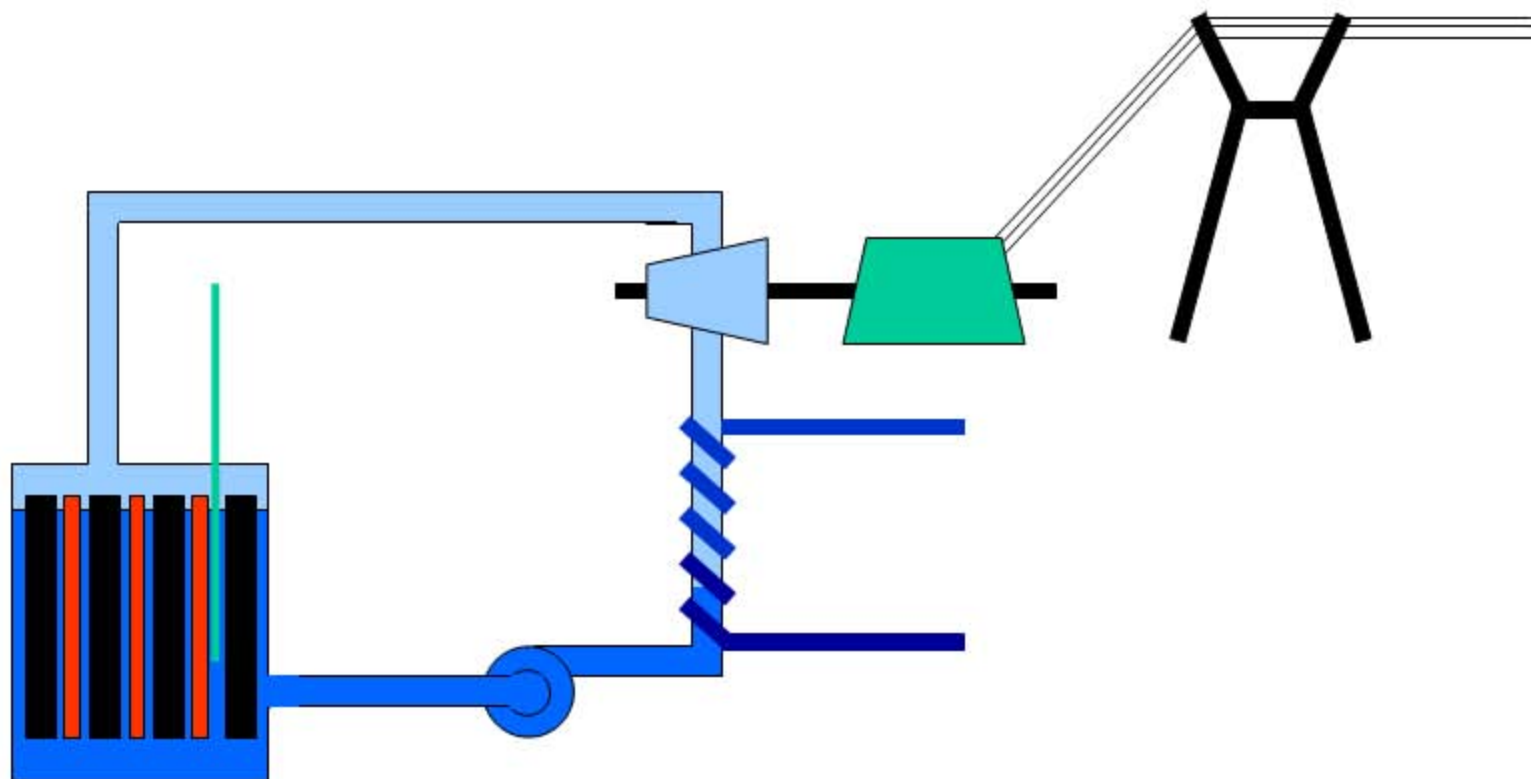
(Csernobil)



## Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)

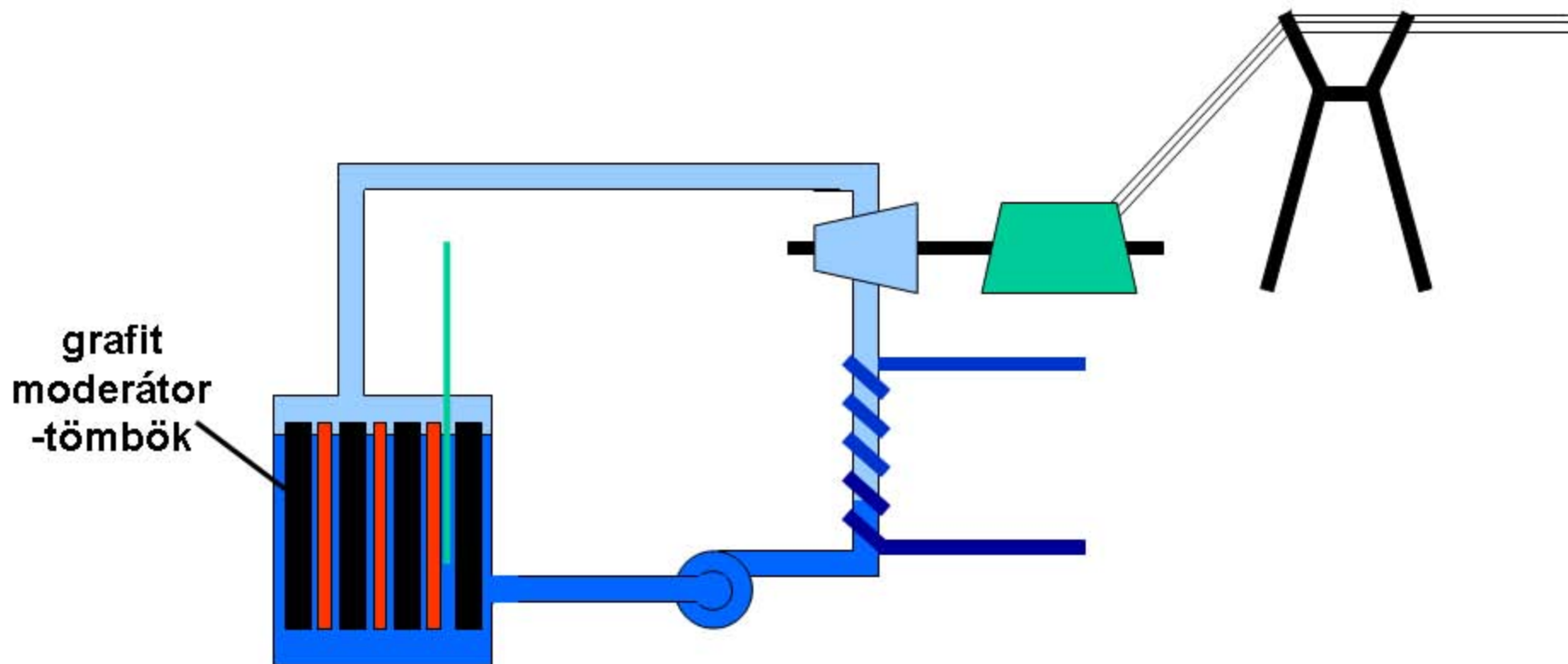






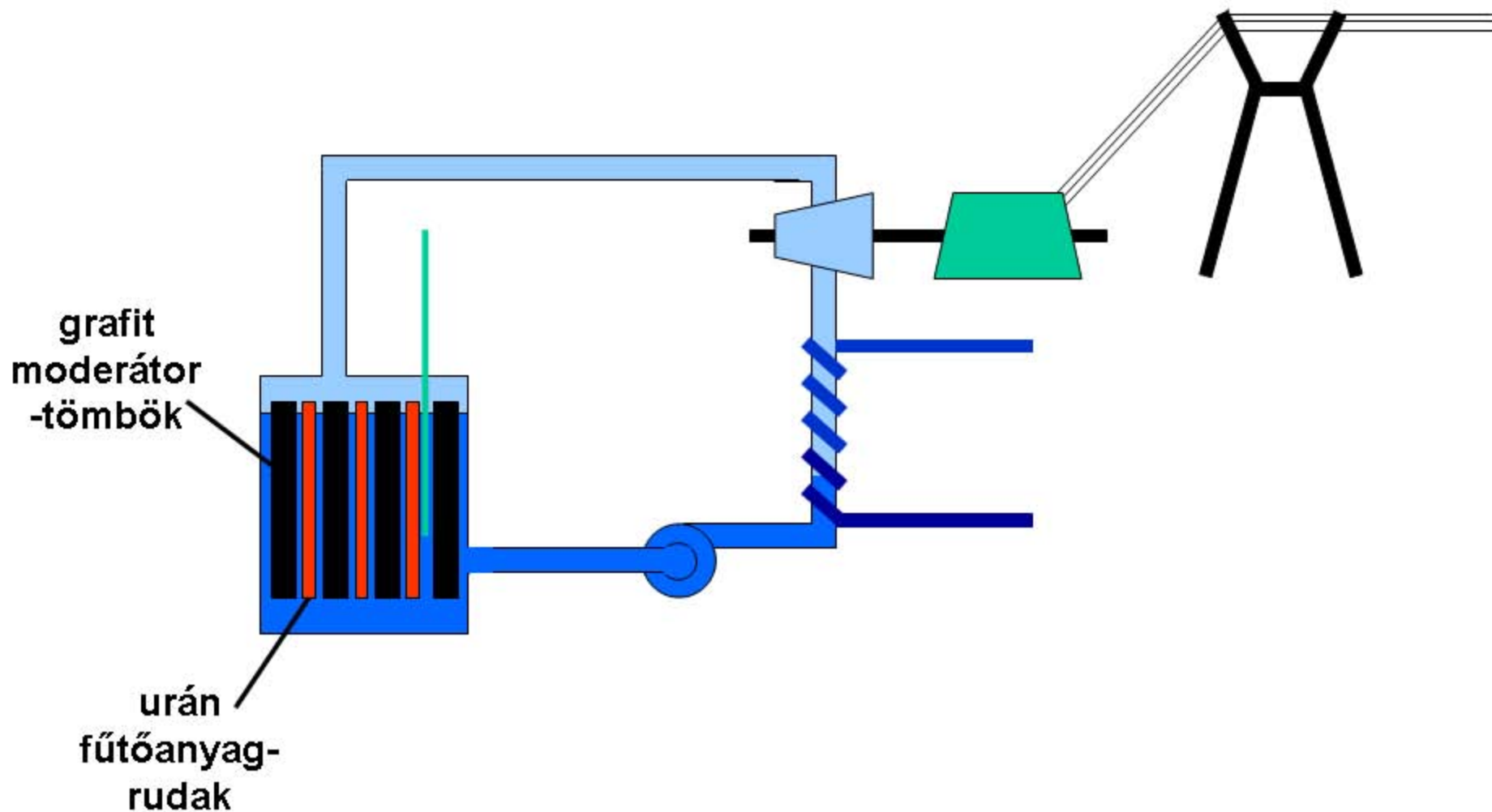
# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)



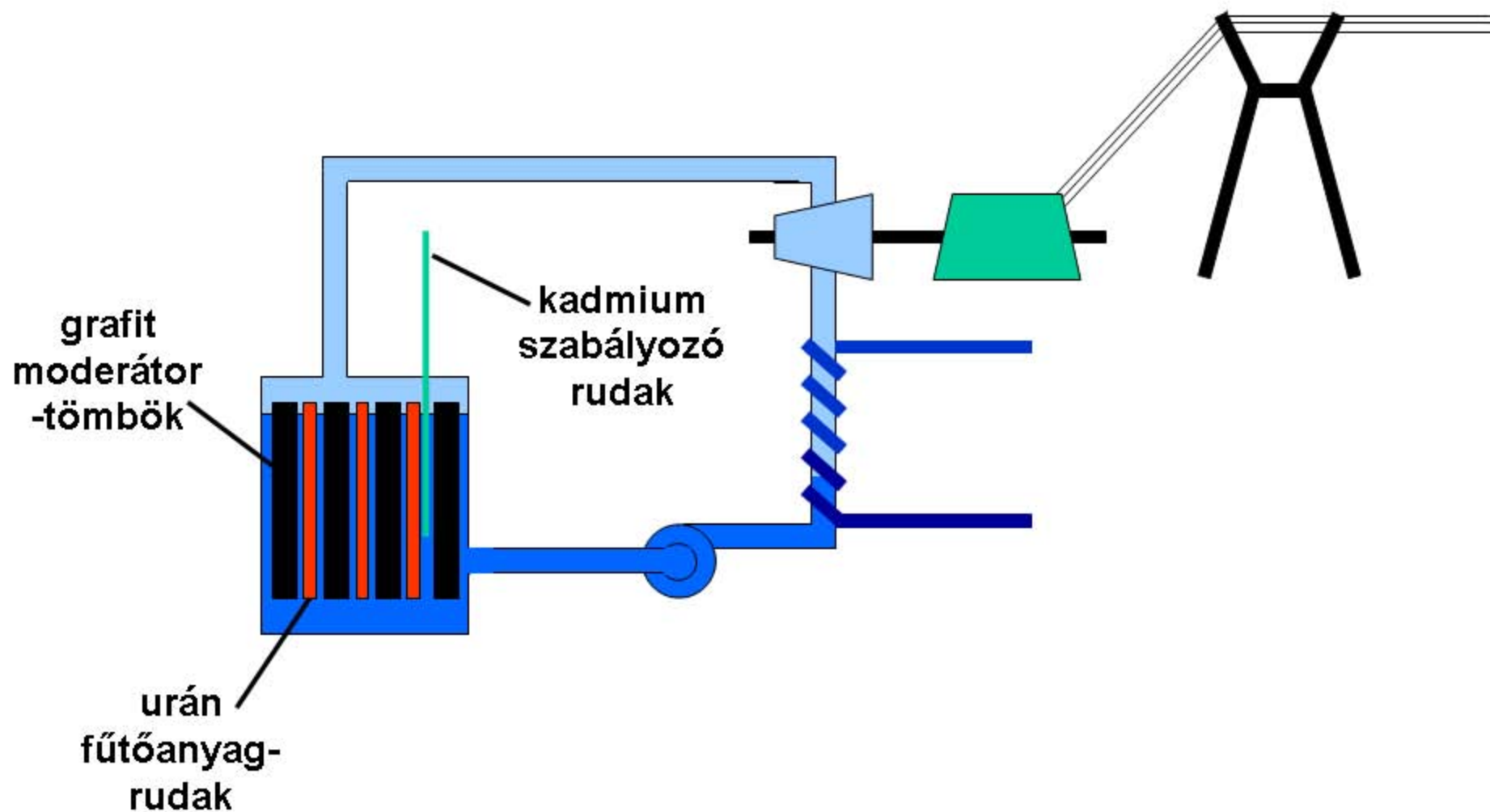
# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)



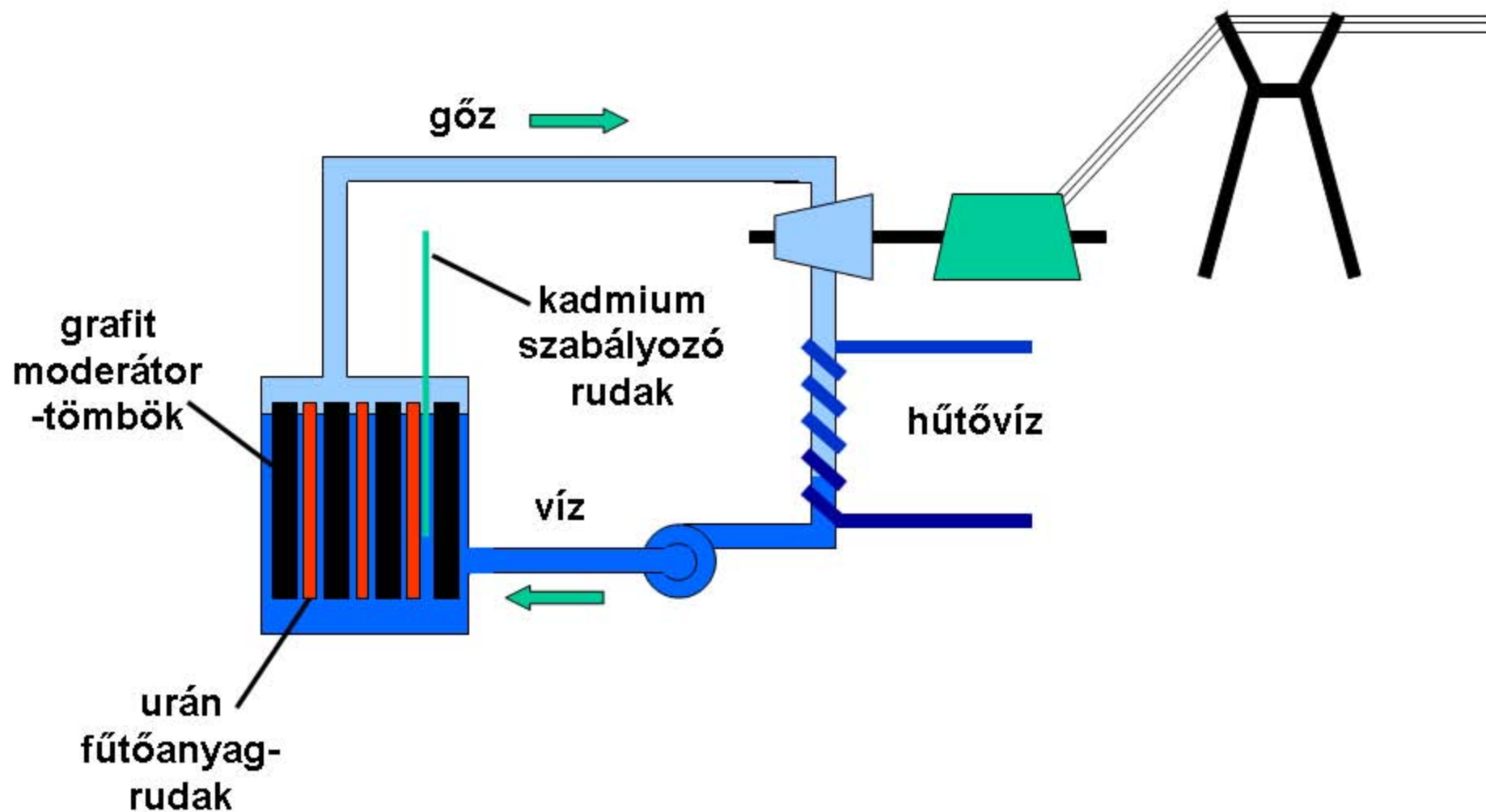
# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)



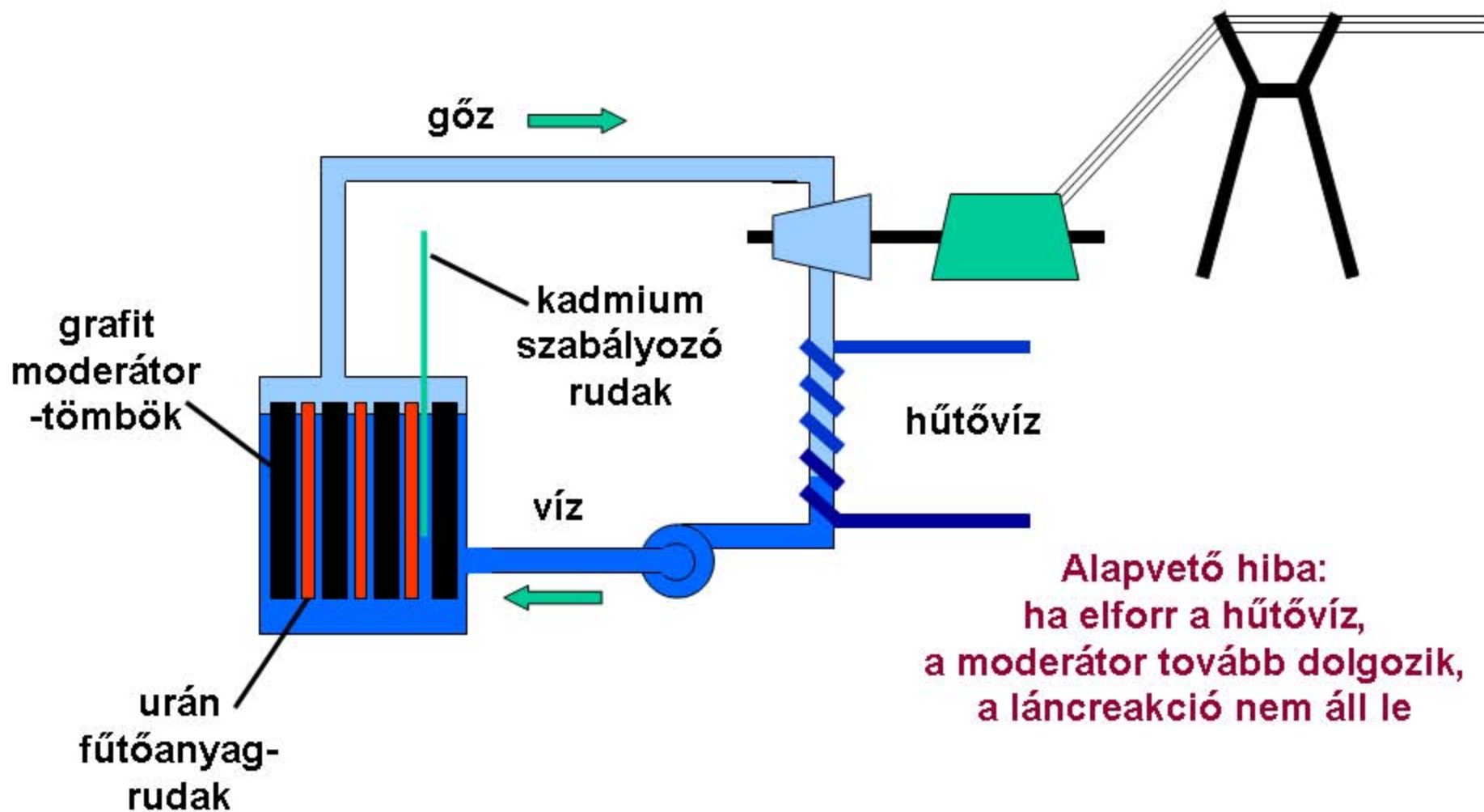
# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)



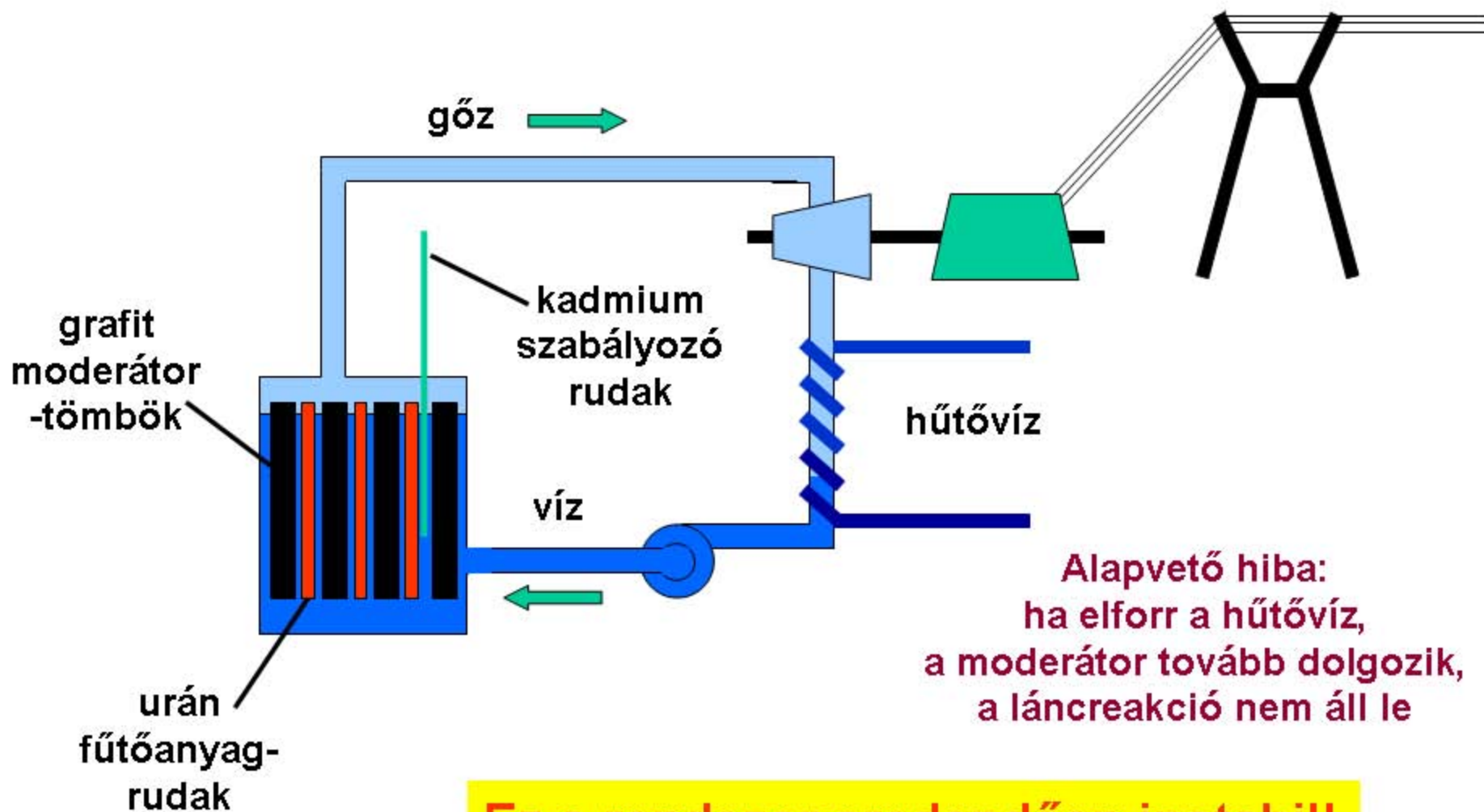
# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)



# Grafitmoderátoros erőmű

(Csernobil)

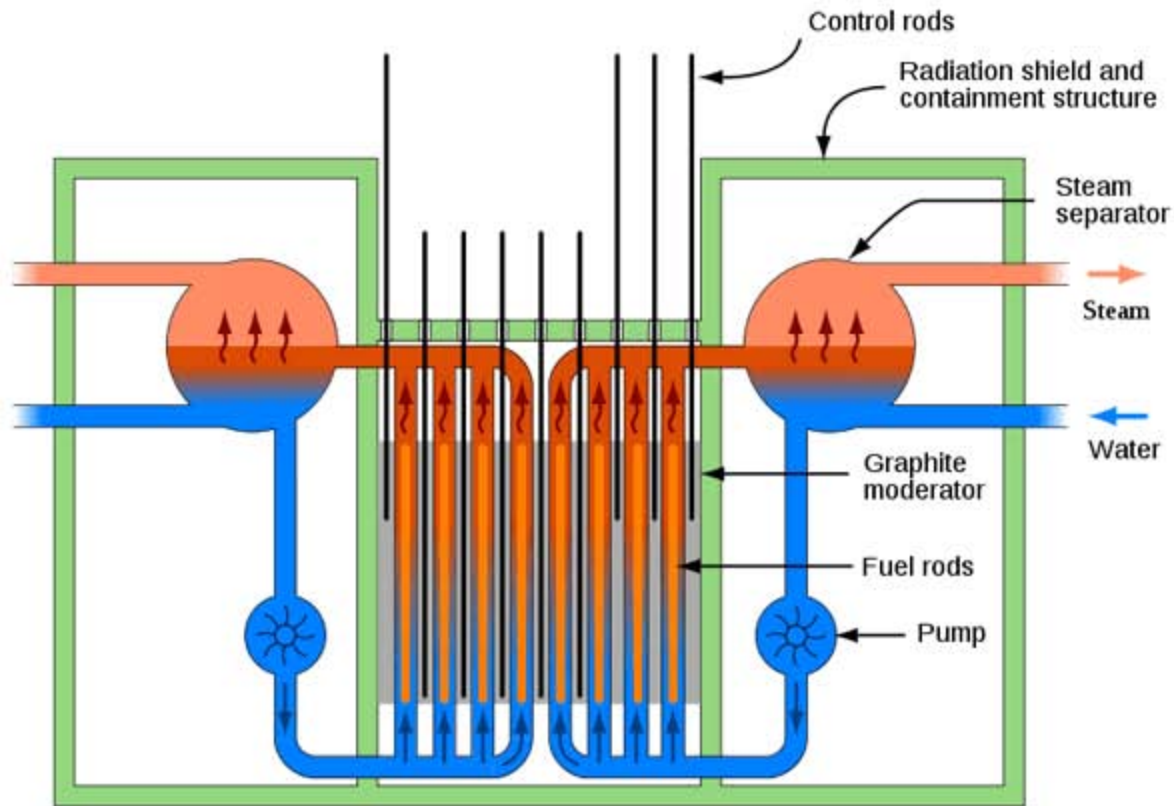


**Alapvető hiba:**  
ha elforr a hűtővíz,  
a moderátor tovább dolgozik,  
a láncreakció nem áll le

**Ez a rendszer eredendően instabil!**



# Grafitmoderátoros erőmű





# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)



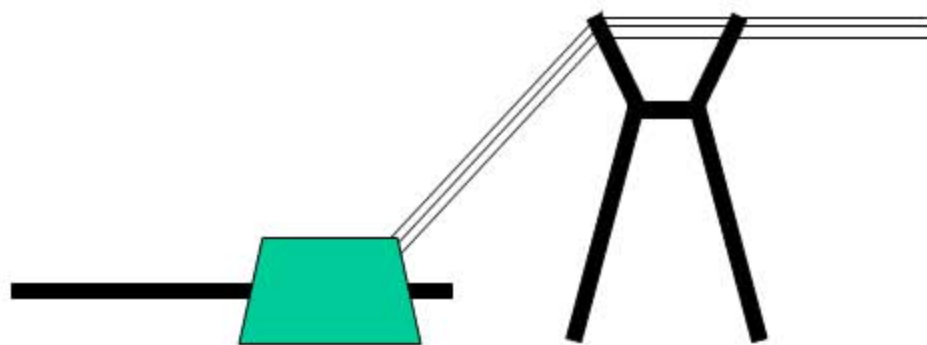
# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)



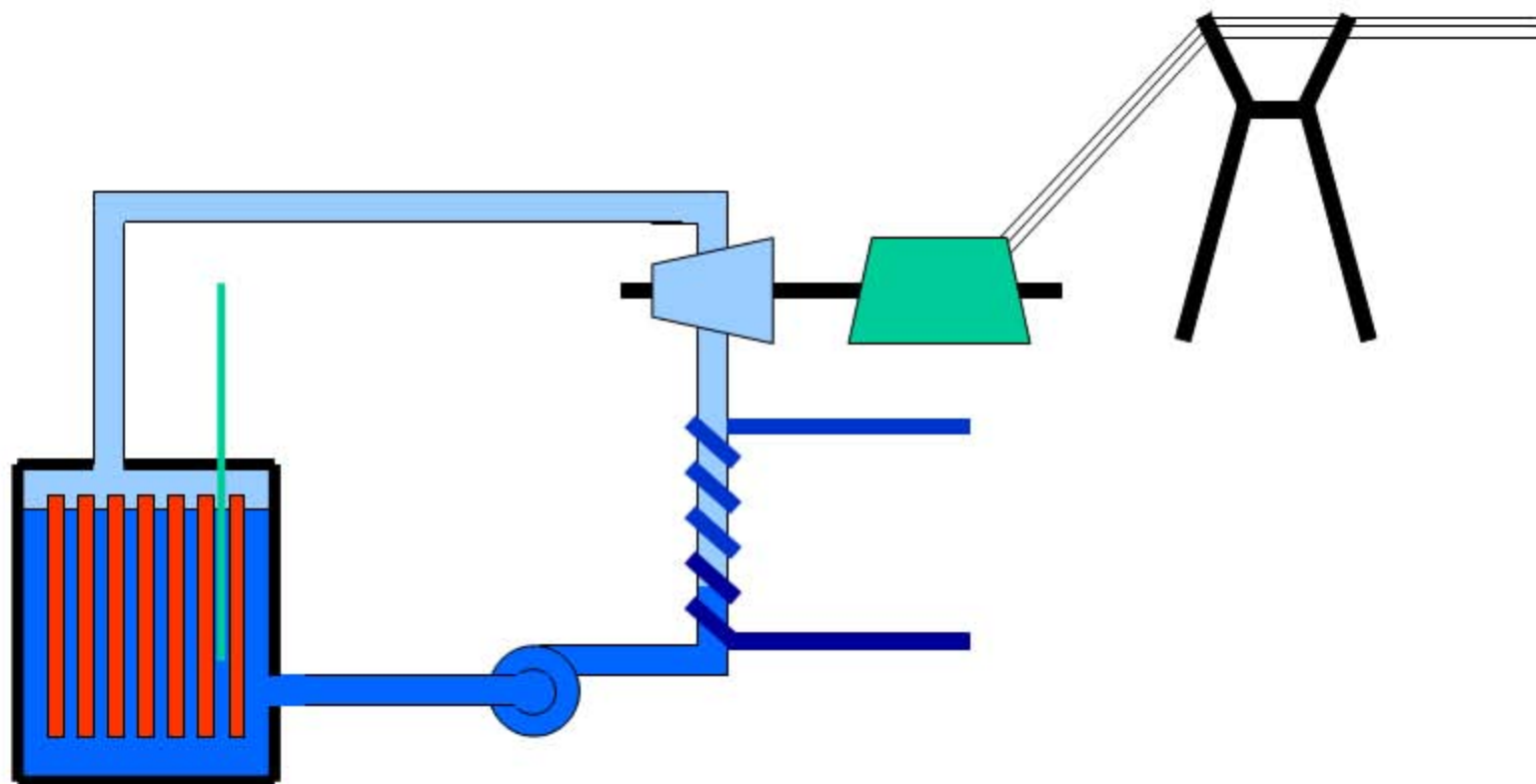
# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)



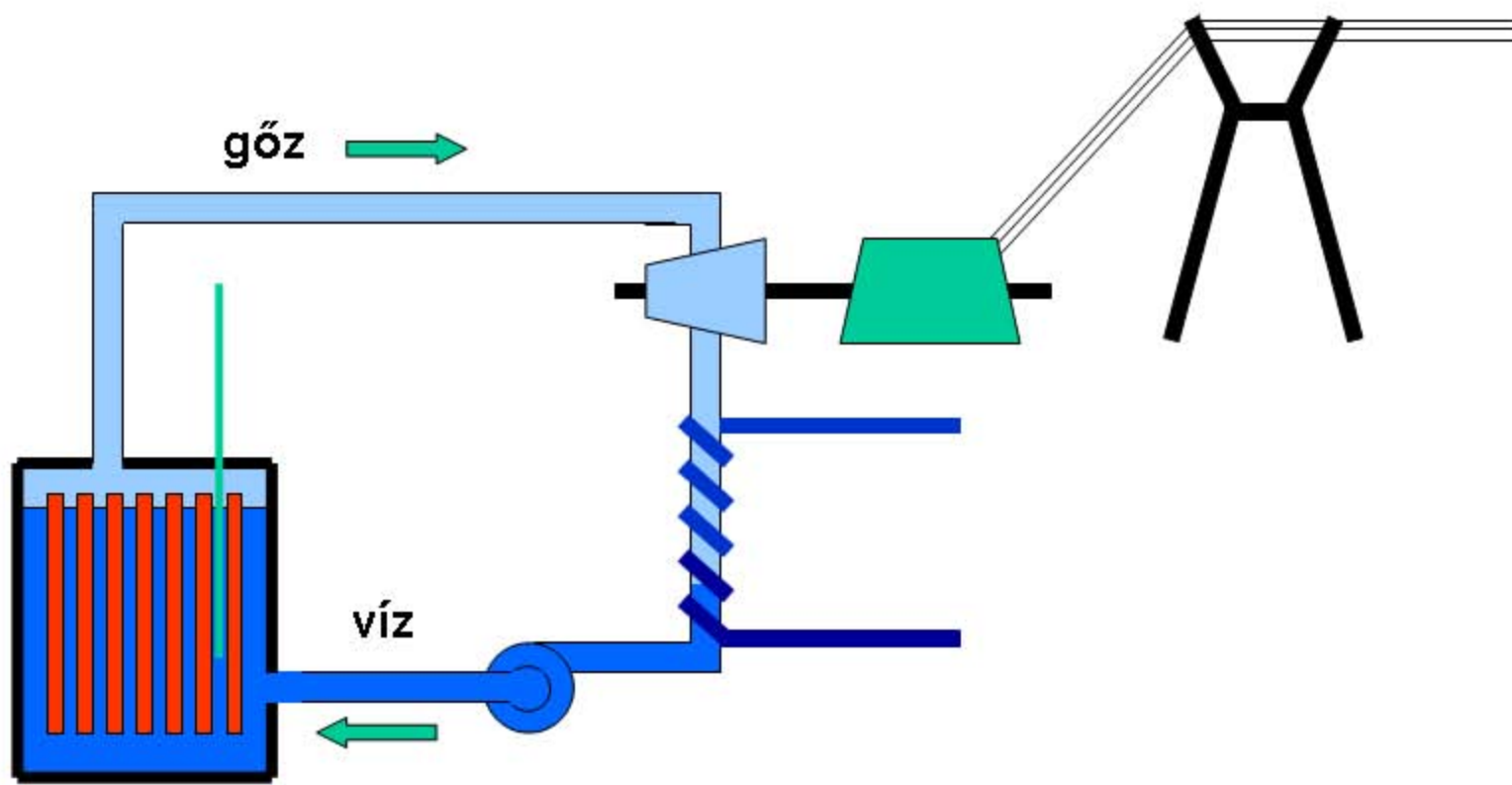
# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)

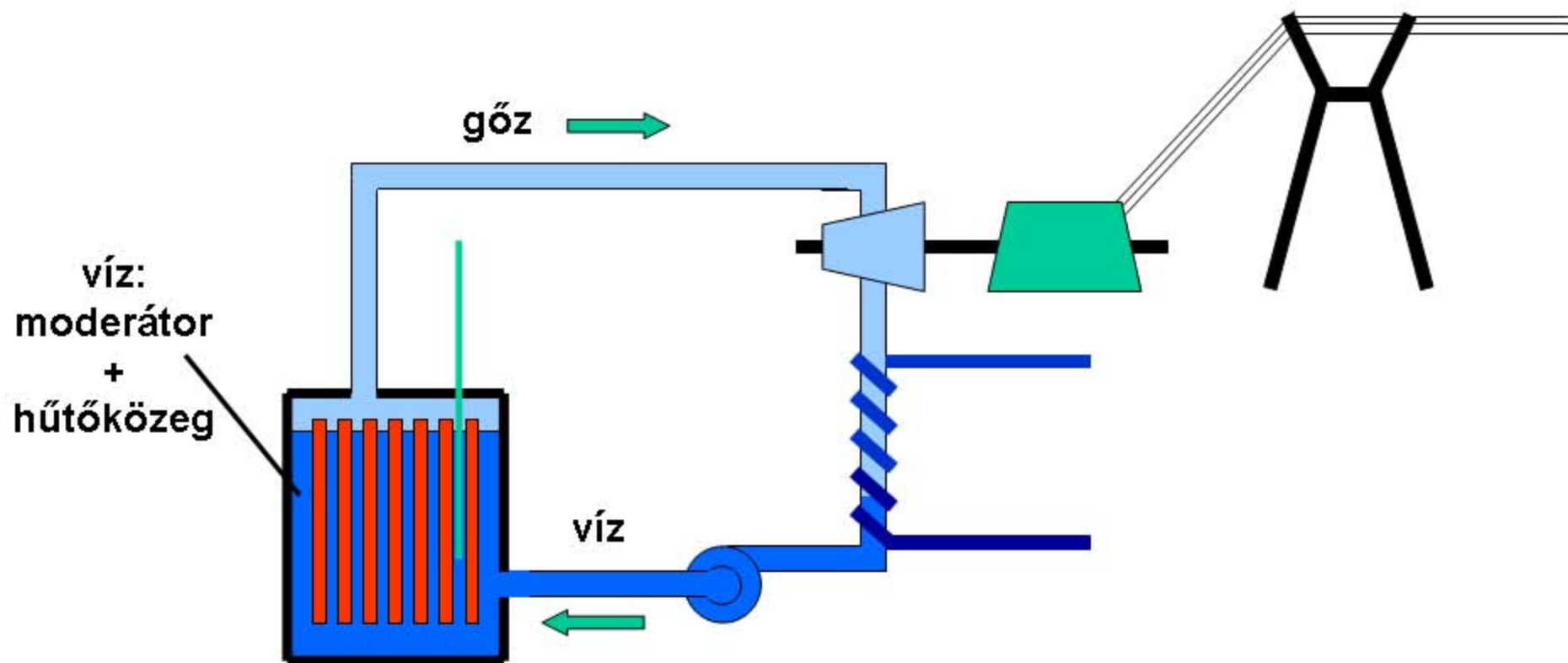


# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)

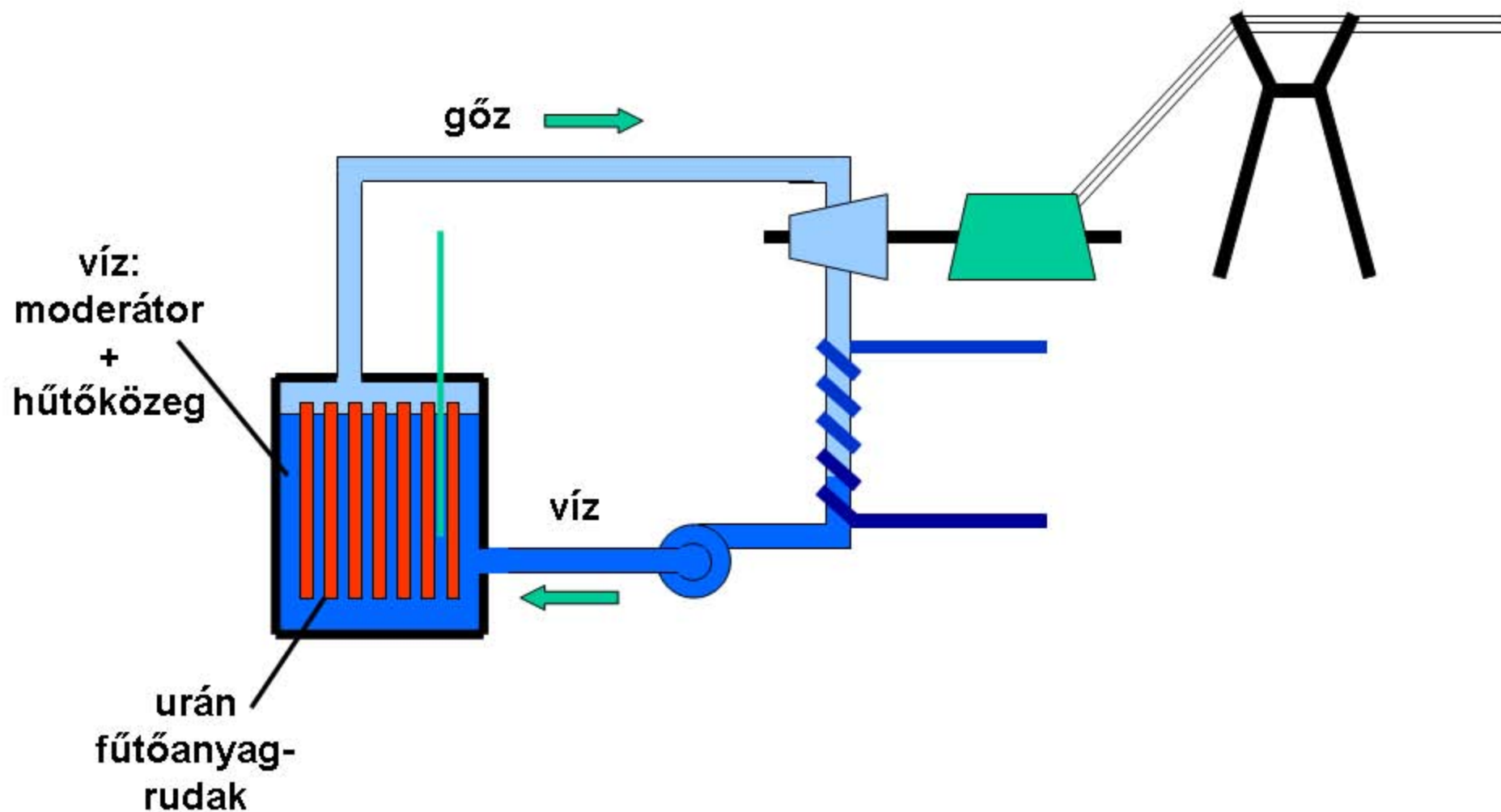


# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR) (Fukusima)



# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

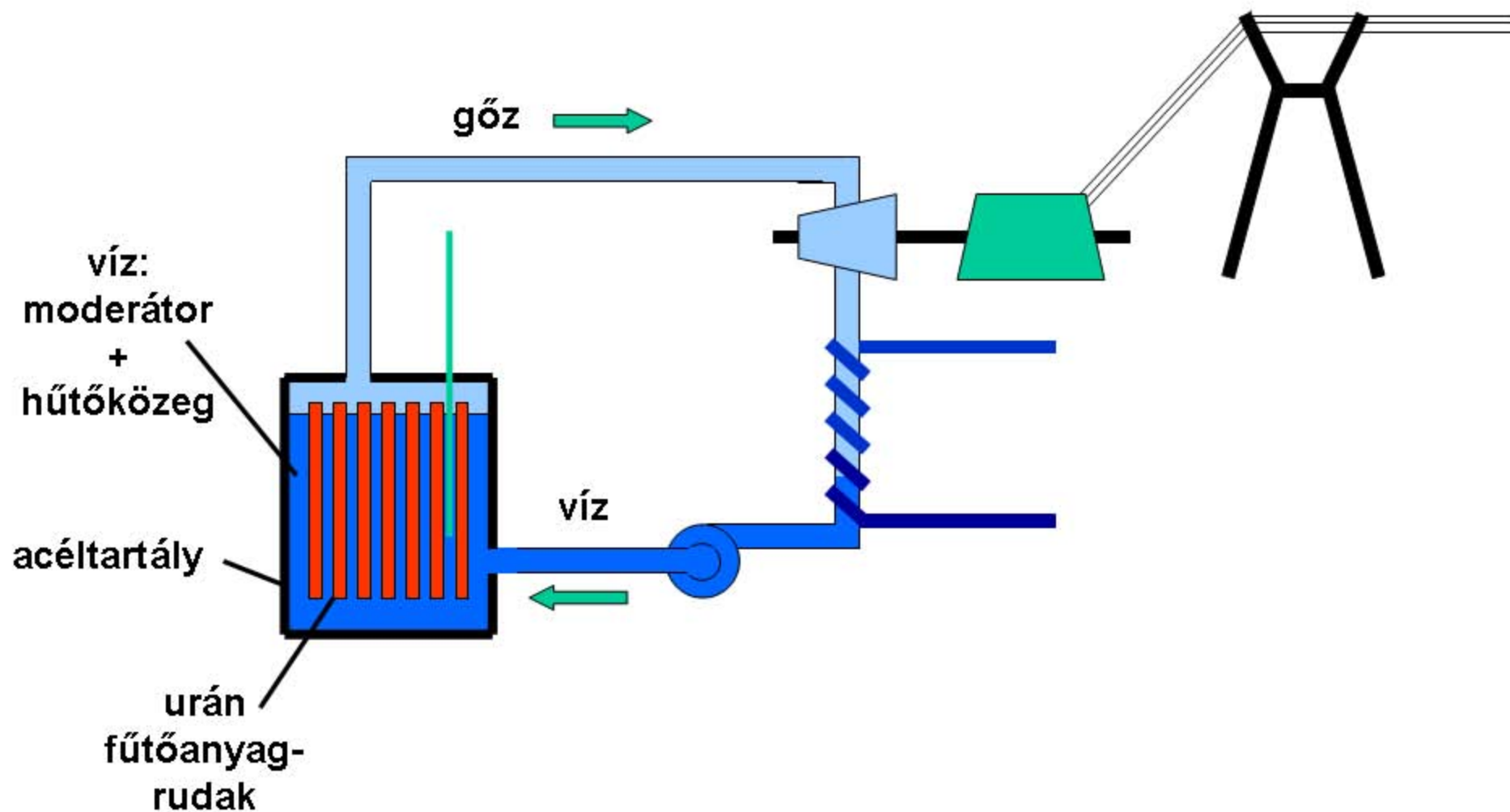
(Fukusima)





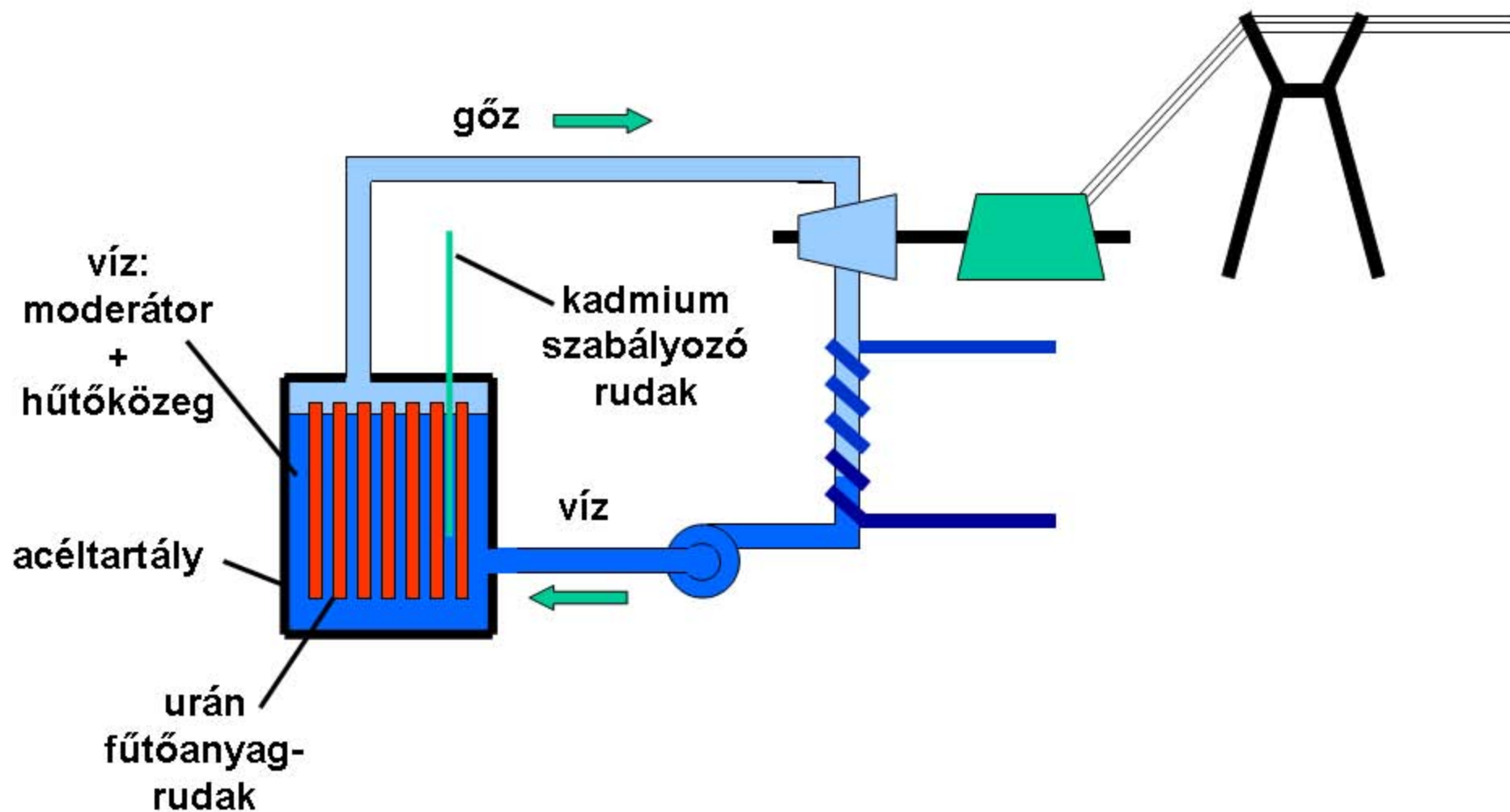
# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)



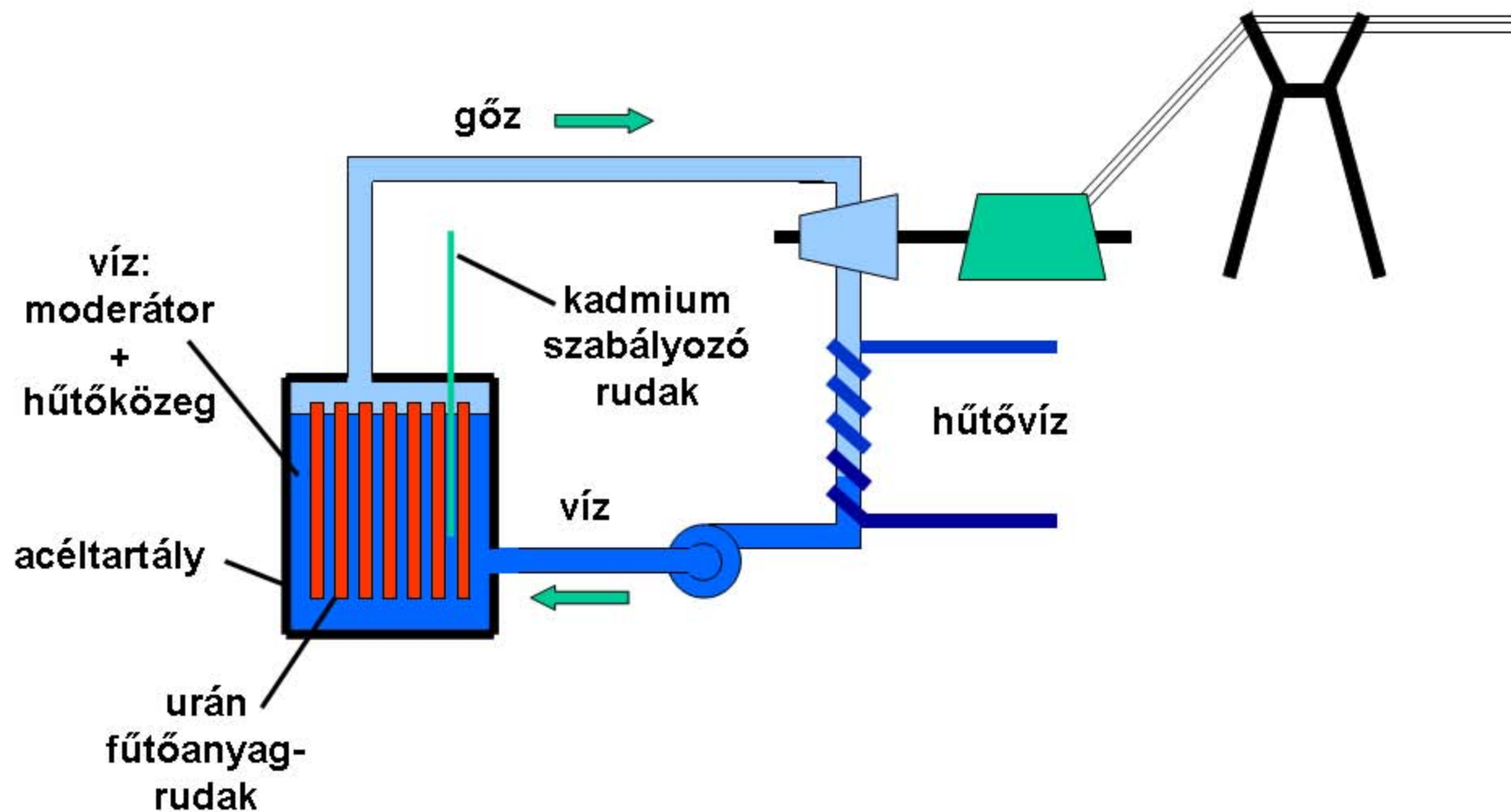
# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)

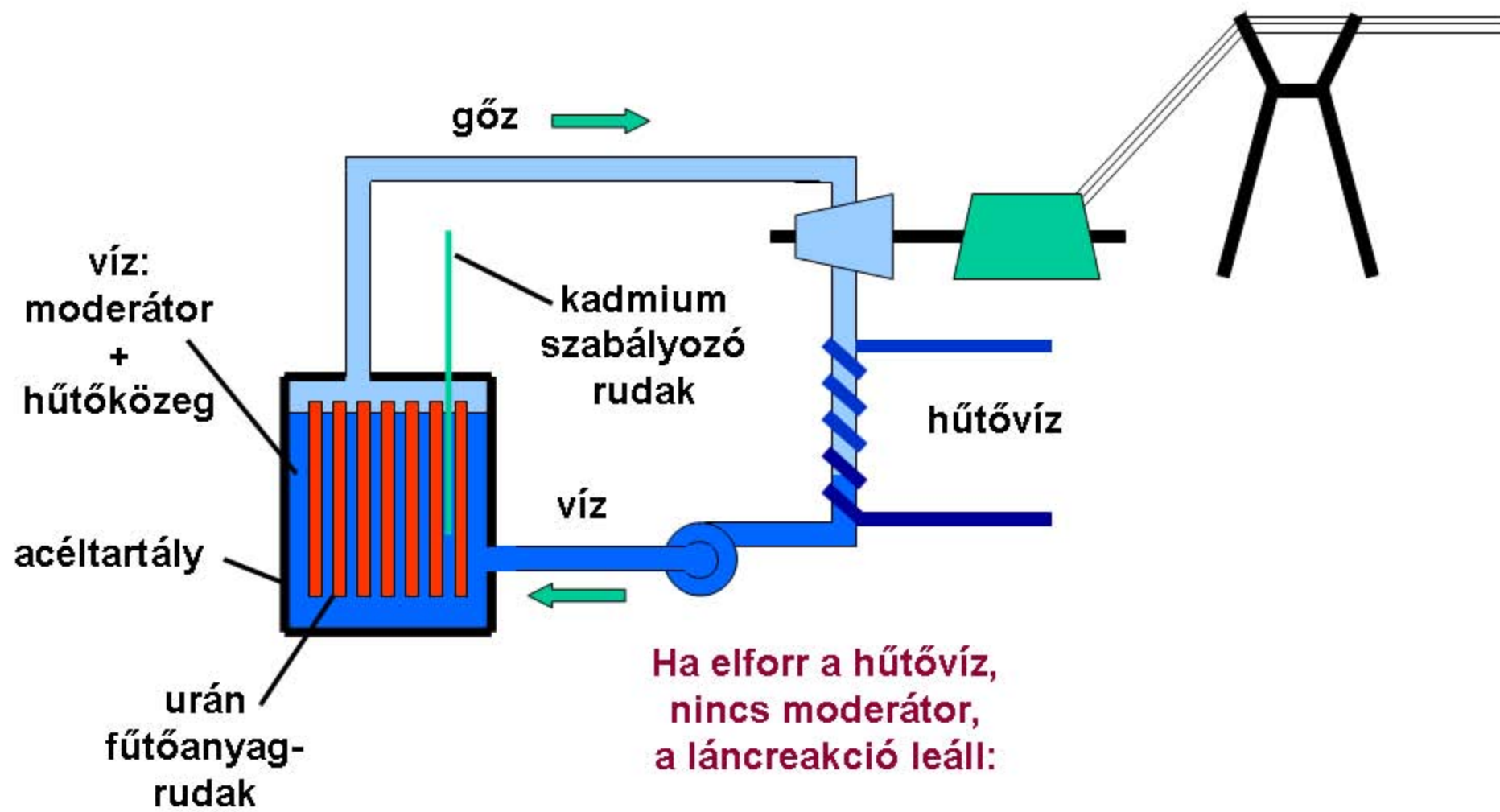


# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

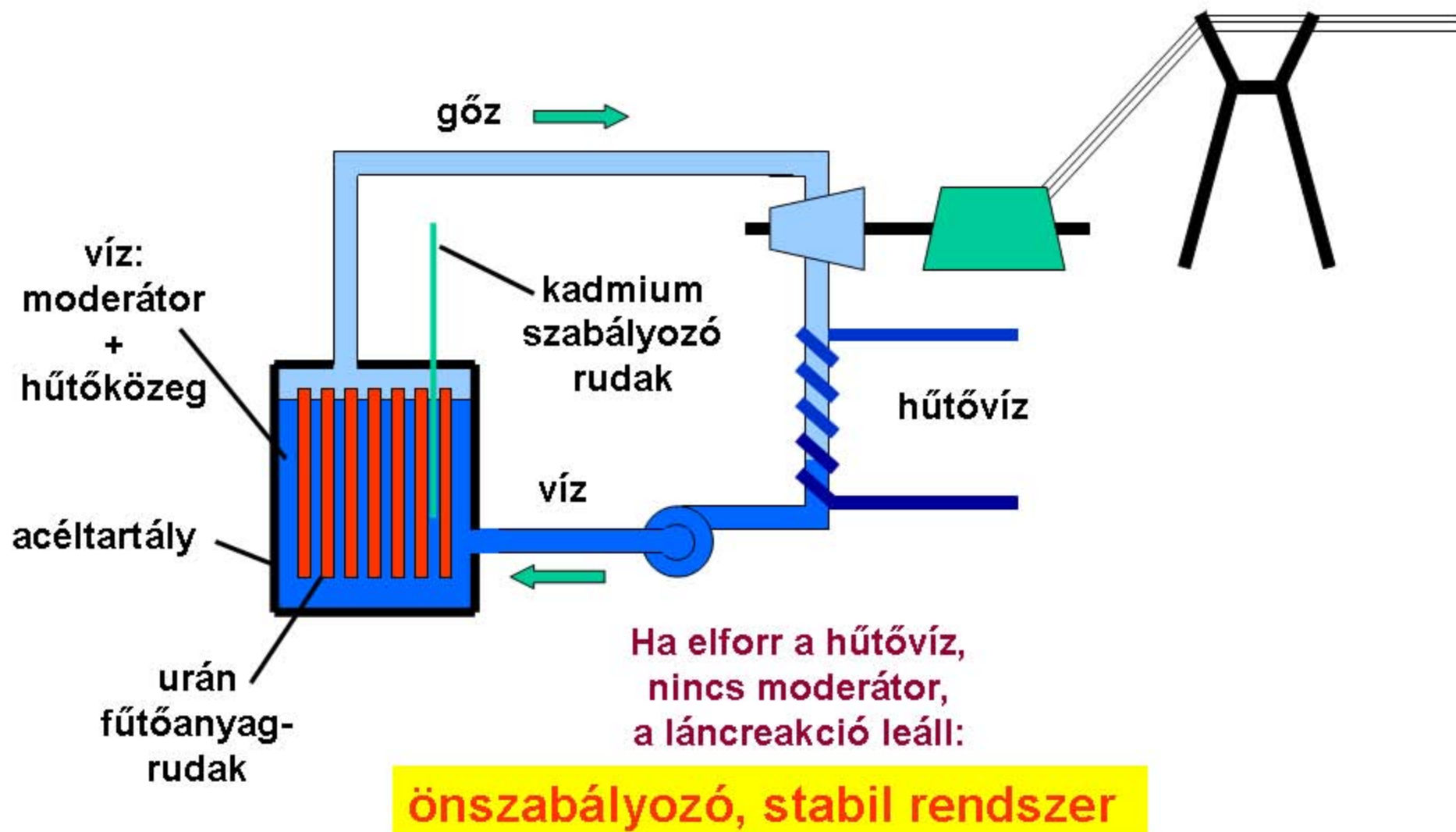
(Fukusima)



# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR) (Fukusima)

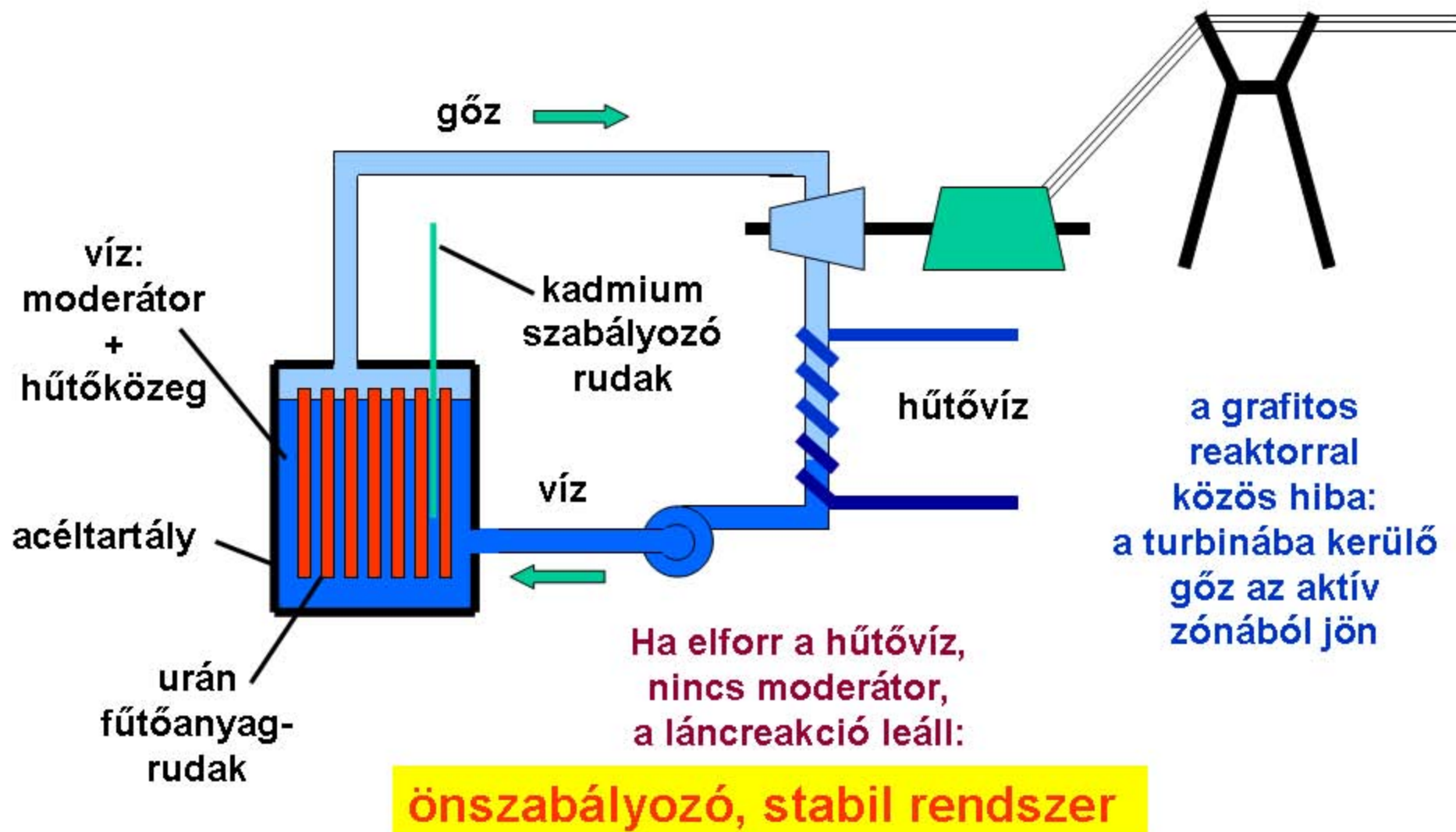


# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR) (Fukusima)



# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)

(Fukusima)



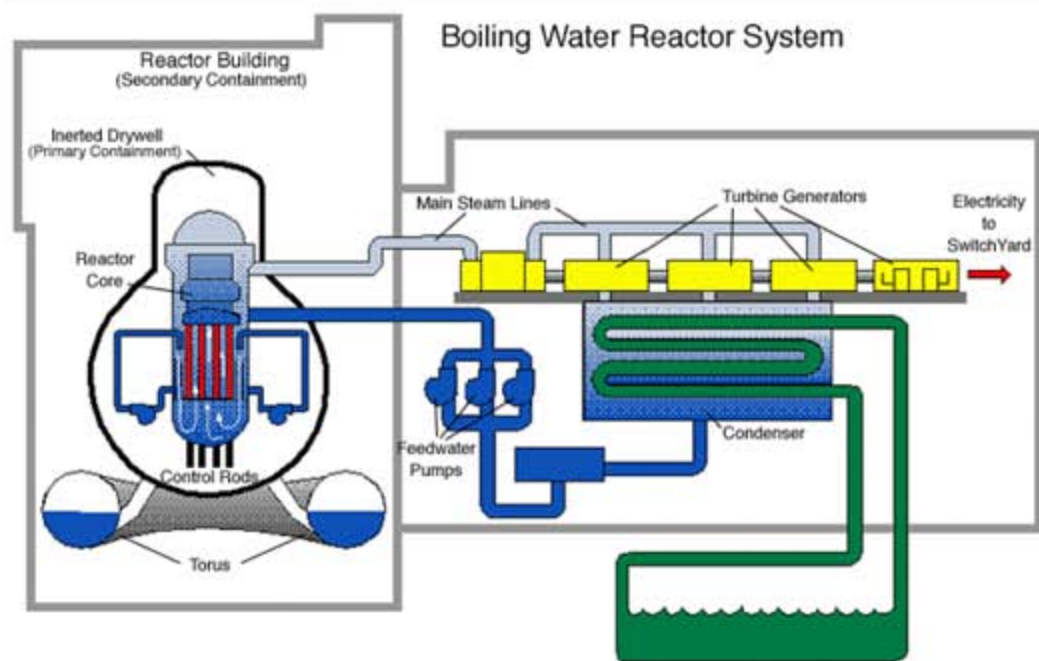


## Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)





# Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)



## Boiling Water Reactor (BWR)

Secondary containment:  
Area of explosion at  
Fukushima Daiichi 1

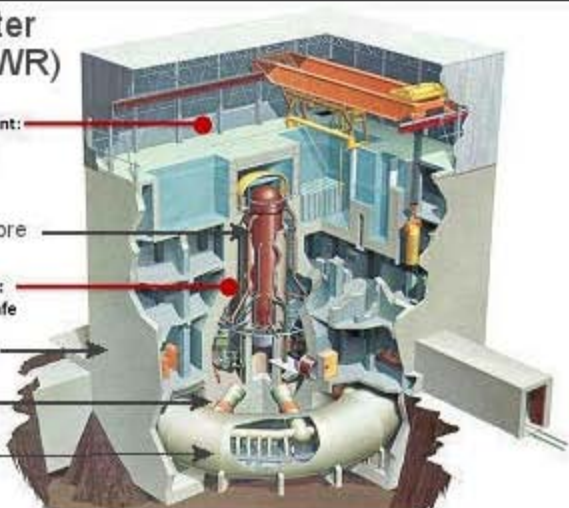
reactor core

Primary containment:  
Remains intact and safe

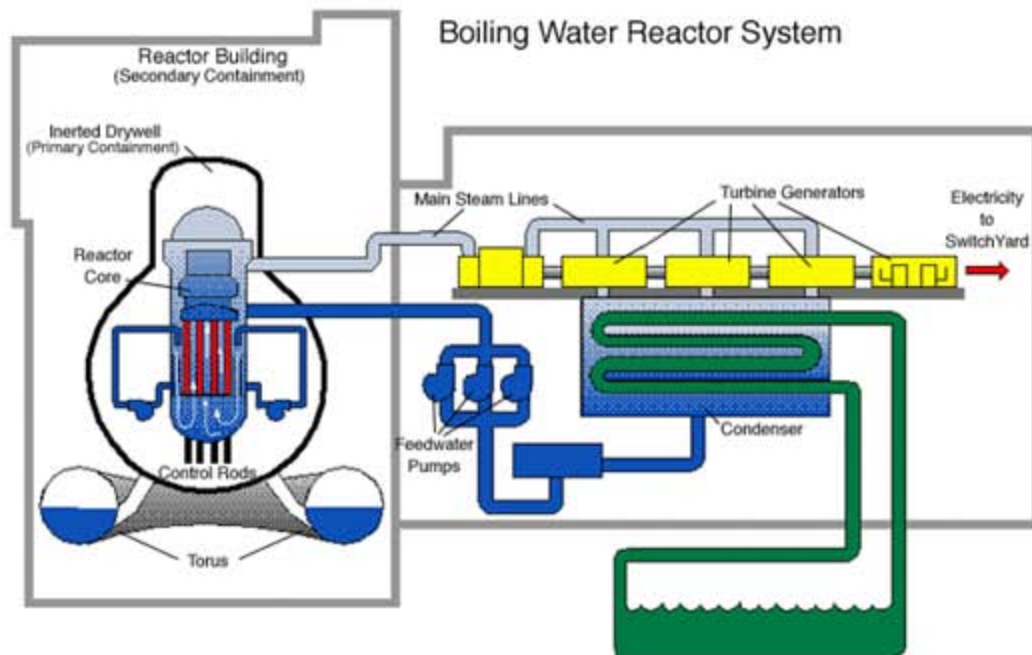
concrete shielding

water pump

pressure-suppression pool



## Vízforraló reaktoros erőmű (BWR)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)



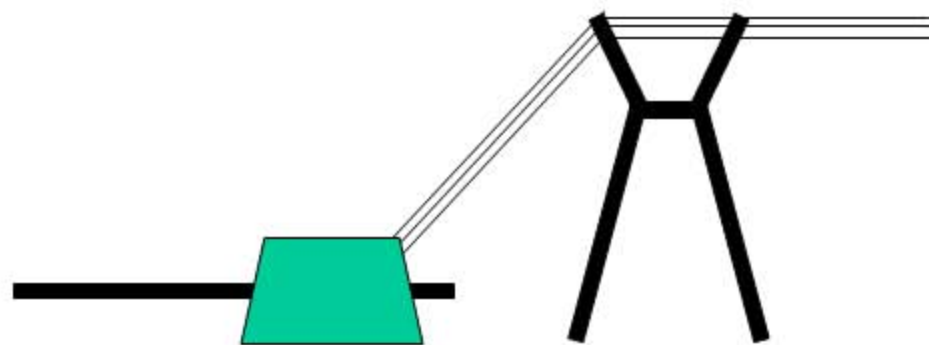
# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)



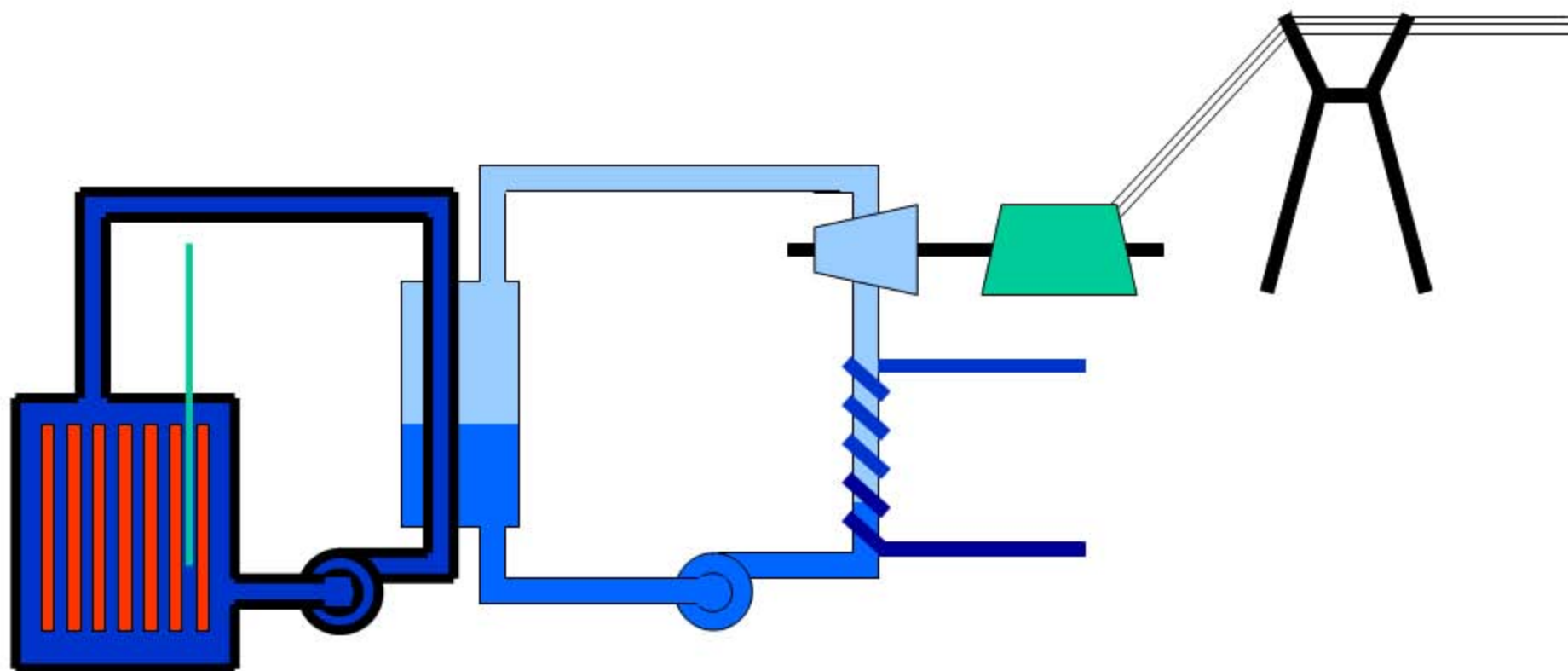
# Nyomottvizes reaktor (PWR)

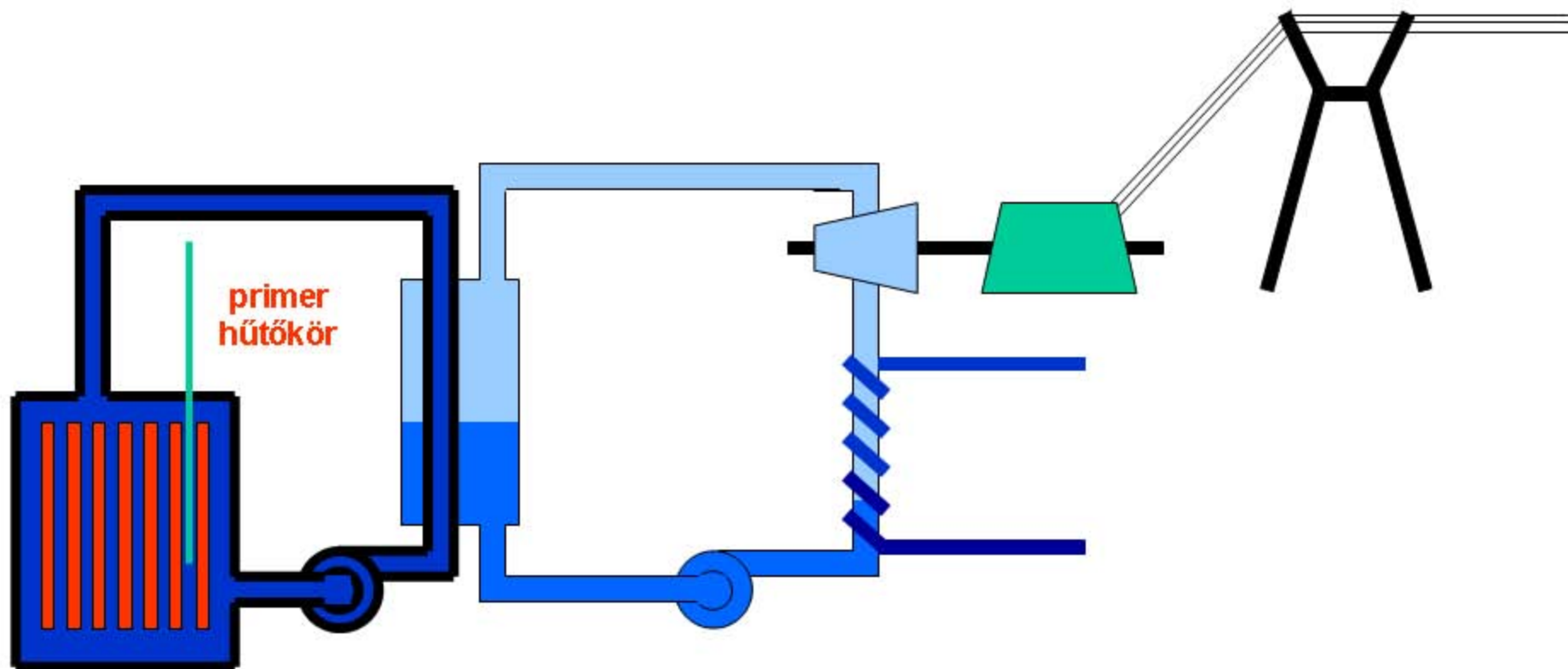
(Paks)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

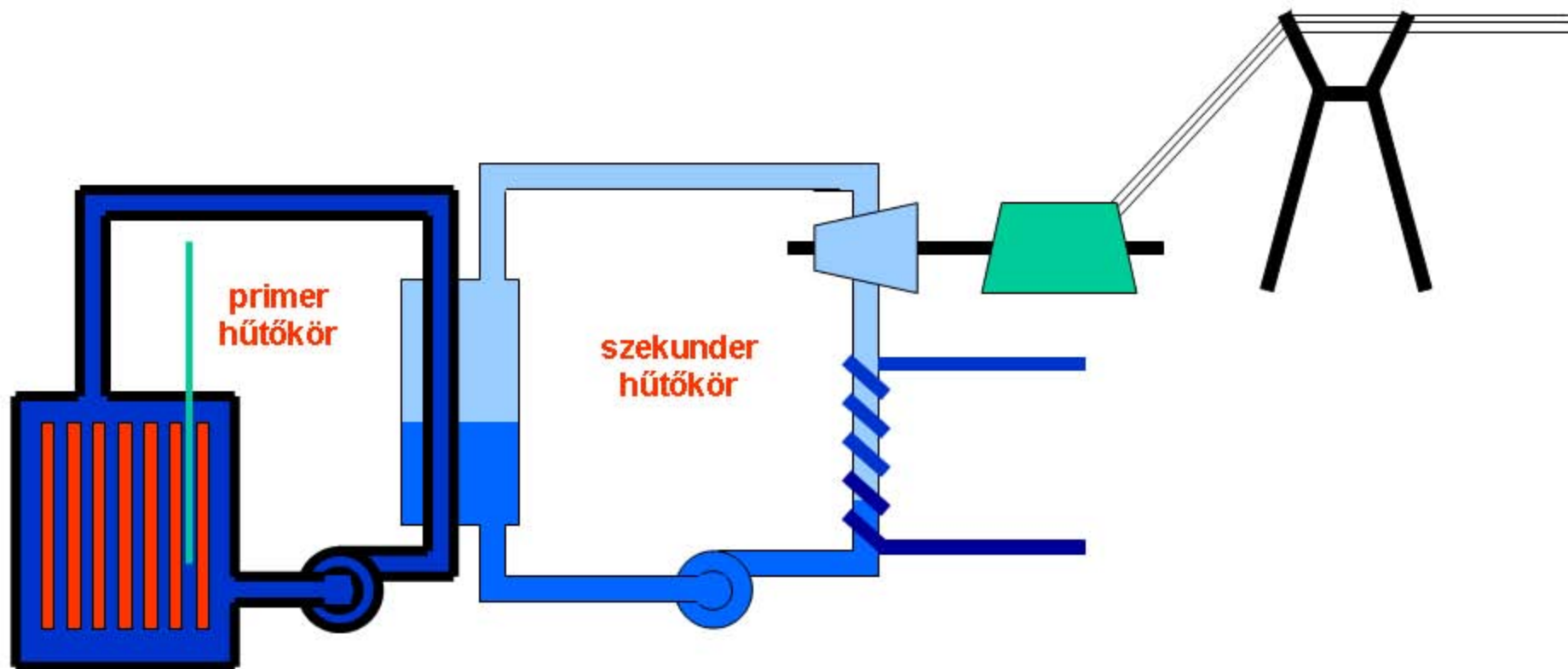






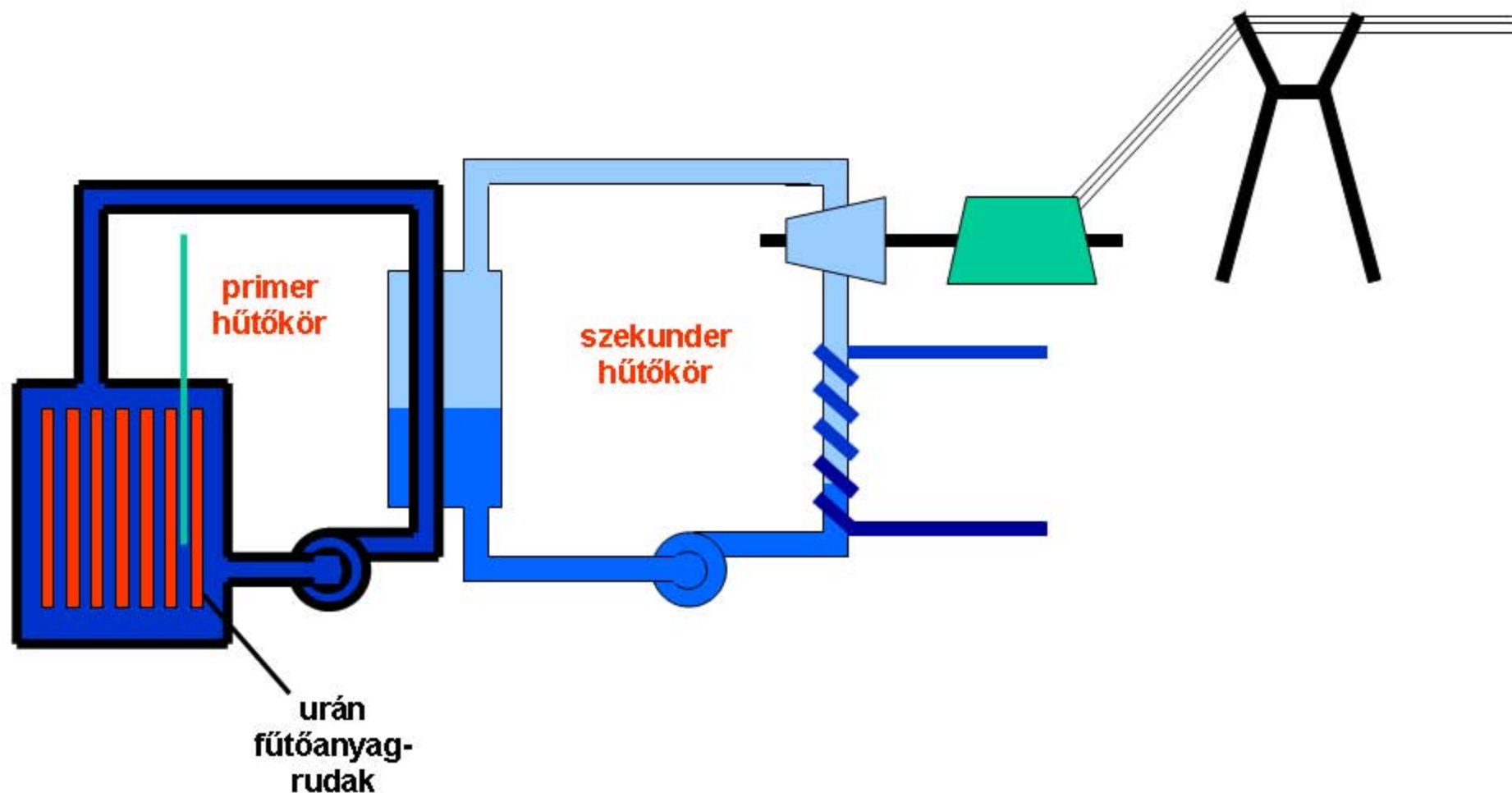
# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)



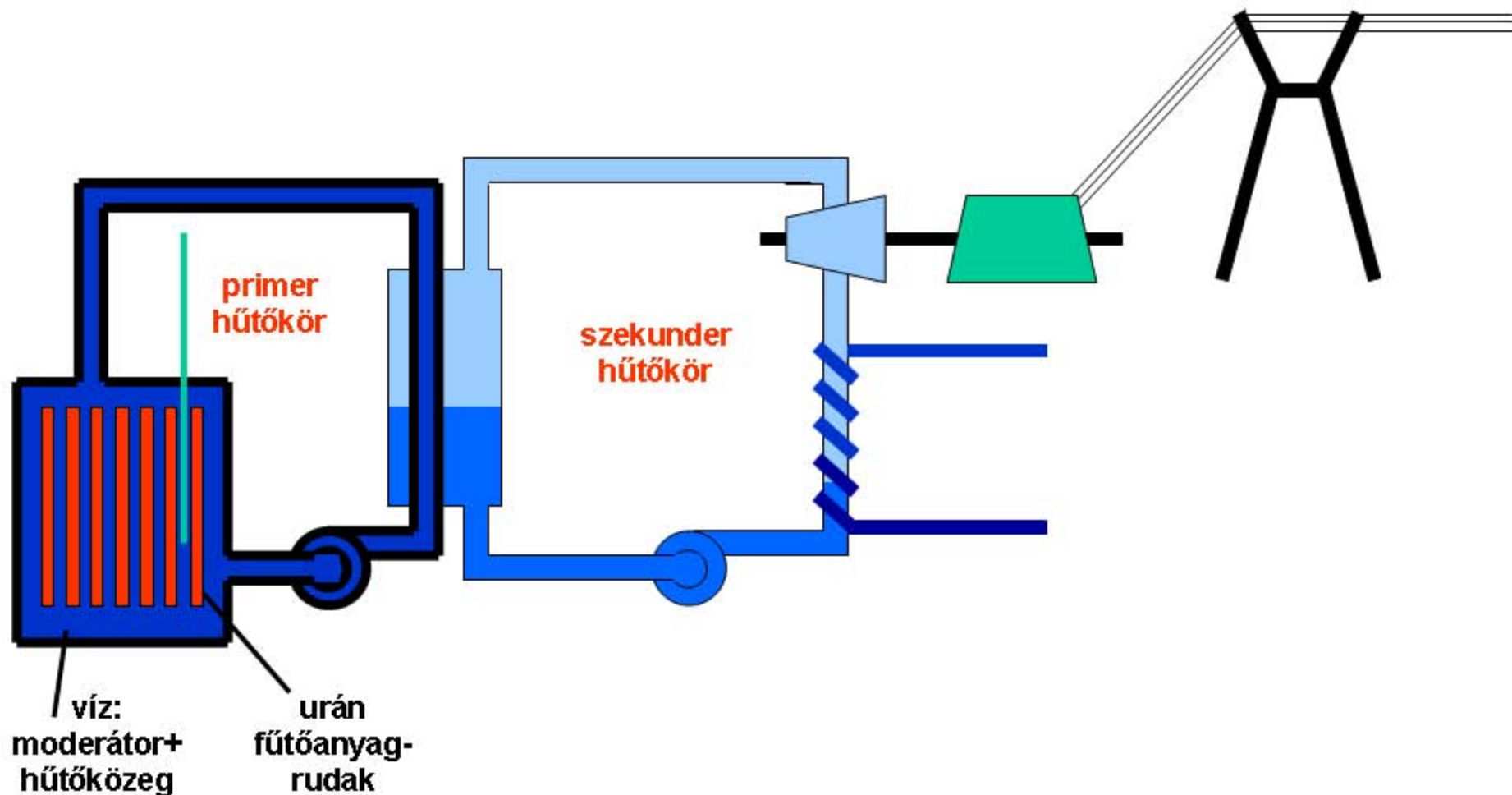
# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

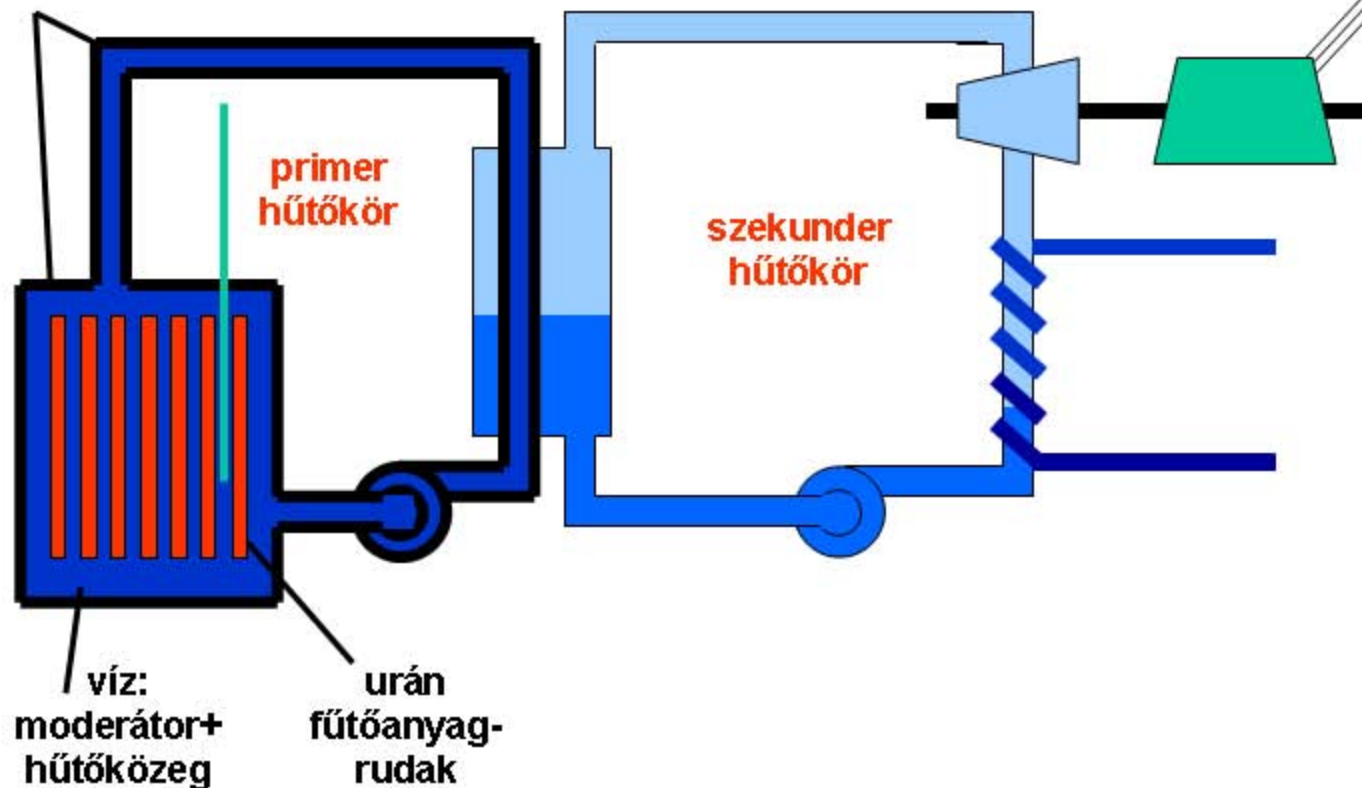
(Paks)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsövek



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsövek

nagynyomású  
víz (250 °C)

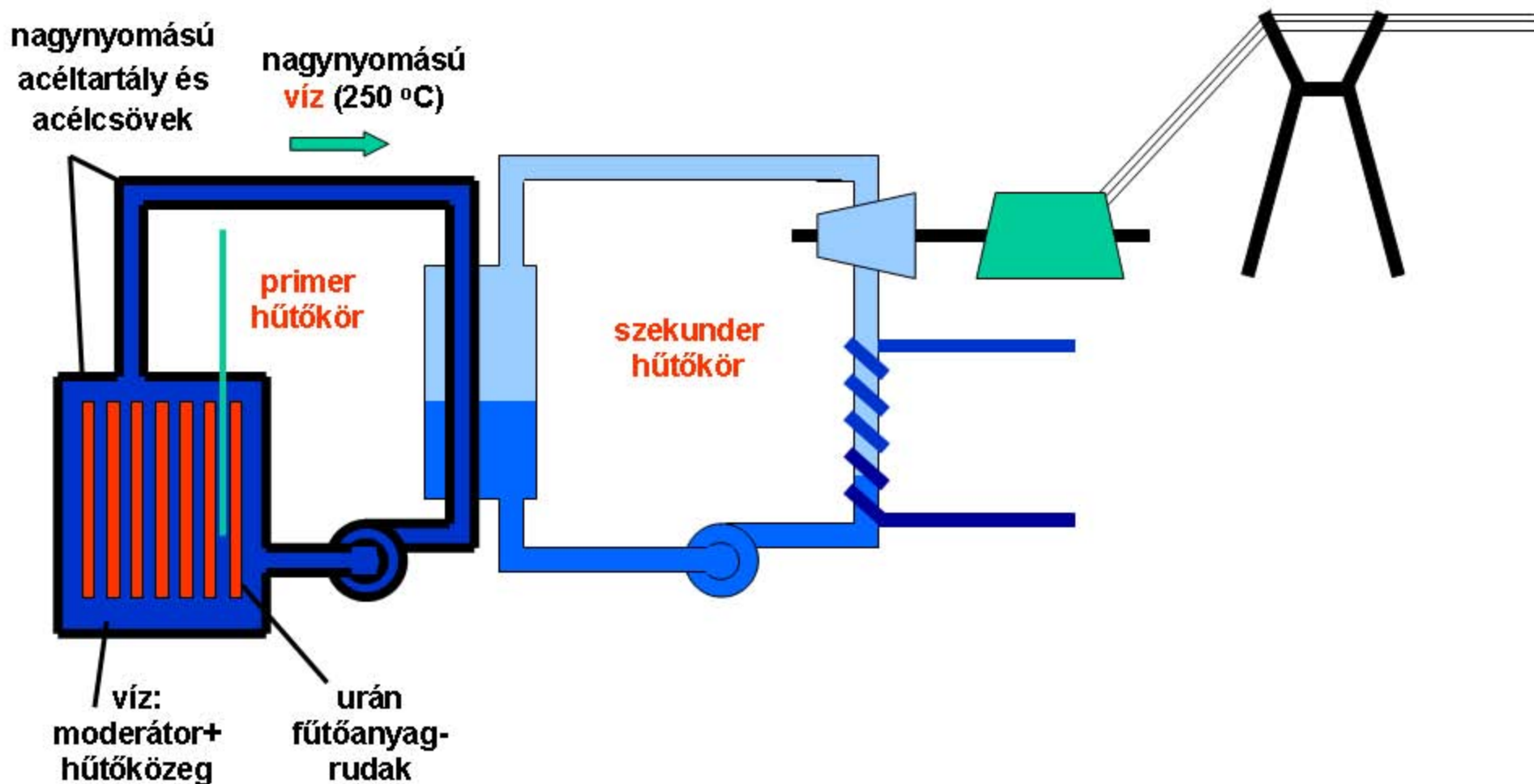


primer  
hűtőkör

szekunder  
hűtőkör

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

urán  
fűtőanyag-  
rudak



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsövek

nagynyomású  
víz (250 °C)



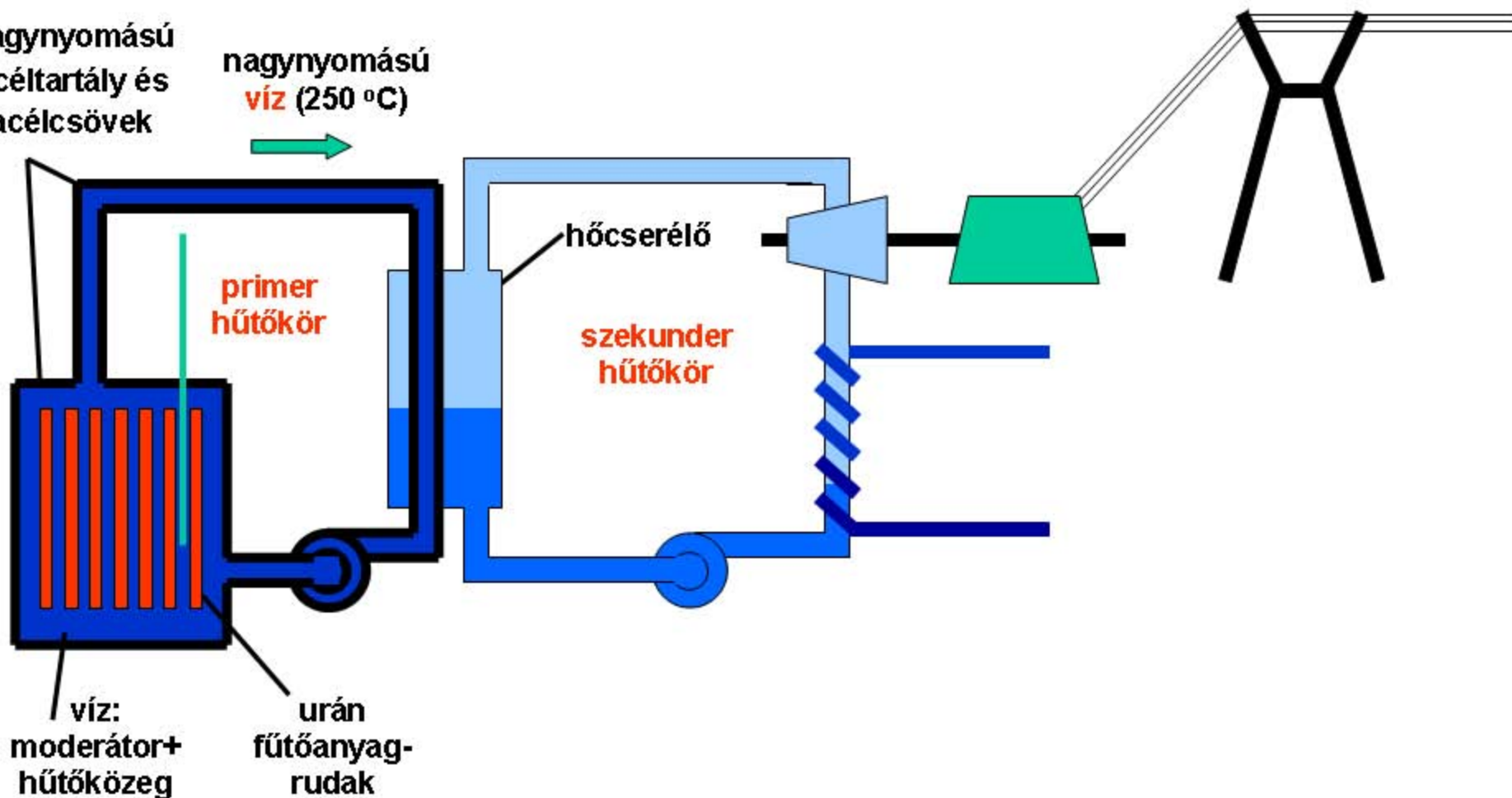
primer  
hűtőkör

hőcserélő

szekunder  
hűtőkör

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

urán  
fűtőanyag-  
rudak



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsovek

nagynyomású  
víz (250 °C)

gőz  
(nem szennyezett)

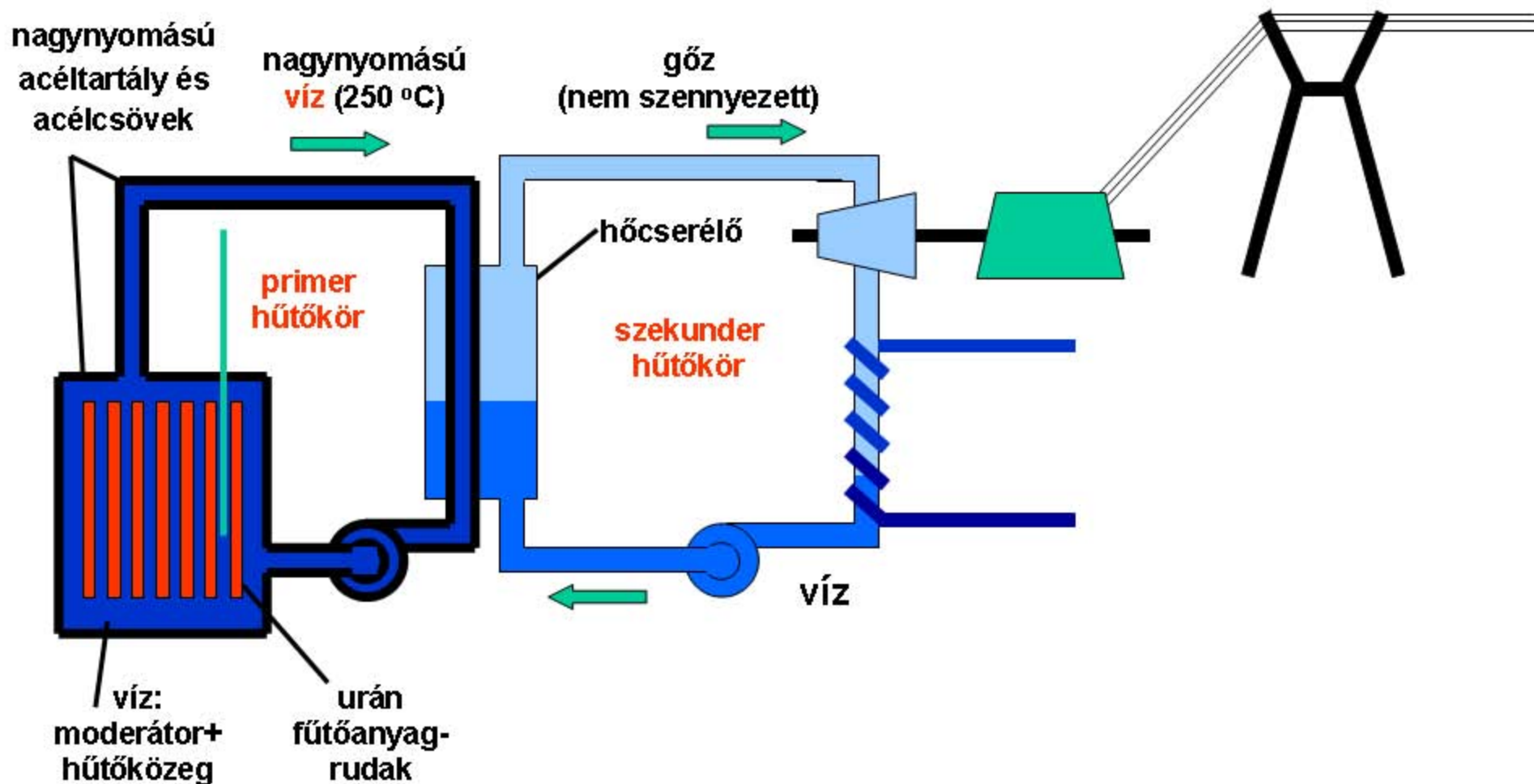
primer  
hűtőkör

szekunder  
hűtőkör

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

urán  
fűtőanyag-  
rudak

víz





# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsovek

nagynyomású  
víz (250 °C)

gőz  
(nem szennyezett)

primer  
hűtőkör

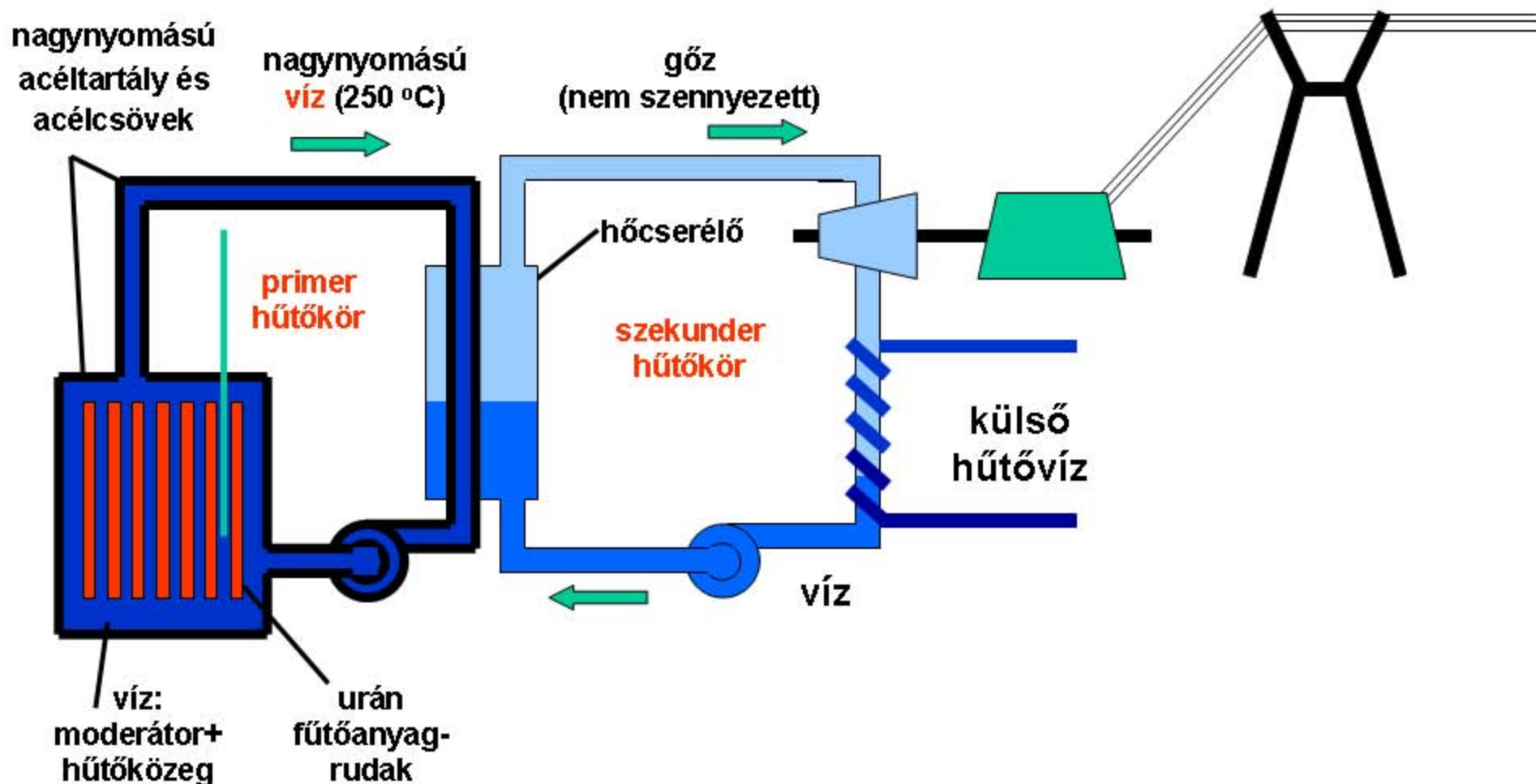
szekunder  
hűtőkör

külső  
hűtővíz

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

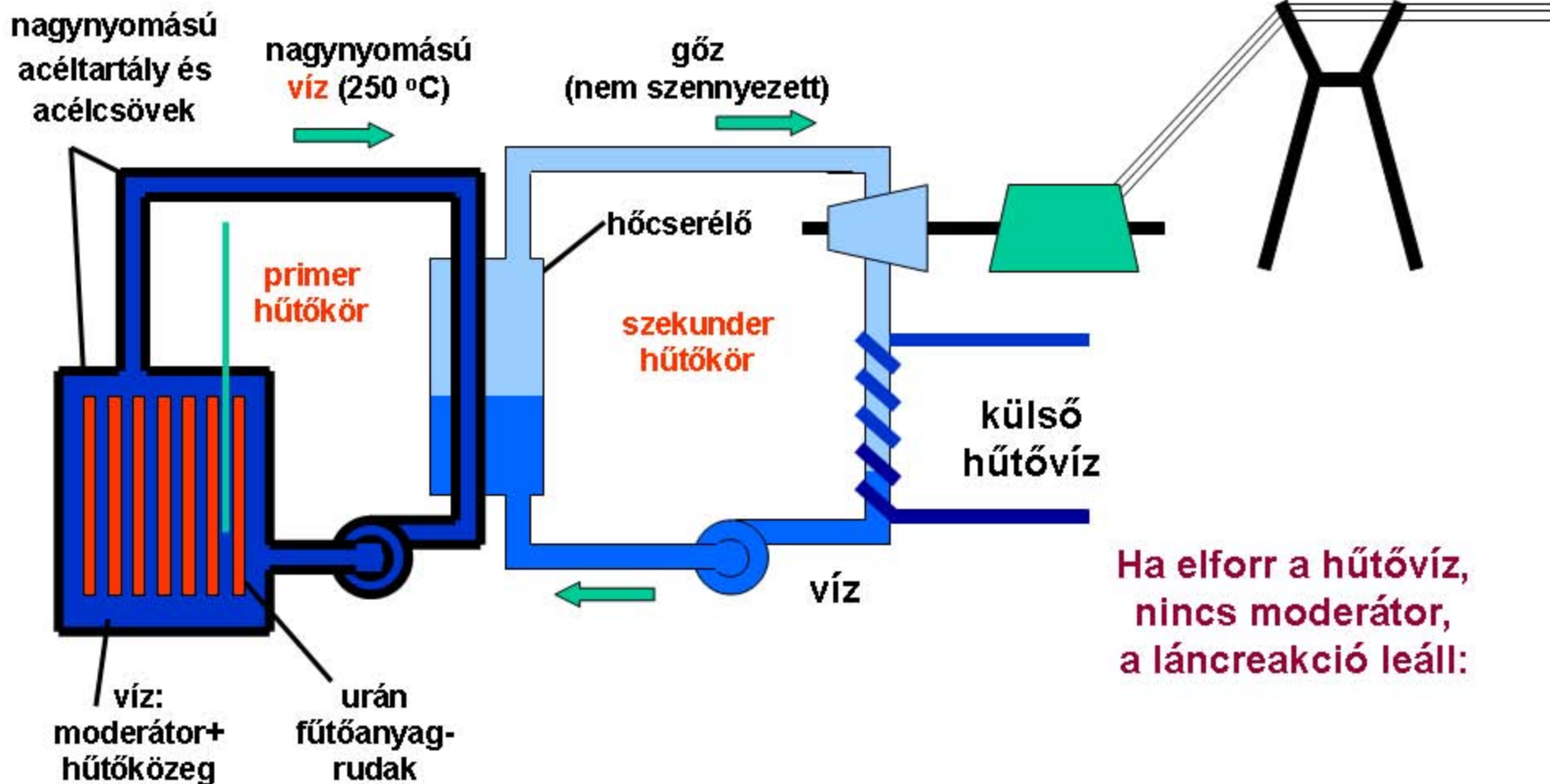
urán  
fűtőanyag-  
rudak

víz



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsövek

nagynyomású  
víz (250 °C)

gőz  
(nem szennyezett)

primer  
hűtőkör

szekunder  
hűtőkör

külső  
hűtővíz

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

urán  
fűtőanyag-  
rudak

víz

Ha elforr a hűtővíz,  
nincs moderátor,  
a láncreakció leáll:

**önszabályozó,  
stabil rendszer**



# Nyomottvizes reaktor (PWR)

(Paks)

nagynyomású  
acéltartály és  
acélcsövek

nagynyomású  
víz (250 °C)

gőz  
(nem szennyezett)

primer  
hűtőkör

szekunder  
hűtőkör

külső  
hűtővíz

víz:  
moderátor+  
hűtőközeg

urán  
fűtőanyag-  
rudak

víz

a primer hűtőkör  
radioaktív vize nem  
érintkezik a  
külvilággal!

Ha elforr a hűtővíz,  
nincs moderátor,  
a láncreakció leáll:

önszabályozó,  
stabil rendszer

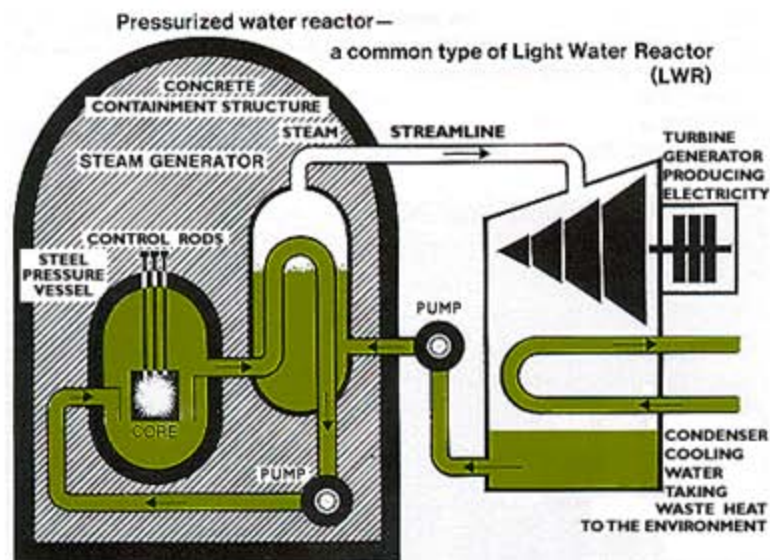


# Nyomottvizes reaktor (PWR)

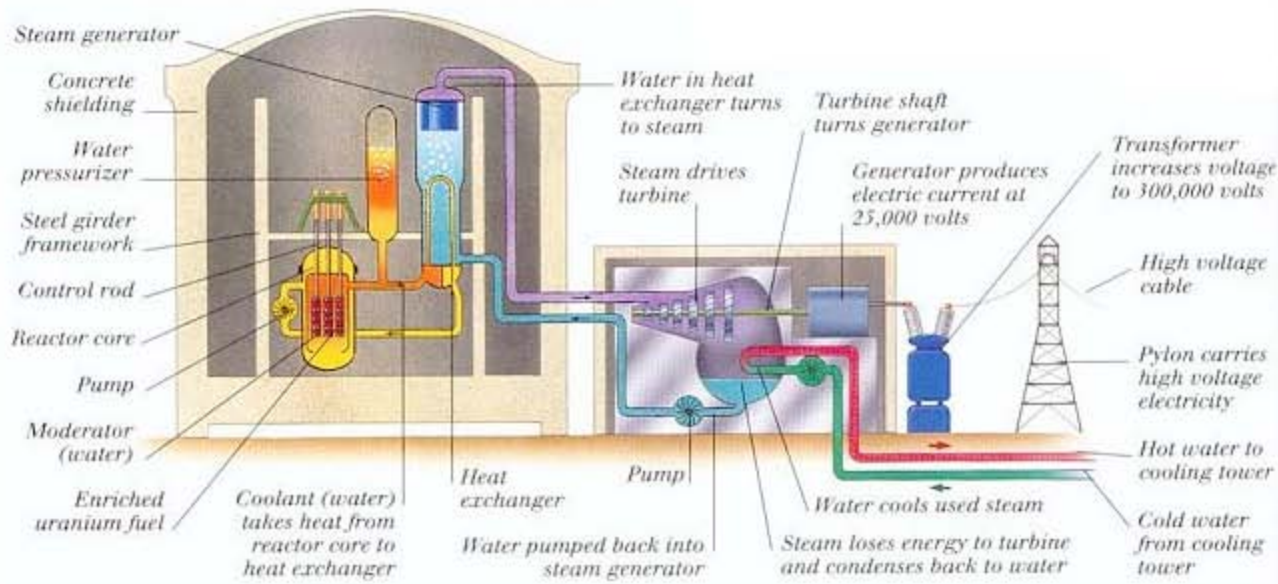
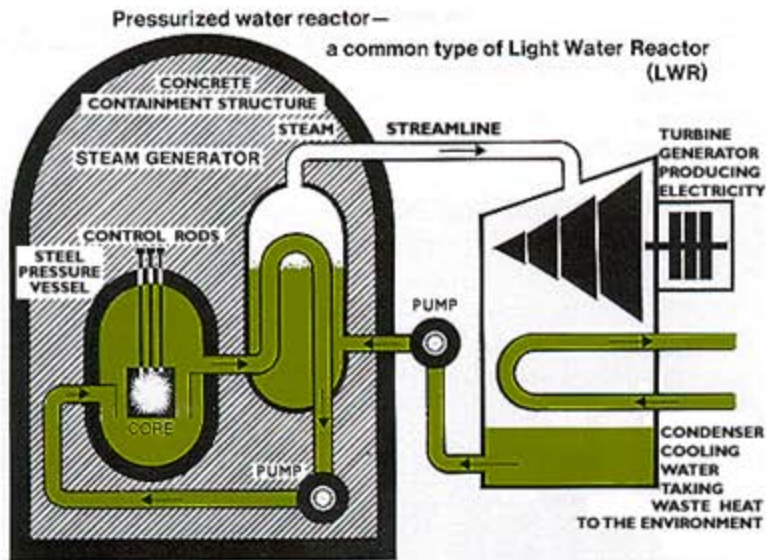




# Nyomottvizes reaktor (PWR)



# Nyomottvizes reaktor (PWR)





# Kiégett fűtőelemek



# Kiégett fűtőelemek

mi van bennük?



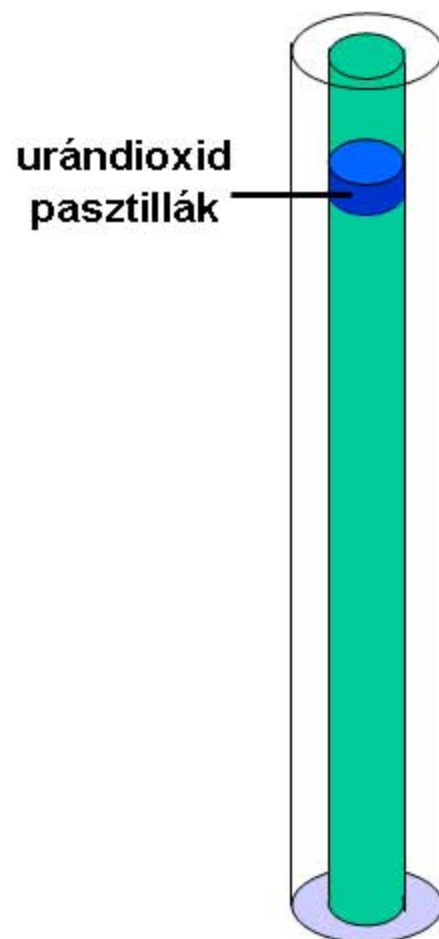
# Kiégett fűtőelemek

mi van bennük?



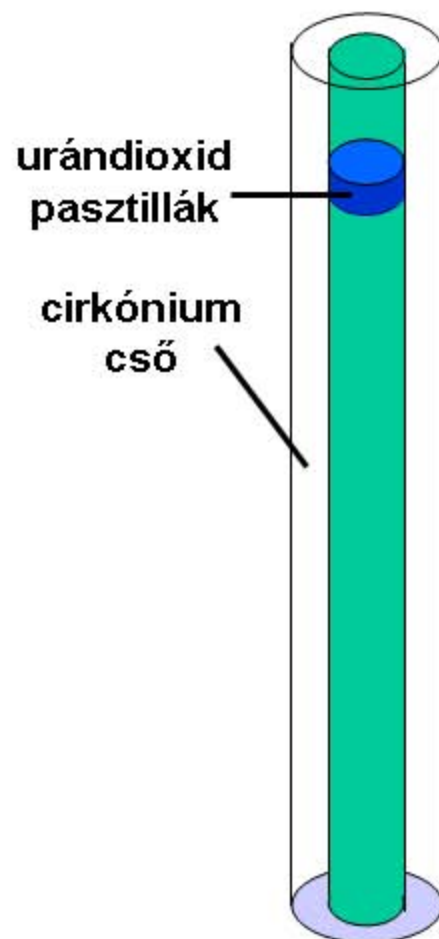
# Kiégett fűtőelemek

mi van bennük?

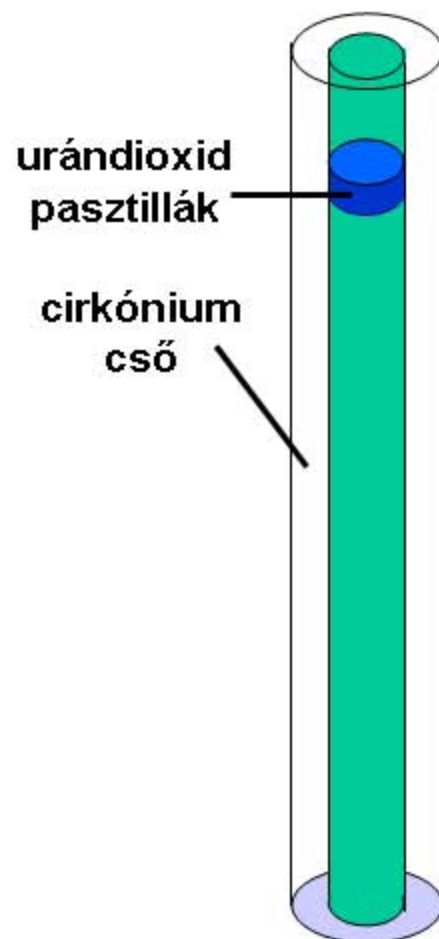
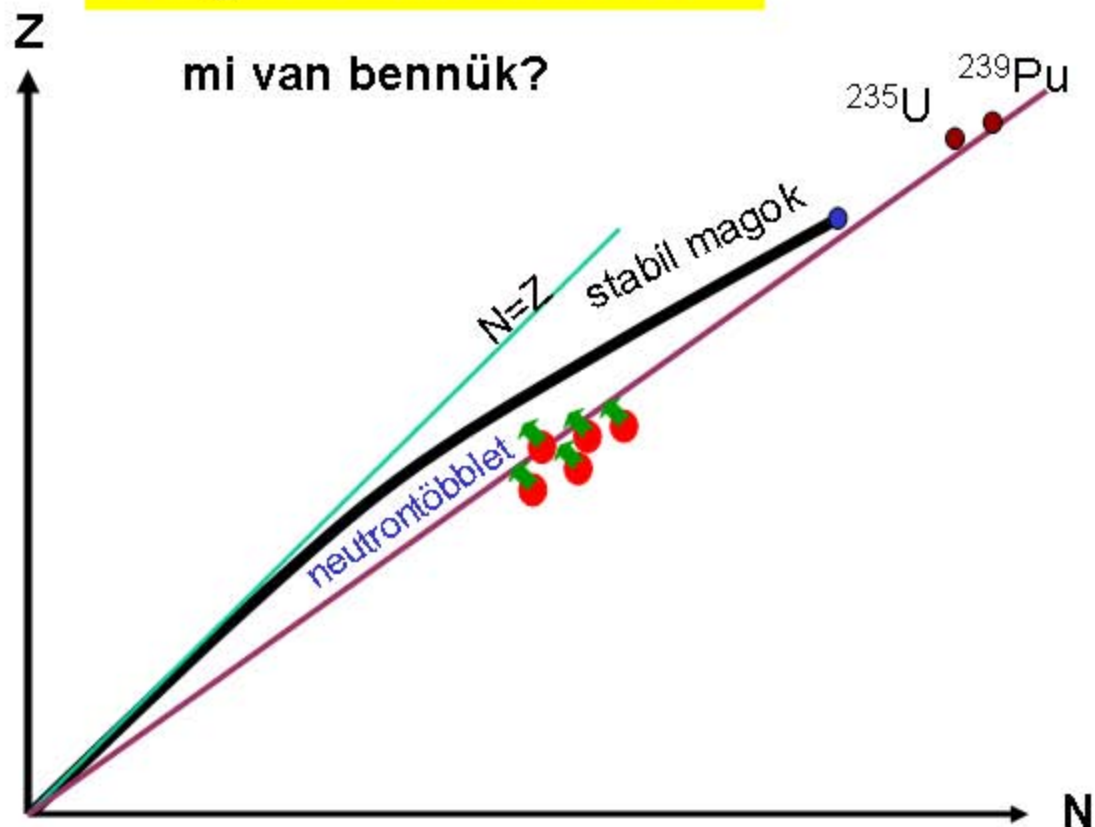


# Kiégett fűtőelemek

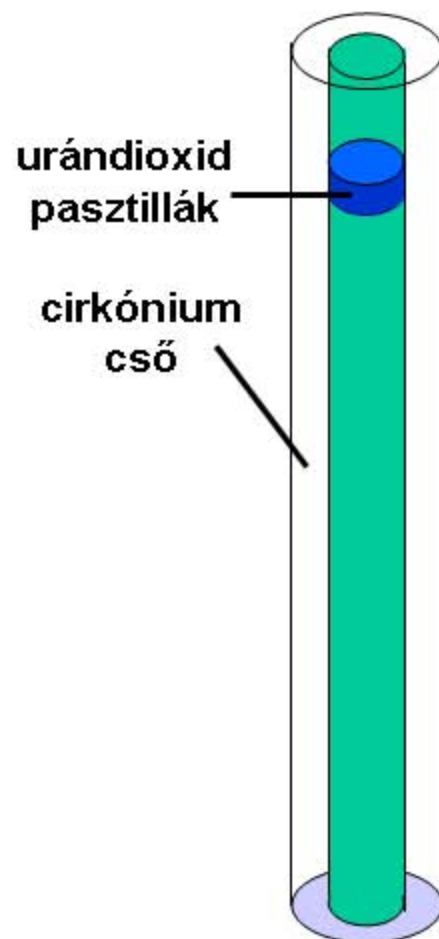
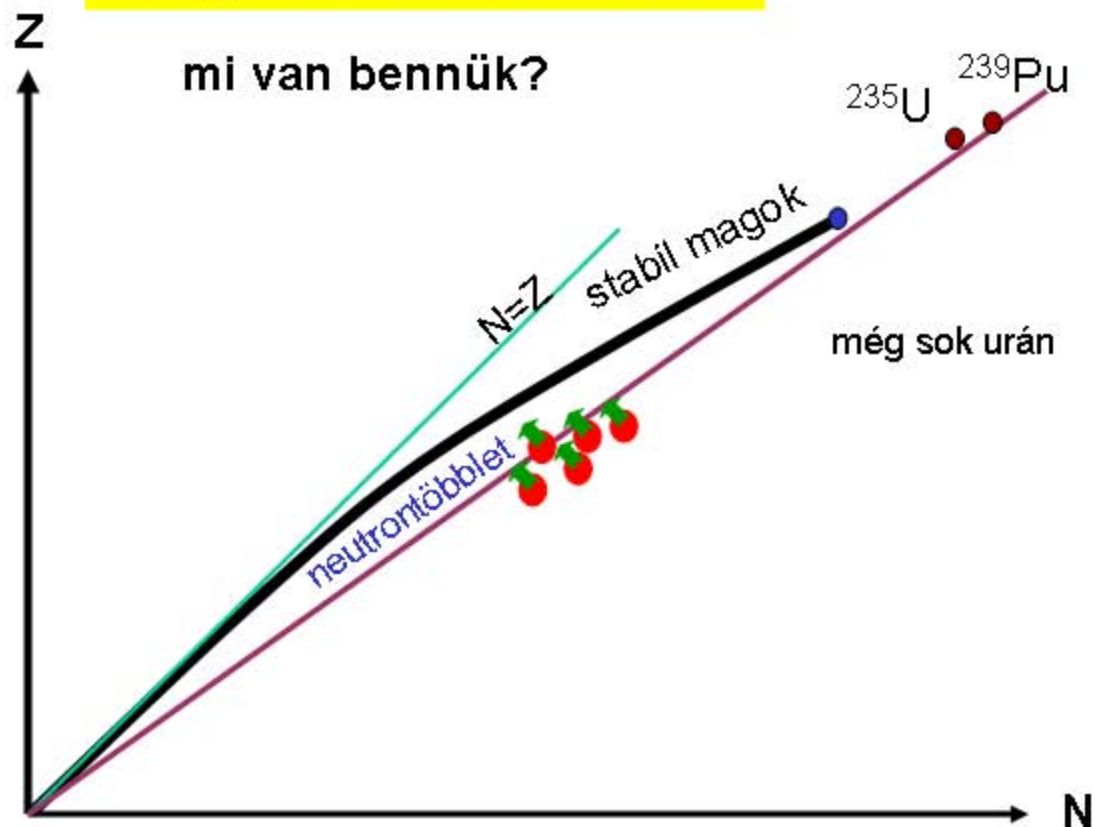
mi van bennük?



# Kiégett fűtőelemek

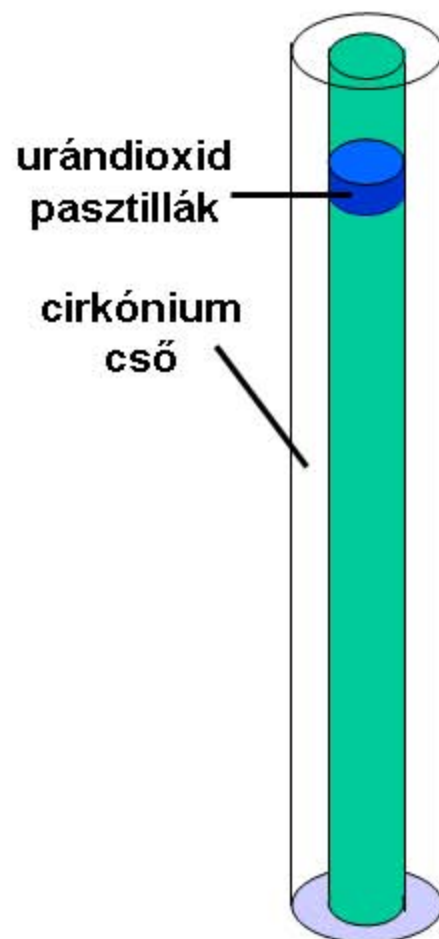
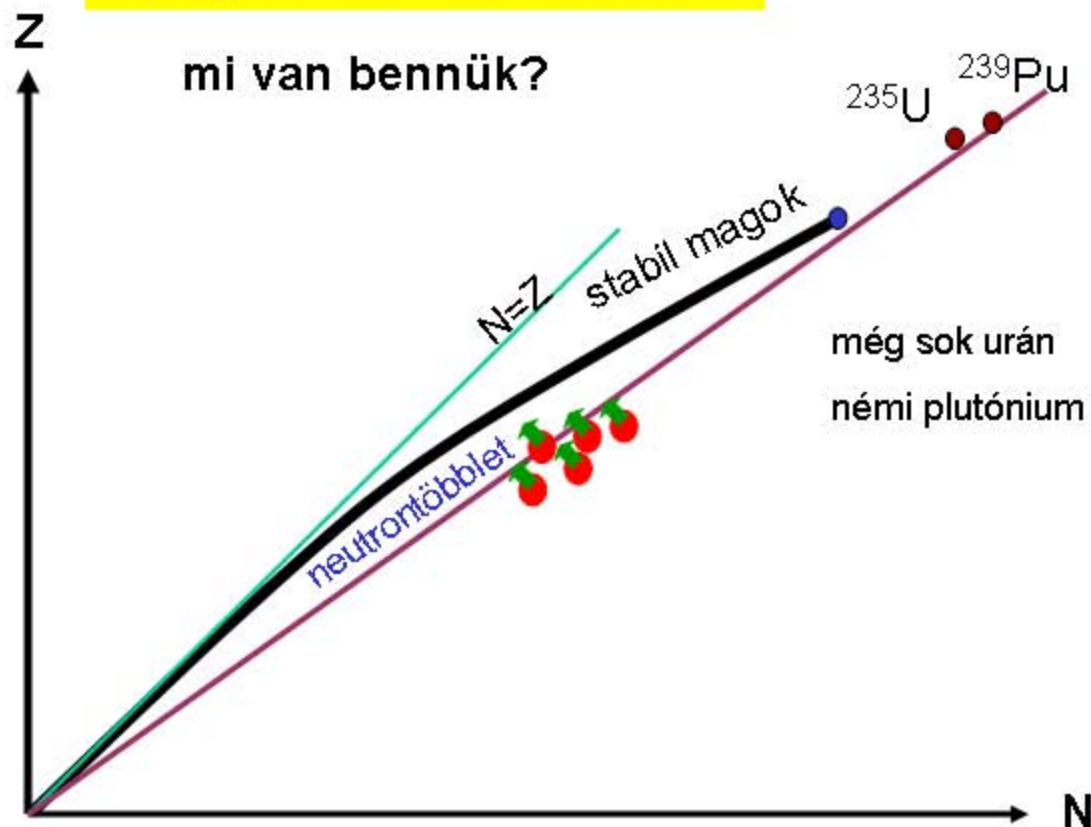


# Kiégett fűtőelemek

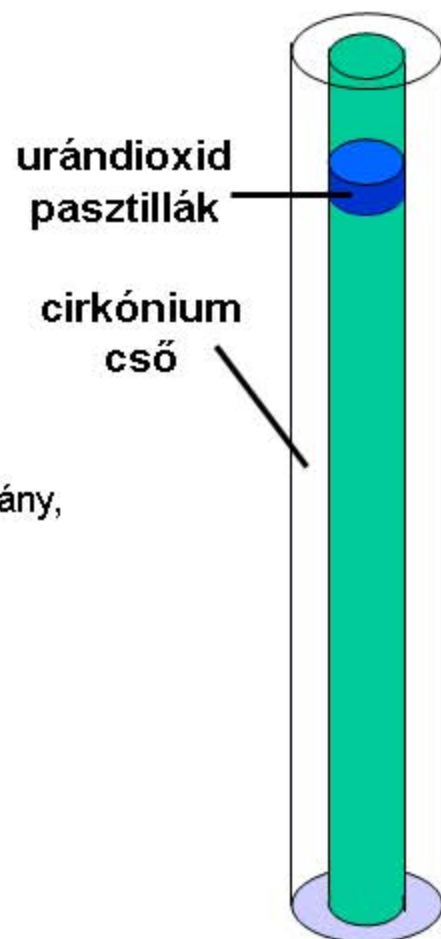
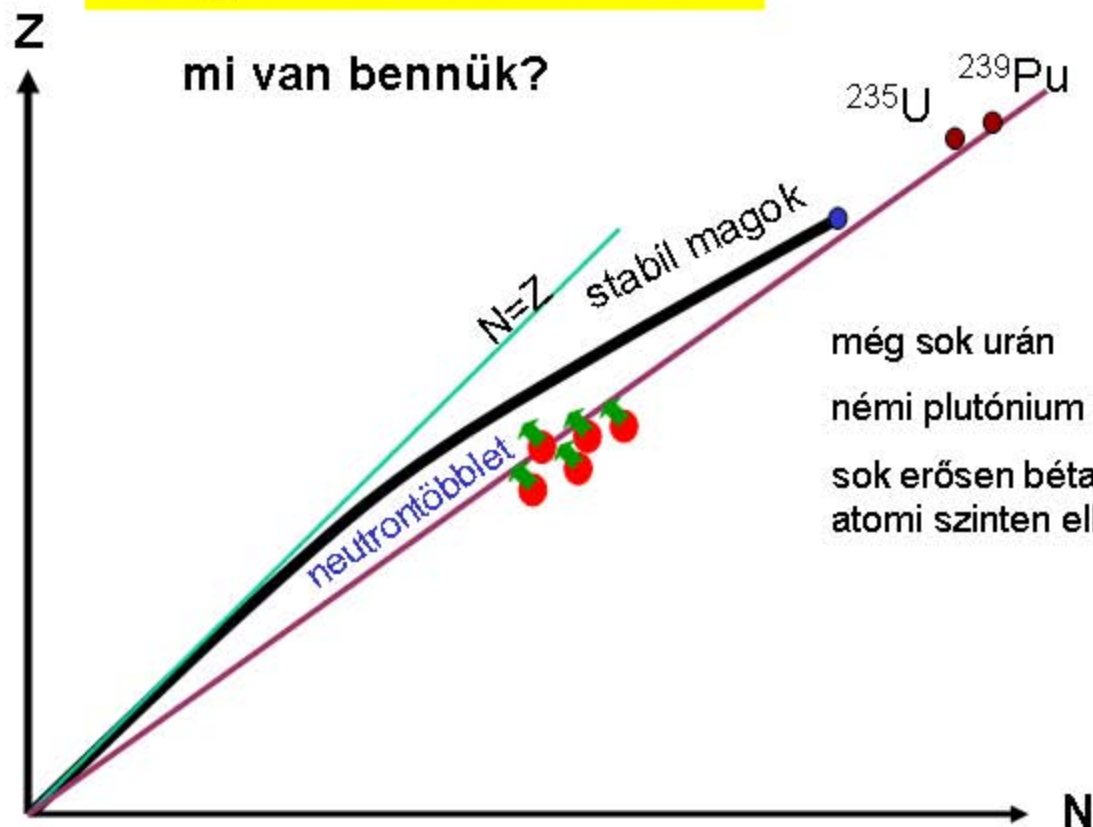




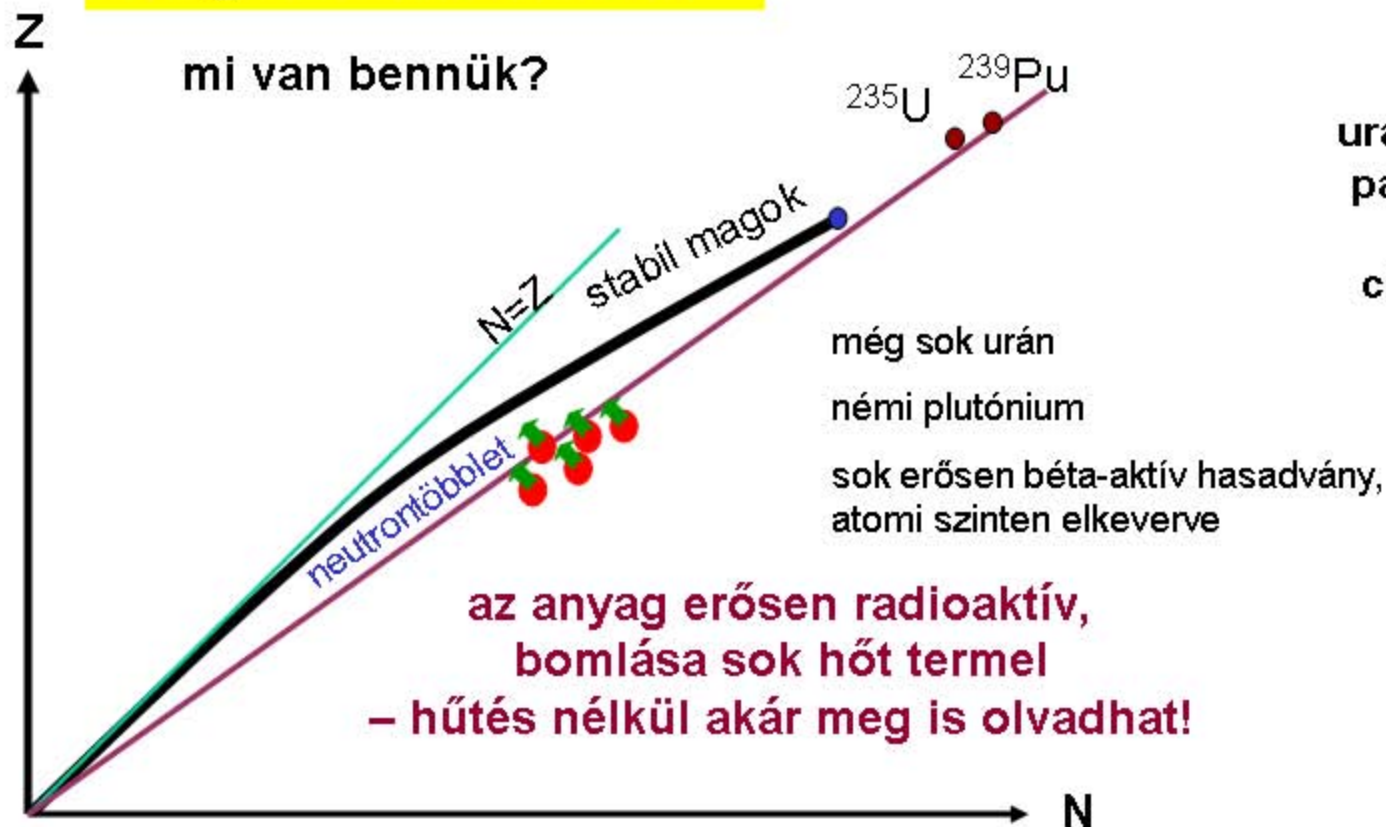
# Kiégett fűtőelemek



# Kiégett fűtőelemek



# Kiégett fűtőelemek

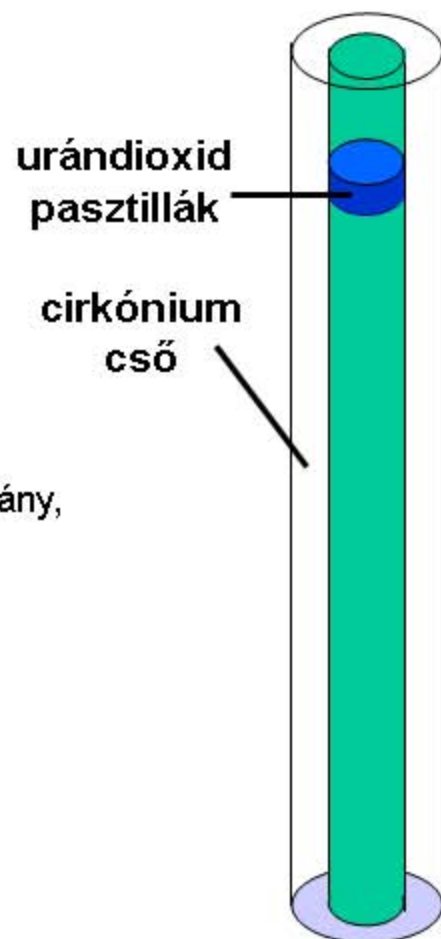
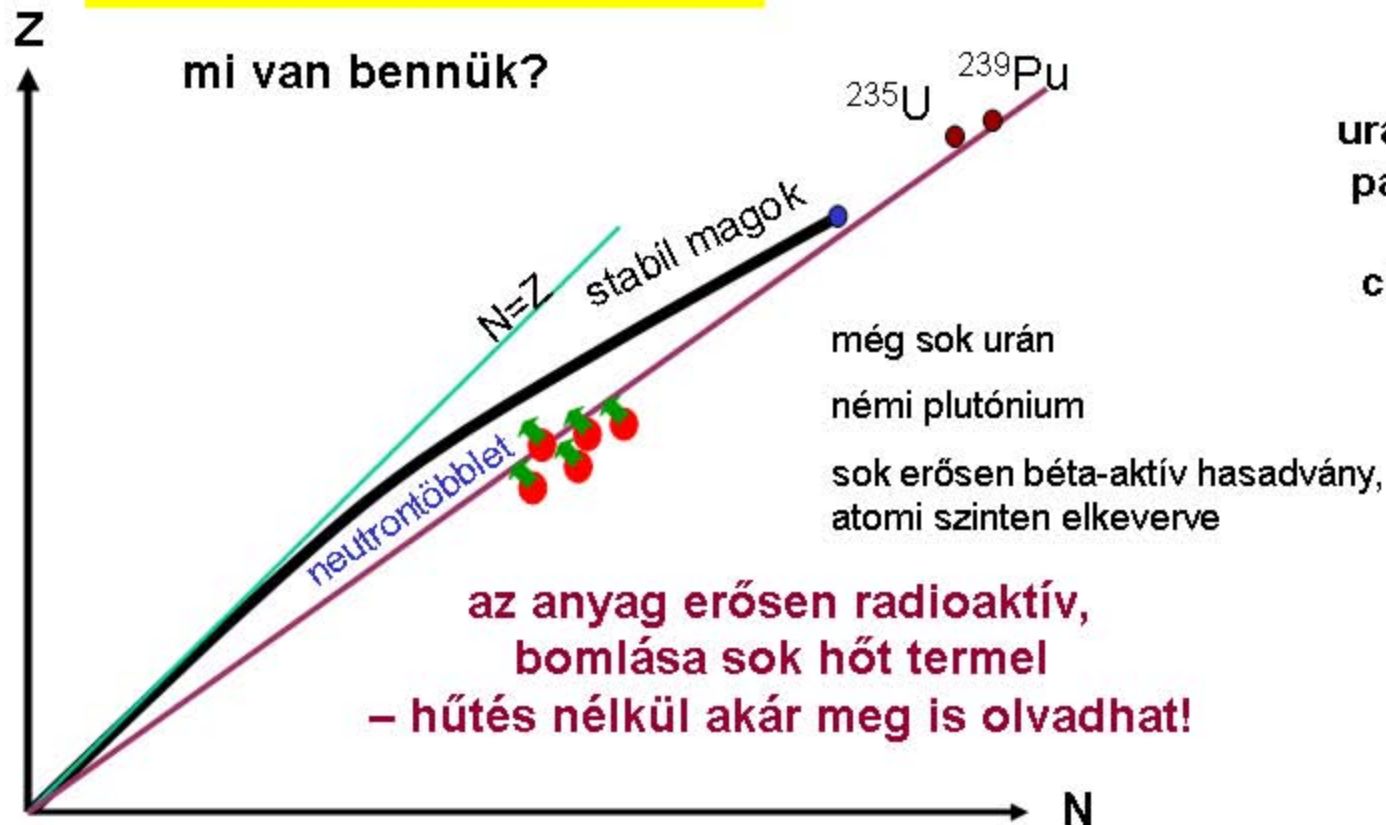


urándioxid  
pasztillák

cirkónium  
cső

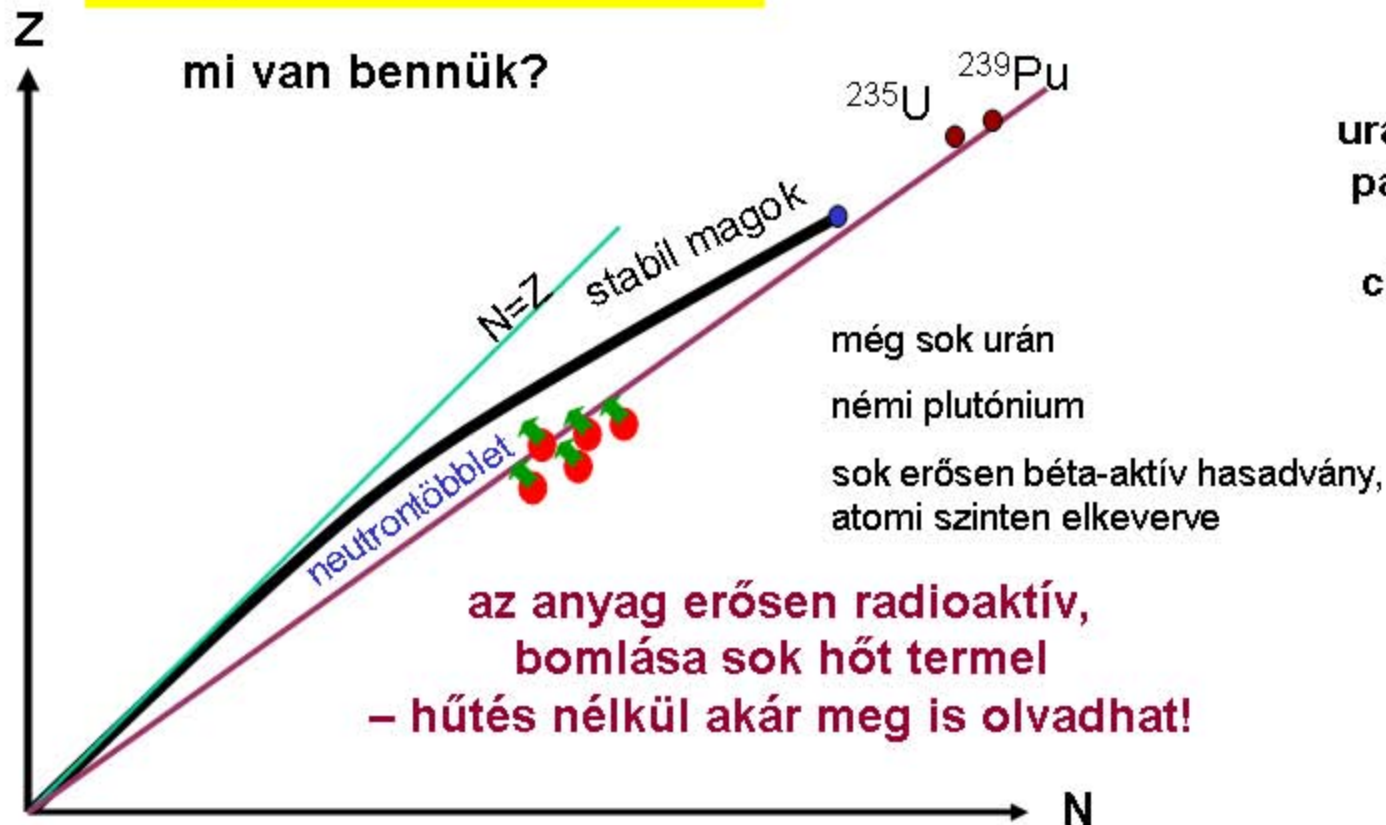


# Kiégett fűtőelemek



**A rudakat vízben kell tartani, akár évekig!**

# Kiégett fűtőelemek



urándioxid  
pasztillák

cirkónium  
cső



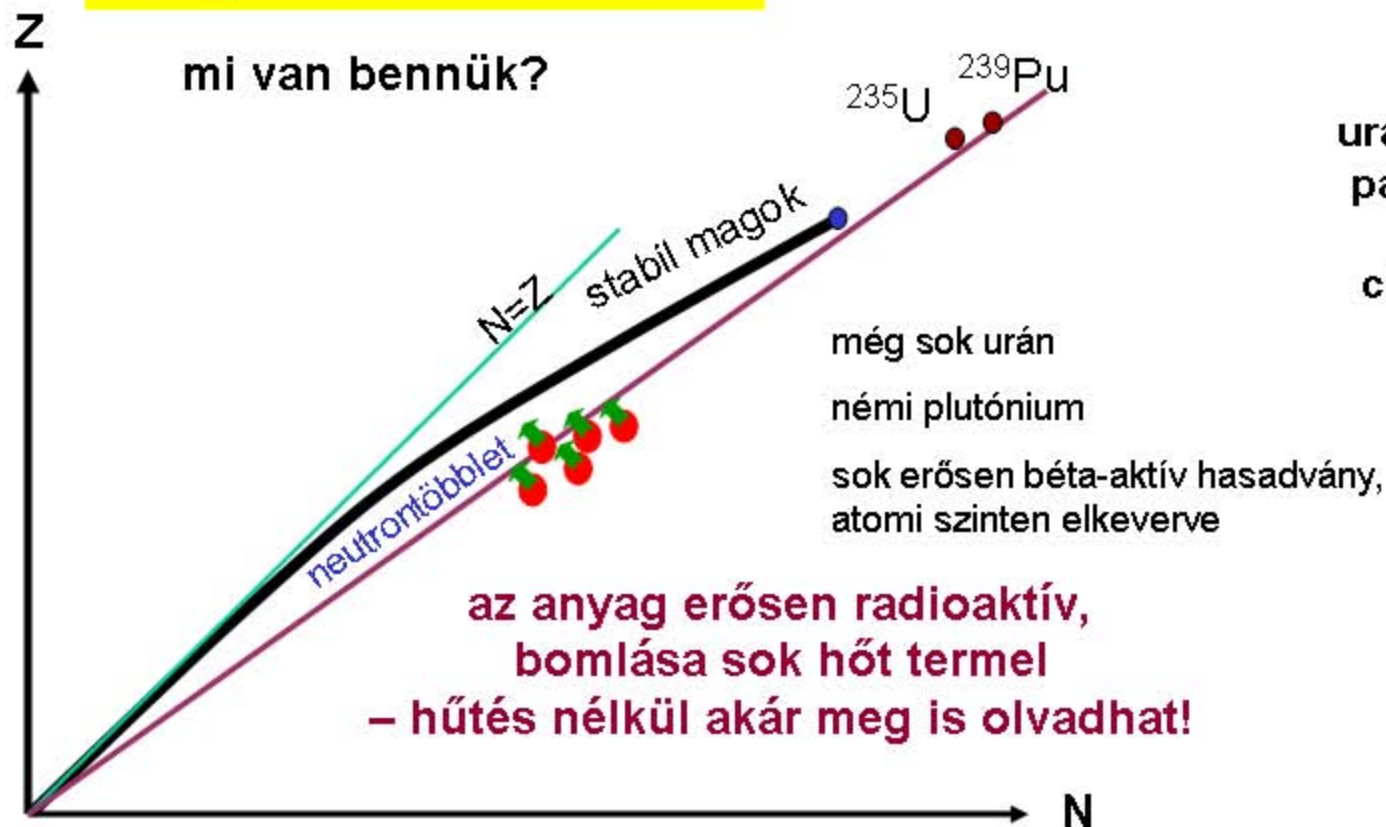
A rudakat vízben kell tartani, akár évekig!

utána





# Kiégett fűtőelemek



urándioxid  
pasztillák

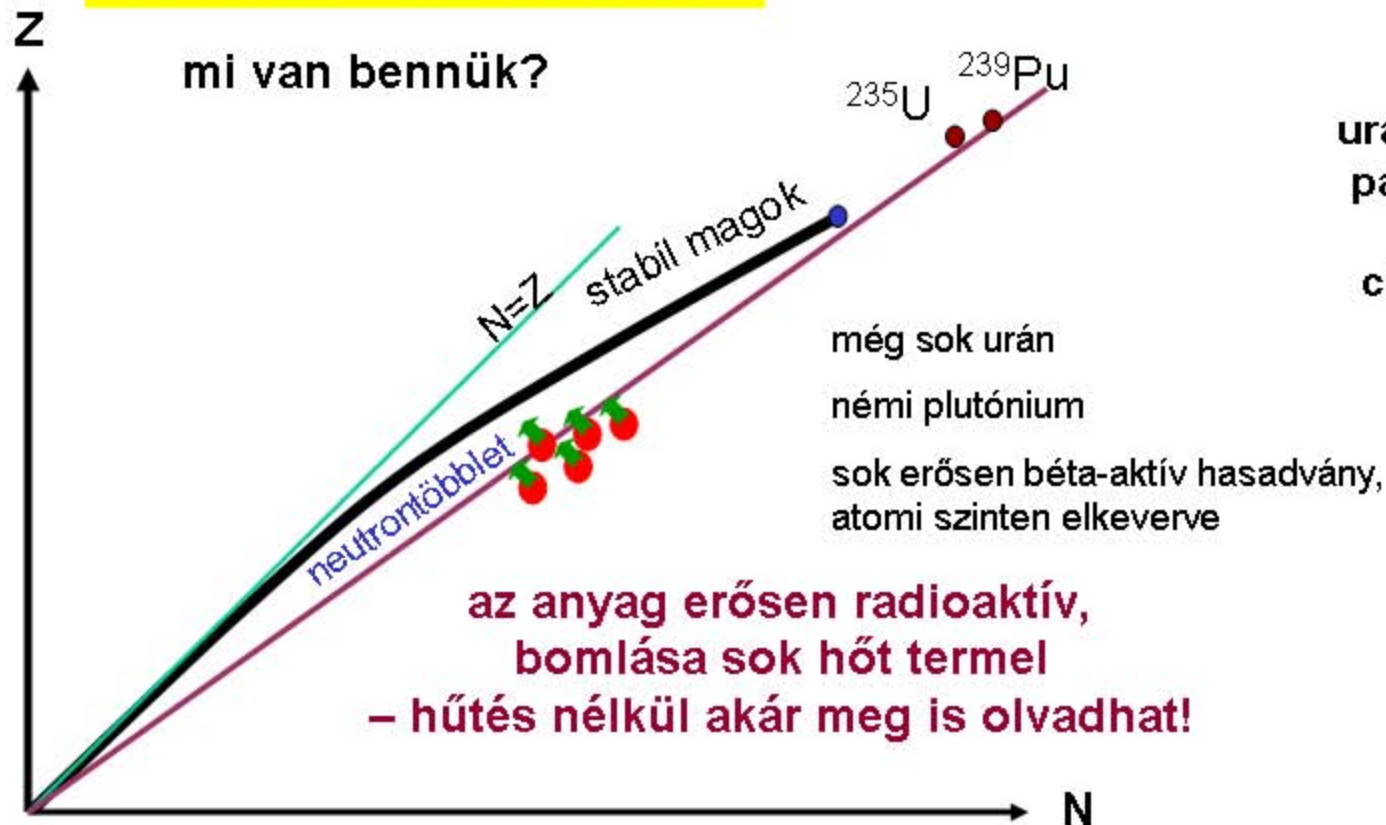
cirkónium  
cső



**A rudakat vízben kell tartani, akár évekig!**

utána → végleges tárolóhely, bánya mélyén

# Kiégett fűtőelemek





urándioxid  
pasztillák

cirkónium  
cső



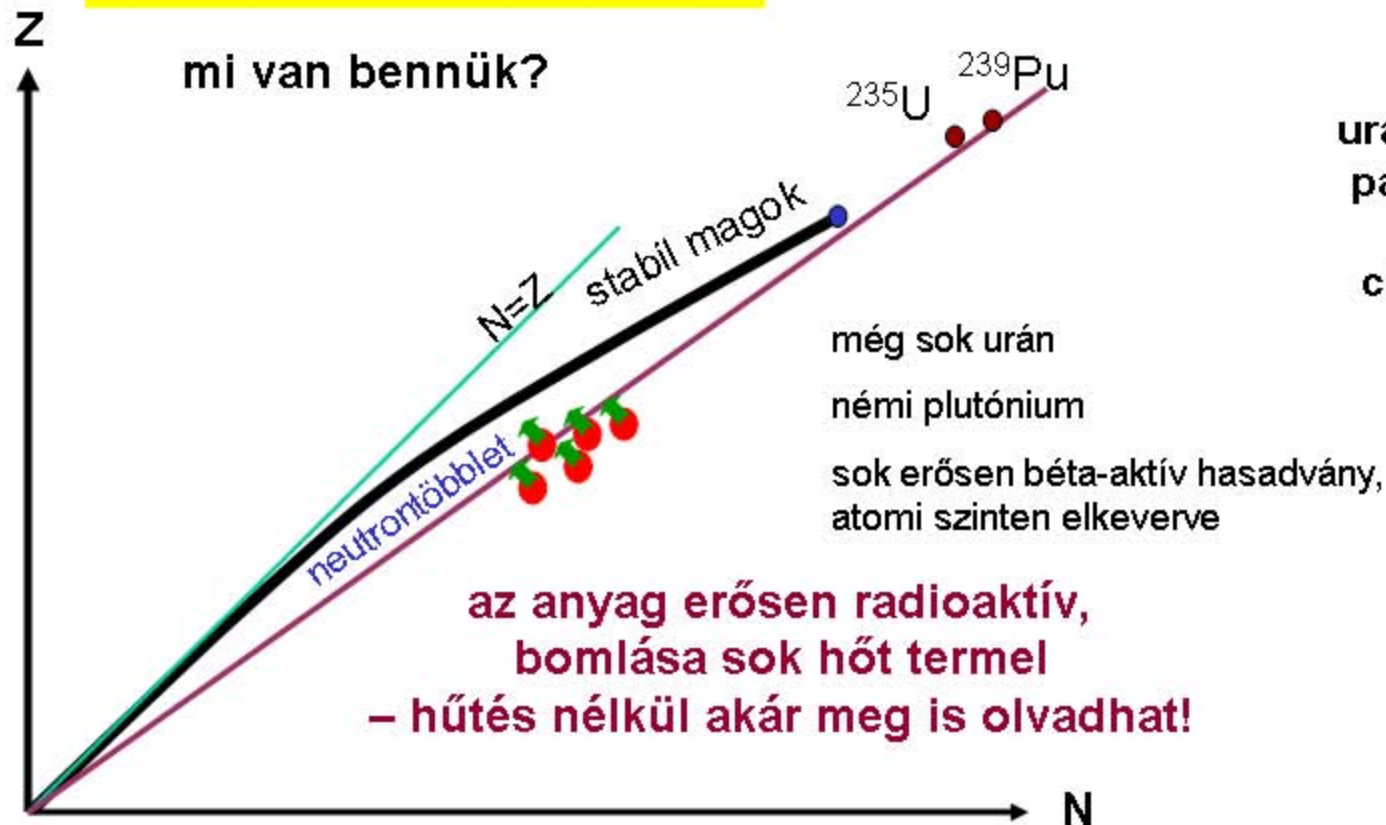
**A rudakat vízben kell tartani, akár évekig!**

utána  végleges tárolóhely, bánya mélyén  
 reprocesszálás, új fűtőelemek készítése





# Kiégett fűtőelemek



urándioxid  
pasztillák

cirkónium  
cső



**A rudakat vízben kell tartani, akár évekig!**

utána

- végleges tárolóhely, bánya mélyén
- reprocesszálás, új fűtőelemek készítése
- transzmutáció: nem sugárzó anyaggá alakítás



**Az atomenergia nem mumus, nem ellenség.**



**Az atomenergia nem mumus, nem ellenség.**

**Akárcsak a technológia többi eredményét,  
lehet jóra és rosszra is használni.**



**Az atomenergia nem mumus, nem ellenség.**

**Akárcsak a technológia többi eredményét,  
lehet jóra és rosszra is használni.**

**Hogy felelősen dönthessünk, először is meg  
kell ismernünk, meg kell értenünk.**



