

# Alapvető fizikai állandók és lehetséges változásuk

Csótó Attila  
(ELTE Atomfizikai Tanszék)

Fizikai konstansok: rugalmassági modulusz, sűrűség, törésmutató stb.:

atomi modellekből (elvileg) lezármasztatható

Alapvető konstansok

$$e, \hbar, c \quad \alpha = \frac{G}{\hbar c} = \frac{1}{137.035\dots}$$

$$G_F \quad \left( = \frac{\sqrt{2}g^2}{8m_W^2} \right)$$

$$\alpha_s(E)$$

$$m : u, d, s, c, b, t$$

$$m : e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$$

$$m : W, Z, H$$

$$\sin^2(\theta_W) \quad (= 1 - M_W^2/M_Z^2), \quad \begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

- A jelenlegi fizikai elmélet gyakorlatilag minden elemi jelenséget pontosan leír (pl. az elektron mágneses momentumát 10 jegy pontossággal).
- Túl sok alapvető paraméter: a tudásunk hiányát jelzi.
- Hány paraméter lesz a fizika végső elméletében (TOE = theory of everything)?

0 – egy lehetséges világegyetem? TOE ellenőrzése: pl.  $\alpha$  tetszőleges pontossággal számolható

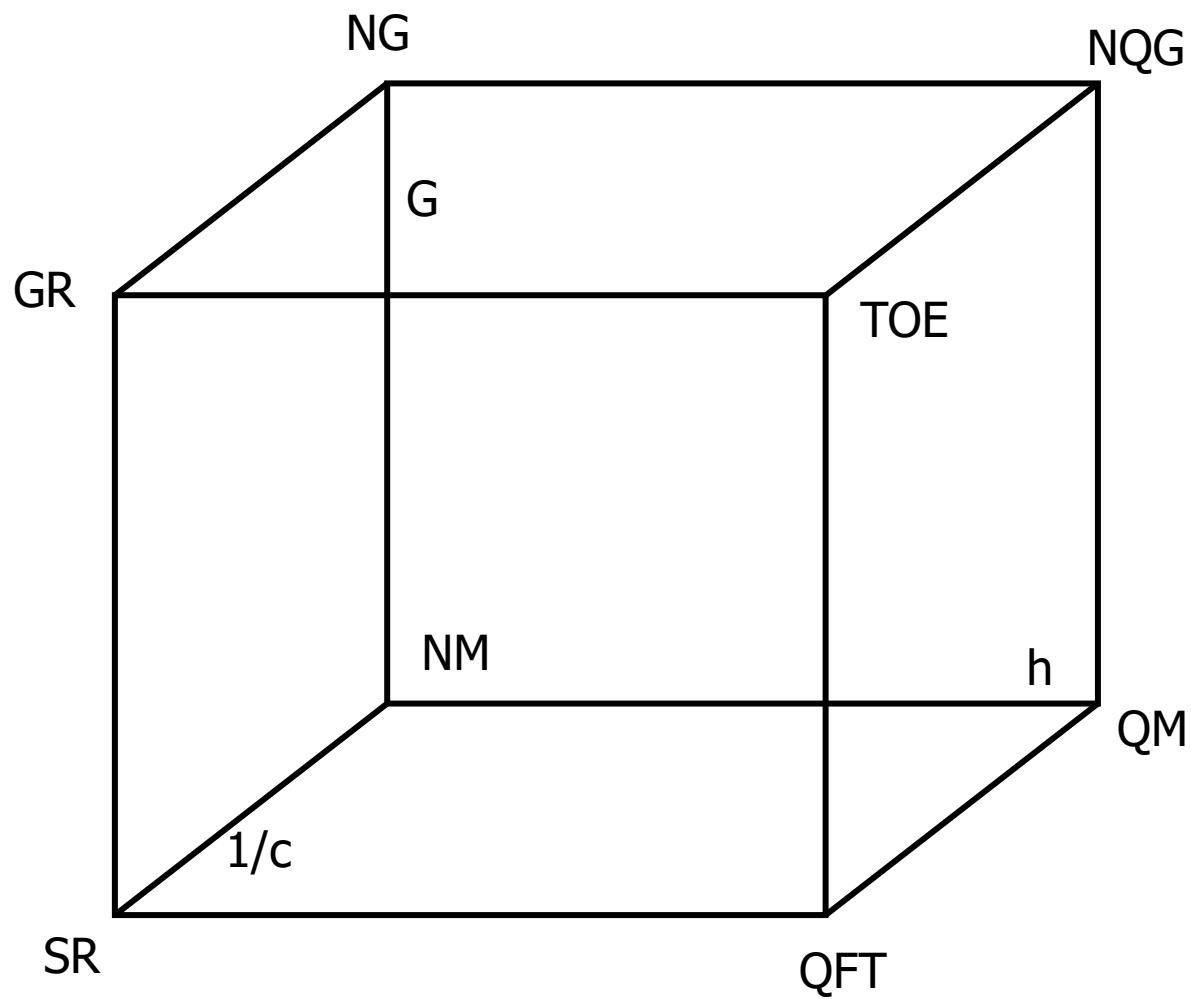
1 – végtelen sok lehetséges világegyetem?

2, 3, ... – biztos, hogy a végső elmélet?

- Mi határozza meg az SM paraméterek értékét?

TOE egyértelműen meghatározza:  $\alpha, \alpha(t)$

véletlenül választódik ki egy lehetséges sokaságból



- Ugyanazok-e az alapvető állandók értékei a világegyetem minden pontján, minden időpontban?
- Ha az univerzumunk újra kezdhetné,  $\alpha$ ,  $m_e$ , ... más lenne  $\rightarrow$  más univerzumokban (ha léteznek)  $\alpha$ ,  $m_e$ , ... más lehet.
- Létezhet-e olyan világegyetem, ahol mások az alapvető konstansok értékei?
- Létezhetnek-e egyáltalán más világegyetemek?

Dirac (1937)

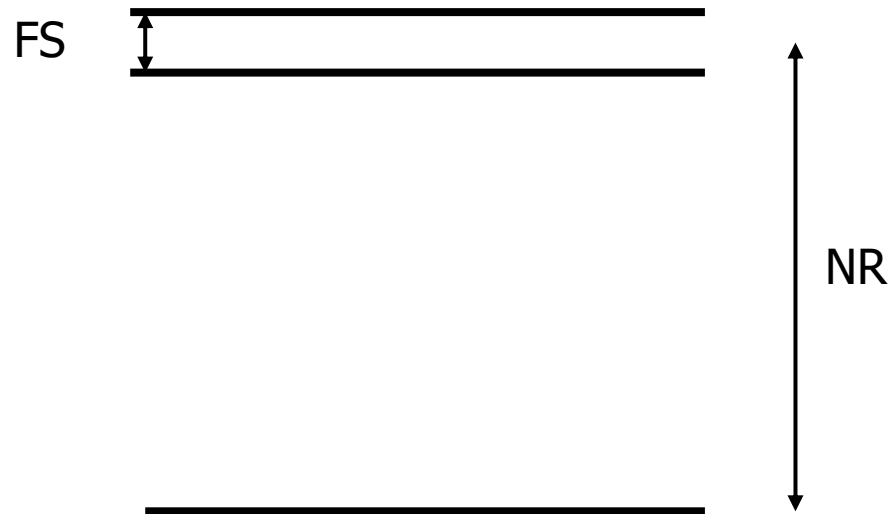
$$\frac{F_{\text{EM}}^{pp}}{F_{\text{G}}^{pp}} = \frac{e^2}{Gm_p^2} \approx 10^{42} \quad t_{\text{univ.}} \left( \frac{\hbar}{m_p c^2} \right)^{-1} \approx 10^{42}$$

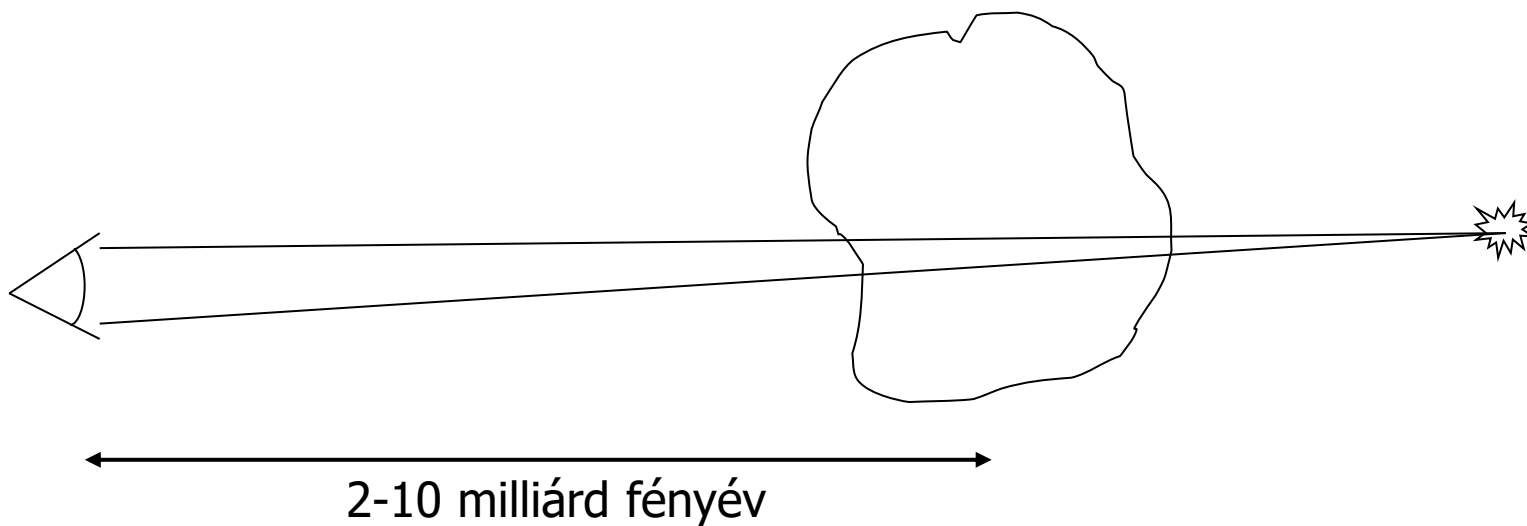
$$?? \quad G \sim \frac{1}{t} \quad ??$$

# Atomi színeképek

$$E_{NR} = h\nu = mc^2 \frac{e^4}{2\hbar^2 c^2 n^2} \sim \alpha^2$$

$$E_{FS} = h\nu \sim \alpha^4$$

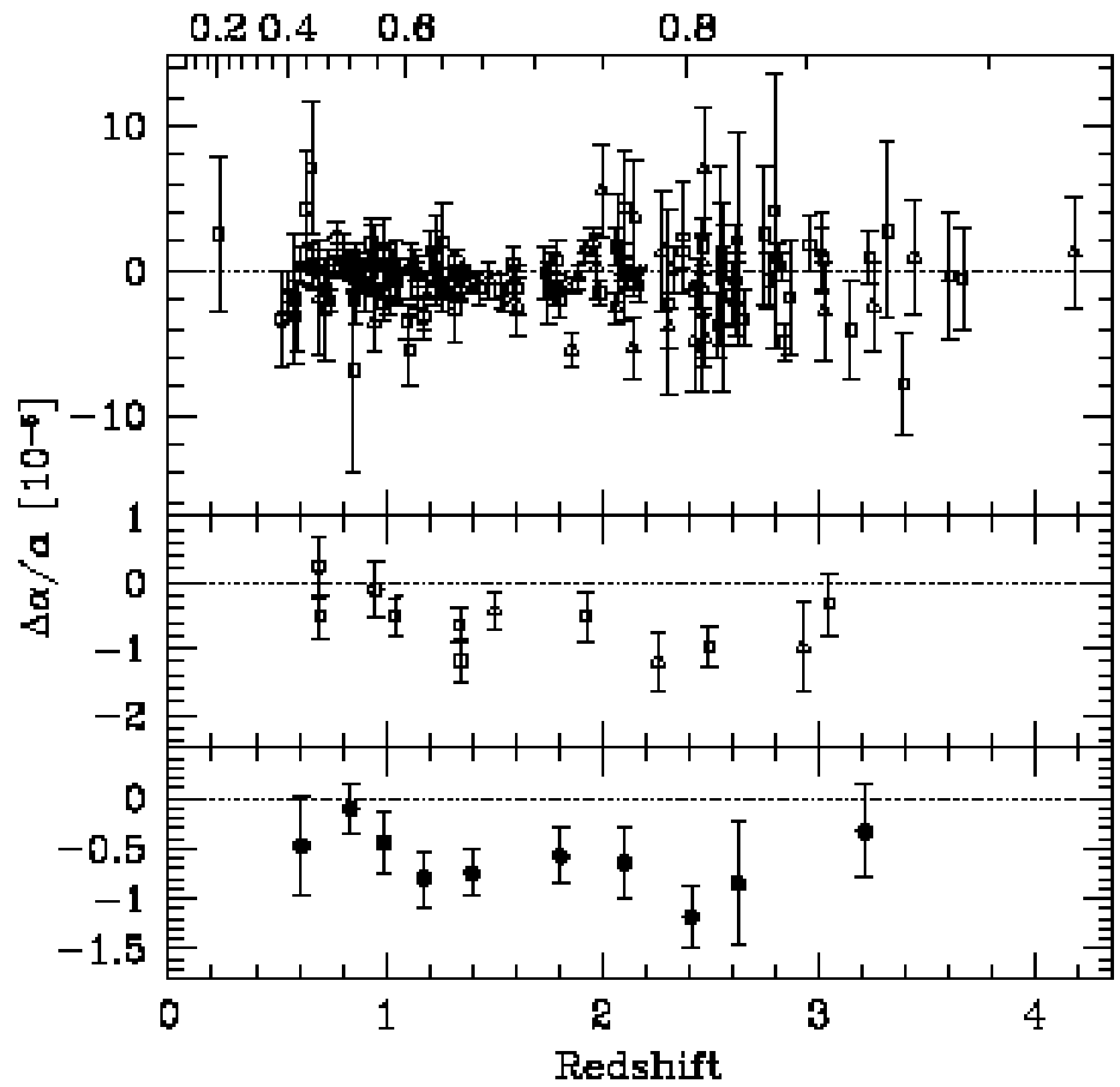




143 távoli kvazár fényét vizsgálva

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = (-0.54 \pm 0.12) \cdot 10^{-5} \quad 0.2 < z < 3.7$$

# Fractional look-back time





Kísérleti megerősítés/cáfolat

Oklo természetes atomreaktor ( $2 \cdot 10^9$  évvel ezelőtt;  $z \approx 0.14$ )

nagy neutron-fluxus  $\rightarrow$  izotóp-átprocesszálas:  $n + {}^{149}_{62}\text{Sm} \rightarrow {}^{150}_{62}\text{Sm} + \gamma$

izotóparányok méréséből

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = (-3.6 \pm 14) \cdot 10^{-9} \quad z = 0.14$$

Laboratóriumi mérés

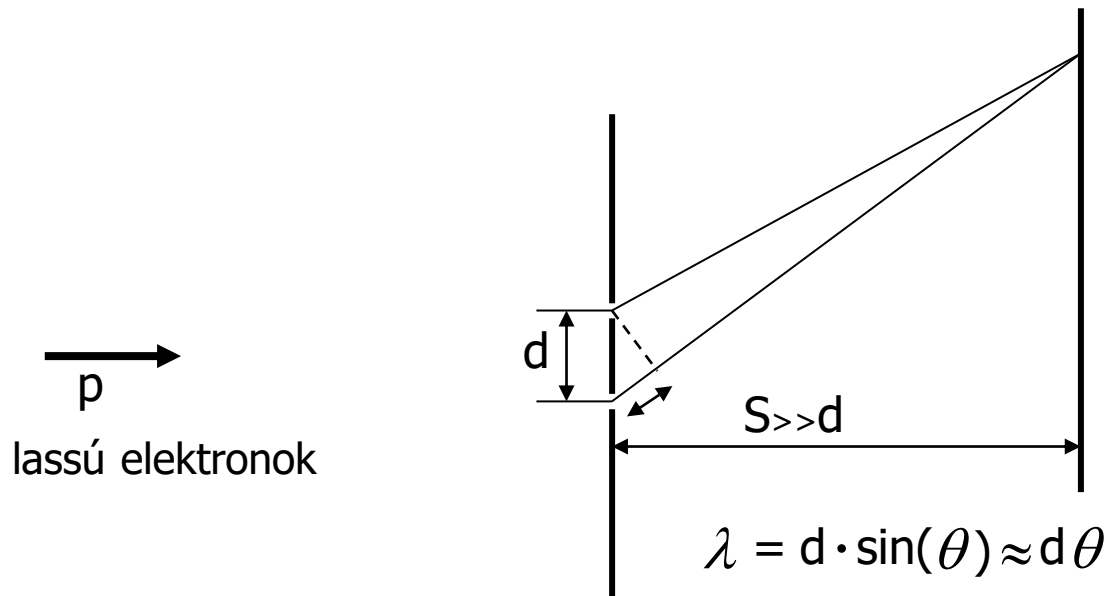
$$8 \cdot 10^9 \text{ év} \rightarrow \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \approx 0.5 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \text{ év} \rightarrow \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \approx 10^{-16}$$

jelenlegi legjobb laboratóriumi mérések (atomi szökőkút):  $10^{-14}$  relatív frekvencia

Kérdés: mi  $\alpha(t)$  időfüggése? Változik-e ma  $\alpha$ ?

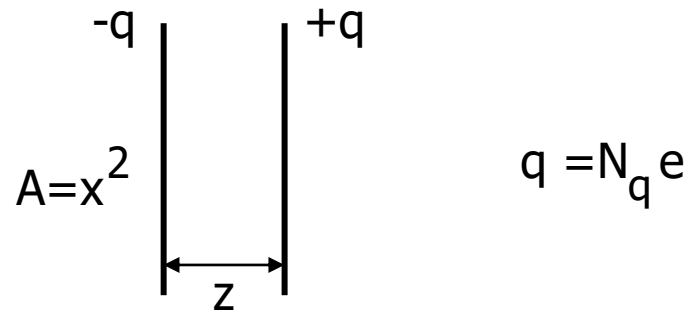
Ha  $\alpha$  változik, akkor mi változik ( $e$ ,  $\hbar$ ,  $c$ )?



$$\Theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{2\pi}{kd} = \frac{2\pi\hbar}{pd}$$

$$d \sim a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$$

$$\Theta = \frac{2\pi m_e e^2}{p\hbar} \frac{1}{d/a_0}$$



$p$  impulzusú elektronnyaláb: kondenzátorlemezek közötti  $\Phi$ -t befutva

$$\frac{p^2}{2m_e} = e\Phi$$

$$\Phi = \frac{4\pi N_q e z}{x^2}$$

$$\Theta = \frac{\sqrt{\pi} x / a_0}{d/a_0 \sqrt{2N_q z / a_0}}$$

$$v = y \cdot c$$

$$\Theta = \frac{2\pi m_e e^2}{m_e y (d/a_0) c \hbar} = \frac{2\pi a_0}{y d} \alpha$$

$a_0$  nem jó hosszegység:  $a_0(\hbar)$

$$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = a_0 \alpha^2$$

klasszikus elektronsugár

$$\Theta = \frac{2\pi r_e}{y d} \frac{1}{\alpha}$$

általánosan

$$\Theta \sim \alpha^n$$

$\Theta$  függ a hossz és sebesség definíciójától.

A probléma eredete: dimenziós mennyiség mérése.

$$\Delta\alpha \rightarrow \Delta e, \Delta\hbar, \Delta c$$

időbeli változások a választott mértékegység-rendszer függvényében

1 sec – Cs-133 hiperfinom átmenet frekvenciájából

1m – fény által  $1/3 \cdot 10^8$  sec alatt megtett út

1 kg – platina-iridium henger tömege

$$s \sim \frac{\hbar}{m_e c^2 \alpha^4}$$

$$m = c \cdot s \sim \frac{\hbar}{m_e c \alpha^4}$$

$$kg \sim m_e$$

$$e^2 = \alpha \hbar c$$

Más definíciók: rúd-méter, rúd-sec (szupravezető üreg oszcillátor),  
kripton-sec (molekuláris óra), kripton-méter

$$m \sim \frac{\hbar}{m_e c \alpha} \quad (\approx a_0)$$

$$s \sim \frac{\hbar}{m_e c^2 \alpha}$$

$$s \sim \frac{\hbar}{m_e c^2 \alpha^2}$$

$$m \sim \frac{\hbar}{m_e c \alpha^2}$$

$$m_l \sim \frac{\hbar}{m_e c \alpha^l} \quad l = 1, 2, 4$$

$$s_n \sim \frac{\hbar}{m_e c^2 \alpha^n} \quad n = 1, 2, 4$$

Legyen  $m, sec., kg$  időben konstans

$$\frac{m_l}{s_n} = const. = \frac{c}{\alpha^{l-n}} \Rightarrow c \sim \alpha^{l-n}$$

$$\frac{\hbar}{\alpha^{2l-n}} = const. \Rightarrow \hbar \sim \alpha^{2l-n}$$

$$\alpha \hbar c = e^2 \sim \alpha^{3l-2n+1} \Rightarrow e \sim \alpha^{(3l-2n+1)/2}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = (l-n) \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

$$\frac{\Delta \hbar}{\hbar} = (2l-n) \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{3l-2n+1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

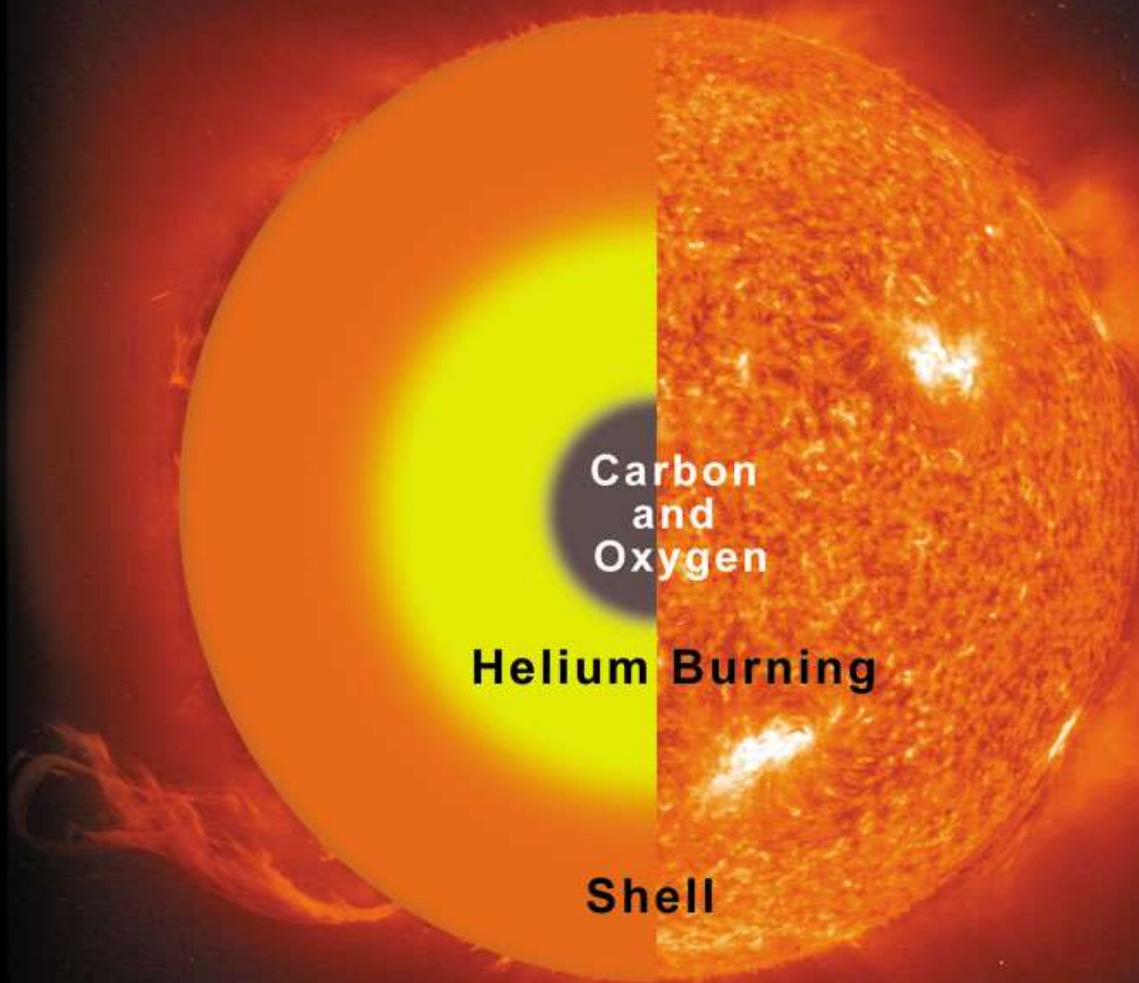
$\Delta \alpha / \alpha$  mérése + mértékegységrendszer definíciója  $(l, n) \rightarrow$

$$\frac{\Delta c}{c}, \frac{\Delta \hbar}{\hbar}, \frac{\Delta e}{e}$$

Példa:  $l = 1, n = 2$  (rúd-méter + kripton-secundum):  $e, \hbar$  konstans,

egyébként legalább két mennyiség változik.

# Red Giant Star





# Triple-Alpha Process

Helium



Beryllium



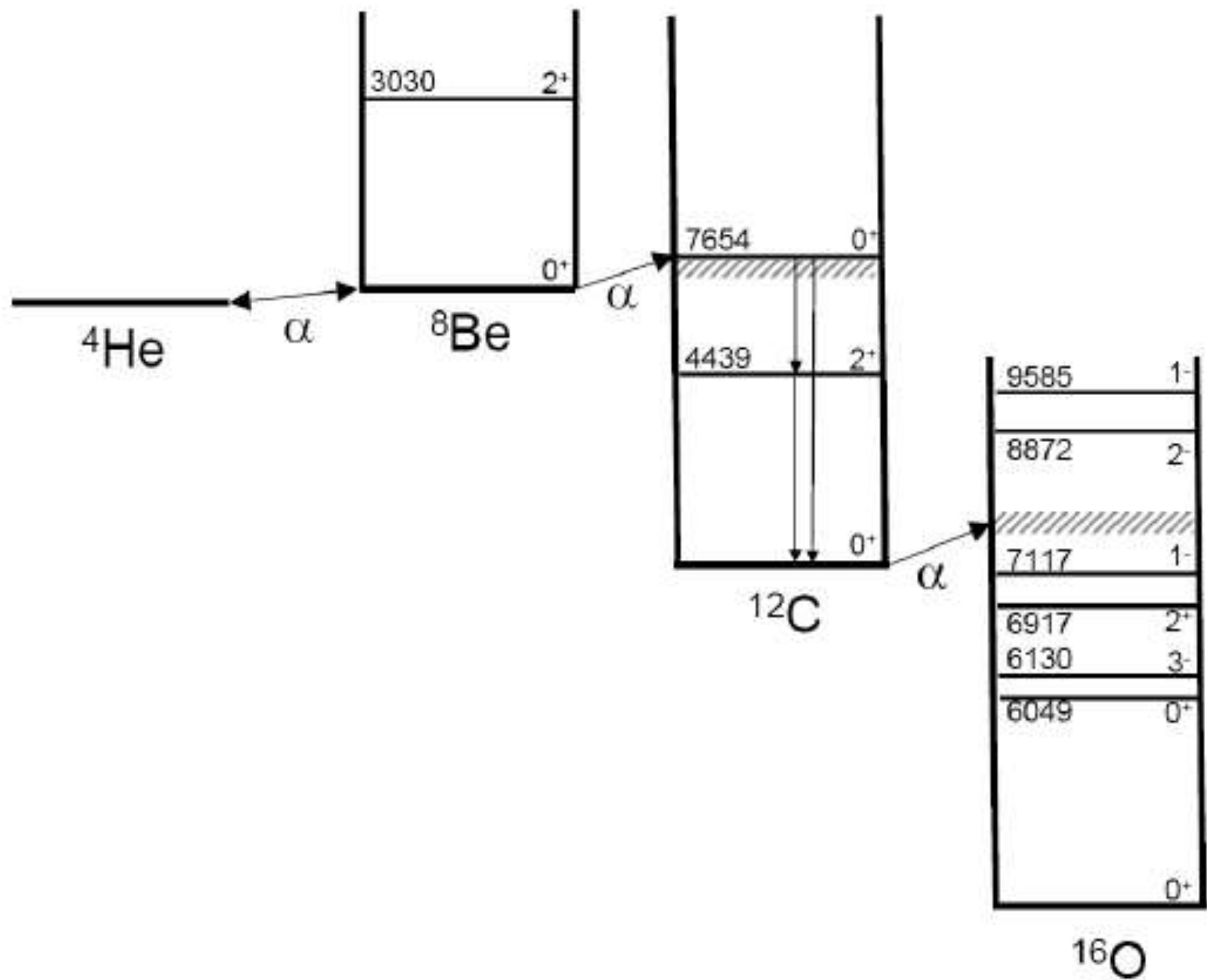
Helium



Helium



Carbon



$$r_{3\alpha} = \text{const.} * \left(\frac{n_\alpha}{T}\right)^3 \Gamma_\gamma e^{-E/kT}$$

$T=10^8$  K

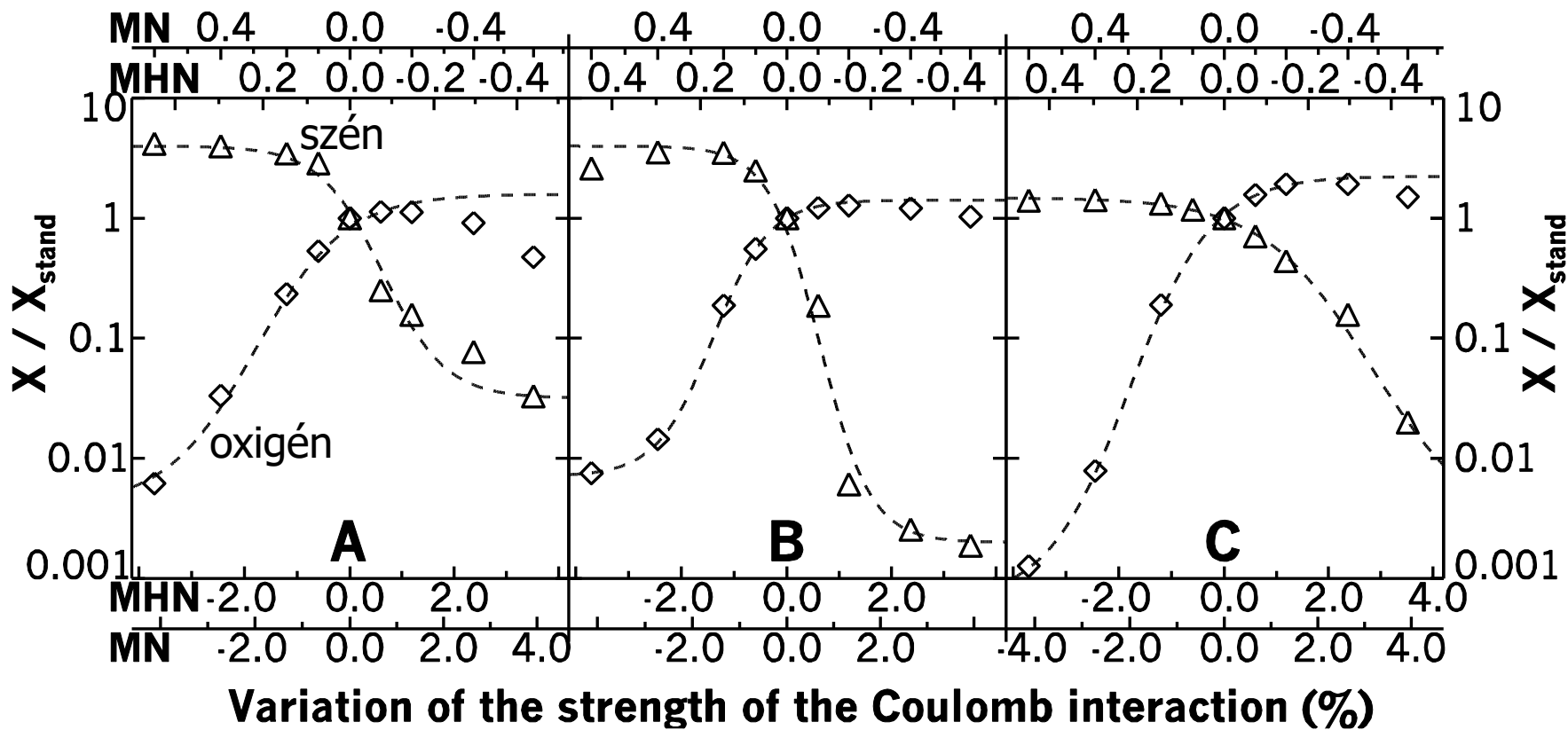
Rezonancia-energia  
változása

3-alfa ráta  
változása

10%  
1%

80\*  
50%

### Variation of the strength of the nucleon-nucleon interaction (%)





Budapest–London méterrúd:  $R_0 \cdot a(t)$

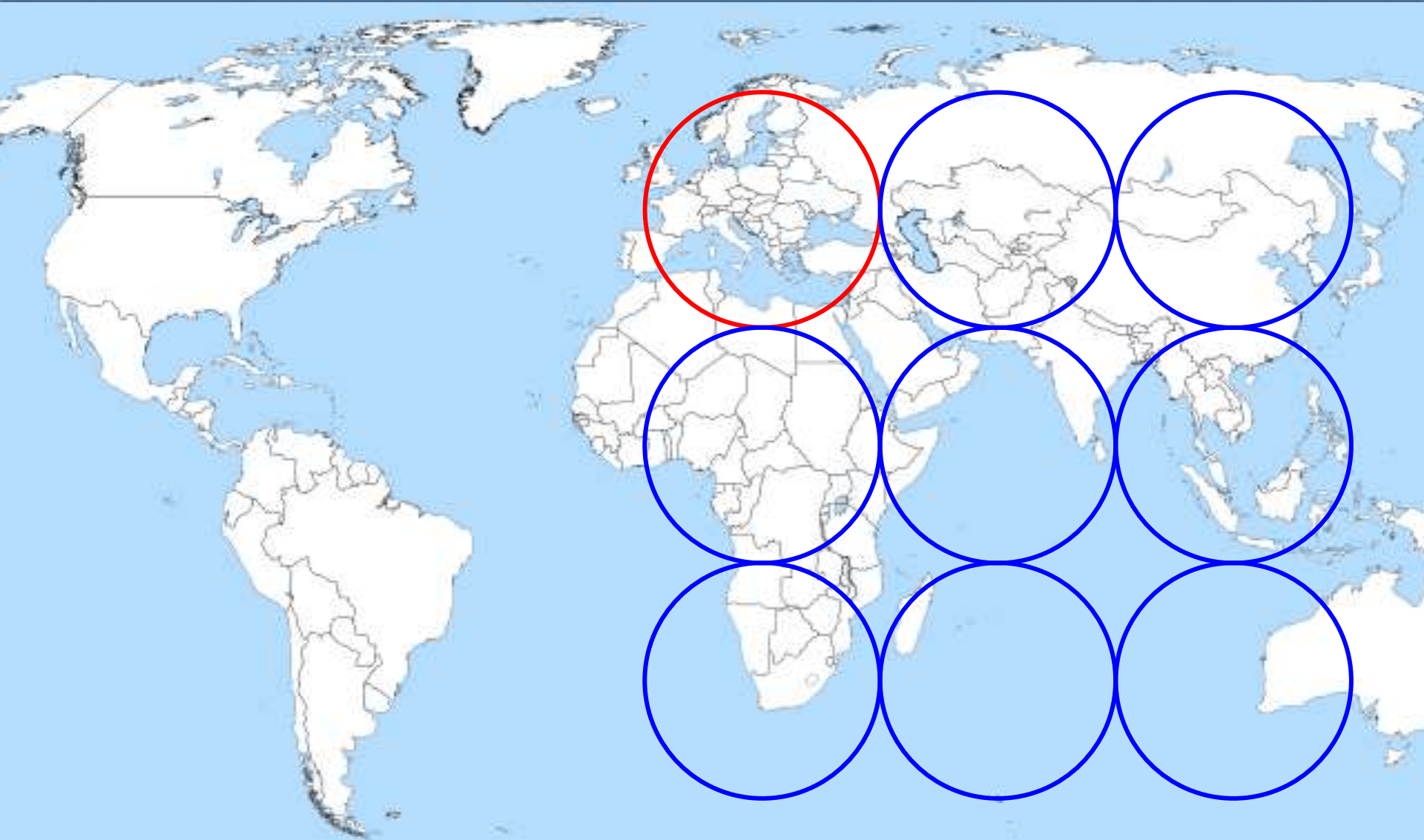
$a$ : skálafaktor

$$10^{-32} \text{ másodperc} < t < 60 \text{ ezer év} \quad a(t) \sim t^{1/2}$$

$$60 \text{ ezer év} < t < 13.6 \text{ milliárd év} \quad a(t) \sim t^{2/3}$$

Horizont: az a távolság, ahonnan a big-bang pillanatában elindult fény éppen most ér hozzánk

$$d_H \approx 3 \cdot c \cdot t = 3 \cdot 13.6 \approx 40 \text{ milliárd fényév} \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ m}$$

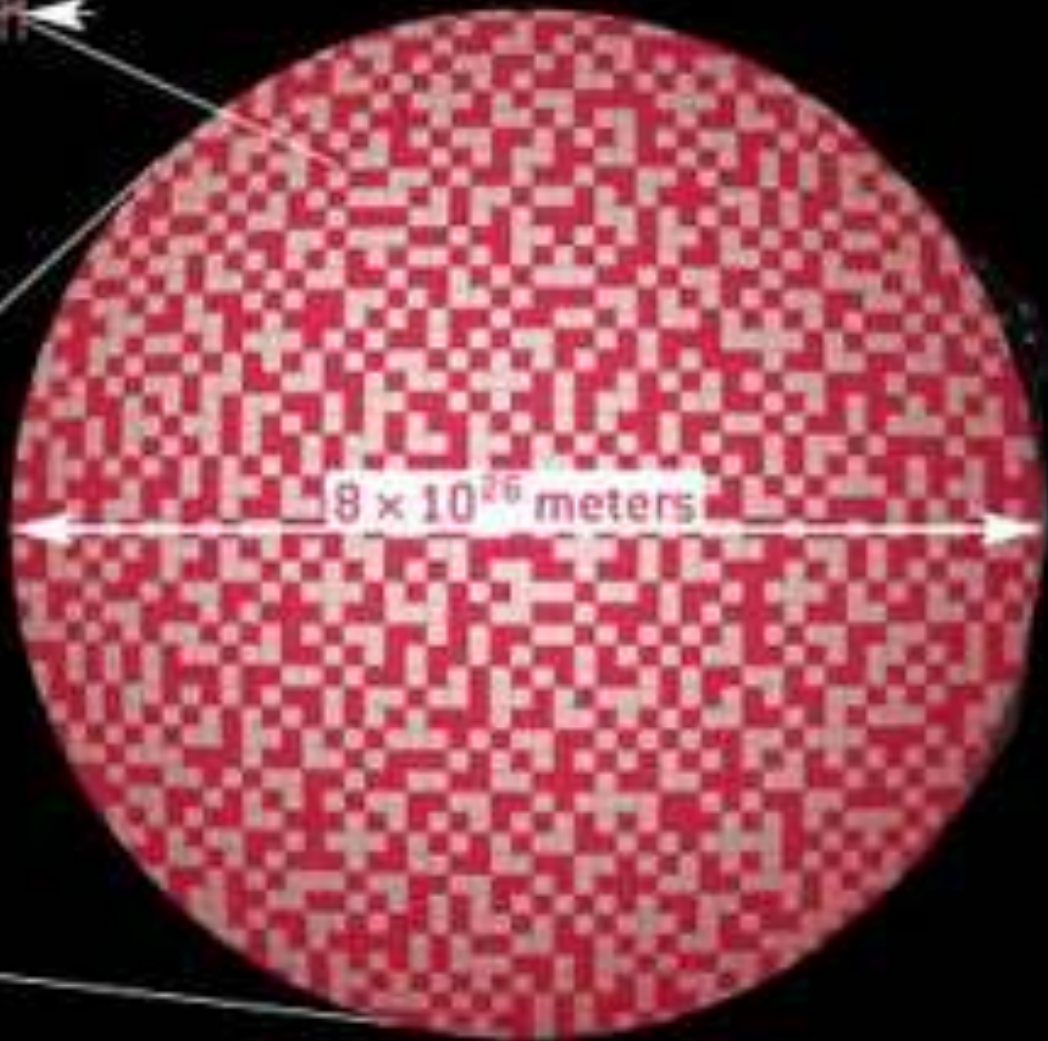


$2 \times 10^{-13}$  METER

$10^{118}$  particles

$2^{10^{118}}$  arrangements

$$\Delta x \cdot \Delta p > h$$

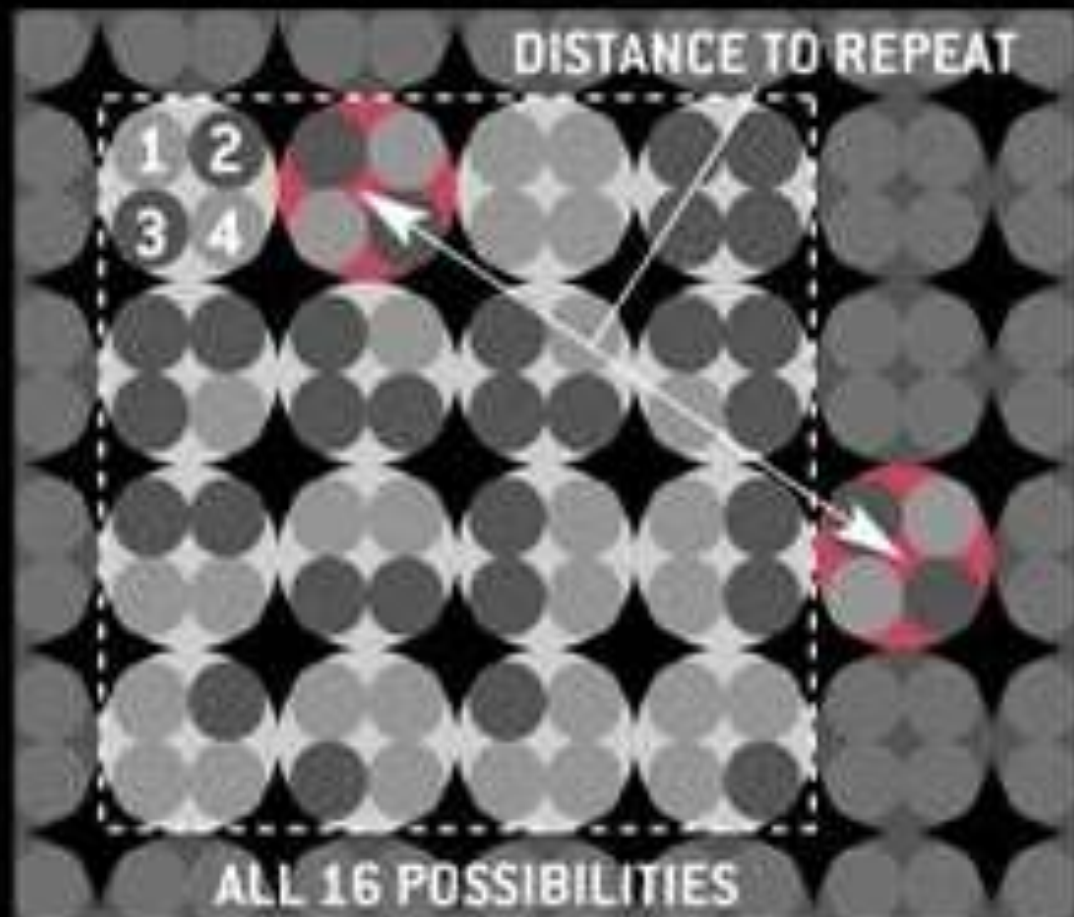


$8 \times 10^{26}$  meters



4 particles

$2^4$  arrangements



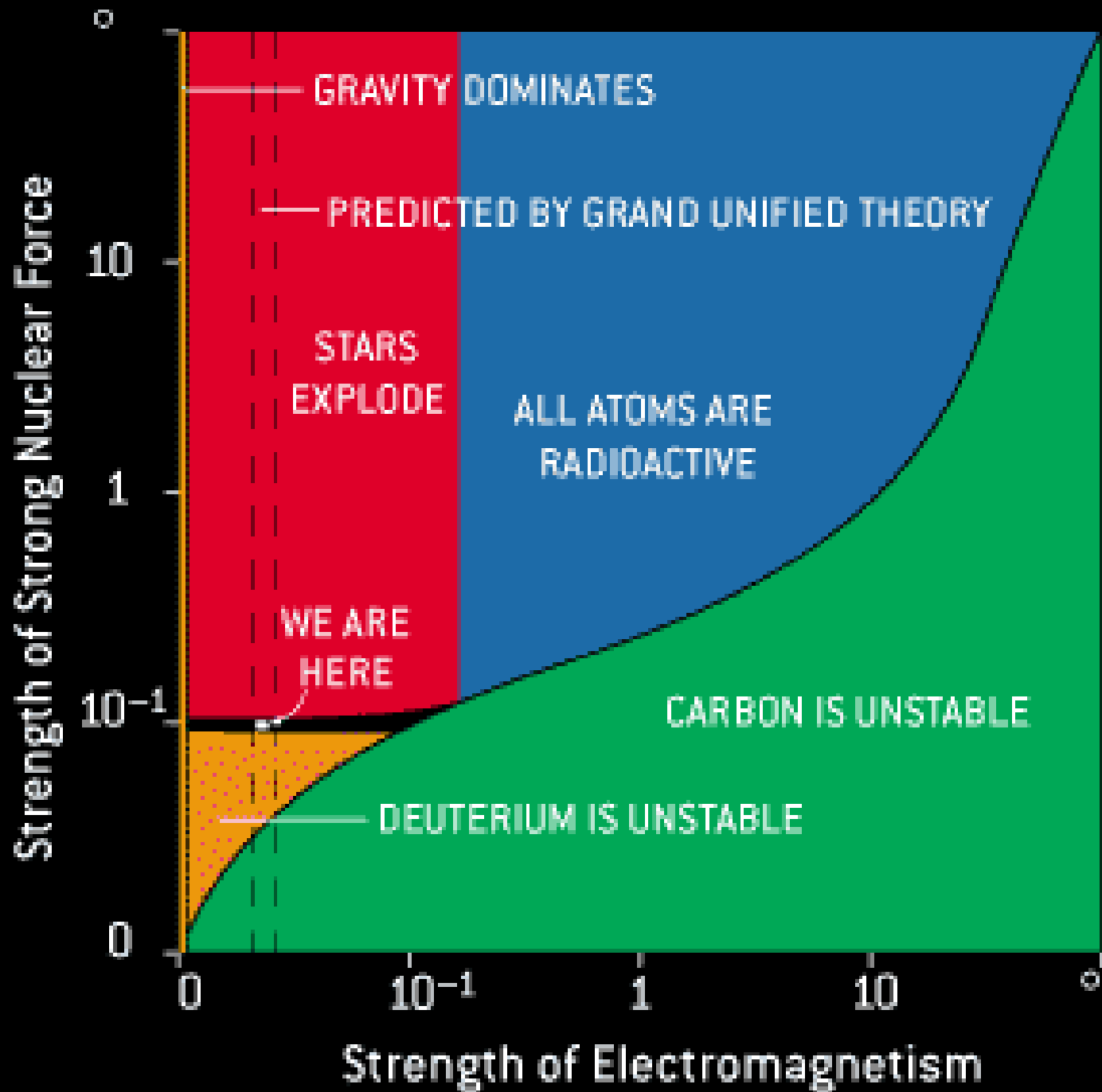
LIMIT OF  
OBSERVATION



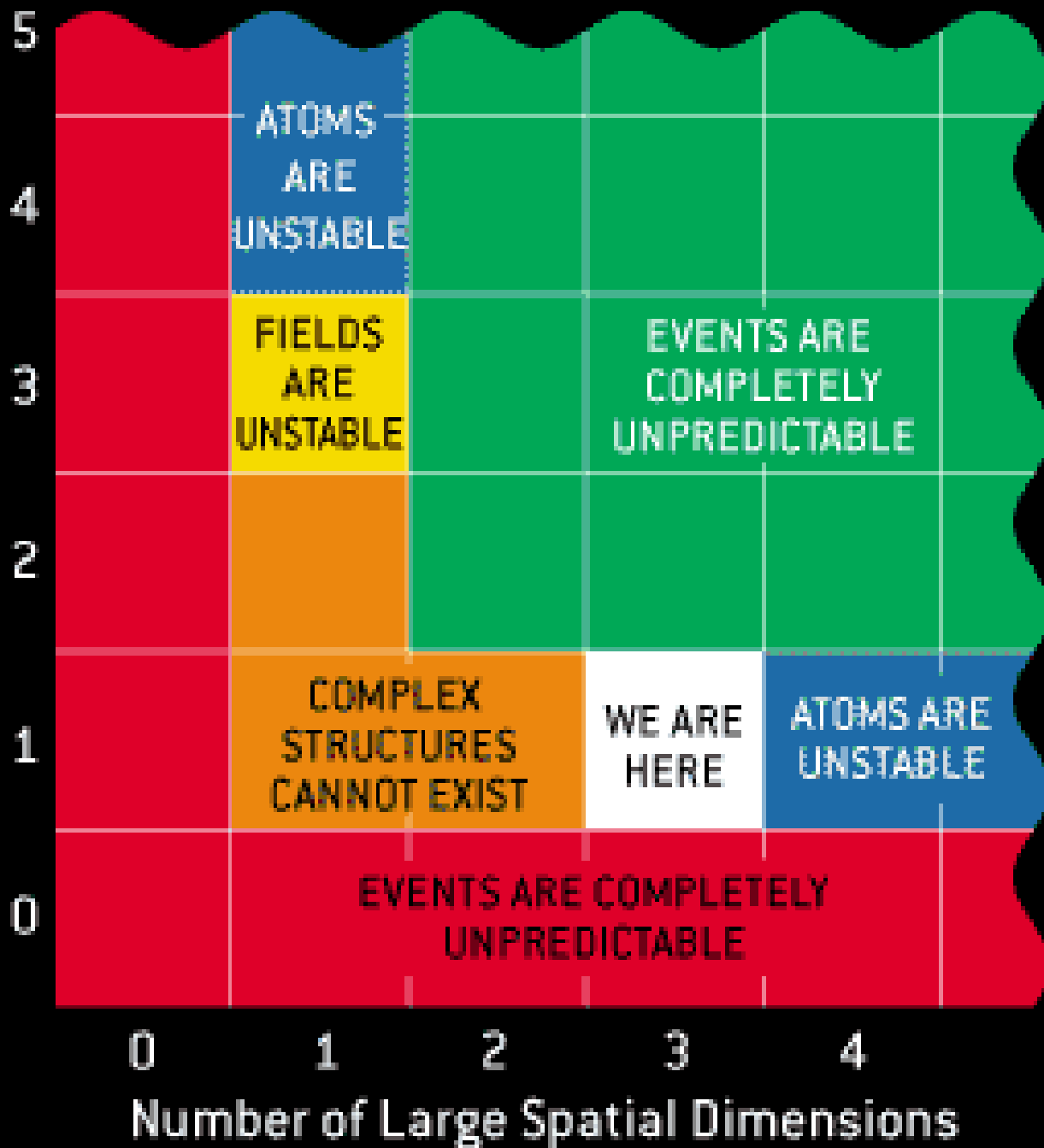
$10^{10^{118}}$  METERS

A vertical double-headed arrow with a break in the middle, indicating a vast distance between the pink universe at the top and the pink universe at the bottom.





Number of Large Time Dimensions



ATOMS  
ARE  
UNSTABLE

FIELDS  
ARE  
UNSTABLE

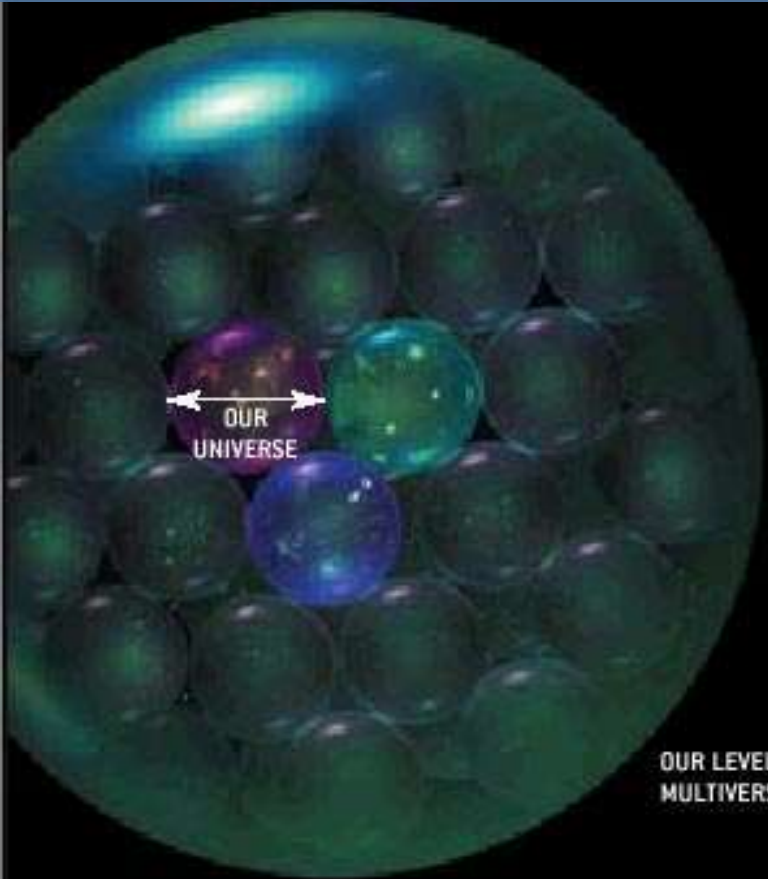
EVENTS ARE  
COMPLETELY  
UNPREDICTABLE

COMPLEX  
STRUCTURES  
CANNOT EXIST

WE ARE  
HERE

ATOMS ARE  
UNSTABLE

EVENTS ARE COMPLETELY  
UNPREDICTABLE

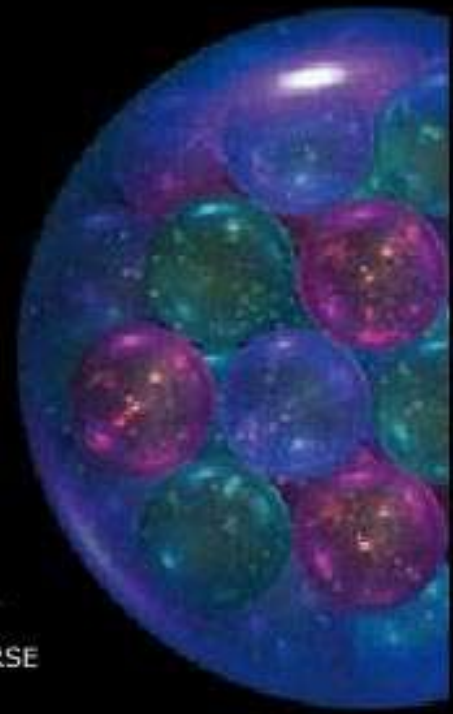


OUR LEVEL 1  
MULTIVERSE



PARALLEL  
LEVEL 1  
MULTIVERSE

EMPTY  
SPACE  
{INFLATING}



PARALLEL  
LEVEL 1  
MULTIVERSE

ALFRED T. KAMAJIAN

A fizikai állandók kapcsolata a fizika "végső elméletével" és az Univerzummal, alapvetően befolyásolja fizikai világképünket