

Čo má spoločné hudba, šach a fyzika plynov?

Juro Tekel, KTF FMFI UK
28. 10. 2019, Vedatour 2.2, Žilina

Veda je veľmi **dôležitá a užitočná**. Jej výsledky robia život z veľkej časti takým, aký je.

Veda je veľmi **dôležitá a užitočná**. Jej výsledky robia život z veľkej časti takým, aký je.

Veda a porozmenie svetu je tiež **zaujímavé a poučné**. Môže prinášať radosť a potešenie.

**Prečo sa plyn v
miestnosti
nenahrnie do
jednej polovice?**

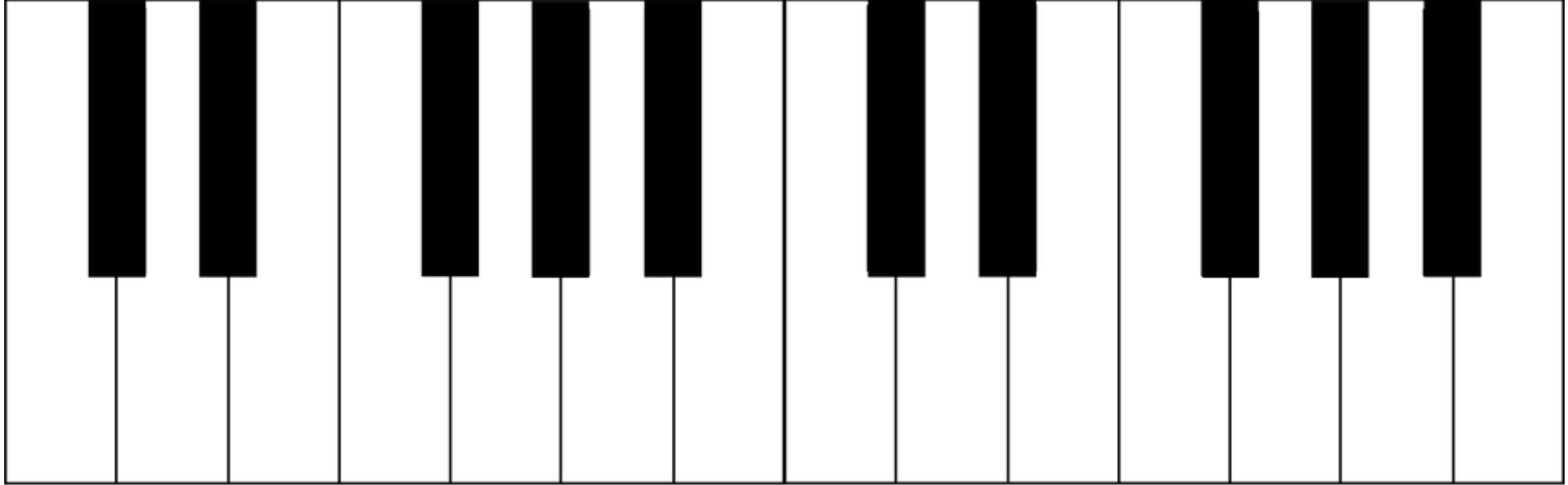
Bez ohľadu na to, ako plyn v nádobe
nainicializujete, veľmi rýchlo ju
rovnomerne vyplní.

A zostane tak. Bez akejkoľvek ochoty
svoj stav zmeniť.

Prečo?

**Preto, prečo existuje
veľa pesničiek a prečo
neporazíte veľmajstra
náhodnými ťahmi.**

Hudba



Prvý tón - 24 možnosti.

Prvý tón - 24 možností.

Druhý tón - ďalších 24 možností,
celkovo $24 \times 24 = 576$ možností.

Prvý tón - 24 možností.

Druhý tón - ďalších 24 možností,
celkovo $24 \times 24 = 576$ možností.

Tretí tón - ďalších 24 možností,
celkovo 13 824 možností.

Desať tónov - 63 403 380 965 376
možností.

Geometrická postupnosť,
exponenciálny rast.

**Veľa pesničiek existuje
preto, že existuje veľa
rôznych postupností
tónov.**

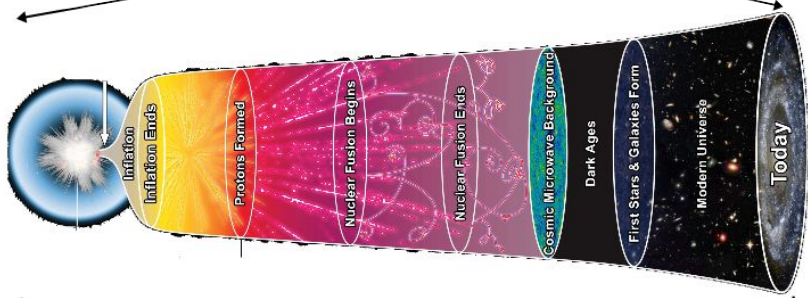
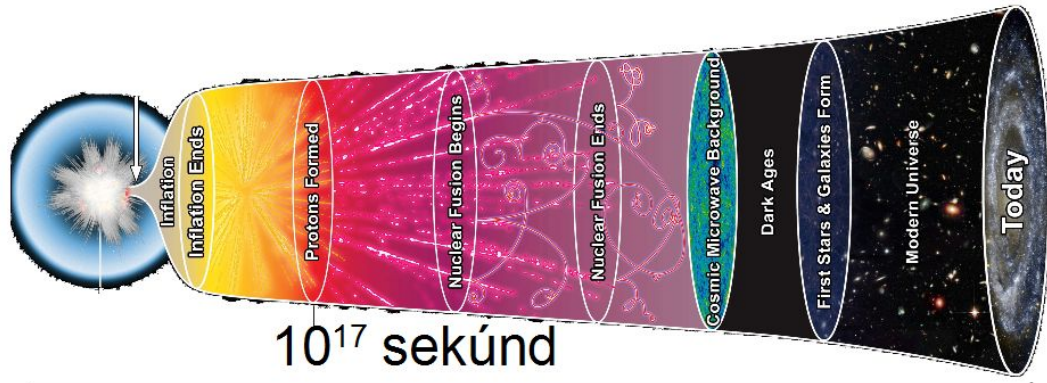
Šach



Na začiatok 20 ťahov bieleho.
Potom 20 odpovedí čierneho.

Počet rôznych platných rozložení
figúrok na šachovnici je niekde okolo
 10^{40} .





milión rôznych



**Šach ako hra má vôbec
zmysel, lebo v ňom
existuje veľa kombinácií.**



Väčšina z možných ťahov je hlúposť.

Rozumných odpovedí je v danej situácii veľmi málo.

Niečo podobné už aj pri pesničkách.

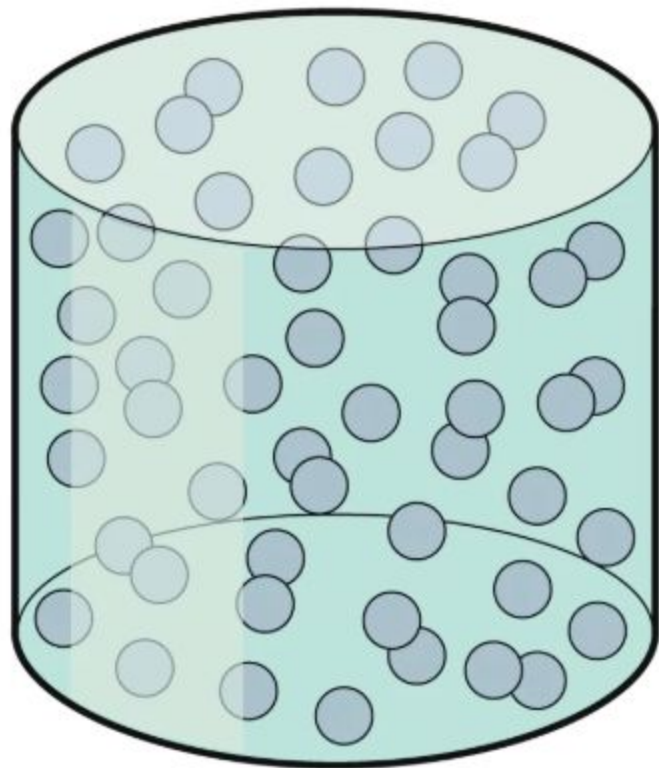
Väčšina ťahov je zlých.

**Náhodné ťahy nevedú
nikam.**

Preto je šach ťažký.

**Komplexnosť (veľa
možností) vznikla z
kombinovania malého
počtu kúskov.**

Eyzika



Veci sa skladajú z atómov.

Veci sa skladajú z **atómov**.

Atómy sú malé.

Veci sa skladajú z **atómov**.

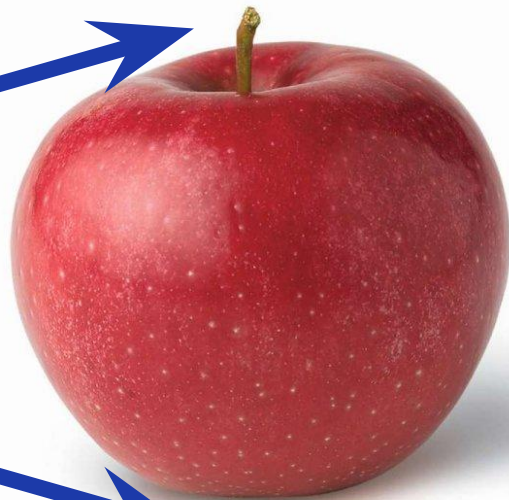
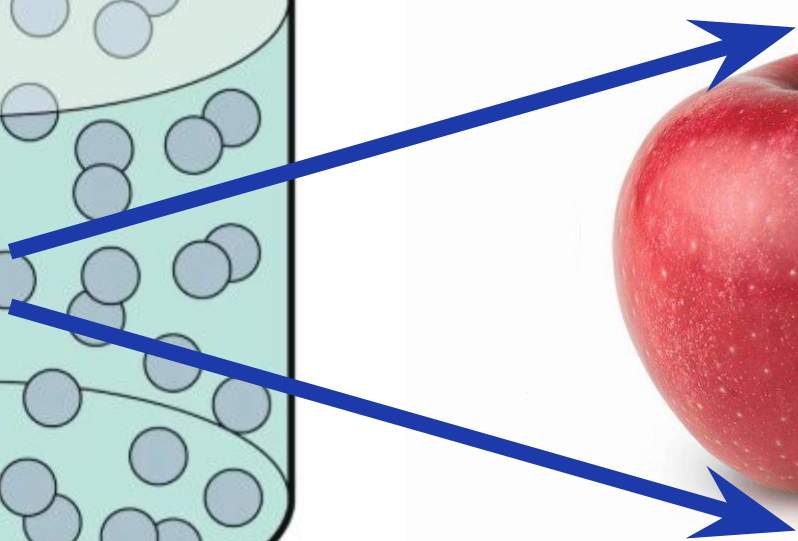
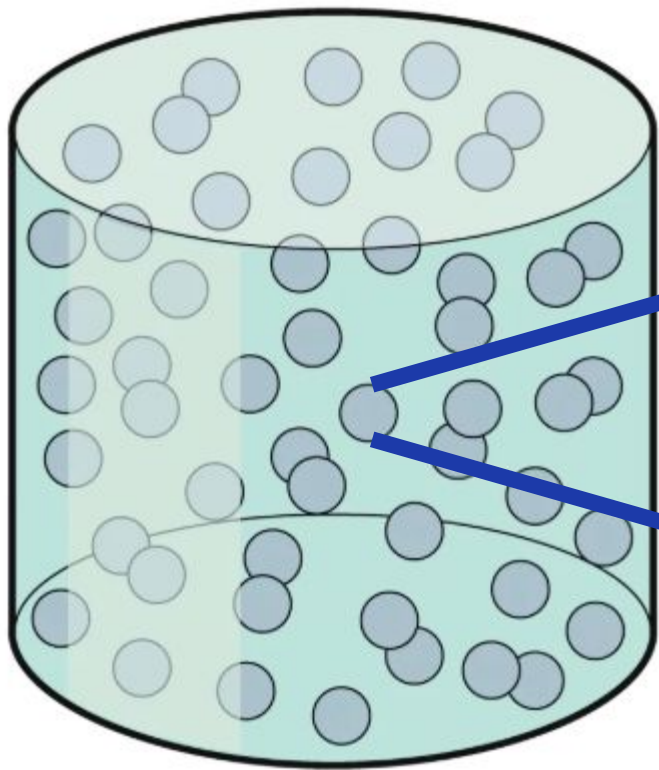
Atómy sú malé. **Fakt malé**.

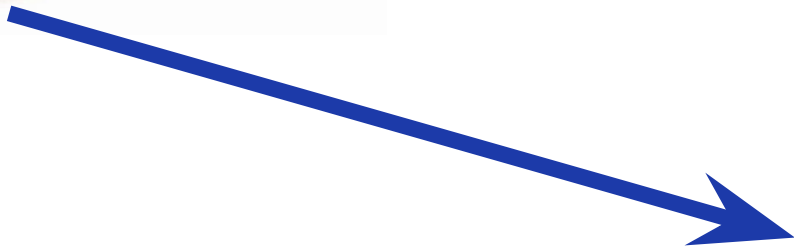
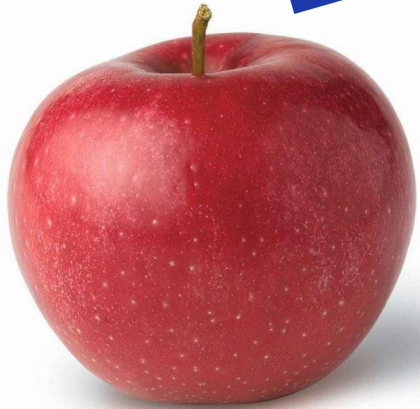
Veci sa skladajú z **atómov**.

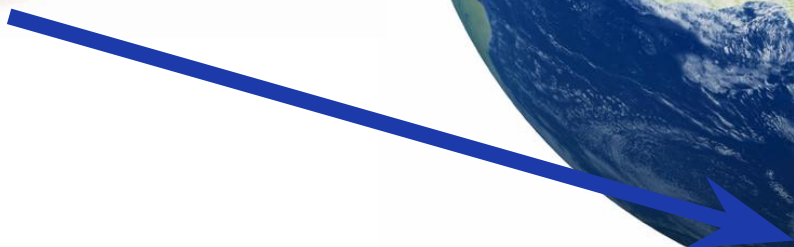
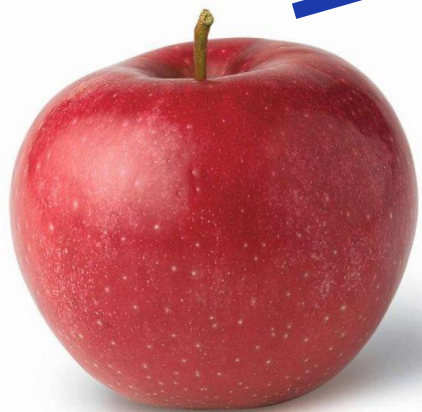
Atómy sú malé. **Fakt malé**.

Fakt **hrozne, ukrutne, ohromne,
nepredstaviteľne, smiešne malé**.

Velikost atómu je asi 10^{-10} m.



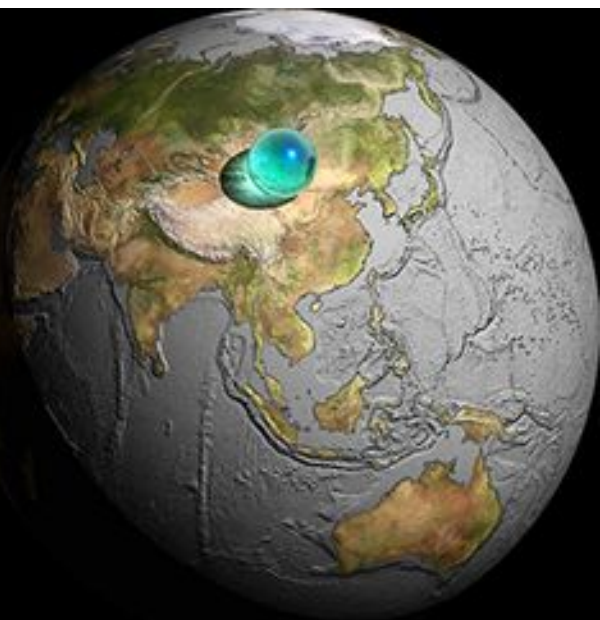
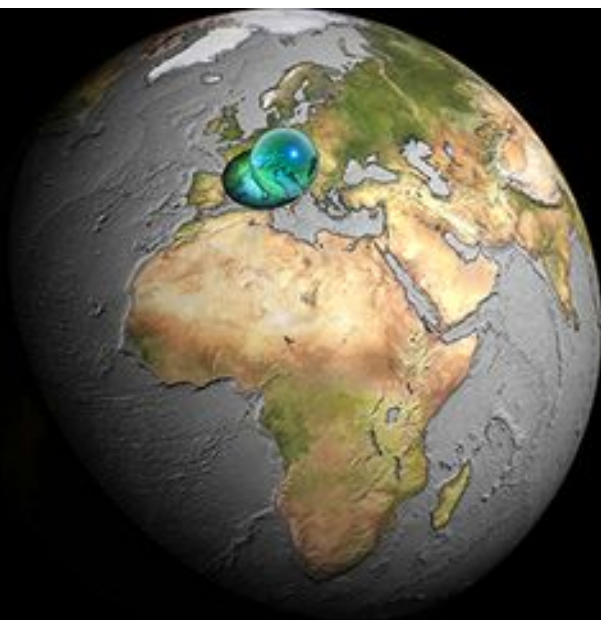
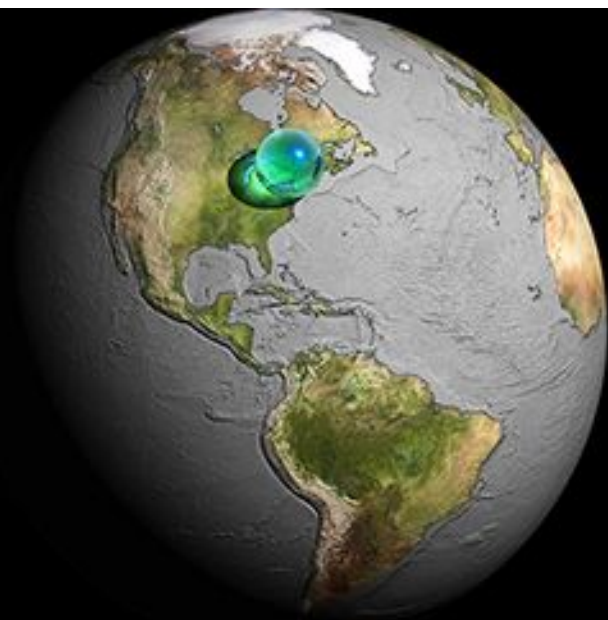




Z koľkých atómov sa veci typicky skladajú?

Z koľkých atómov sa veci typicky skladajú?

V pohári kofoly je asi 10^{25} častíc.

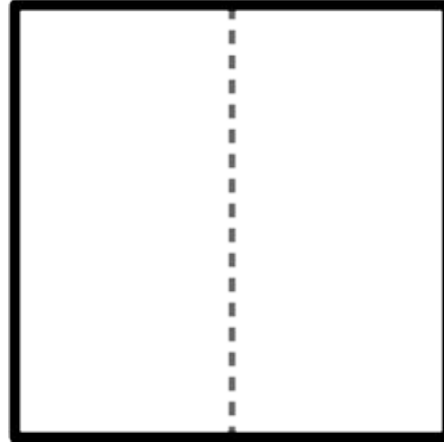


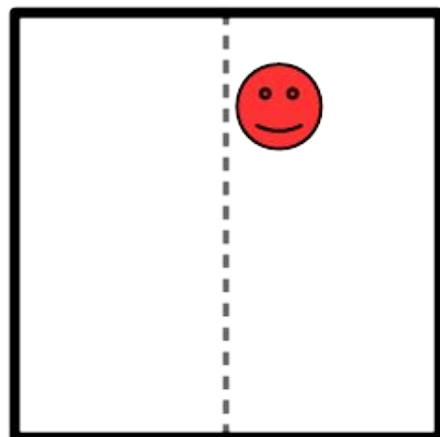
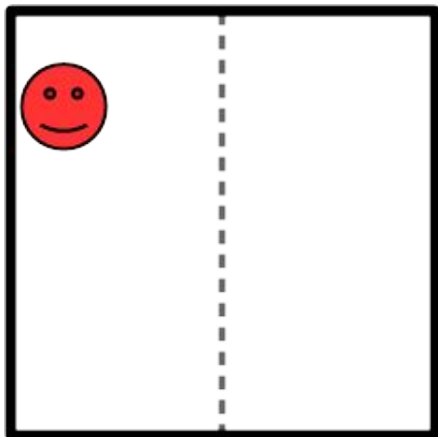
Z koľkých atómov sa veci typicky skladajú?

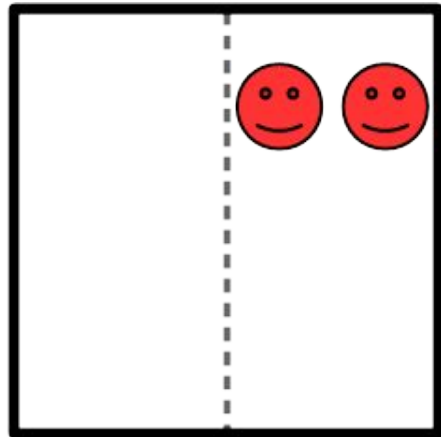
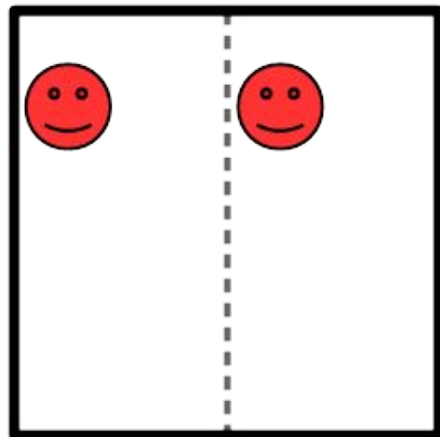
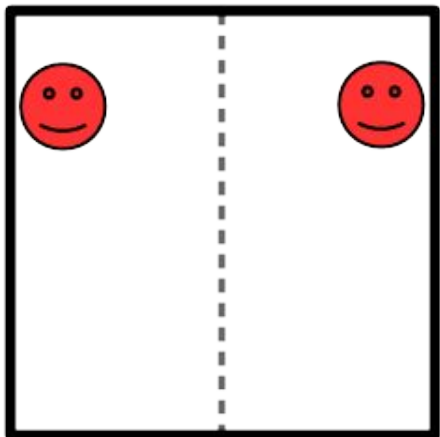
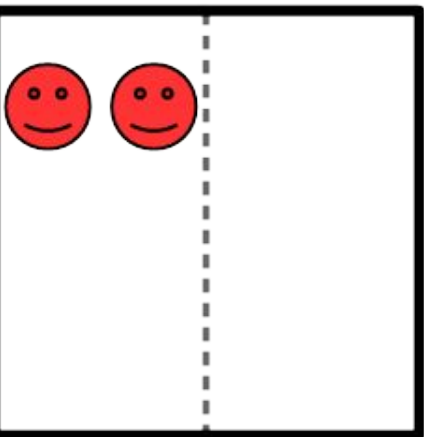
V pohári kofoly je asi 10^{25} častíc.

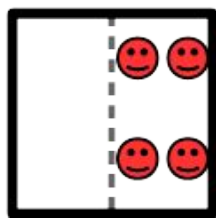
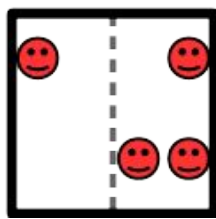
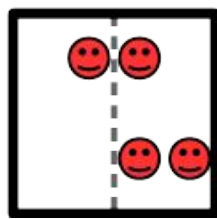
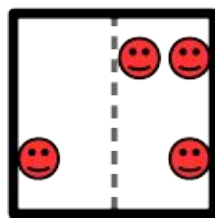
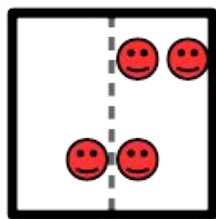
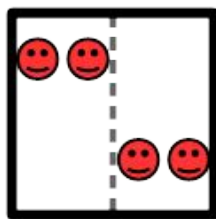
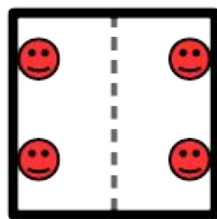
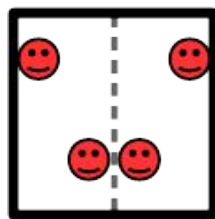
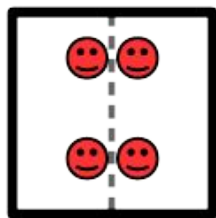
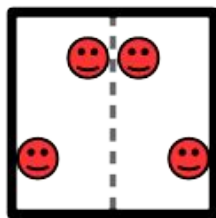
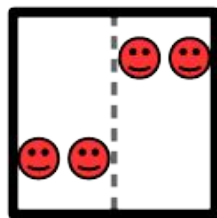
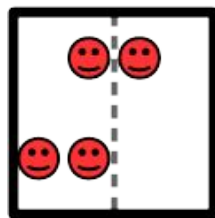
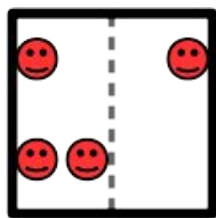
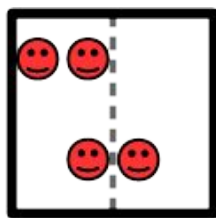
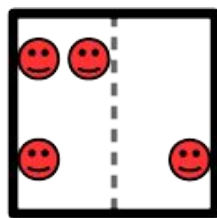
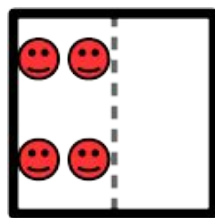
Rovnako ako pre meter kubický vzduchu.

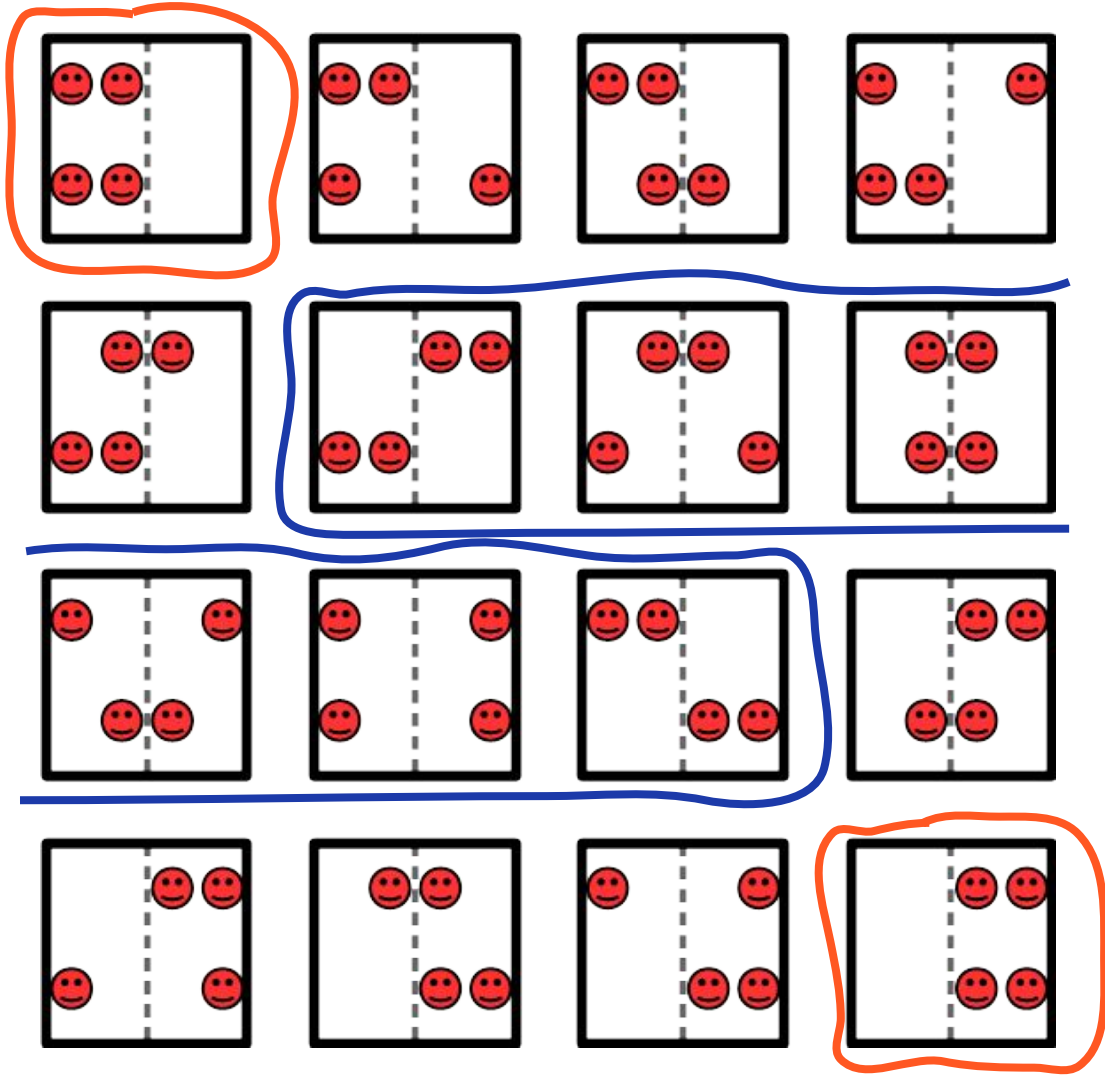
**Atómy sú malé a preto sa
bežné veci skladajú z
ohromného počtu častíc.**



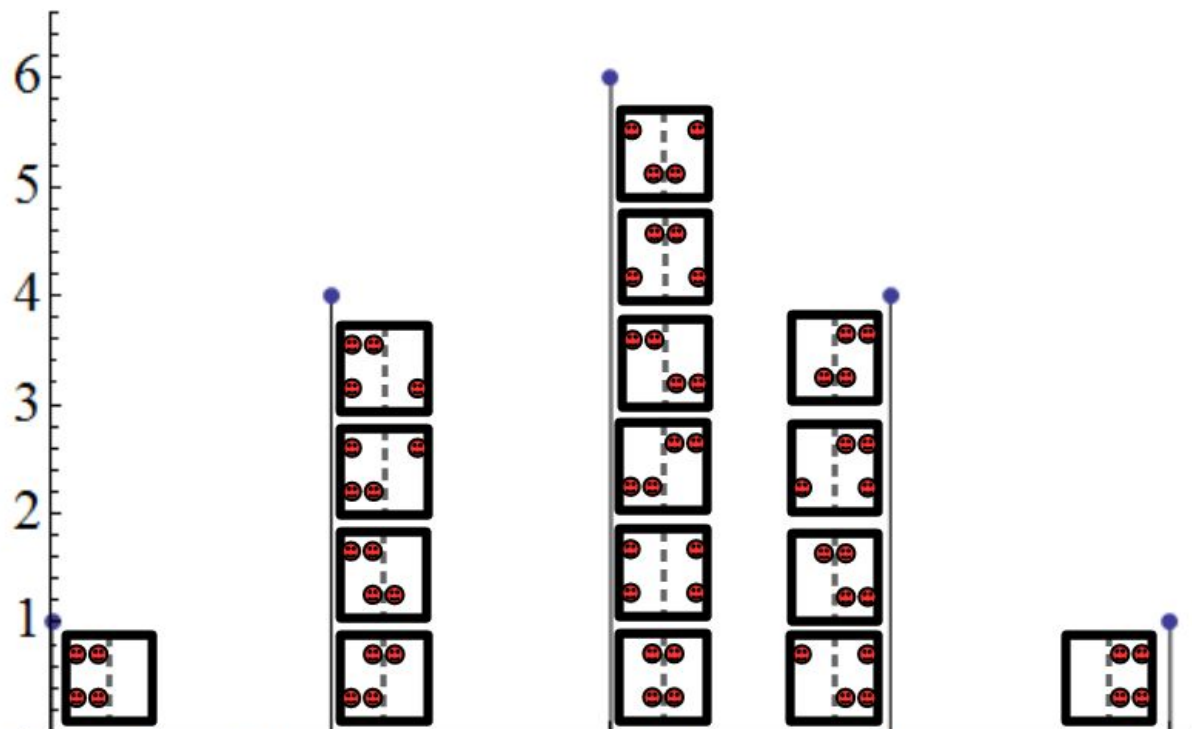








Počet možností



iba v ľavej časti nádoby

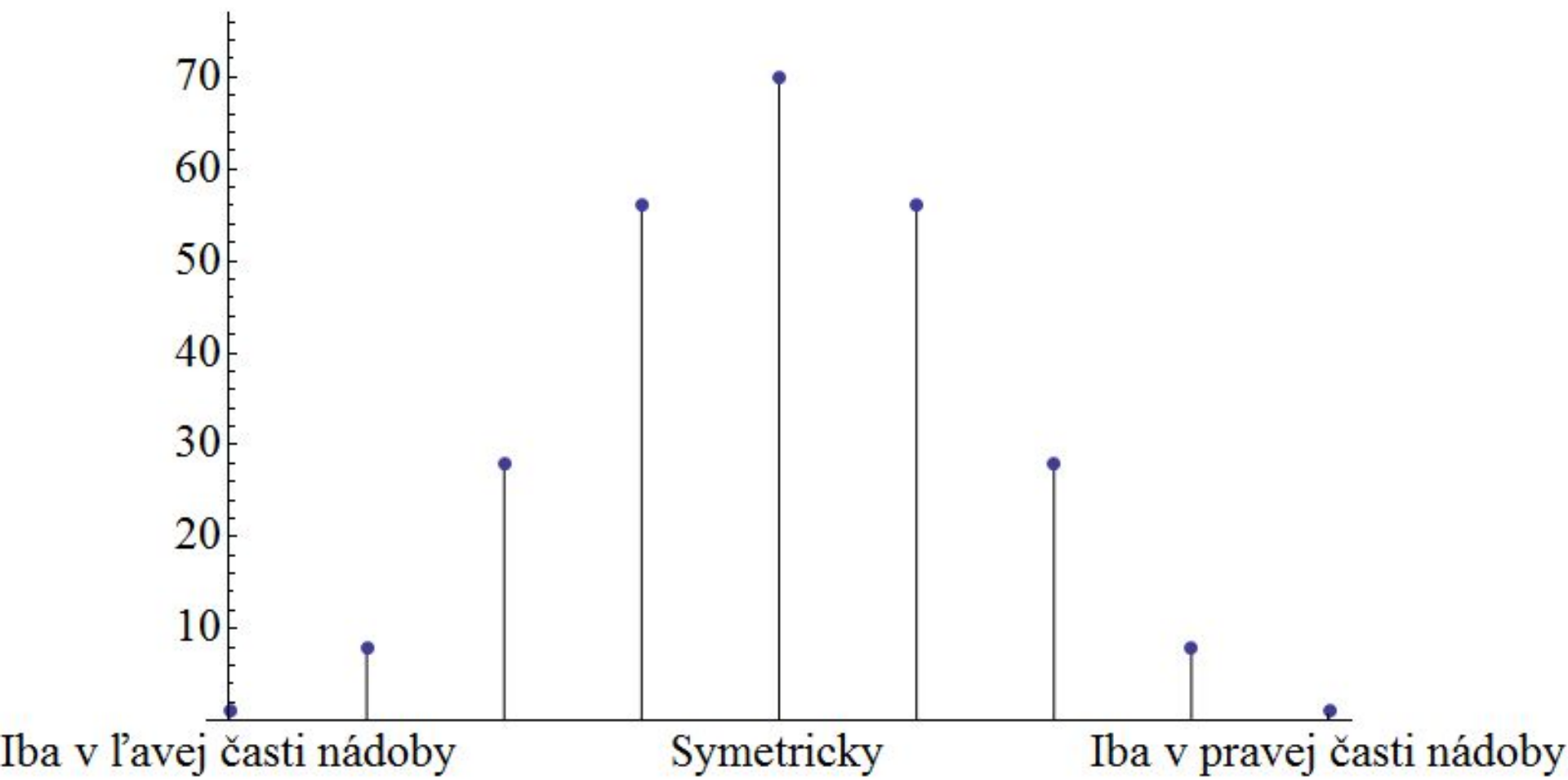
Symetricky

Iba v pravej časti nádoby

Rozdelenie guľičiek

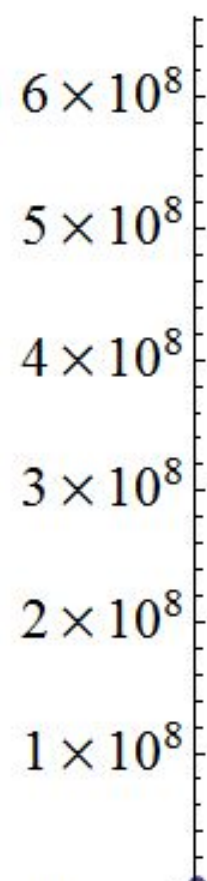
8 guľičiek

Počet možností



32 guľičiek

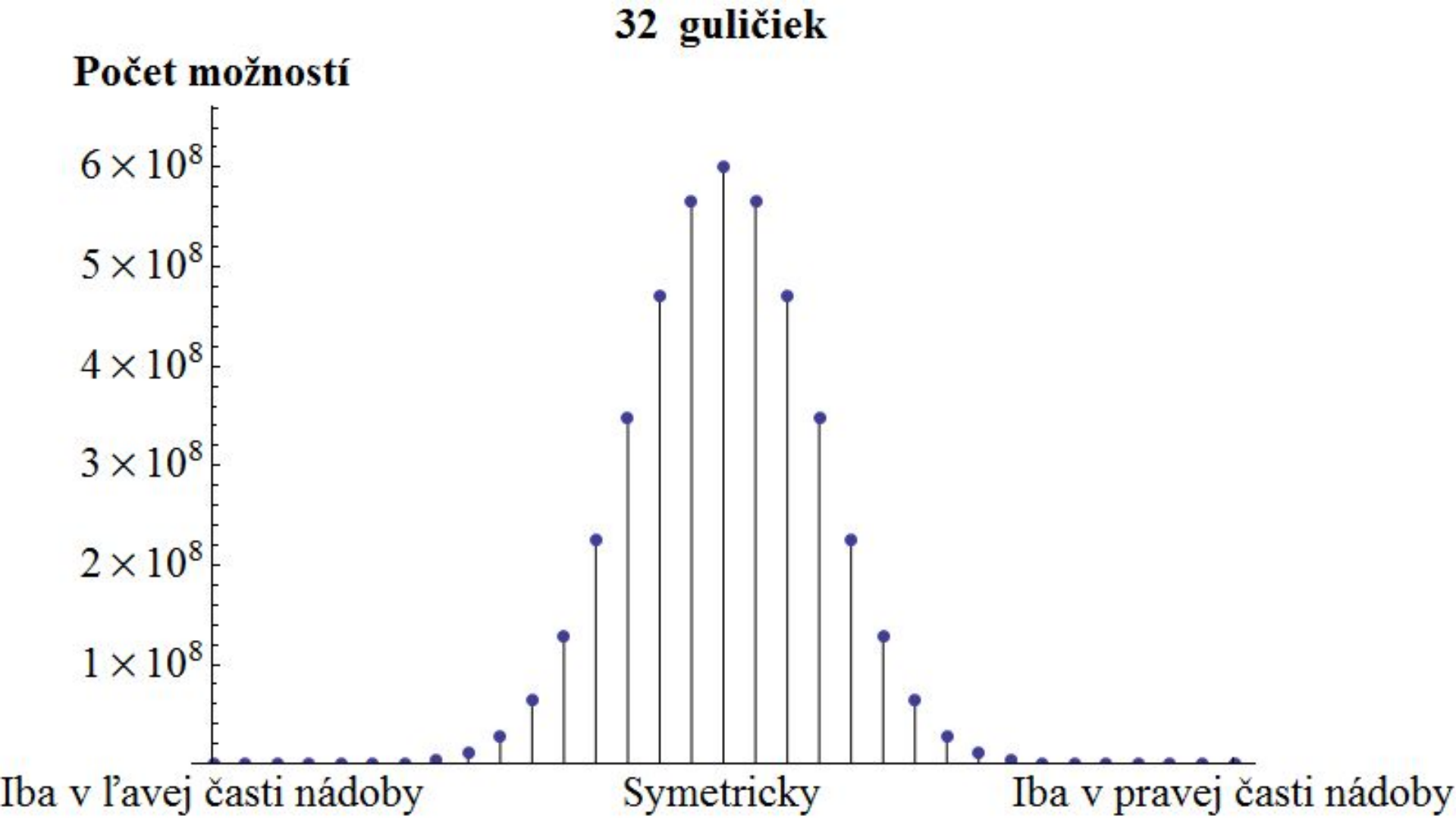
Počet možností



Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

Iba v pravej časti nádoby



64 guľičiek

Počet možností

2.0×10^{18}

1.5×10^{18}

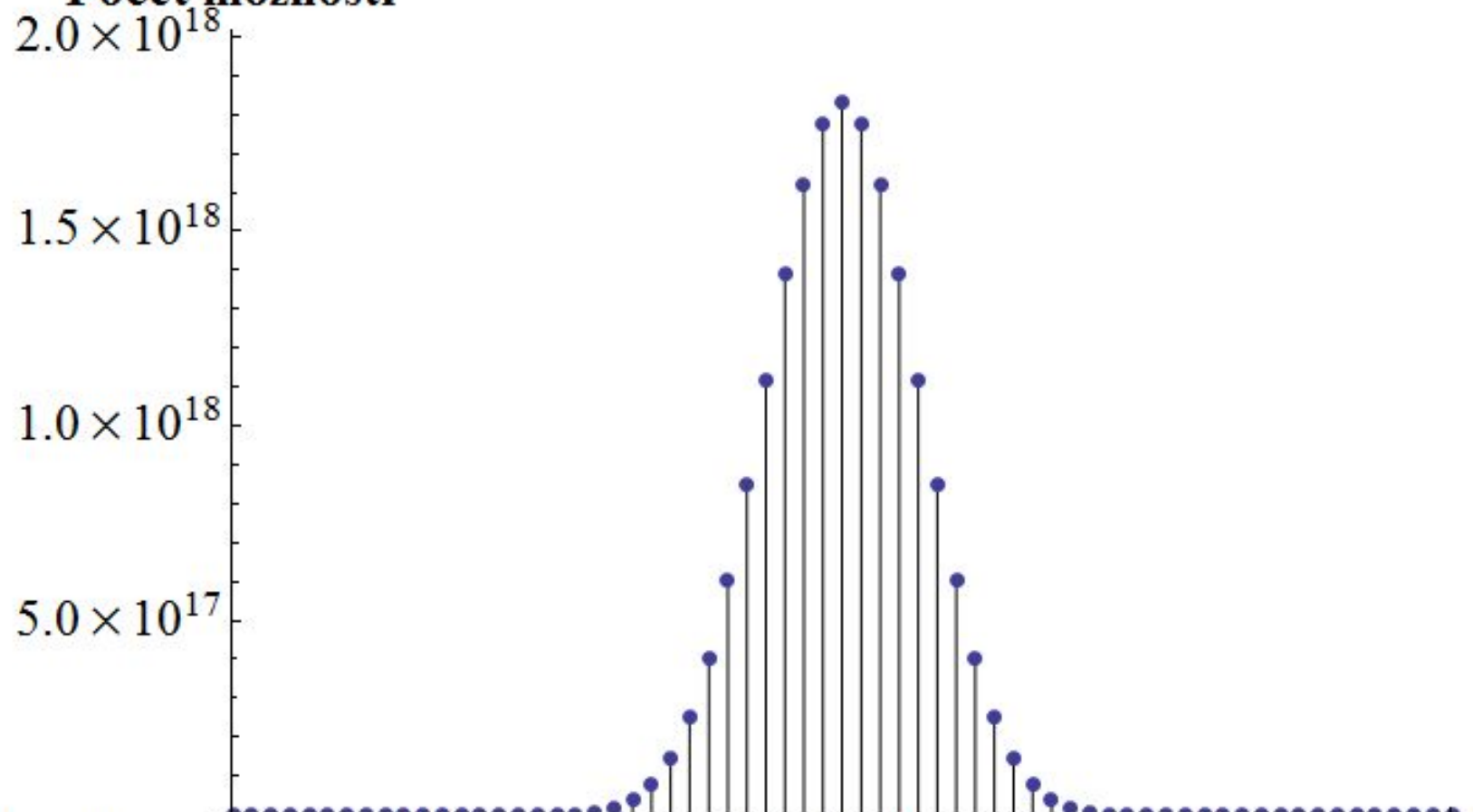
1.0×10^{18}

5.0×10^{17}

Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

Iba v pravej časti nádoby



128 guľičiek

Počet možností

2.5×10^{37}

2.0×10^{37}

1.5×10^{37}

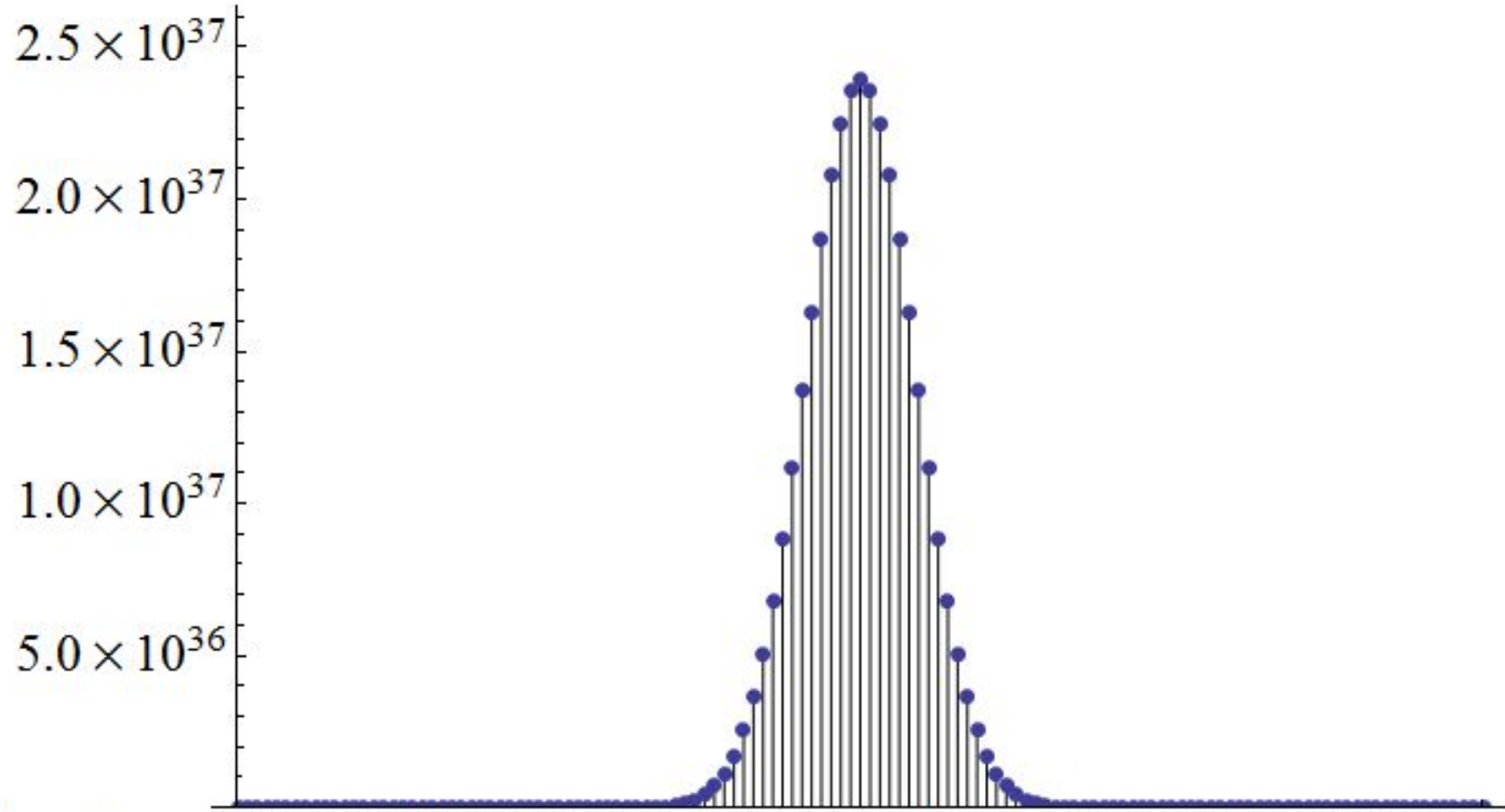
1.0×10^{37}

5.0×10^{36}

Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

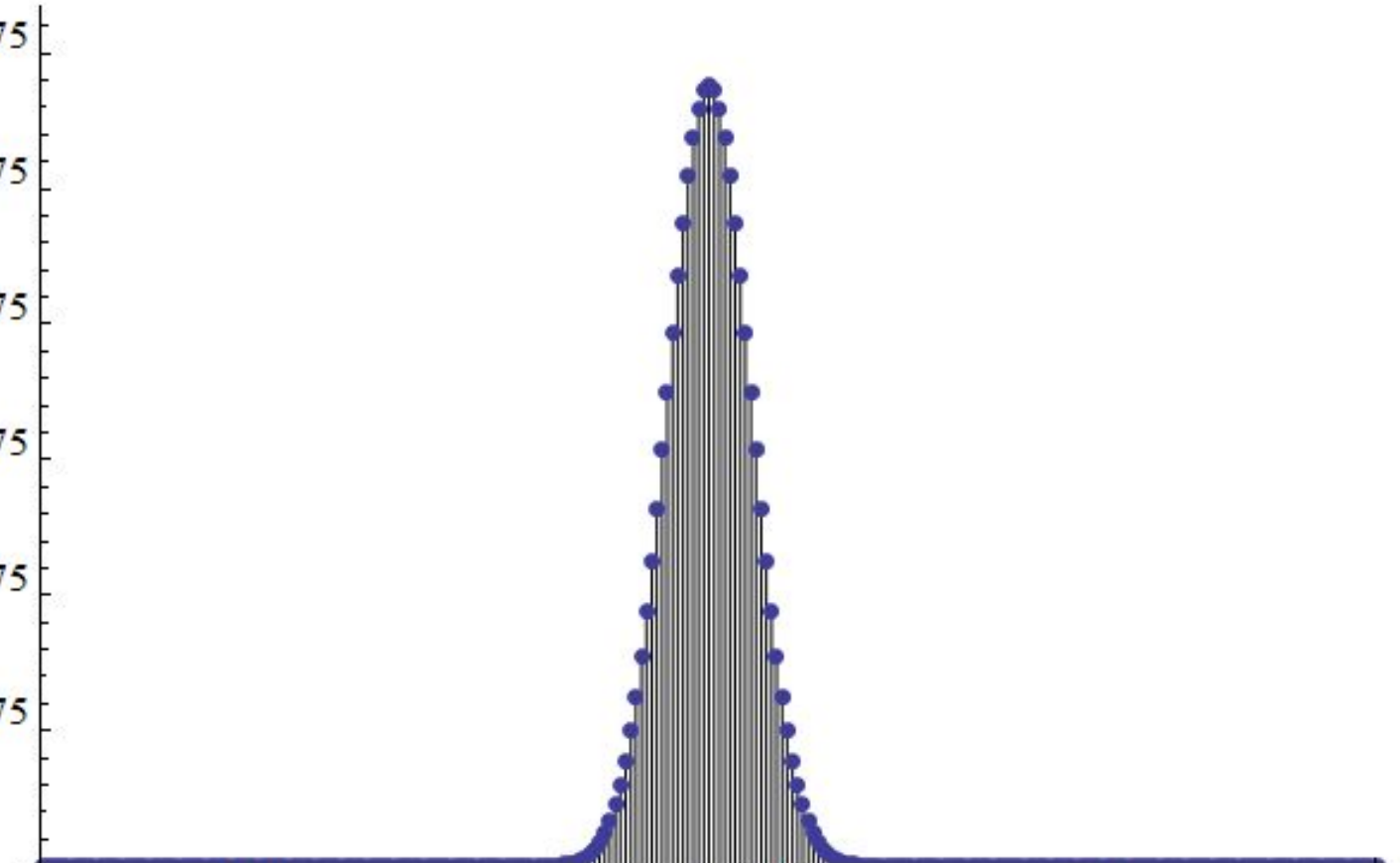
Iba v pravej časti nádoby



256 guľičiek

Počet možností

6×10^{75}
 5×10^{75}
 4×10^{75}
 3×10^{75}
 2×10^{75}
 1×10^{75}



Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

Iba v pravej časti nádoby

16 guľičiek

Počet možností

14 000

12 000

10 000

8000

6000

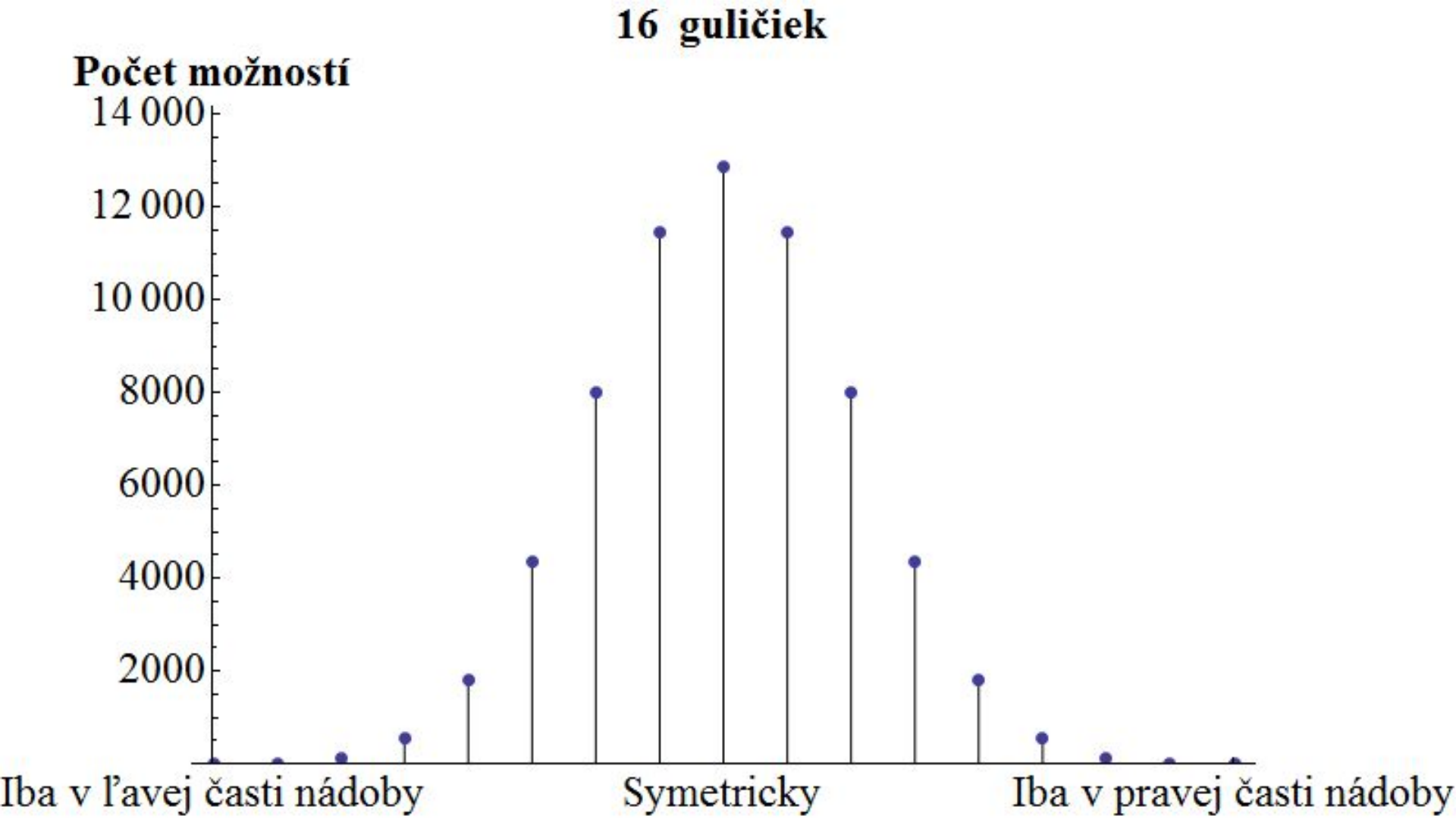
4000

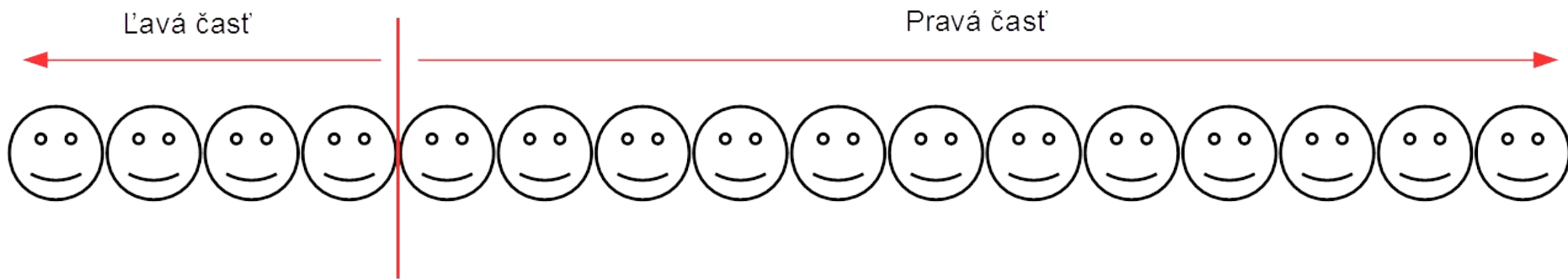
2000

Iba v ľavej časti nádoby

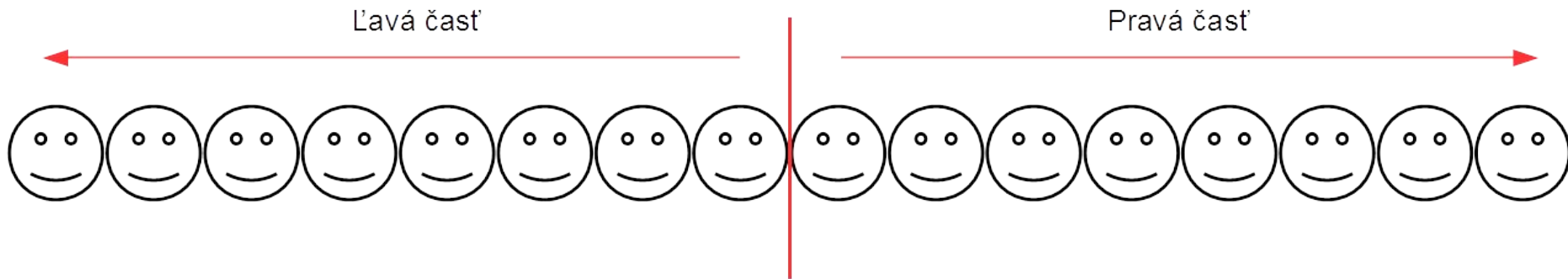
Symetricky

Iba v pravej časti nádoby





Nesymetrická konfigurácia = vybrať 4 = málo možností



Symetrická konfigurácia = vybrať 8 = veľa možností

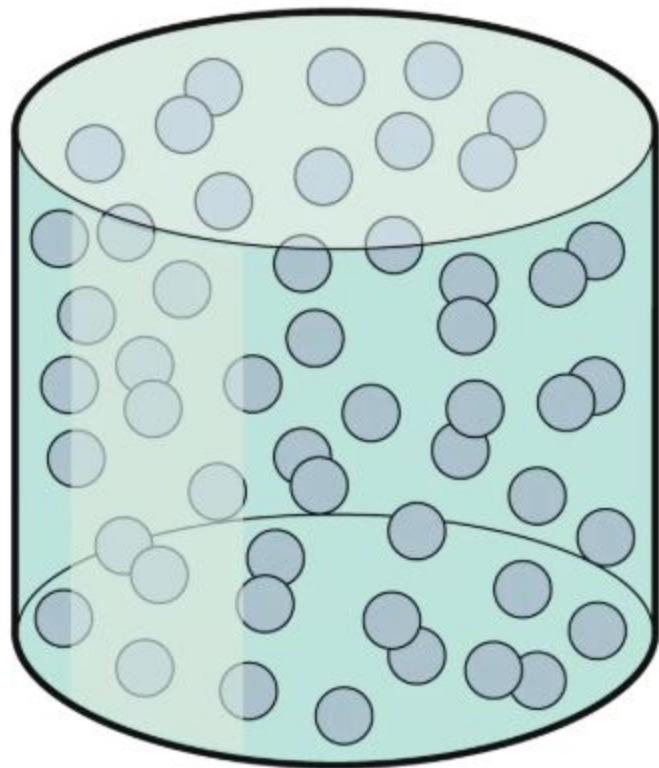
Spôsobov, ako vybrať 8 guľičiek zo 16
je oveľa viac ako 4 guľičky zo 16.

Spôsobov, ako vybrať **8** guľičiek je oveľa viac ako **4** guľičky.

Spôsobov, ako vybrať **$N/2$** guľičiek je oveľa viac ako **$N/4$** guľičiek.

Pomer tiež rastie exponenciálne.

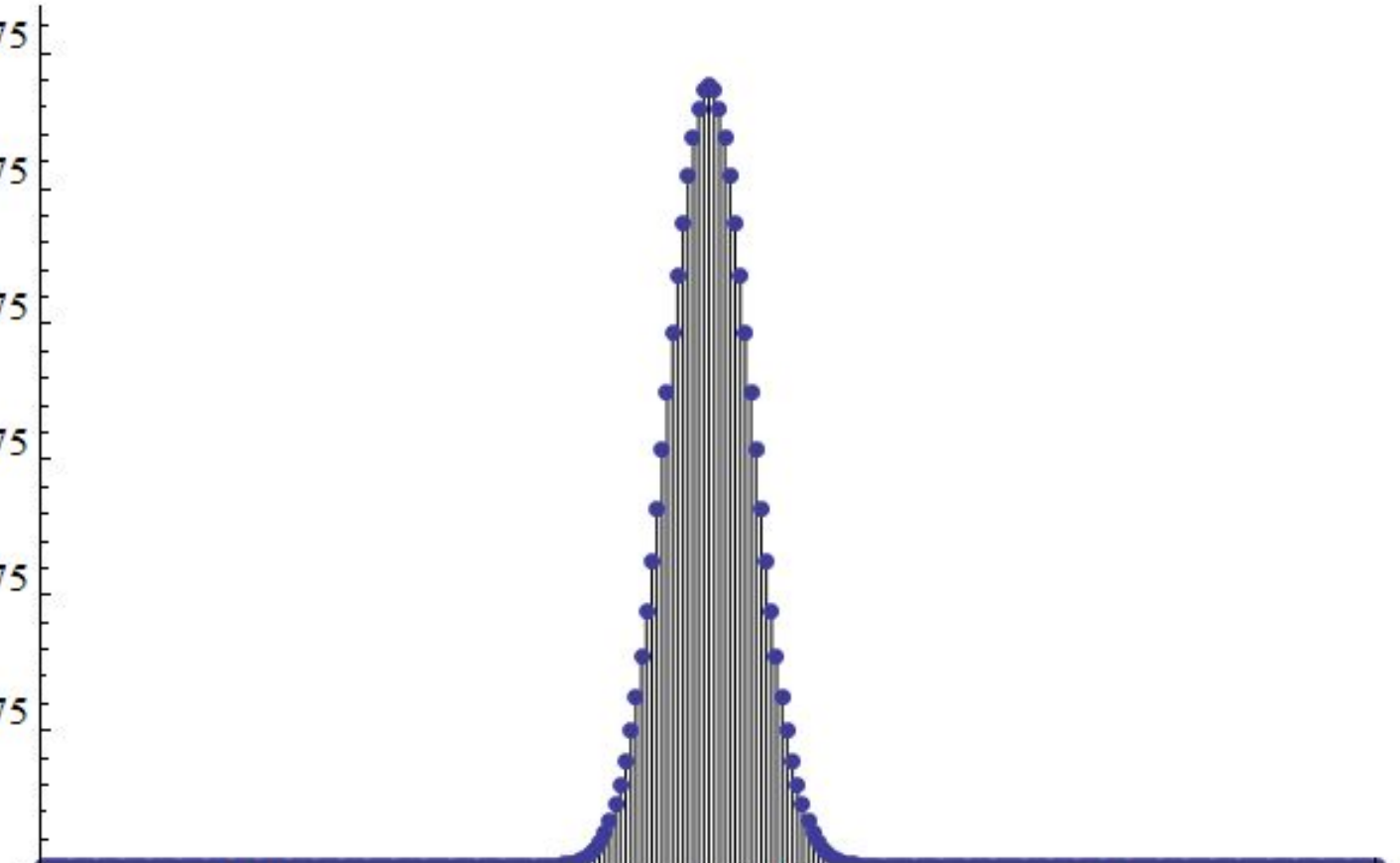
Spät k plynom



256 guľičiek

Počet možností

6×10^{75}
 5×10^{75}
 4×10^{75}
 3×10^{75}
 2×10^{75}
 1×10^{75}



Iba v ľavej časti nádoby

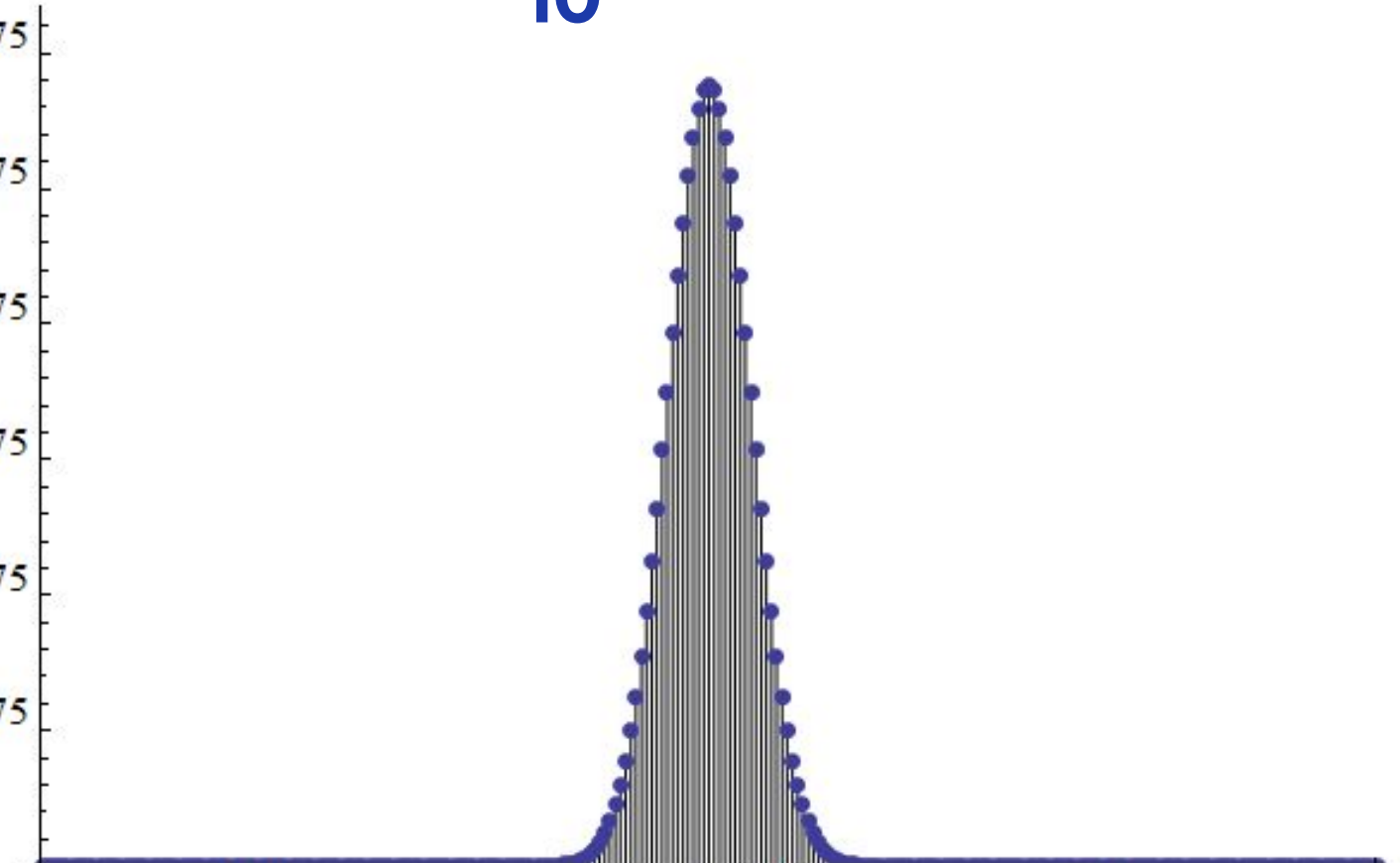
Symetricky

Iba v pravej časti nádoby

~~256~~ guľičiek
 10^{25}

Počet možností

6×10^{75}
 5×10^{75}
 4×10^{75}
 3×10^{75}
 2×10^{75}
 1×10^{75}



Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

Iba v pravej časti nádoby

Presné usporiadanie častíc plynu nepoznáme.

Presné usporiadanie častíc plynu nie je dôležité.

Každá konfigurácia je rovnako pravdepodobná.

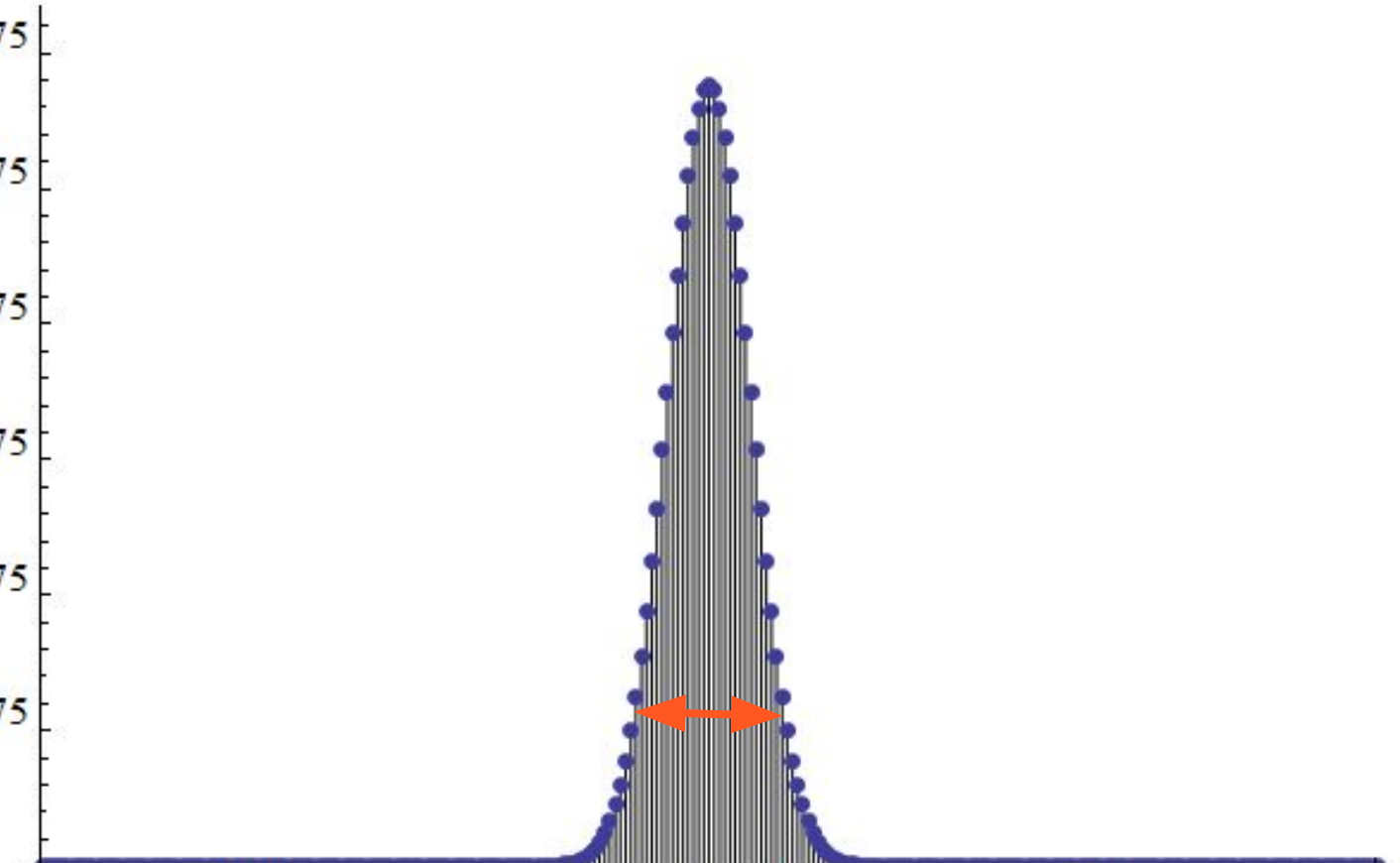
**Plyn sa rozdelí
rovnomerne v nádobe
preto, že akékoľvek iné
rozdelenie je extrémne
nepravdepodobné.**

Fluktuácie

256 guľičiek

Počet možností

6×10^{75}
 5×10^{75}
 4×10^{75}
 3×10^{75}
 2×10^{75}
 1×10^{75}



Iba v ľavej časti nádoby

Symetricky

Iba v pravej časti nádoby

Náhodný proces zopakujem **N** krát.

1000 krát hodím mincou.

Náhodný proces zopakujem **N** krát.

1000 krát hodím mincou.

Výsledok očakávam približne **# x N**.

500 krát dostanem znak.

Náhodný proces zopakujem N krát.

1000 krát hodím mincou.

Výsledok očakávam približne $\# \times N$.

500 krát dostanem znak.

Plus alebo mínus $\# \times \sqrt{N}$.

Medzi 470 až 530 znakov.

S rastúcim N rozdiel medzi N a \sqrt{N} narastá.

100 pokusov, 40 - 60 znakov

S rastúcim **N** rozdiel medzi **N** a \sqrt{N} narastá.

100 pokusov, 40 - 60 znakov

1000 pokusov, 470 - 530 znakov

S rastúcim **N** rozdiel medzi **N** a \sqrt{N} narastá.

100 pokusov, 40 - 60 znakov

1000 pokusov, 470 - 530 znakov

10 000 pokusov, 4 900 - 5 100 znakov

√N

S rastúcim **N** rozdiel medzi **N** a \sqrt{N} narastá.

100 pokusov, 40 - 60 znakov

1000 pokusov, 470 - 530 znakov

10 000 pokusov, 4 900 - 5 100 znakov

10^{25} pokusov, $\pm 10^{12}$ znakov

Počet častíc v polovici nádoby fluktuuje
na 12tom desatinnom mieste.

Druhý termodynamický zákon

Otázka mohla znieť aj:

Prečo sa nezohreje teplé teleso od studeného?

Prečo trenie brzdí, ale nerozbieha?

Niektoré deje sa v prírode **nedejú**,
napriek tomu, že ich žiadny prírodný
zákon v princípe nezakazuje.

Niektoré deje sa v prírode **nedejú**,
napriek tomu, že ich žiadny prírodný
zákon v princípe nezakazuje.

To sa povýši na nový zákon.

Druhý termodynamický zákon:

Žiadny dej, ktorý sa dá použiť na ohriate teplejšieho telesa od chladnejšieho, nemôže prebiehať spontánne.

Druhý termodynamický zákon:

Žiadny dej, ktorý sa dá použiť na ohriate teplejšieho telesa od chladnejšieho, nemôže prebiehať spontánne.

Druhý termodynamický zákon:

Žiadny dej, ktorý sa dá použiť na ohriate teplejšieho telesa od chladnejšieho, nemôže prebiehať spontánne.

Entropia

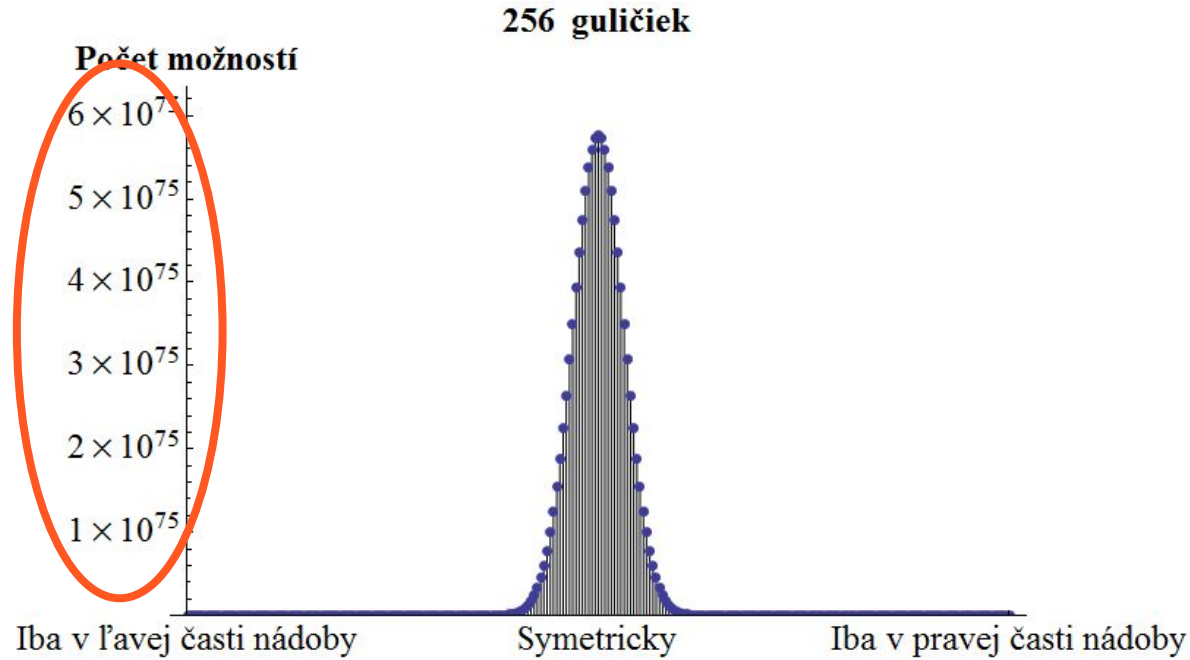
Druhý termodynamický zákon:

Entropia (S) pri spontánných dejoch neklesá.

$$dS \geq 0$$

Entropia súvisí s počtom spôsobov,
ktorými sa dá makroskopická situácia
realizovať.

Entropia súvisí s počtom spôsobov,
ktorými sa dá makroskopická situácia
realizovať.



**Take home
message**

**Plyn sa rozdelí
rovnomerne v nádobe
preto, prečo existuje veľa
pesničiek a prečo
neporazíte veľmajstra
náhodnými ťahmi.**

**Ďakujem za
pozornosť!**