

A DNS mint adathordozó

- **Hagyományos** adattárolás vs **DNS**
 - Hagományos:
 - **Adatfeleződés**: 10-30 év
 - **Adatsűrűség**: 100 GB/mm³
 - DNS:
 - **Adatfeleződés**: 500 év
 - **Adatsűrűség**: 10⁹GB/mm³
 - Milyen lehetőségek vannak DNS-ben adatot tárolni?
 - A mesterségesen előállított DNS láncokat tárolhatjuk
 - **kémcsőben** vagy
 - **élő organizmusban**

Adattárolás baktériumokban

- **Wong & al., 2003:** mesterségesen előállított DNS is bejuttatható molekuláris klónozással a baktériumokba
 - Egy gyerekdal szövegéből több sort sikerült **eltárolni élő baktériumokban**
 - A baktériumokból még 100 generáció után is **sikerült dekódolni** a szöveget
- A módszer lépései:
 1. Az angol ábécé betűinek elkódolása:

AAA - 0	AAC - I	AAG - 2	AAT - 3	ACA - 4	ACC - 5	ACG - 6	ACT - 7
AGA - 8	AGC - 9	AGG - A	AGT - B	ATA - C	ATC - D	ATG - E	ATT - F
CAA - G	CAC - H	CAG - I	CAT - J	CCA - K	CCC - L	CCG - M	CCT - N
CGA - O	CGC - P	CGG - Q	CGT - R	CTA - S	CTC - T	CTG - U	CTT - V
GAA - W	GAC - X	GAG - Y	GAT - Z	GCA - SP	GCC - :	GCG - ,	GCT - -
GGA - .	GGC - !	GGG - (GGT -)	GTA - `	GTC - '	GTG - “	GTT - ”
TAA - ?	TAC - ;	TAG - /	TAT - [TCA -]	TCC -	TCG -	TCT -
TGA -	TGC -	TGG -	TGT -	TTA -	TTC -	TTG -	TTT -

Adattárolás baktériumokban

A komplement szálak közül csak az egyik van feltüntetve

2. A megfelelő baktériumok kiválasztása:

- **E.coli** és **Deinococcus**: utóbbi extrém körülményeket is kibír
 - ultraibolya sugárzás, dehidratáció, savas hatás, radioaktív sugárzás
 - Nickname: **Conan the Bacterium**

3. 25 darab 20 bázispár hosszú DNS szekvencia (jobb oldali ábra) lett kiválasztva úgy, hogy azok

- **nem szerepelnek** a baktériumok génszekvenciájában (10 milliárd szekvenciát kellett ehhez megvizsgálni) és
- nem hordoznak olyan információt, ami **veszélyes** lenne a baktériumra
- Ezeket a szekvenciákat **őrszemeknek** hívjuk
- A bennük szereplő **TAA, TGA és TAG** szekvenciák jelzik a baktériumnak, hogy a DNS azon részét, ami ezután jön ne vegye figyelembe a fehérjék felépítésekor

AAGGTAGGTAGGTTAGTTAG	AGAGTAGTGAGGATAGTTAG
AGGTTTGGTGGTATAGTTAG	ATAAGTAGTGGGGTAGTTAG
ATAGGAGTGTGTGTAGTTAG	ATAGGGGTATGGATAGTTAG
ATATTAGAGGGGGTAGTTAG	ATGGGTGGATTGATAGTTAG
GGAGTAGTGTGTATAGTTAG	GGGAATAGAGTGTTAGTTAG
GGGAGTATGTAGTTAGTTAG	GGGATGATTGGTTTAGTTAG
GGTTAGATGAGTGTAGTTAG	GTATGGGAATGGTTAGTTAG
TAAGGGATGTGTGTAGTTAG	TAGAGAGAGTGTGTAGTTAG
TAGAGGAGGGATATAGTTAG	TAGAGTGGTGTGTTAGTTAG
TAGATGGGAGGTATAGTTAG	TAGATTGGATGGGTAGTTAG
TAGGAGAGATGTGTAGTTAG	TAGGGTTGGTAGTTAGTTAG
TATAGGGAGGGTATAGTTAG	TATAGGGTAGGGTTAGTTAG
TGTGGGATAGTGATAGTTAG	

Adattárolás baktériumokban

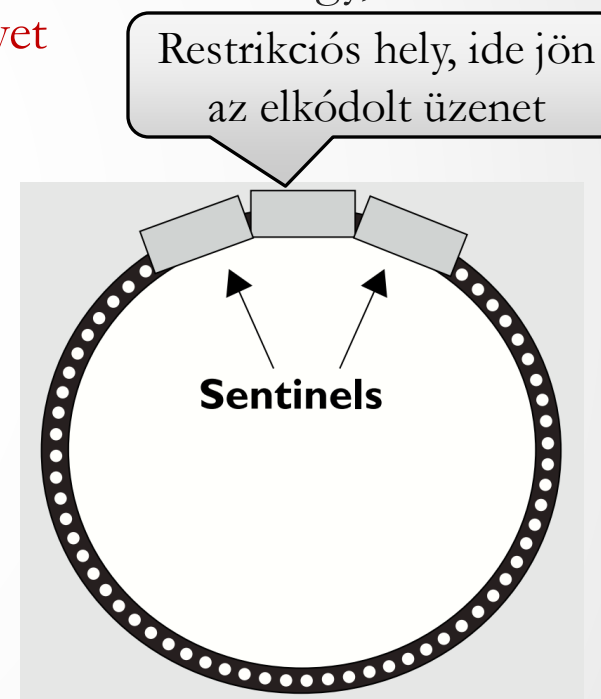
4. A következő lépés egy **46 bázispárnyi DNS szekvencia** létrehozása

- Először két egymással komplementes, 46 bázisból álló egyszeres DNS szál készült el úgy, hogy **egy-egy őrszem közrefog** egy 6 bázisnyi hosszú **restrikciós helyet**
- A két 46 bázisnyi egyszeres szekvencia **Watson-Crick összekapcsolódásával** elkészül a 46 bázispárnyi DNS szekvencia

5. A 46 bázispárnyi szekvenciát beépítették egy baktériumból kinyert plazmidba

6. Ezután az őrszemek közötti restrikciós helyen inzertálták **a szöveget elkódoló** DNS szekvenciát

7. Az így kapott plazmidot **transzformálták** a baktériumba



Adattárolás baktériumokban

Az üzenet **kinyerése**:

- Polimeráz láncreakcióval **sokszorosítjuk** a baktérium DNS-ét az őrszemeket használva primérnek

Összegzés:

- Sikerült baktériumok DNS-ében **kódolni** egy gyerekdal, az „It’s a Small World” több sorát
- Több száz generáció után sikerült **sértetlenül kinyerni** az üzenetet a baktériumok DNS-éből
- A Deinococcus baktérium megvédte az üzenetet még **erős radioaktív sugárzásban** is
 - **Erős motiváció**: Wong egy olyan intézet vezető kutatója volt, melynek egyik fő feladatköre **szenzitív adat védelme nukleáris katasztrófa esetén**

Adattárolás sejten kívül

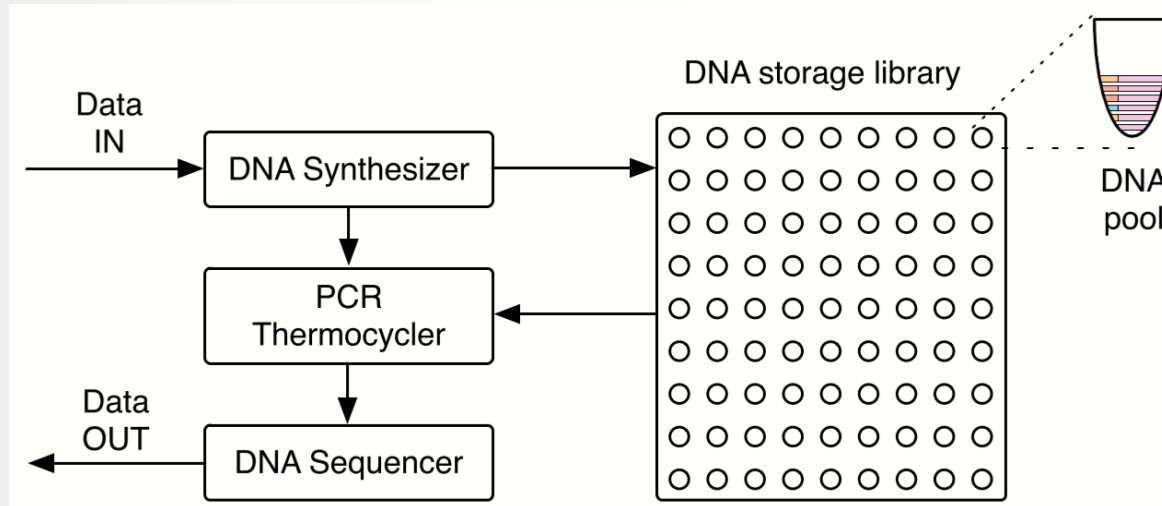
Ha **nagyobb mennyiségű** adatot akarunk tárolni DNS molekulákban, akkor azt érdekesebb **sejten kívül** (in vitro – üvegben azaz kémcsőben) végezni

Összehasonlítás klasszikus adattárolókkal:

	<i>Access Time</i>	<i>Durability</i>
Flash	ms	~5 yrs
HDD	10s ms	~5 yrs
Tape	minutes	~15-30 yrs
DNA Storage	10s hrs	centuries

Adattárolás sejten kívül

Egy modern, véletlen elérésű **DNS adattároló rendszer** a következő fő részekből áll:



DNS könyvtár: 100-200 nukleotidból álló DNS szekvenciákat tartalmazó kémcsövek (**pool-ok**) tárolására alkalmas eszköz

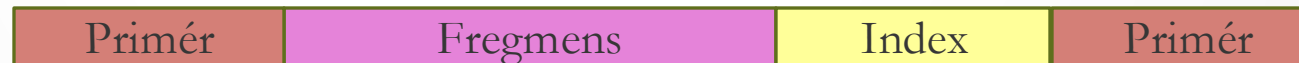
DNS szintetizáló: az adatot kódoló DNS láncokat elkészítő eszköz

DNS-szekvenáló eszköz: a DNS bázis-sorrendjének kiolvasására (azaz dekódolásra) használjuk

Adattárolás sejten kívül

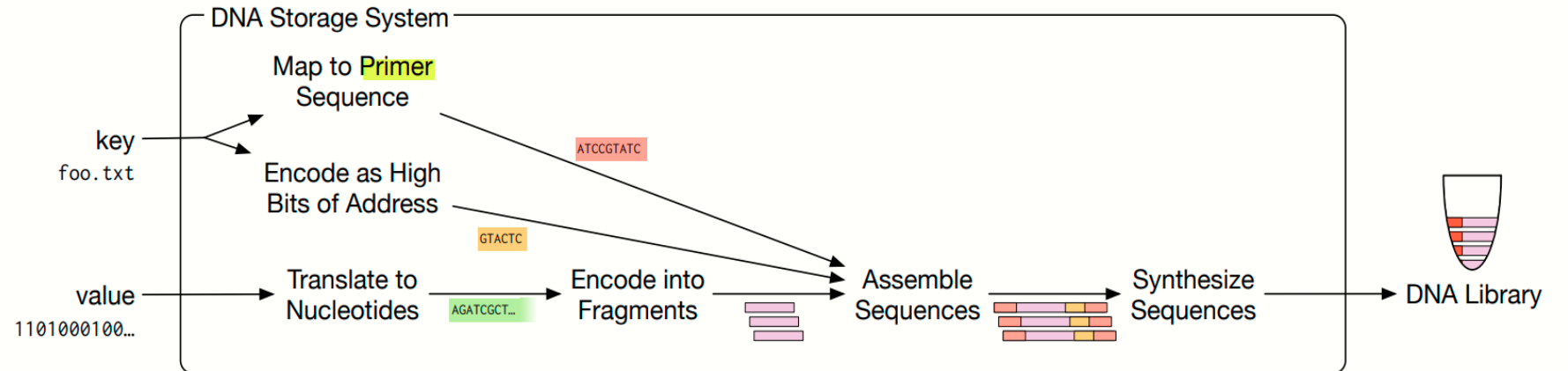
A DNS adatbázisban **kulcs-érték** párokat tárolunk

- Egy poolban **több** kulcs-érték párnak megfelelő DNS szekvencia is lehet
- Az értékeket kódoló DNS szekvenciákat **átfedésekkel kisebb fregmensekre** bontjuk
- A pool-okban lévő DNS szálak a következőképpen épülnek fel
 - Egy **primér** az elején és a végén az adatok kiolvasásához
 - Az értéket kódoló DNS **egy fregmense**
 - Egy **index**, ami a kulcsot és a szegmens címét kódolja

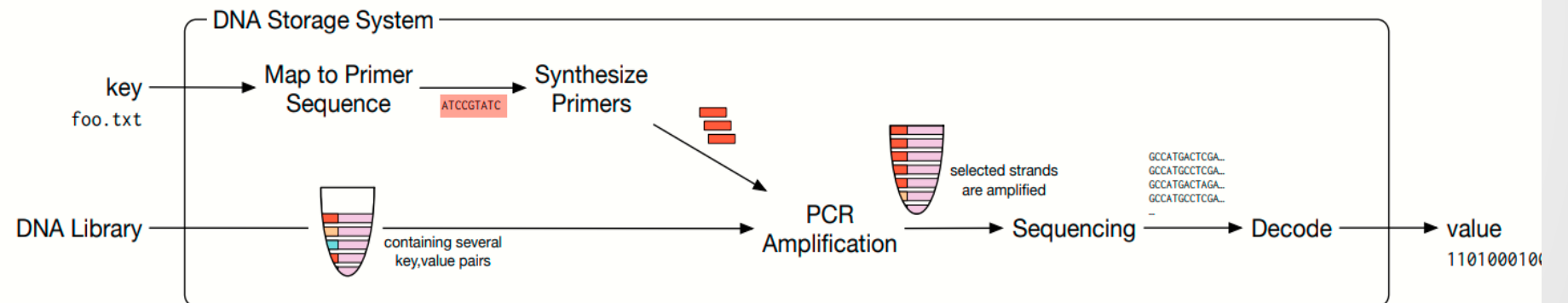


Adattárolás sejten kívül

Adat beírása
a DNS könyvtárba:



Adat kiolvasása:



Adattárolás sejten kívül

Az adat **elkódolása**:

Binary data	P 01010000	o 01101111	l 01101100	y 01111001	a 01100001	; 00111011
Base 3 Huffman code	12011	02110	02101	222111	01112	222021
DNA nucleotides	GCGAG	TGAGT	ATCGA	TGCTCT	AGAGC	ATGTGA

		Previous Nucleotide			
		A	C	G	T
Ternary Digit To Encode	0	C	G	T	A
	1	G	T	A	C
	2	T	A	C	G

- A bináris számokat **3-as számrendszerbe** írjuk Huffman kódolással
- Utána a kapott számokat kódoljuk **nukleotidokkal**
 - A számokat úgy kódoljuk el, hogy ne legyen két **ugyanolyan** nukleotid egymás mellett
 - Ez növeli a szekvenálás **pontosságát**

Adattárolás sejten kívül

A következő adatokat sikerült véletlen eléréssel dekódolni:

Megjegyzés: a hangsúly most a véletlen elérésen volt

Korábban (szekvenciális eléréssel) sikerült eltárolni például

- Shakespeare 154 szonettjét
- Martin Luther King beszédét MP3-ban



(a) sydney . jpg, 24301 bytes



(b) cat . jpg, 11901 bytes



(c) smiley . jpg, 5665 bytes

Adattárolás sejten kívül

Összegzés:

- A DNS-ben való adattárolás
 - nagy adatsűrűségű
 - hosszú adatfelezési idejű
 - a jelenlegi (hosszú távú) adattárolási technikákkal összevethető költségű
- De
 - hosszú elérési idejű
 - nem teljesen hibamentes
- **A jövő:** az alkalmazott technikák hatékonysága exponenciálisan nő (itt is érvényesül a Moore törvény)

Kvantum számítás

KLASSZIKUS DIGITÁLIS SZÁMÍTÓGÉP

- Olyan integrált áramkörökön elhelyezett **tranzisztorok** (mozgó alkatrészt nem tartalmazó kapcsolók) segítségével végez **számításokat**, melyek működése a klasszikus fizika törvényei alapján leírható

KVANTUM SZÁMÍTÓGÉP

- A kvantumfizikában használt fogalmakon alapulva (kvantum szuperpozíció, kvantumösszefonódás) végez **számításokat**

A klasszikus számítógép – Tranzisztorok

Az elektronikai eszközökben jellemzően **félvezető** alapú **tranzisztorokat** használnak

Minden tranzisztor tekinthető egy on/off **kapcsolónak**

A legelterjedtebb típus: **MOSFET** (szigetelőréteges térvezérlésű tranzisztor)

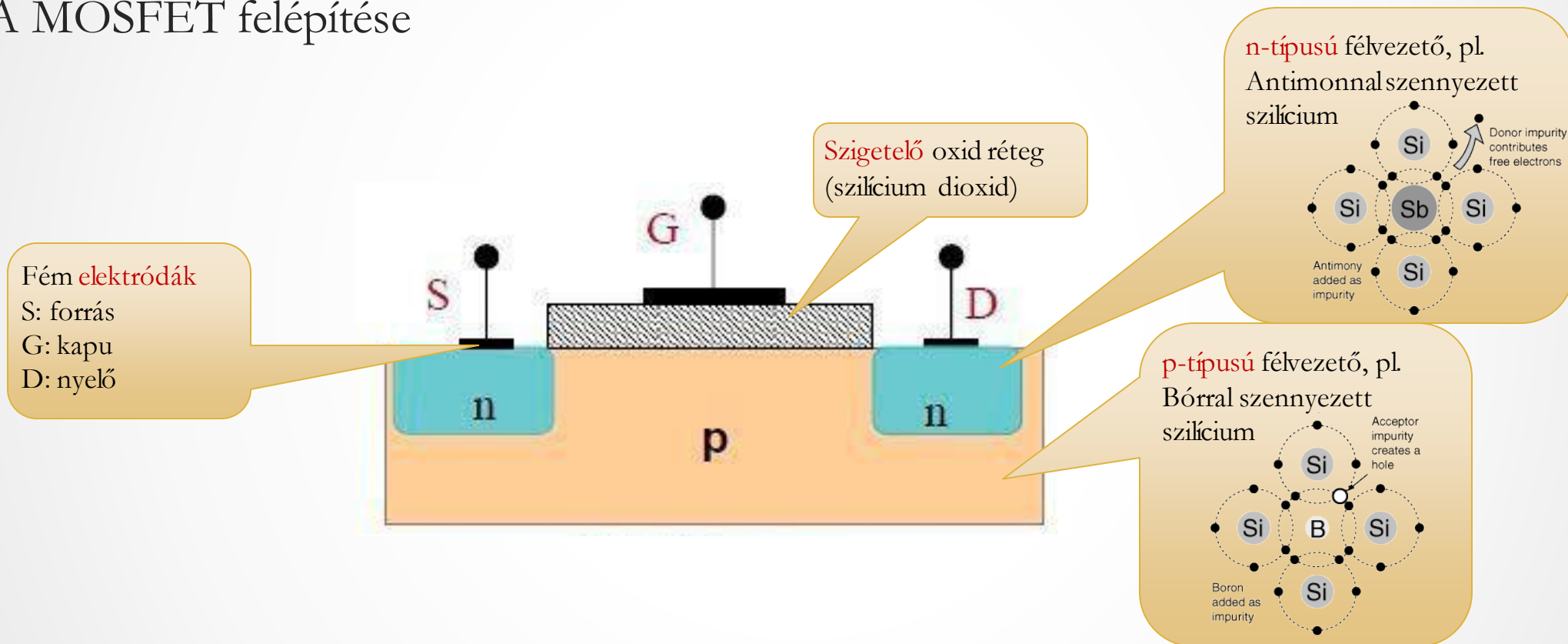
Fun Facts

Egy Kirin 9000-es chipen (5nm) **15.3 milliárd** ilyen tranzisztor van
ez 171 millió tranzisztor 1 mm²-en!!!

Egyes számítások szerint 1960 és 2018 között összesen $1,3 * 10^{22}$ darab MOSFET-et gyártottak

A klasszikus számítógép – Tranzisztorok

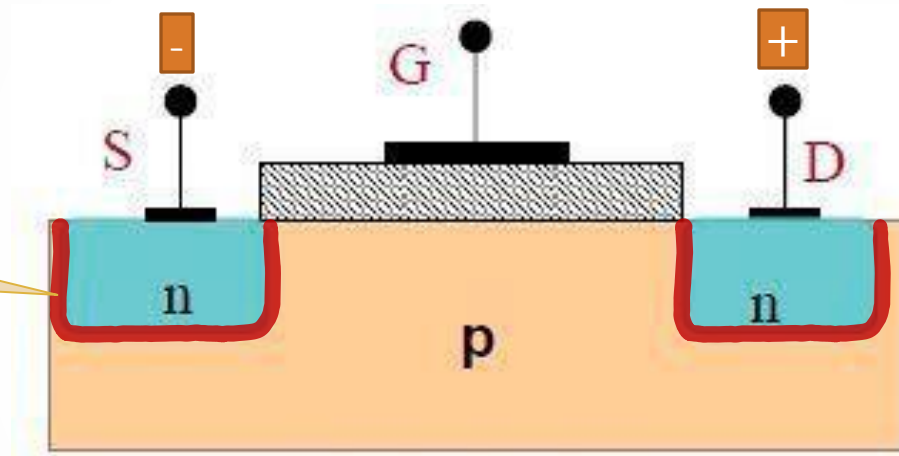
A MOSFET felépítése



Klasszikus számítógép – Tranzisztorok

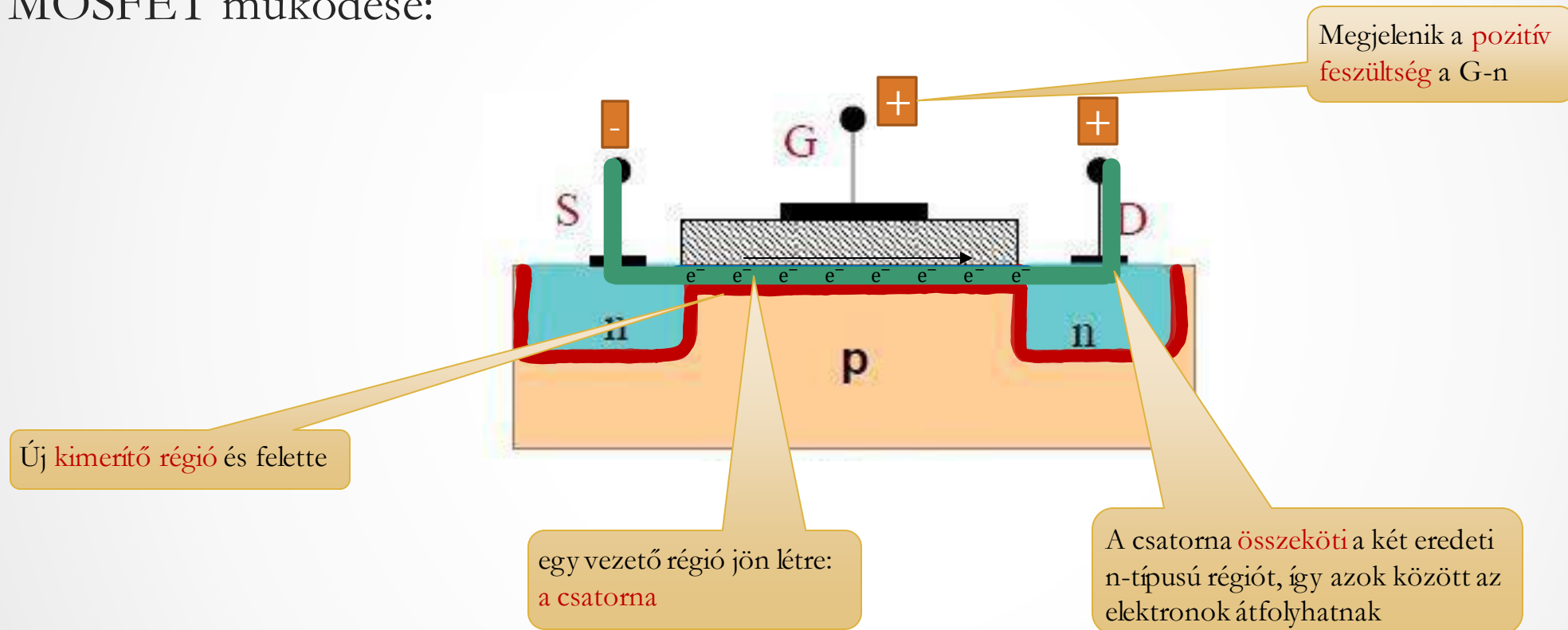
MOSFET működése:

Kimerítő régió: amíg nincs (pozitív) feszültség G-n, szigetelőként működik a kétféle típusú réteg között



Klasszikus számítógép – Tranzisztorok

MOSFET működése:



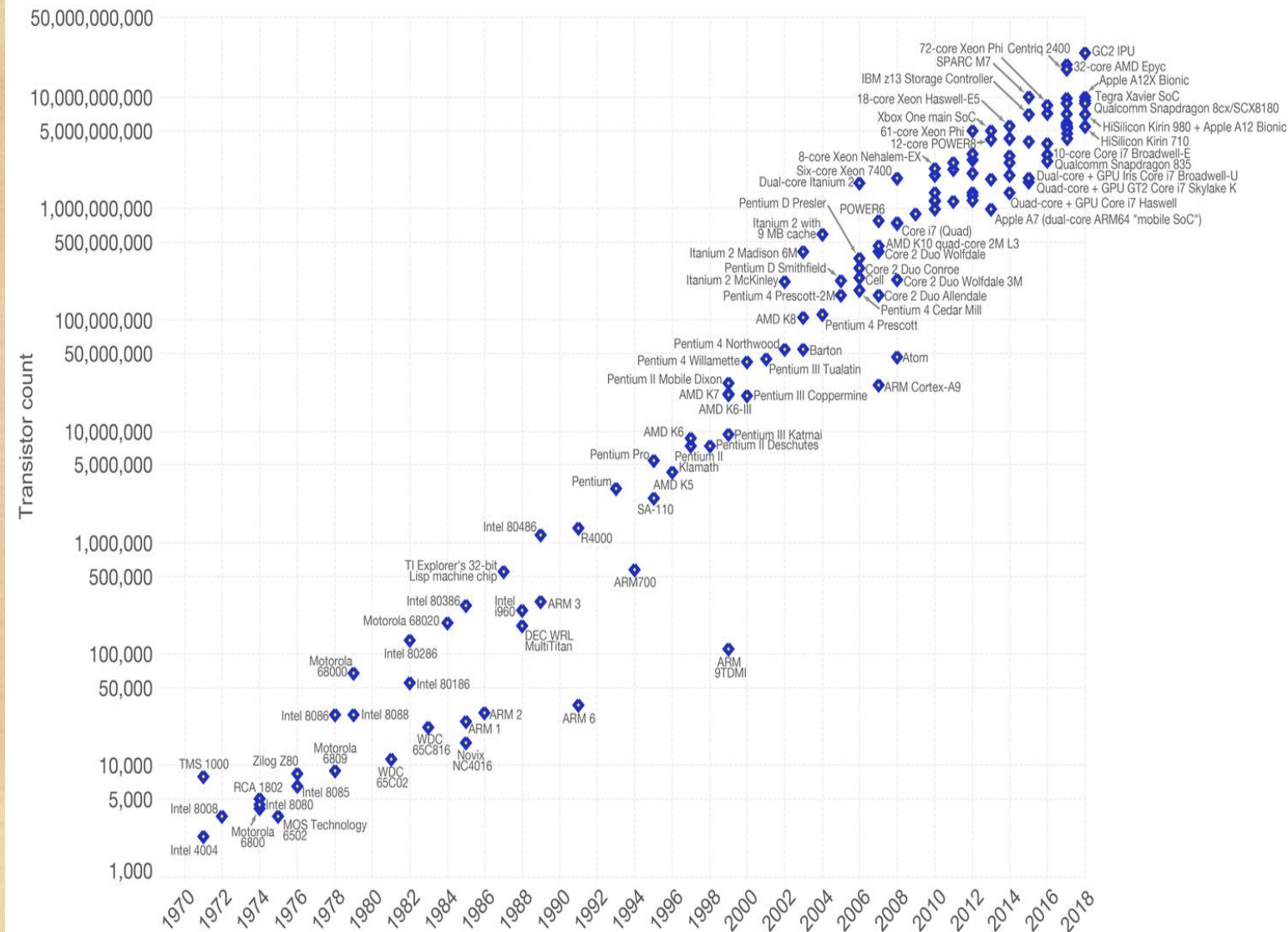
Moore törvénye

A tranzisztorok száma 18 havonta **megduplázódik**:

- A jelenlegi méret: kb. 5 **nanométer**
- Ez kb. 10 **szilícium atom** mérete
- Ilyen kisméretű tranzisztorok esetén már a **kvantummechanikában** érvényes törvényszerűségek is hatással vannak a számításra

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

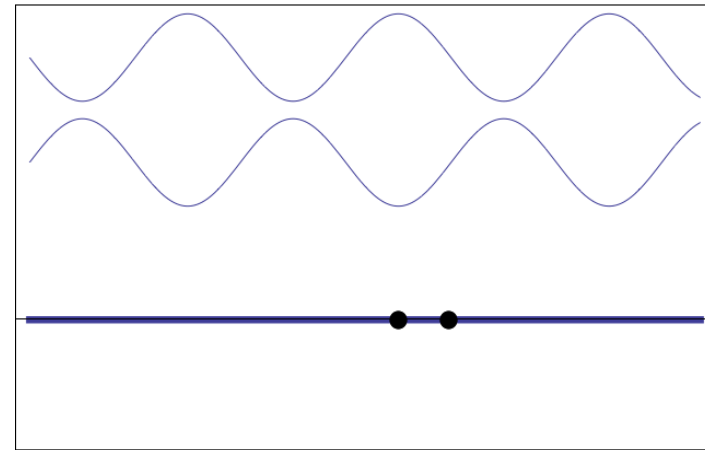
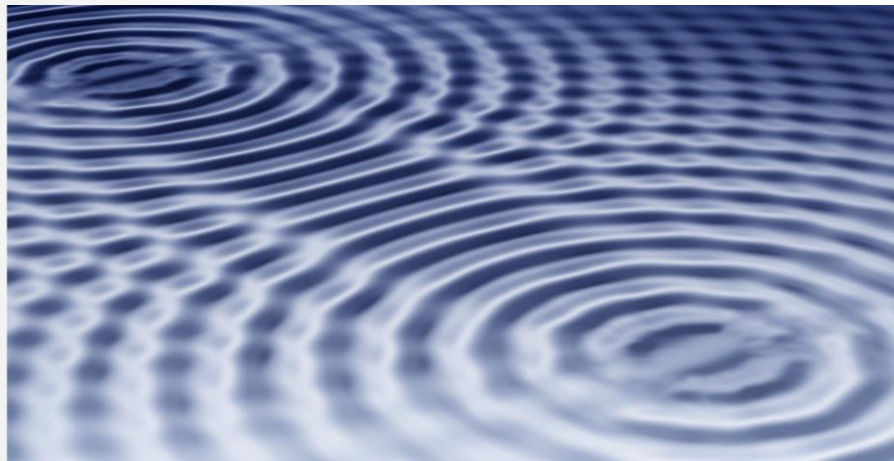
The data visualization is available at OurWorldinData.org. There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

Hullámok interferenciája

A hullámok **interferenciája** ismert jelenség

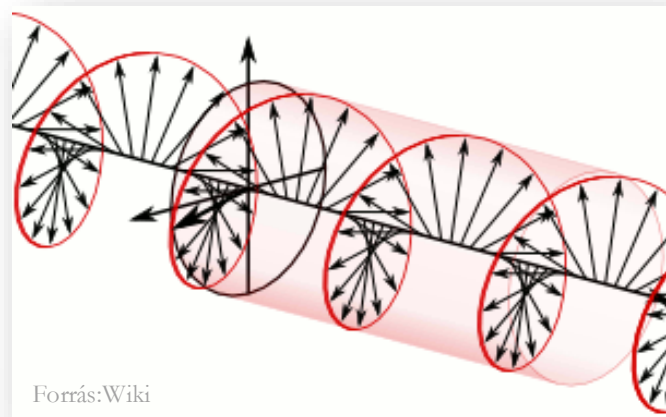
- az azonos fázisban lévő hullámok **erősítik**, az ellentétes fázisban lévők **kioltják** egymást:



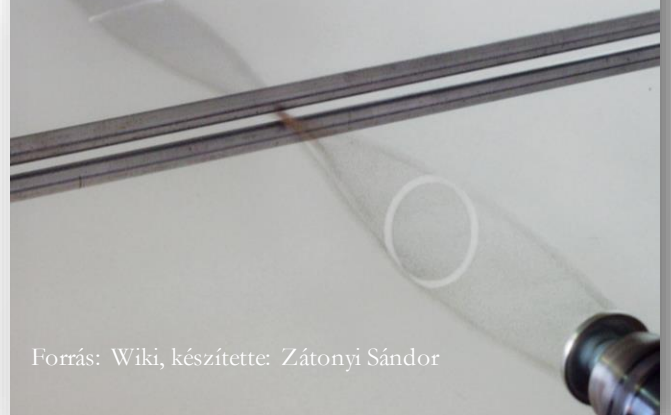
- A több hullám eredményeként létrejövő hullám az eredetiek **szuperpozíciójában** van

Hullámok polarizációja

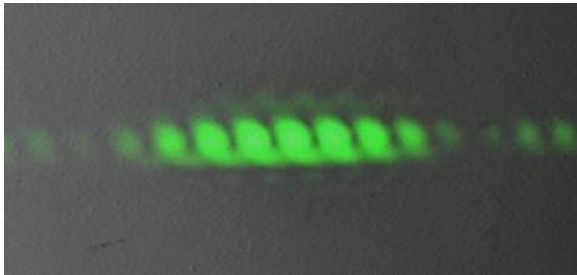
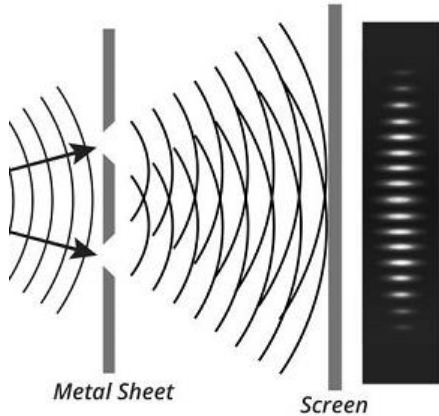
- A **polarizáció** a transzverzális hullámok egy lehetséges tulajdonsága
 - **Transzverzális**: olyan hullám, ami a haladási irányára merőlegesen kelt rezgéseket a közegben
- A polarizáció lehet
 - **lineáris**: a kitérés iránya mindig ugyanaz marad, csak a kitérés nagysága és előjele változik
 - **cirkuláris** polarizáció: a kitérés nagysága változatlan, de iránya egyenletes sebességgel körbefordul a terjedés iránya mint tengely körül



Példa cirkuláris polarizáció lineárisra alakítására (egy gumiszálon):



A fény kettős természete



Mivel a fény is egy **elektromágneses hullám**, nem meglepő, hogy képes **interferenciára**

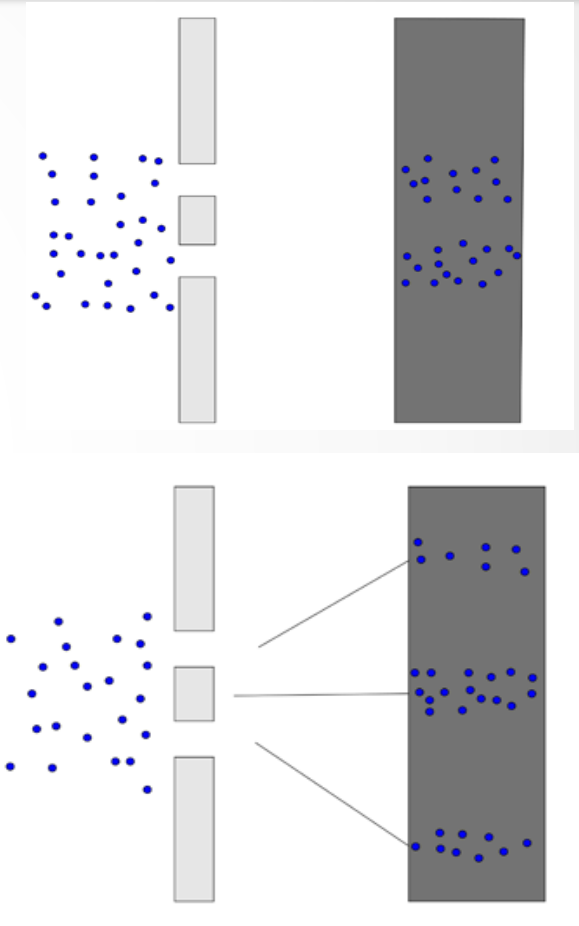
- Világítsunk meg egy pontszerű fényforrással két nagyon keskeny, szorosan egymás mellett lévő rést
- A vásznon megjelenik egy **interferenciakép** (felső ábra)

Az alsó képen látható minta két 0.4 mm széles, egymástól 0.1 mm távolságban lévő, párhuzamos rés zöld lézerrel való megvilágításakor adódott

A fény kettős természete

Mi történik akkor ha csökkentjük a fény intenzitását addig amíg egyszerre csak **egy foton** lesz kibocsátva?

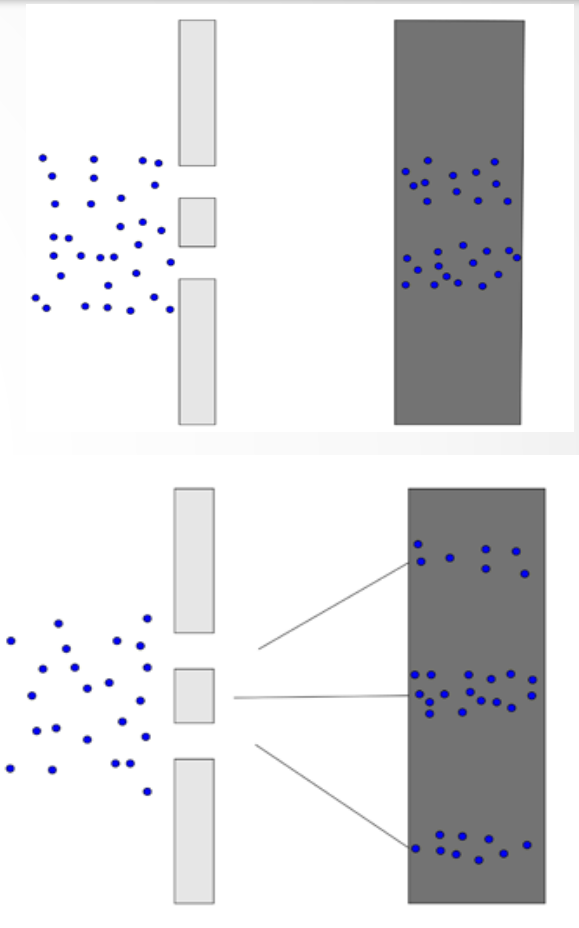
- **Jelöljük meg** a vásznon az egyes fotonok becsapódásának helyét
- Ha a mikroszkopikus világ úgy működne mint a szabad szemmel látható, akkor a vásznon a **felső ábrán** látható helyzet alakulna ki
- De ehhez képest a tapasztalat az **alsó ábrán** látható helyzetet mutatja



A fény kettős természete

Hogyan lehetséges ez?

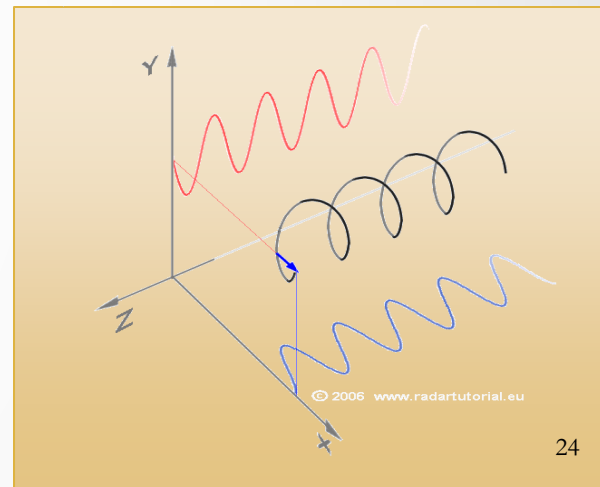
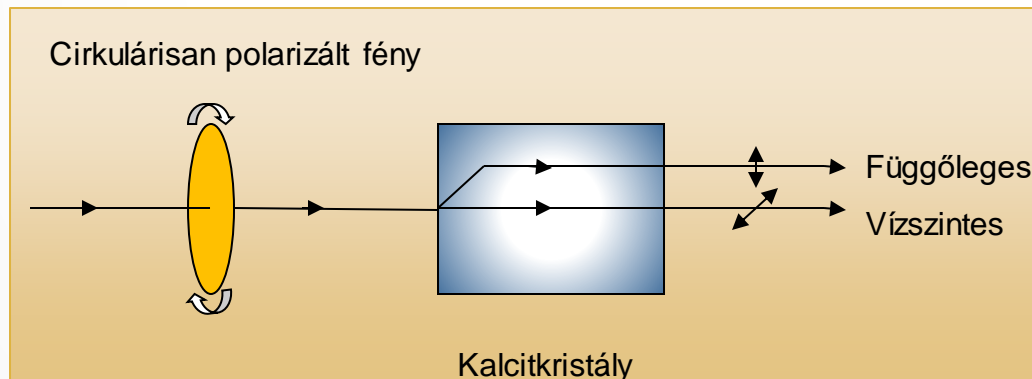
- Az egyik lehetséges magyarázat az, hogy a foton
 - mielőtt a résekhez érne **kettévál**ik
 - a réseken túl **interferál** saját magával
 - majd összeál eggyé újra és így éri el a vásznat
- Szerelhetünk **detektorokat** a résekhez, azért, hogy megnézzük melyik résen ment át a foton
- De ekkor minden **megváltozik**: a vásznon a kép a felső ábra szerint fog kinézni!



A fény kettős természete

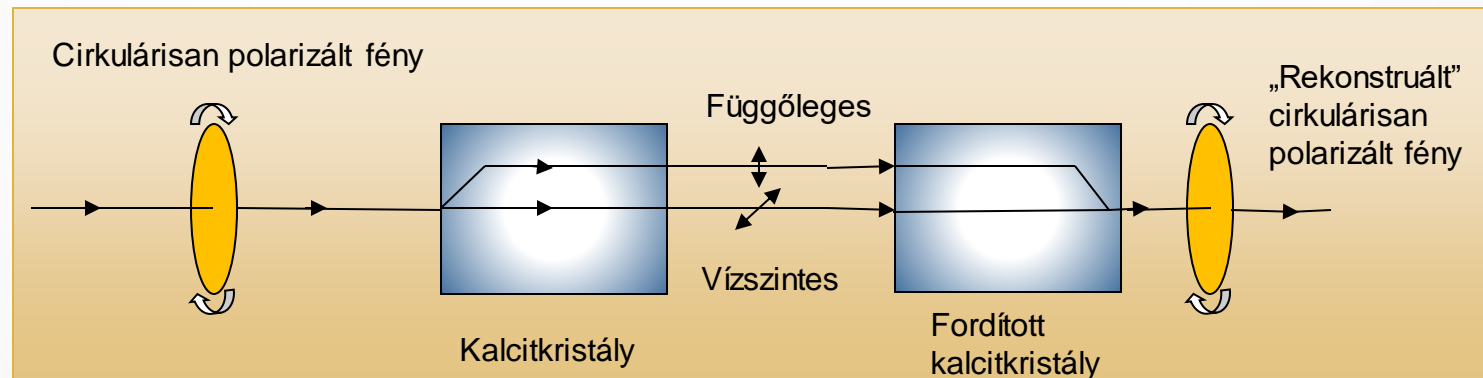
Egy másik kísérlet:

- Tekintsünk **egy cirkulárisan polarizált fényt** melyet egy kalcitkristályra irányítunk
- A fényt a kalcitkristály szétválasztja egy **vízszintesen** és egy **függőlegesen** polarizált összetevőre
- Csökkentsük a fény intenzitását úgy, hogy **egyszerre csak egy foton** menjen át a kristályon
- Ekkor a kilépő foton polarizációja egyforma valószínűséggel lesz horizontális vagy vertikális



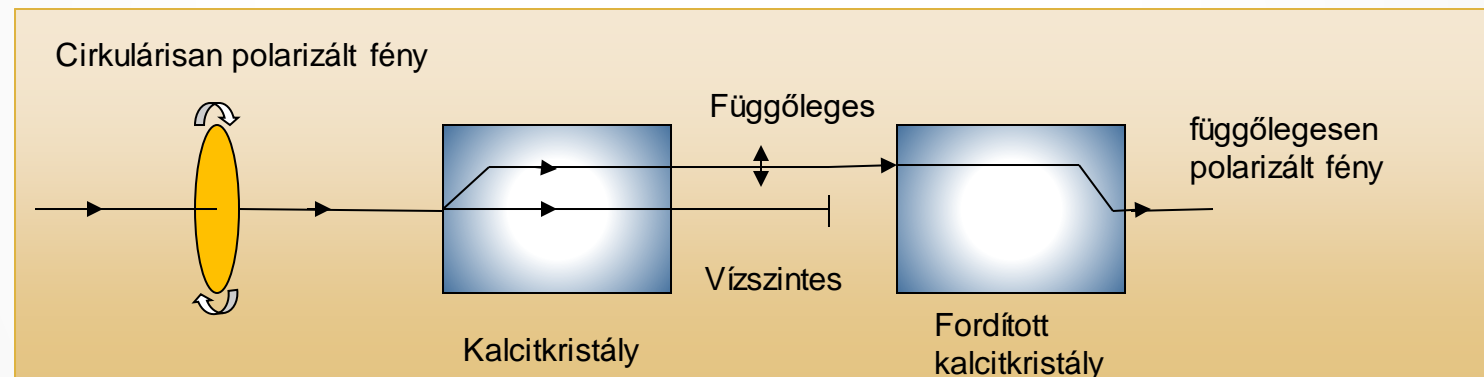
A fény kettős természete

- Ha a szétválasztott fény útjába **egy fordított irányú másik kristályt** rakunk, akkor visszkapjuk az eredeti polarizált fényt
- Mit kapunk ha **egyetlen fotont** küldünk át a kristályokon? Függőlegesen vagy vízszintesen polarizált fotont?
- **Egyiket sem**, hanem egy olyat aminek a polarizációja az eredetivel megegyezik
- A foton tehát – úgy mint az előző kísérletben – nem egyik vagy másik irányba ment, **hanem mindkettőbe egyszerre**



A fény kettős természete

- Ha most az első kristály kimenetében **elvágjuk a vízszintesen polarizált** fény útját, akkor a második kristály kimenetén **függőlegesen polarizált fényt** kapunk
- Tehát a rendszerbe történt beavatkozás most is azt eredményezi, hogy **megszűnik a foton hullám természete**



Az alagúteffektus

Alagúteffektusnak nevezzük azt a jelenséget, amikor az elektron képes keresztüljutni egy olyan elektromos mezőn, amire a saját energiája alapján nem lehetne képes

- A **klasszikus fizika** szerint az elektronnak vissza kellene pattannia az elektromos mezőről
- A **kvantumfizikában** az elektron hullámtermészete érvényesül és bizonyos valószínűséggel átjuthat az elektromos mezőn

A tranzisztorok **méretének csökkentésével** eljutottunk odáig, hogy a tranzisztorokban akkor is felléphet áram vezetés amikor nem szabadna

