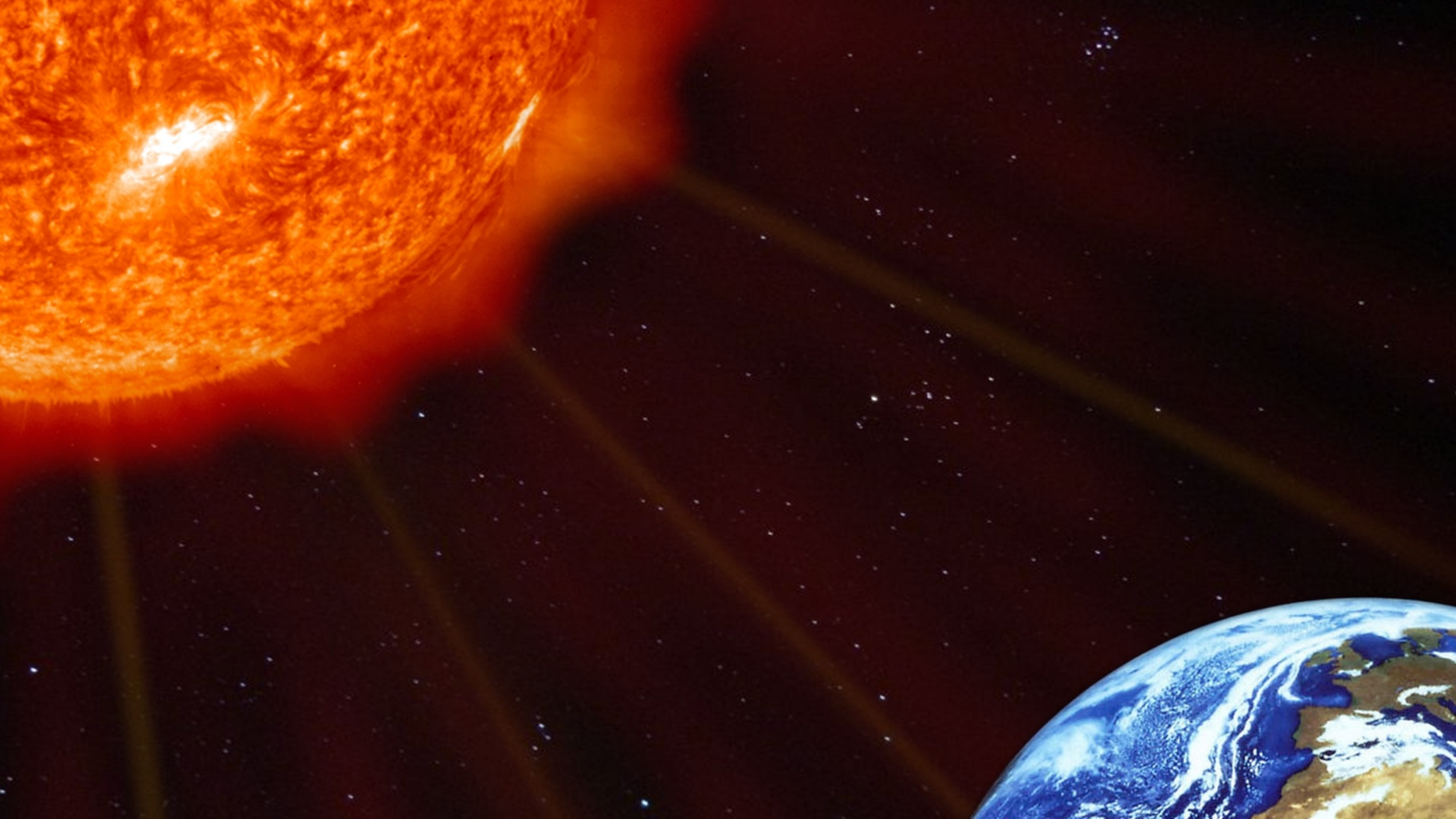




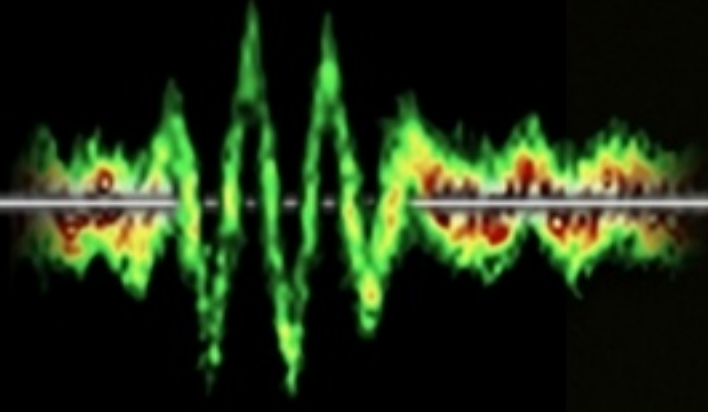
Ferenc Krausz - MPQ - Elektronok mozgásban: pillantás a jövőbe



Foto: Thorsten Naeser | Musik: Kövi Szabolcs – Felhőjáró



A fény az mozgás



INTER
YEAR
2015



LMU

www.attoworld.de

1901	1914	1924	1962	1978	2002
1902	1915	1930	1964	1981	2005
1903	1917	1936	1965	1985	2006
1907	1918	1946	1966	1988	2008
1908	1919	1953	1967	1997	2009
1909	1921	1958	1971	1999	2014
1911	1923	1961	1974	2000	

43 fényjel és annak alkalmazásával kapcsolatos Nobel-díj

A fényen át a Nobel-díjig: a **Max Planck Társaság** kutatói



Manfred Eigen
1967
Kémia



Robert Huber



Hartmut Michel
1988
Kémia



Johann Deisenhofer



Theodor W. Hänsch
2005
Fizika



Stefan W. Hell
2014
Kémia

Kémiai Nobel-díj 2014-ben



Stefan W. Hell

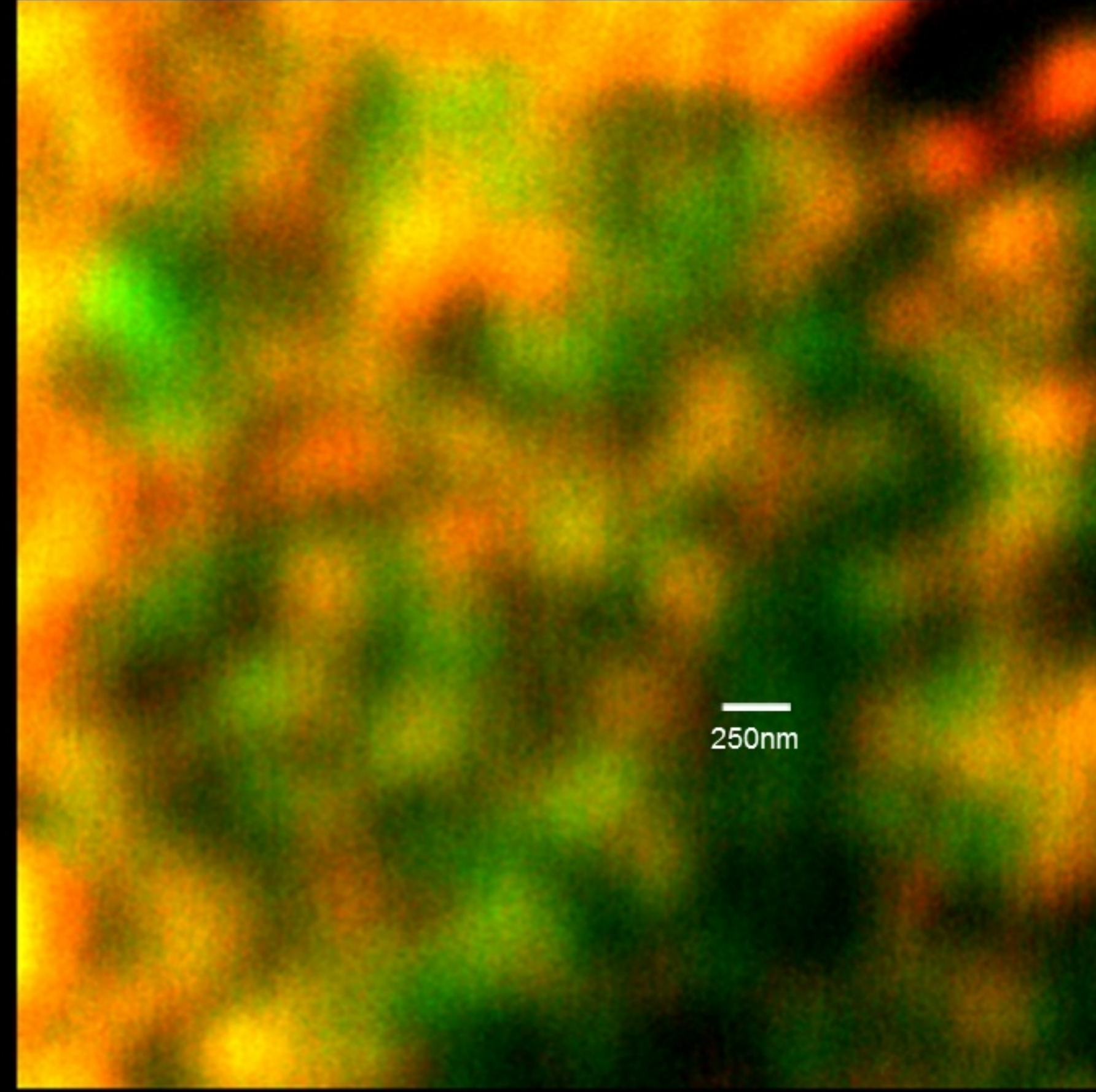


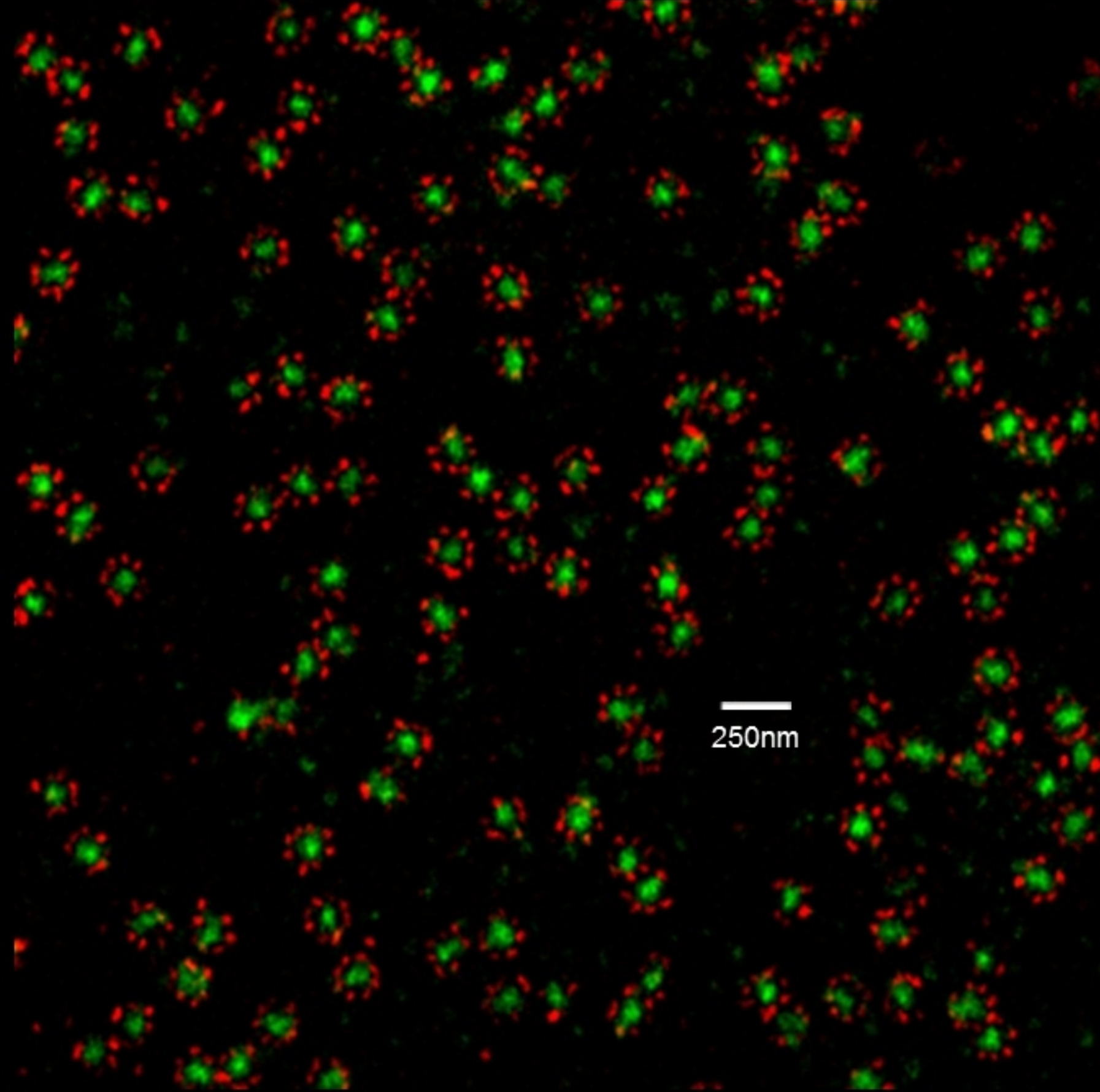
Eric Betzig

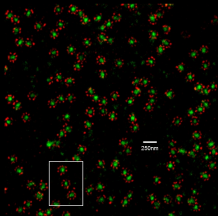


William E. Moerner

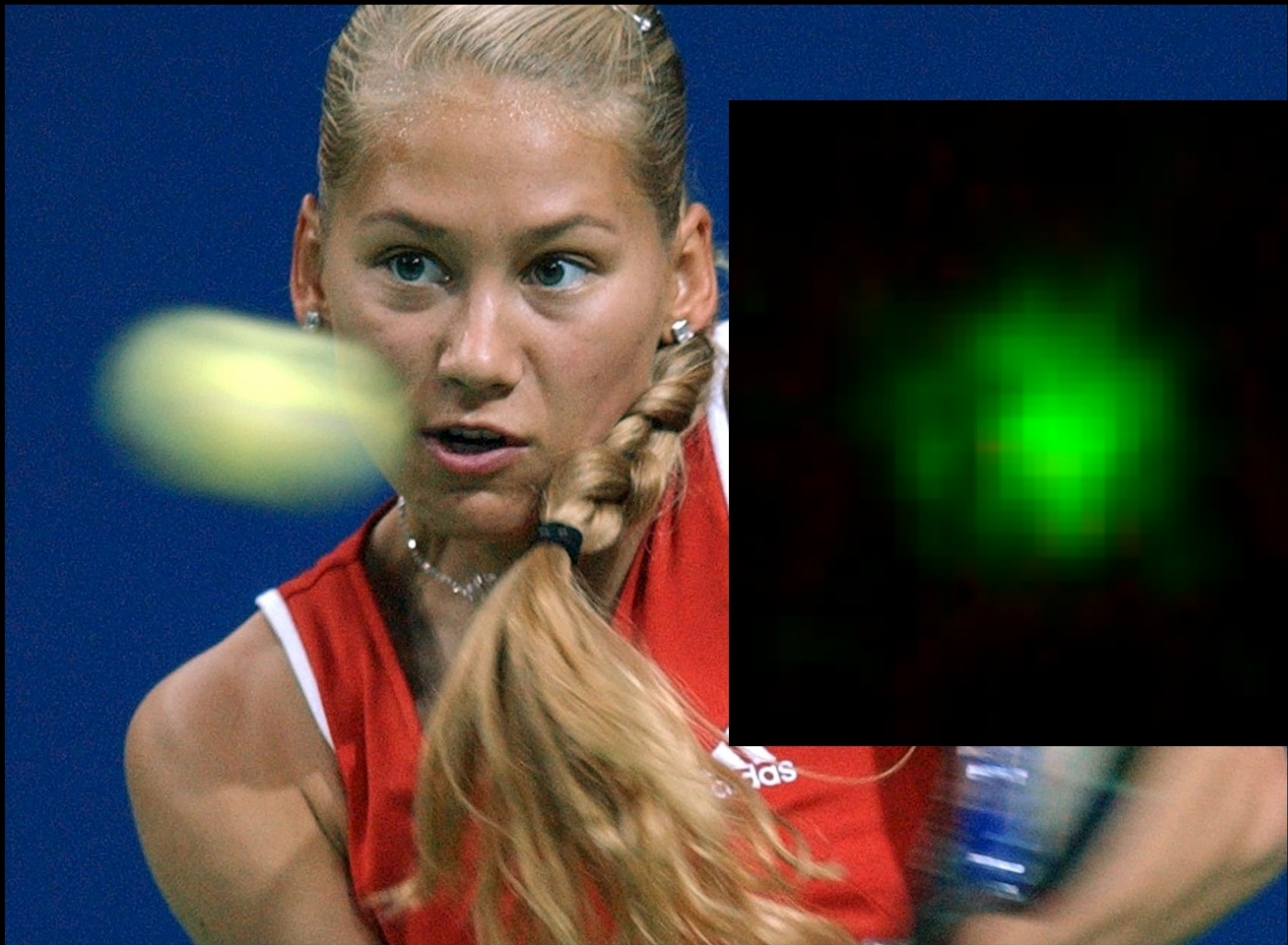
a szuperrezolúciós fluoreszcens mikroszkópia
kifejlesztéséért













elektronok mozgásban: pillantás a jövőbe



Ferenc Krausz

krausz@lmu.de

Max Planck Kvantumoptikai Intézet, Garching
Ludwig-Maximilian Egyetem München



Max-Planck-Institut für
Quantenoptik (MPQ)

Ludwig-Maximilians-Universität
(LMU)



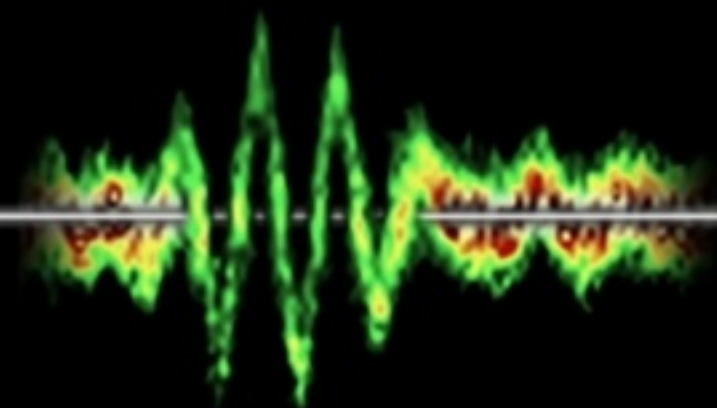


grafika és animáció:
Mandy Singh, Dennis Luck and
Woogieworks Animation Studio



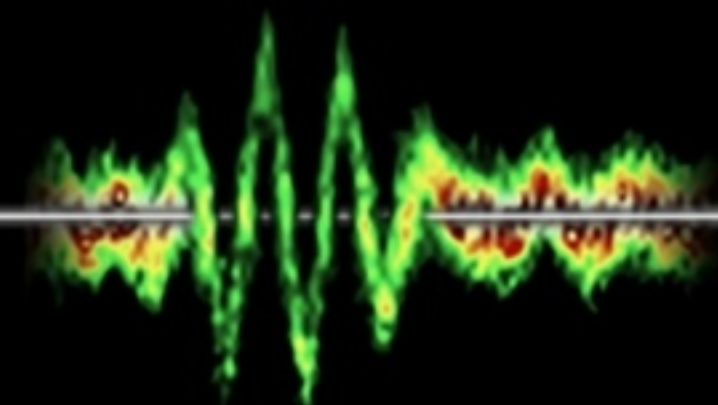
Az elektronok mozgása atomi szinten jellemzően a következő
karakterisztikus időtartományban zajlik:
100 attoszekundum = 10^{-16} szekundum

Mennyire rövid egy attoszekundum?



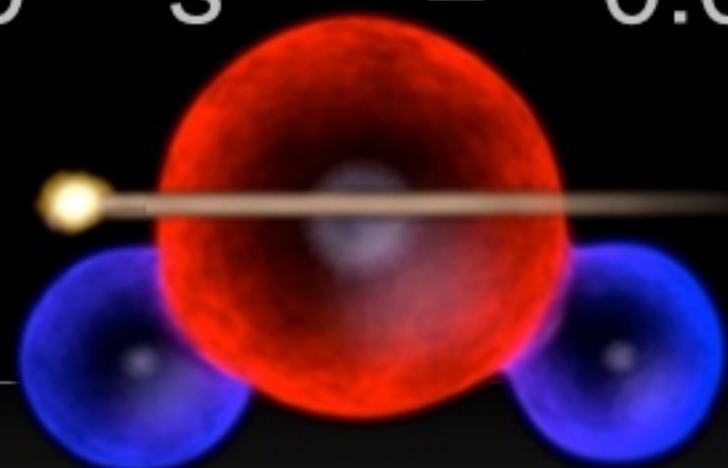
1 second (s)	=	10^0 s	=	1s
1 millisecond (ms)	=	10^{-3} s	=	0.001s
1 microsecond (μs)	=	10^{-6} s	=	0.000 001s
1 nanosecond (ns)	=	10^{-9} s	=	0.000 000 001s
1 picosecond (ps)	=	10^{-12} s	=	0.000 000 000 001s
1 femtosecond (fs)	=	10^{-15} s	=	0.000 000 000 000 001s
1 attosecond (as)	=	10^{-18} s	=	0.000 000 000 000 000 001s

Mennyire rövid egy attoszekundum?

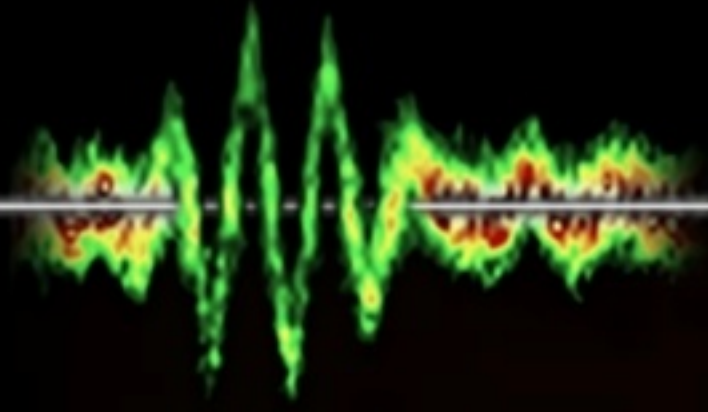


1 second (s)	=	10^0 s	=	1s
1 millisecond (ms)	=	10^{-3} s	=	0.001s
1 microsecond (μ s)	=	10^{-6} s	=	0.000 001s
1 nanosecond (ns)	=	10^{-9} s	=	0.000 000 001s
1 picosecond (ps)	=	10^{-12} s	=	0.000 000 000 001s
1 femtosecond (fs)	=	10^{-15} s	=	0.000 000 000 000 001s
1 attosecond (as)	=	10^{-18} s	=	0.000 000 000 000 000 001s

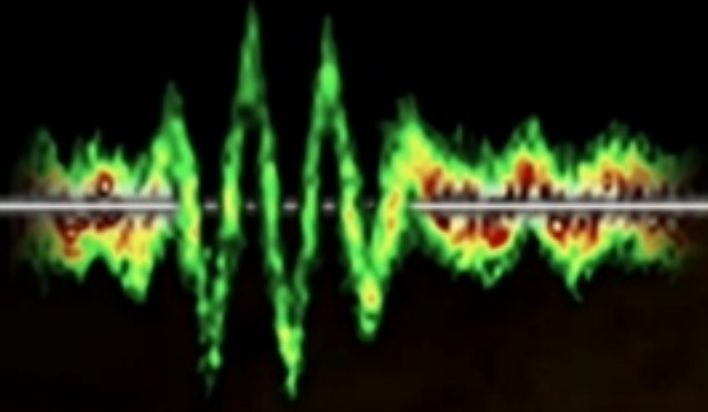
$$\frac{1 \text{ attosecond}}{1 \text{ second}} = \frac{\text{A vízmolekula mérete}}{\text{Föld-Hold távolság}}$$



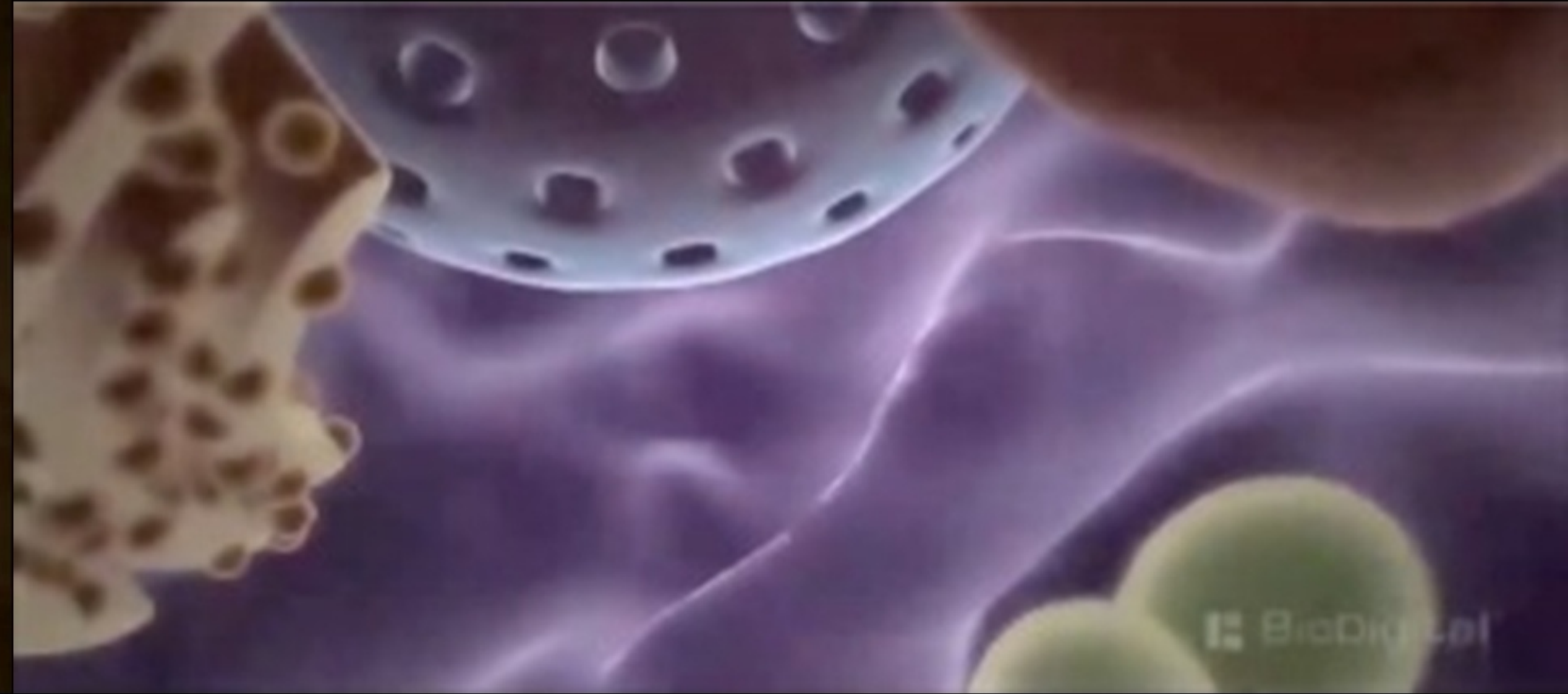
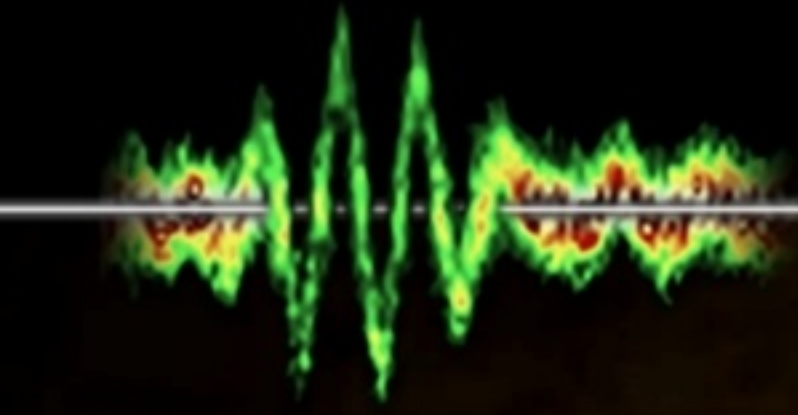
Miért akarunk betekintést nyerni az
elektronok mozgásába?



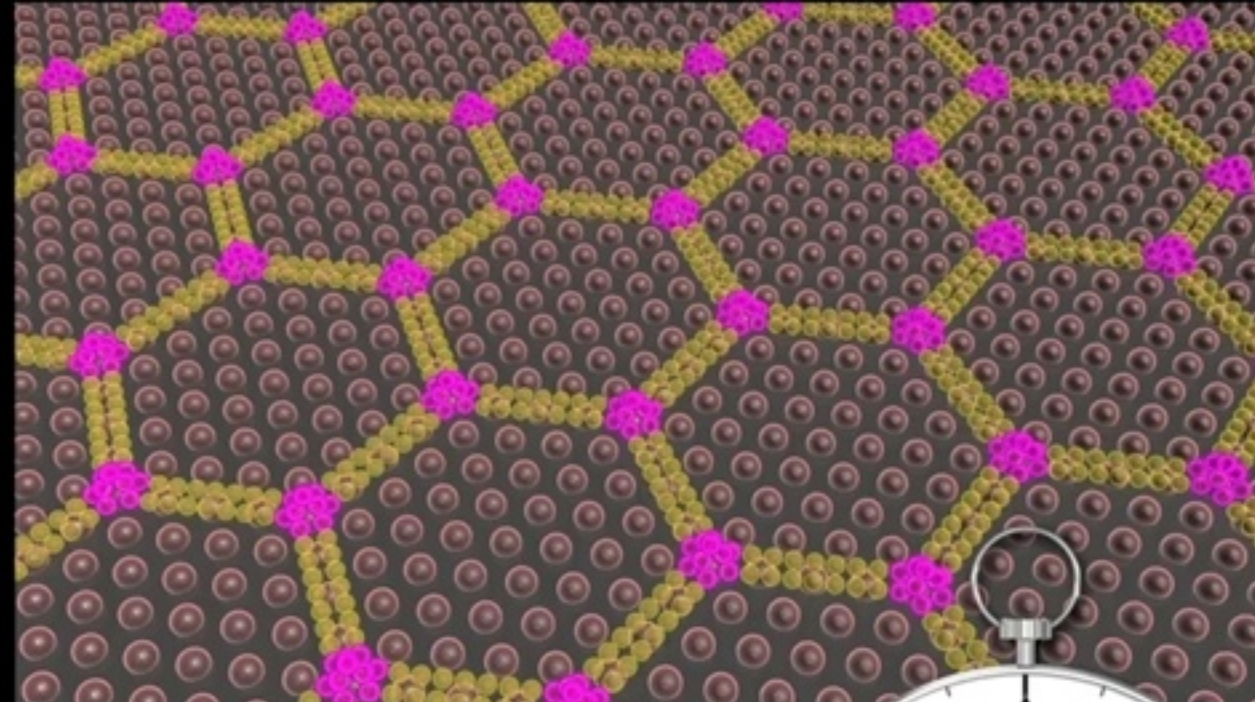
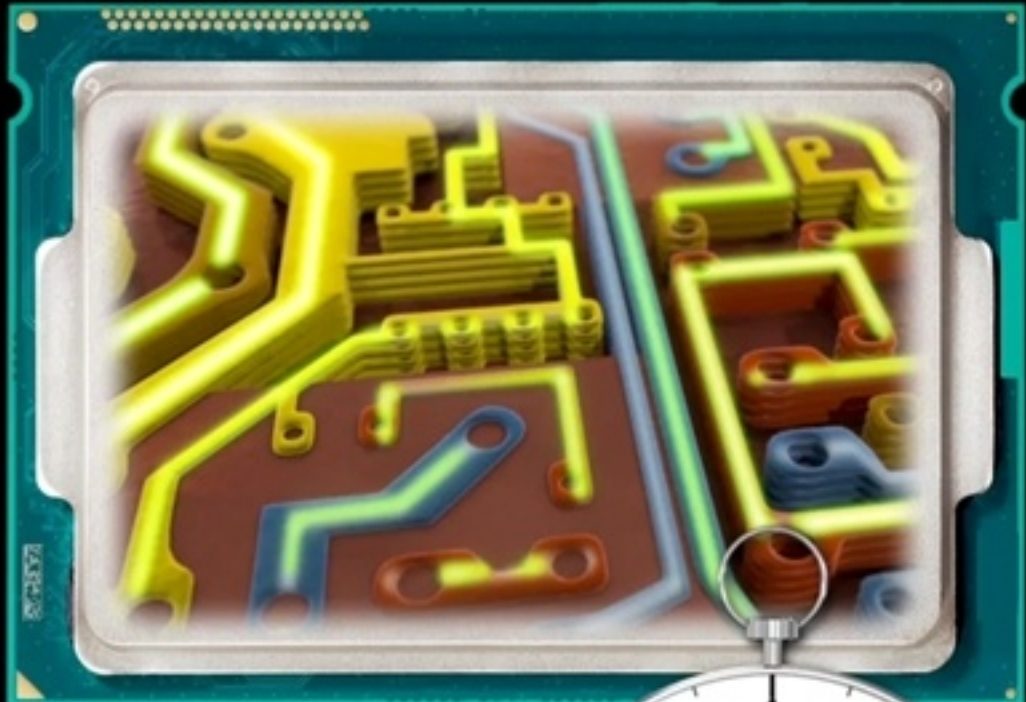
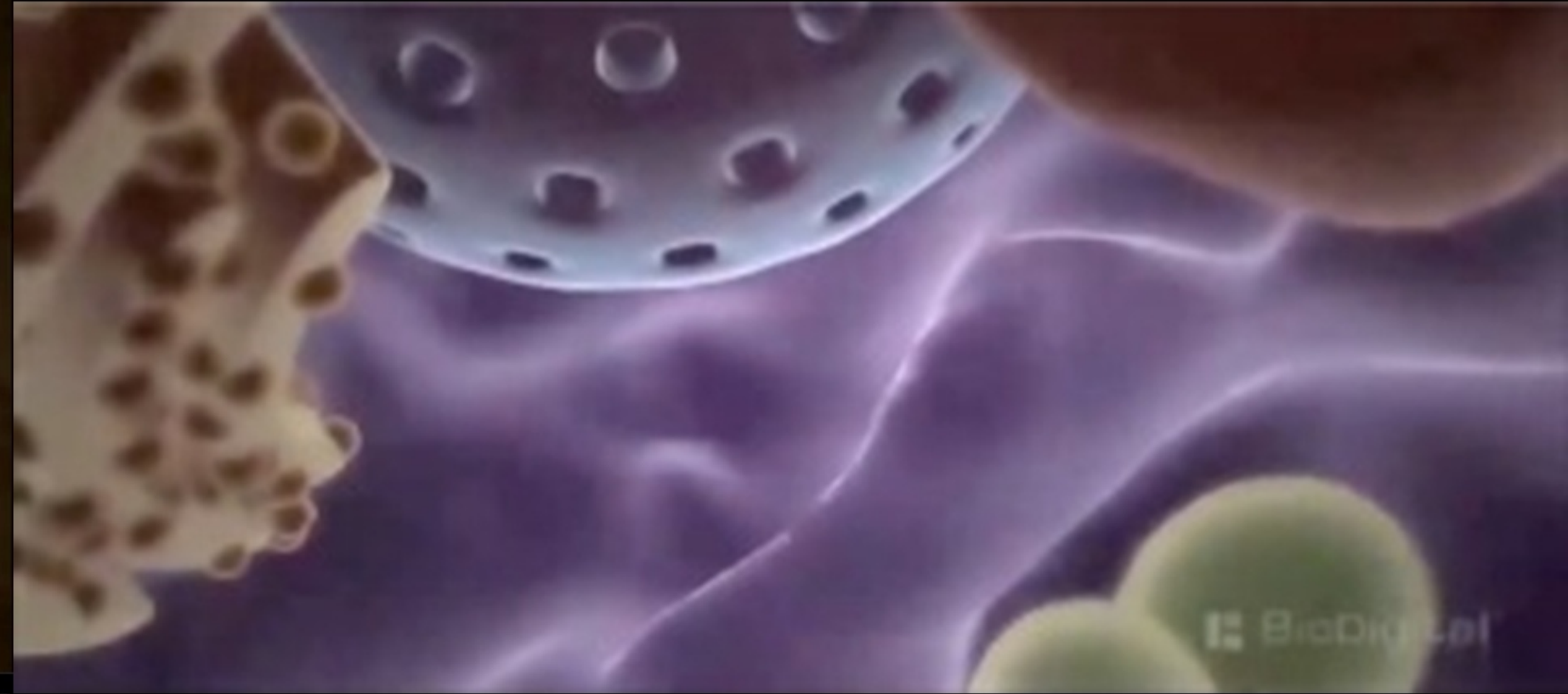
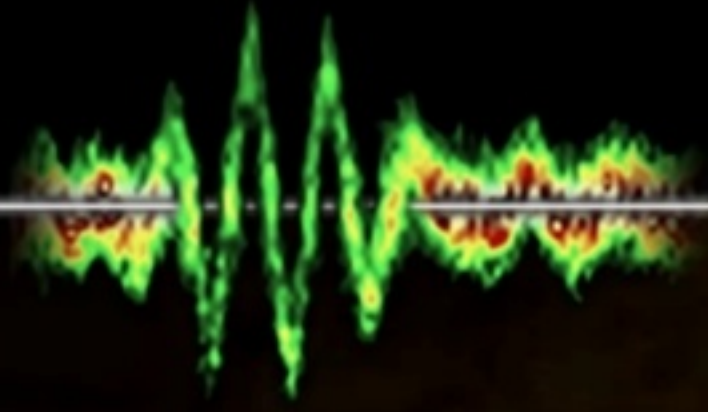
elektronok mozgásban – létfontosságú



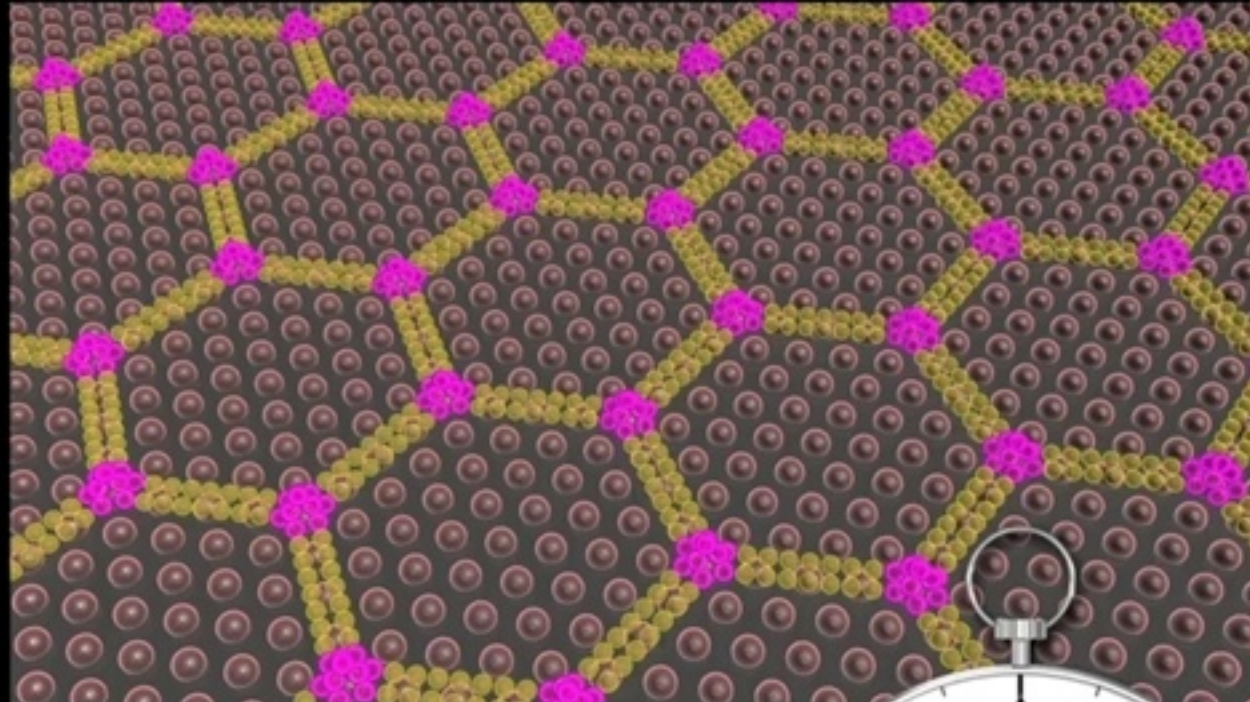
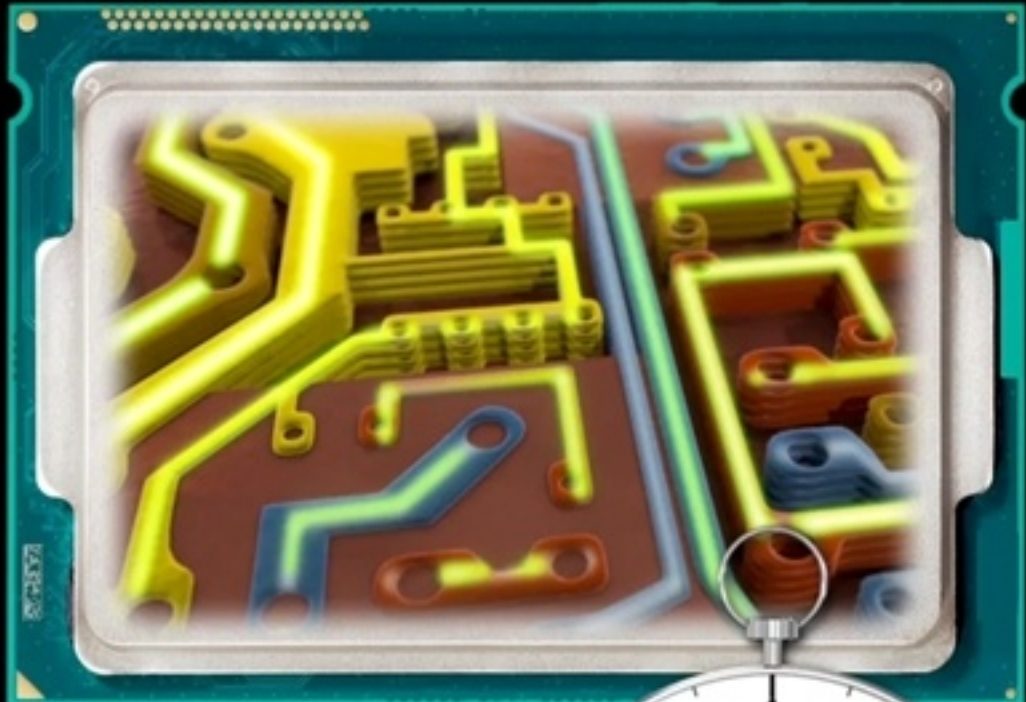
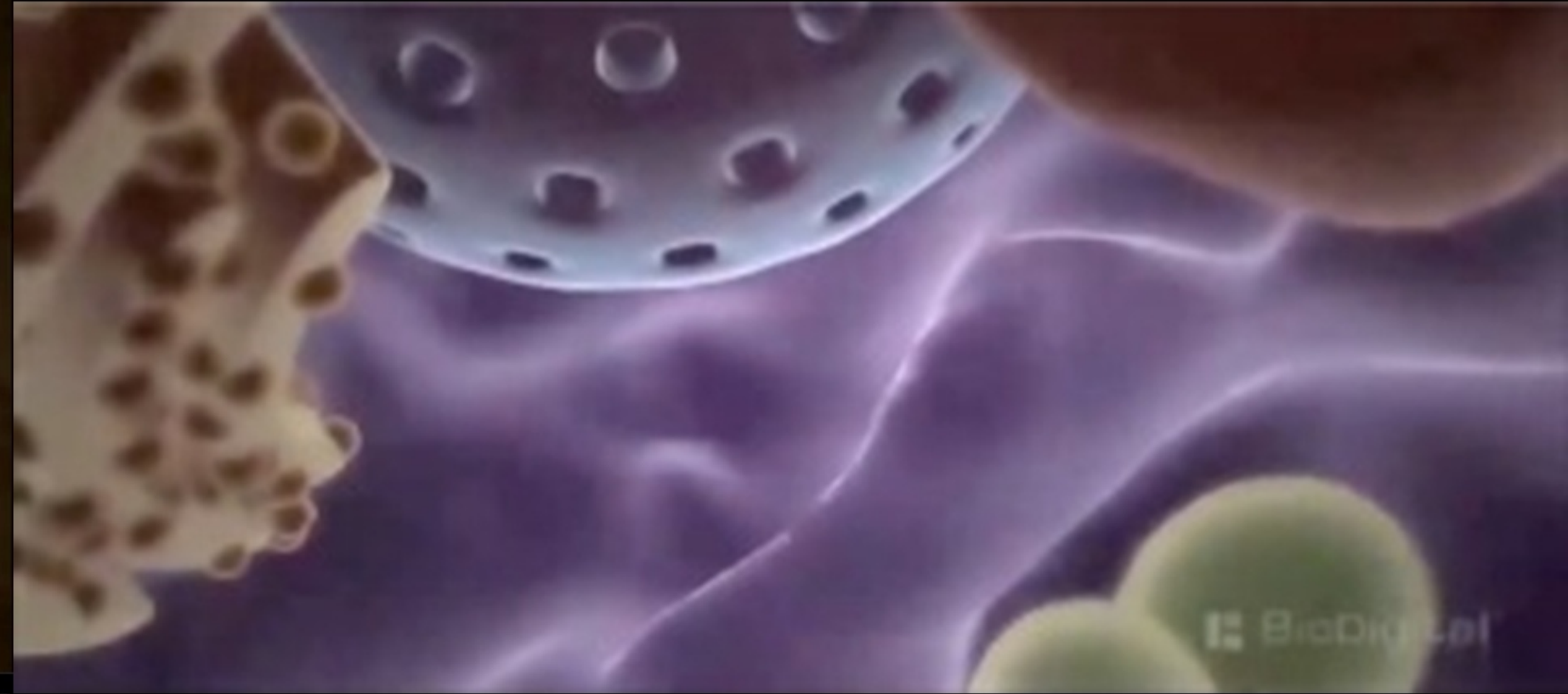
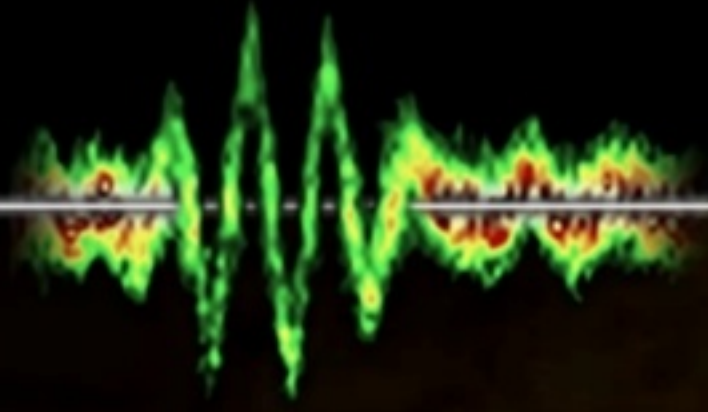
elektronok mozgásban – létfontosságú, életveszélyes



elektronok mozgásban – létfontosságú, életveszélyes, információfeldolgozók



elektronok mozgásban – létfontosságú, életveszélyes, információfeldolgozók



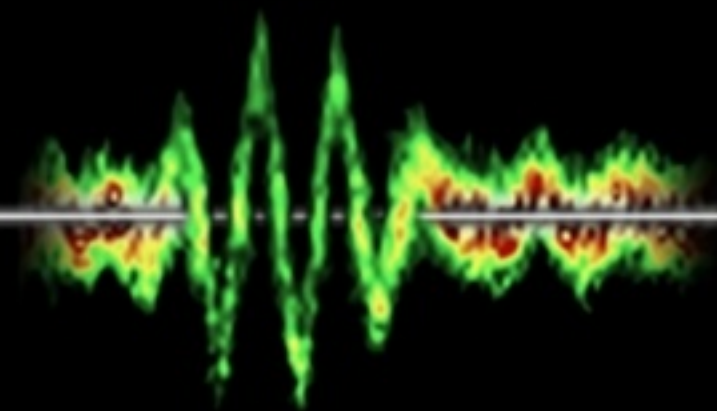
az atomi szintű elektronmozgásokhoz
való közvetlen hozzáférés az élethez
szükséges biológiai molekulák
működésébe ígér betekintést a legelemibb
szinteken, és hozzásegít a modern
elektronika végső, fény frekvenciájú
sebességhatárainak eléréséhez

Az elektronok jellemzően **tíz és több száz attoszekundum** között változtatják meg kvantumállapotukat (mozognak)

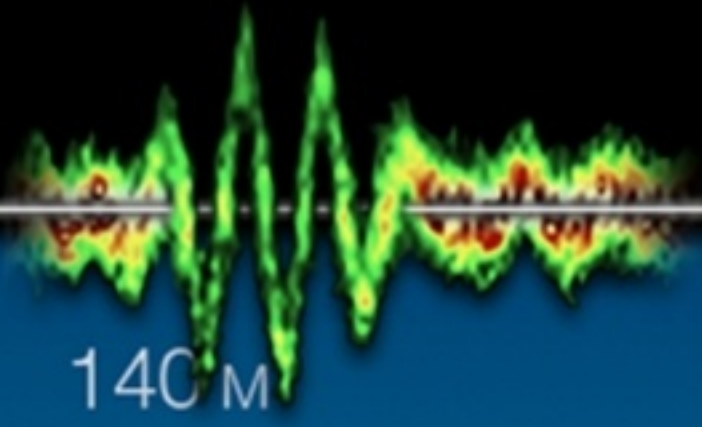
Az elektronok jellemzően **tíz és több száz attoszekundum** között változtatják meg kvantumállapotukat (mozognak)

Ennek közvetlen megfigyeléséhez
 $10\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{16}$ „időbeli nagyítás” szükséges

betekintés: térben és időben



betekintés: térben és időben



120 M

100 M

80 M

60 M

40 M

20 M



European Extreme Large Telescope

angular resolution 10^{-8} rad

betekintés: térben és időben

scale: millimeter



magnification in space

x 100 000 000 | 10^8

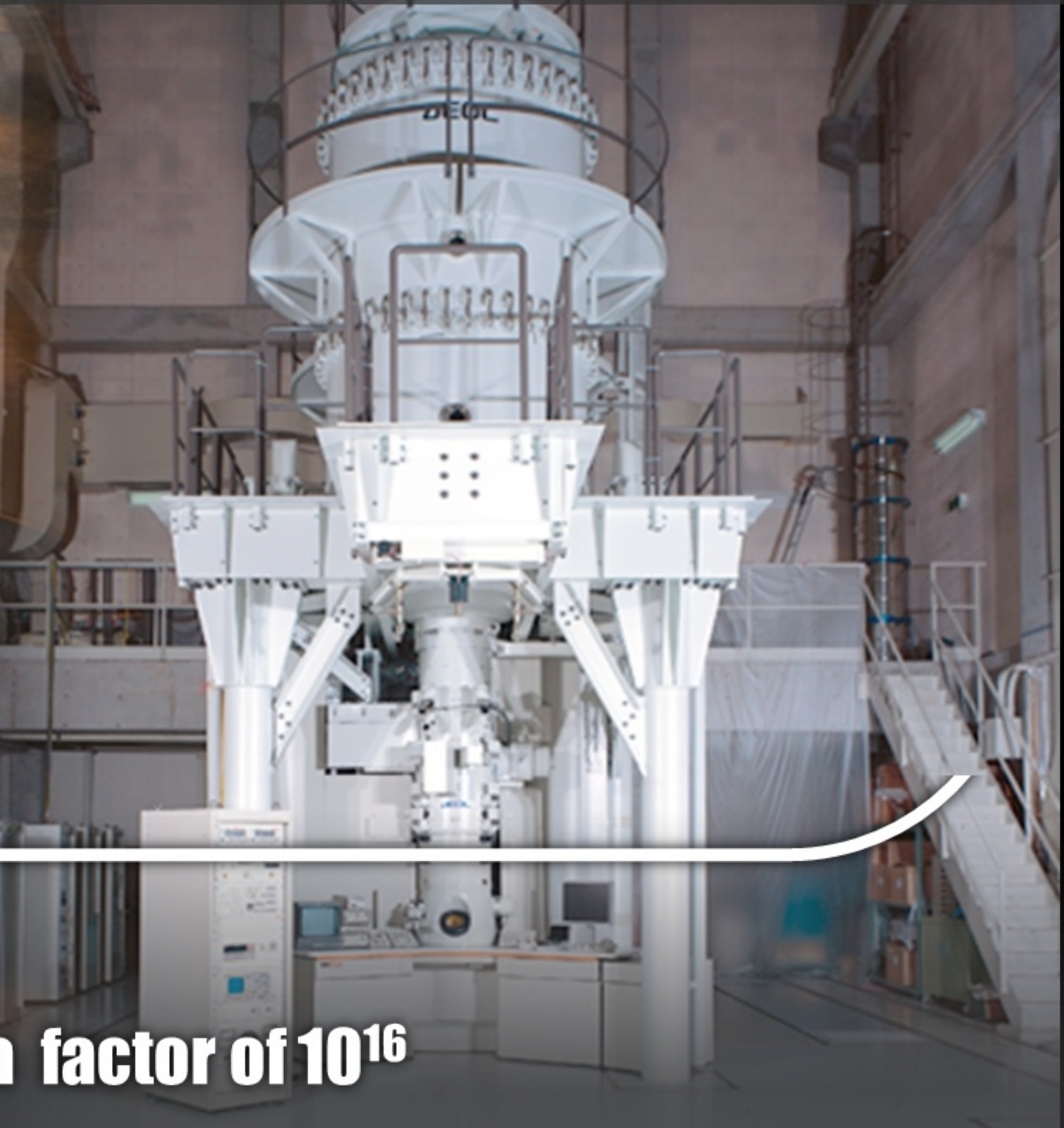
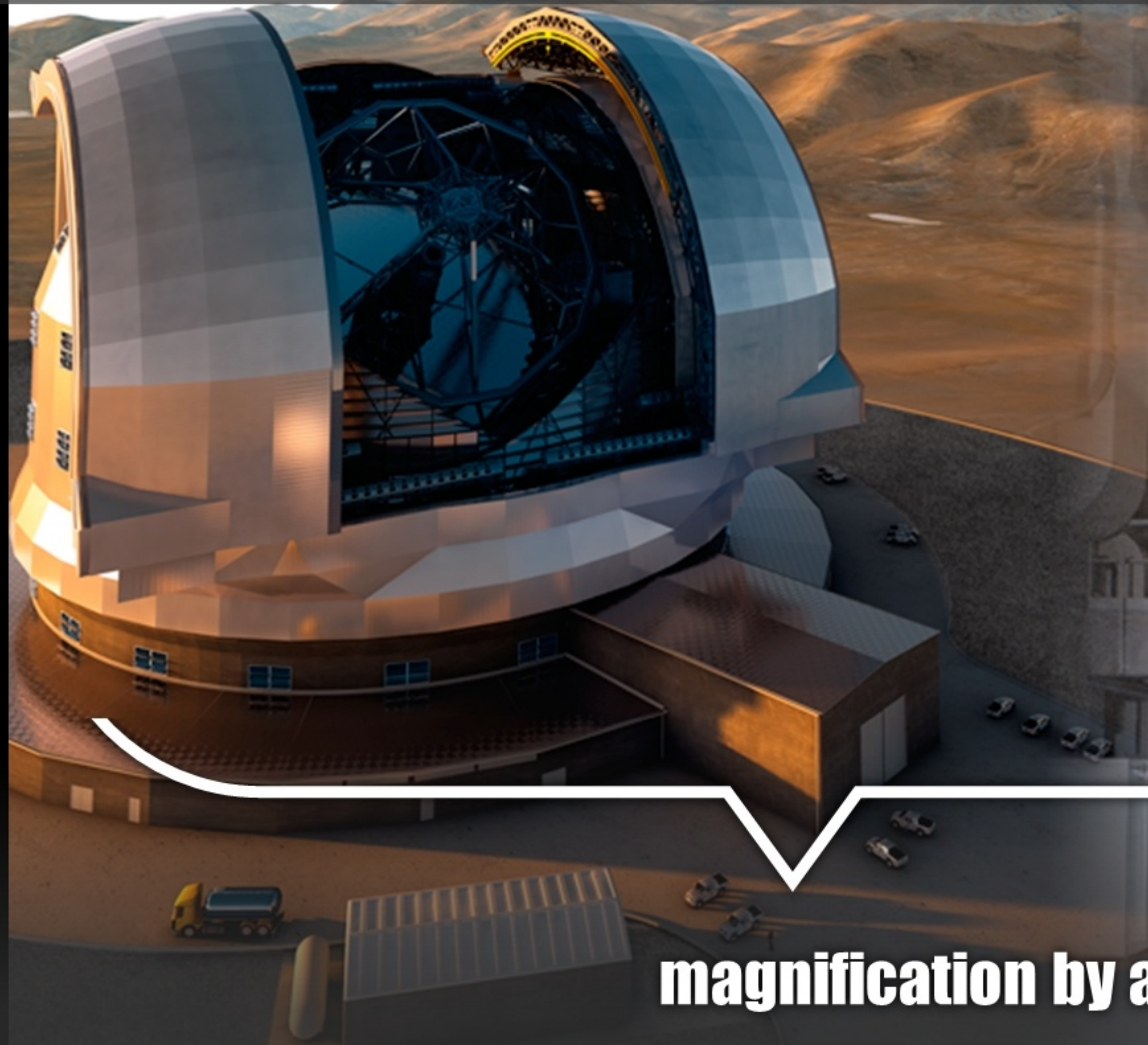
betekintés: térben és időben

European extreme large telescope

angular resolution 10^{-8} rad

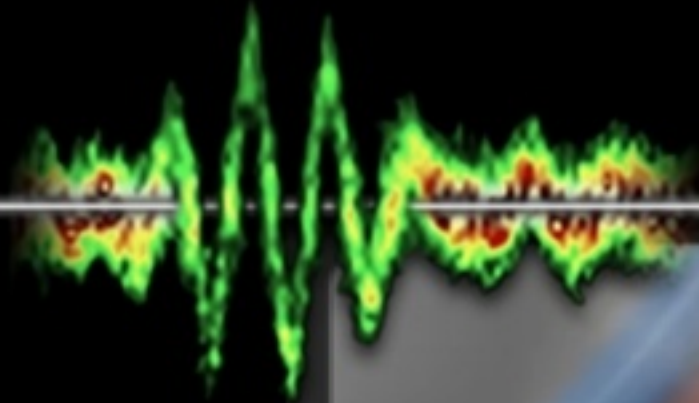
high-performance electron microscope

spacial resolution 10^{-8} cm

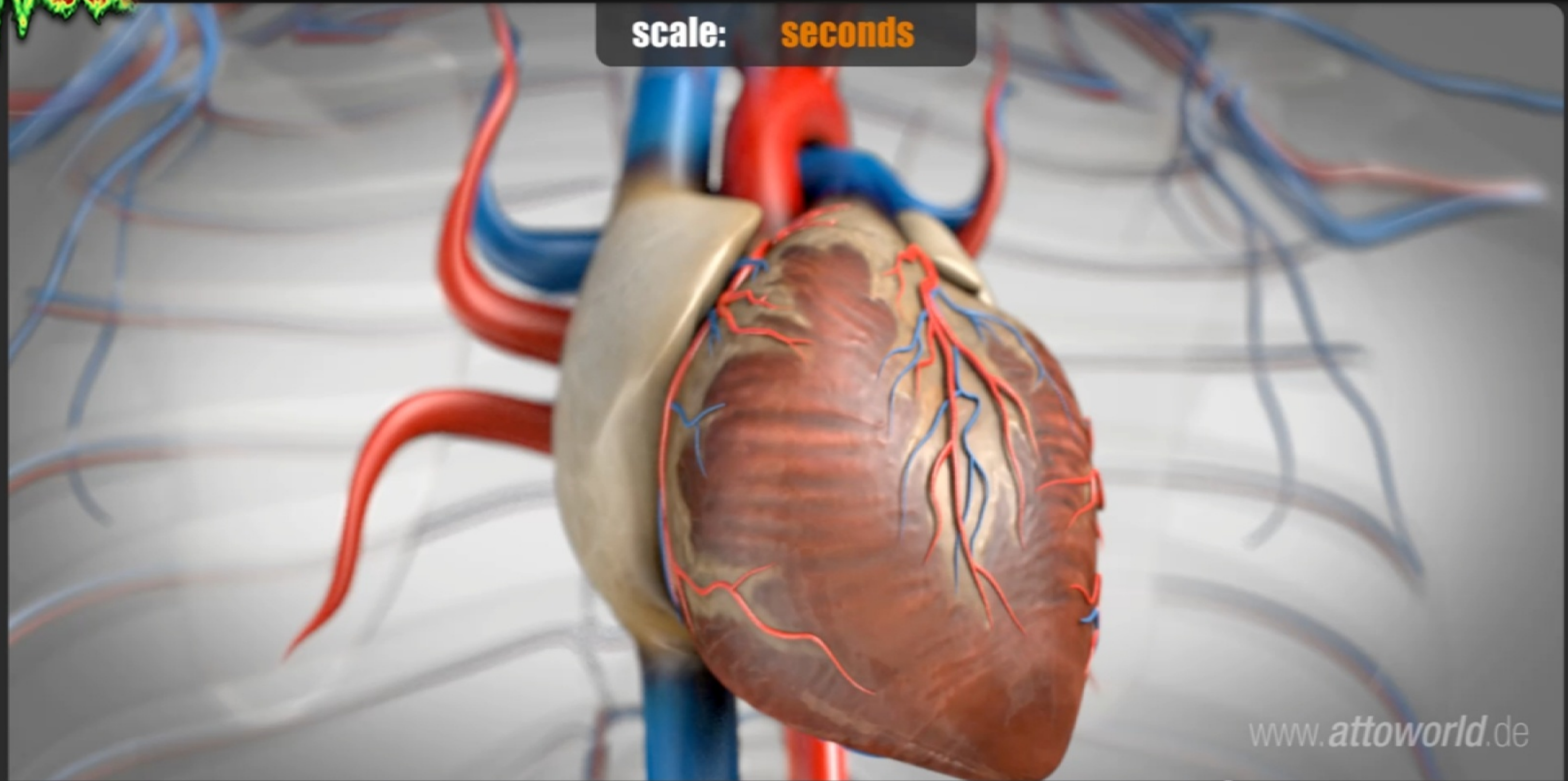


magnification by a factor of 10^{16}

betekintés: térben és időben



scale: **seconds**



www.attoworld.de

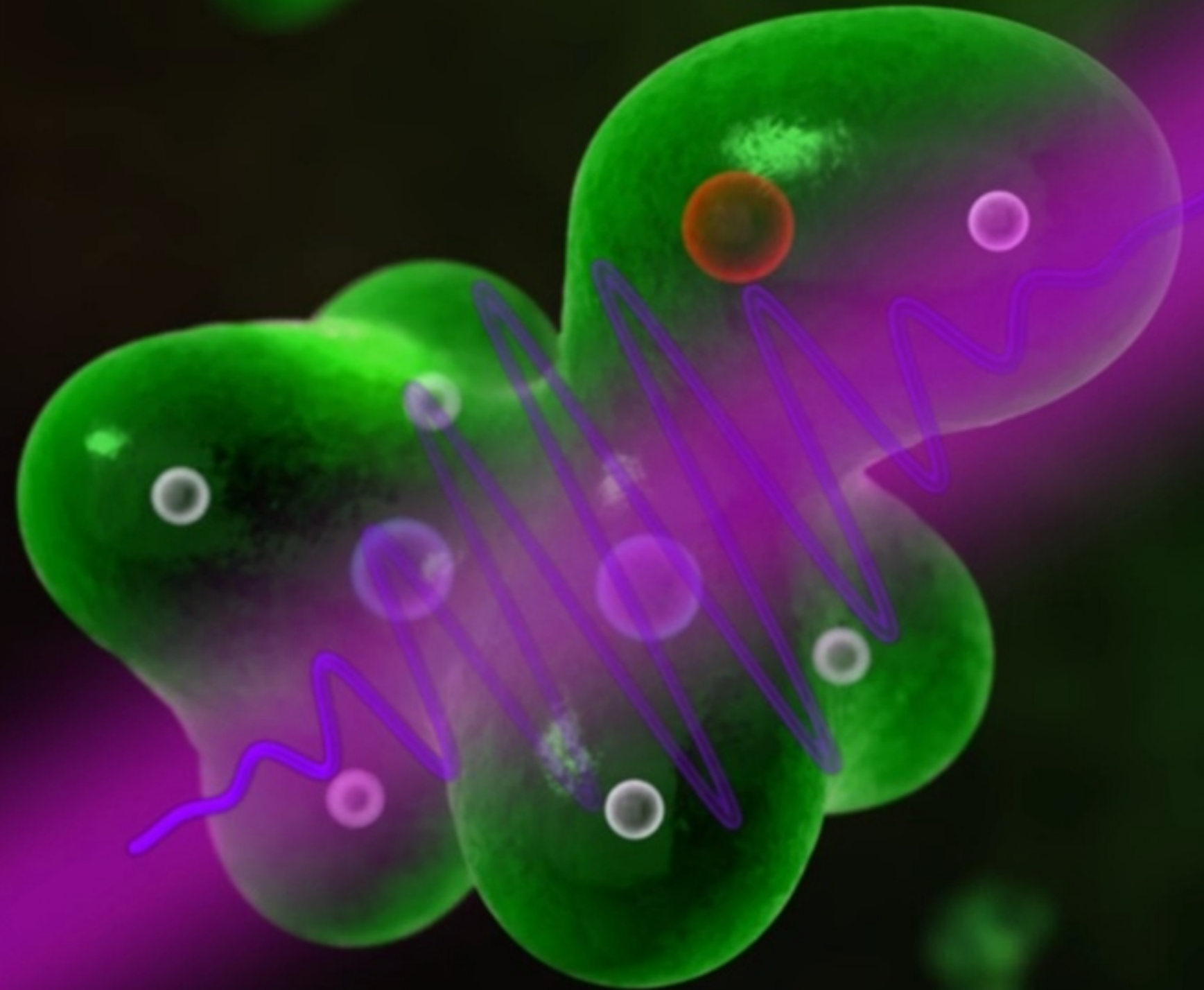
magnification in time

x 1

10⁰

nagyítás – térben és időben

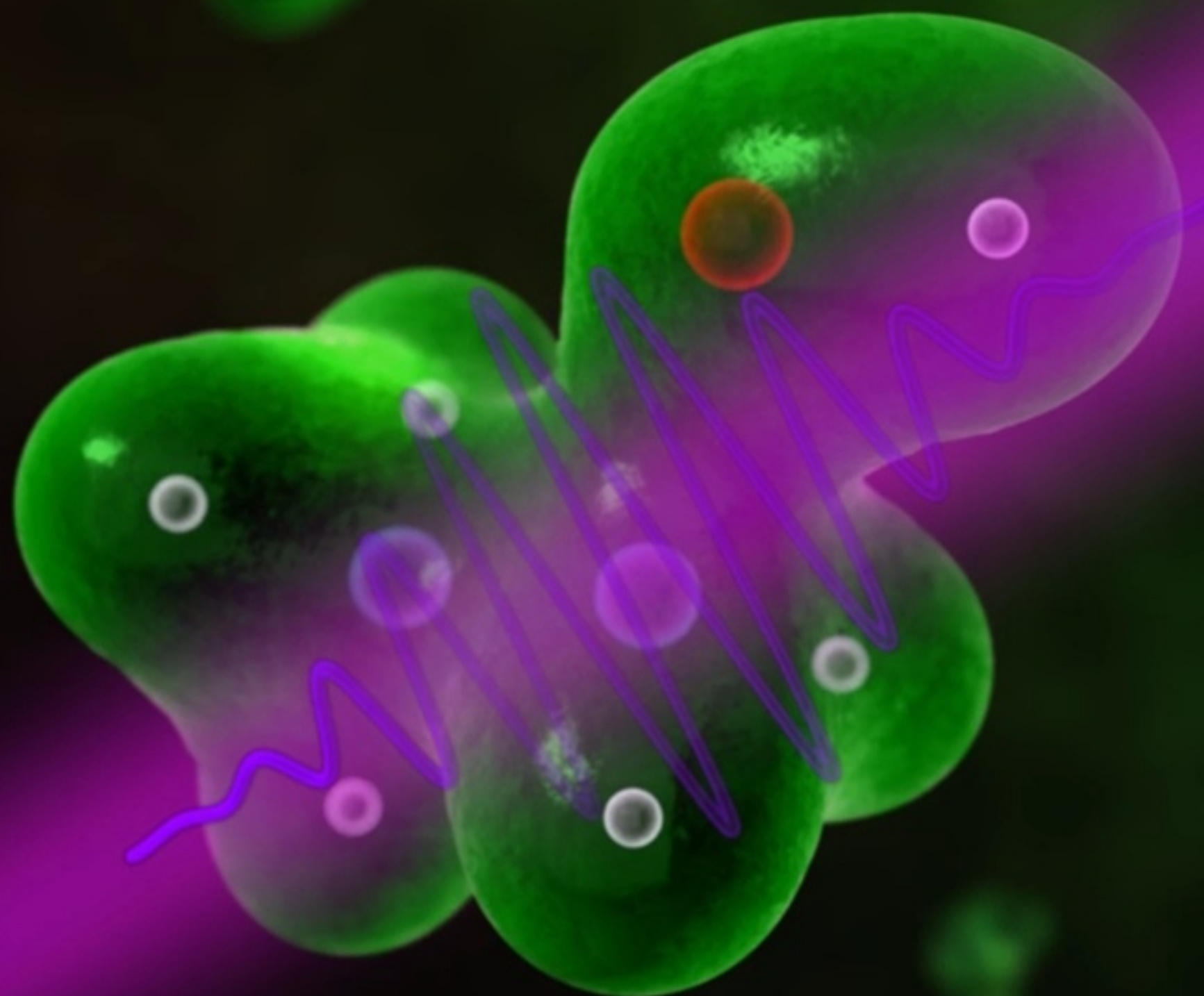
az elektronok atomi szintű
mozgásának emberek általi
megfigyeléséhez $\sim 10^{16}$ -szoros
időbeli nagyítás szükséges



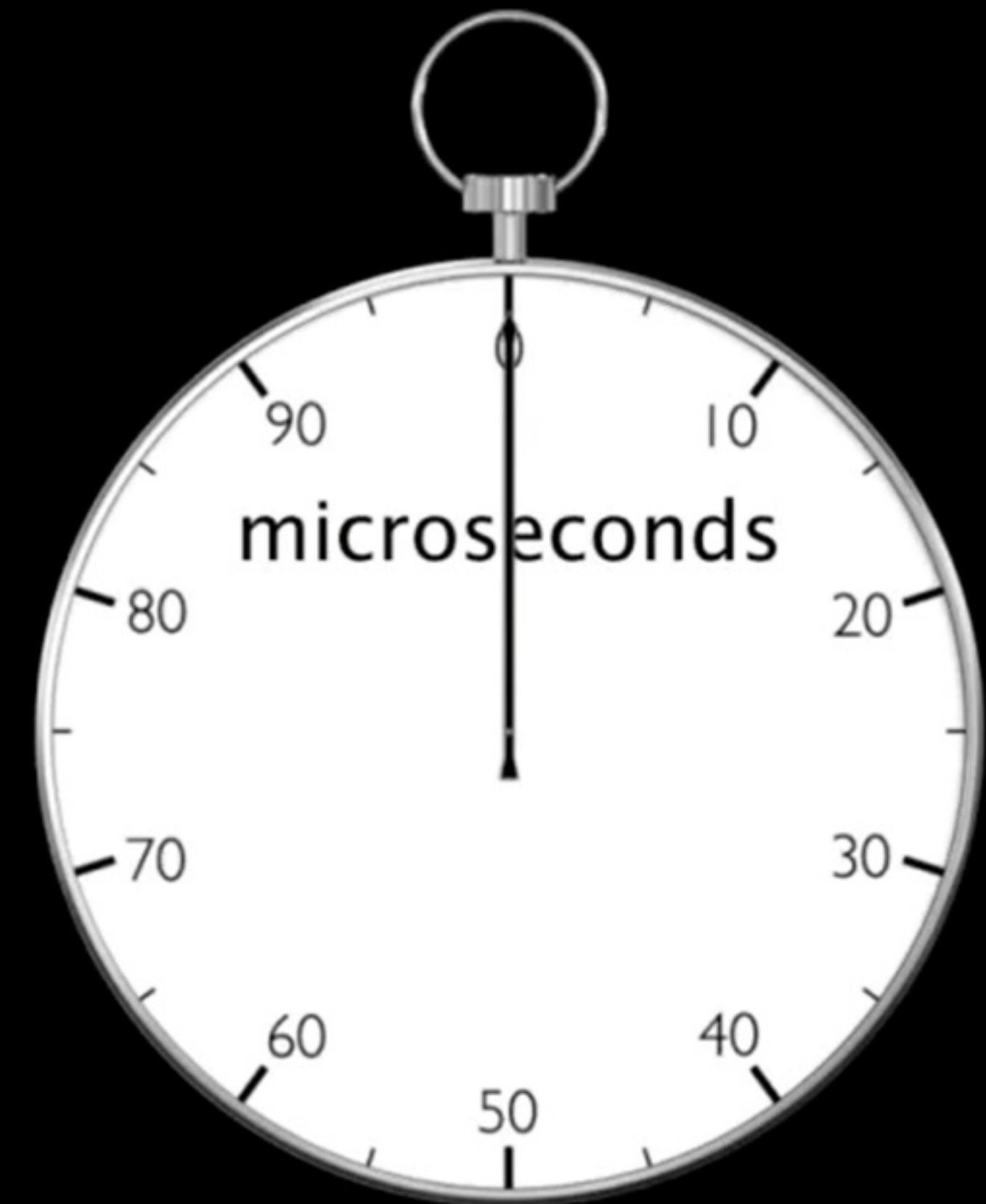
nagyítás – térben és időben

az elektronok atomi szintű
mozgásának emberek általi
megfigyeléséhez $\sim 10^{16}$ -szoros
időbeli nagyítás szükséges

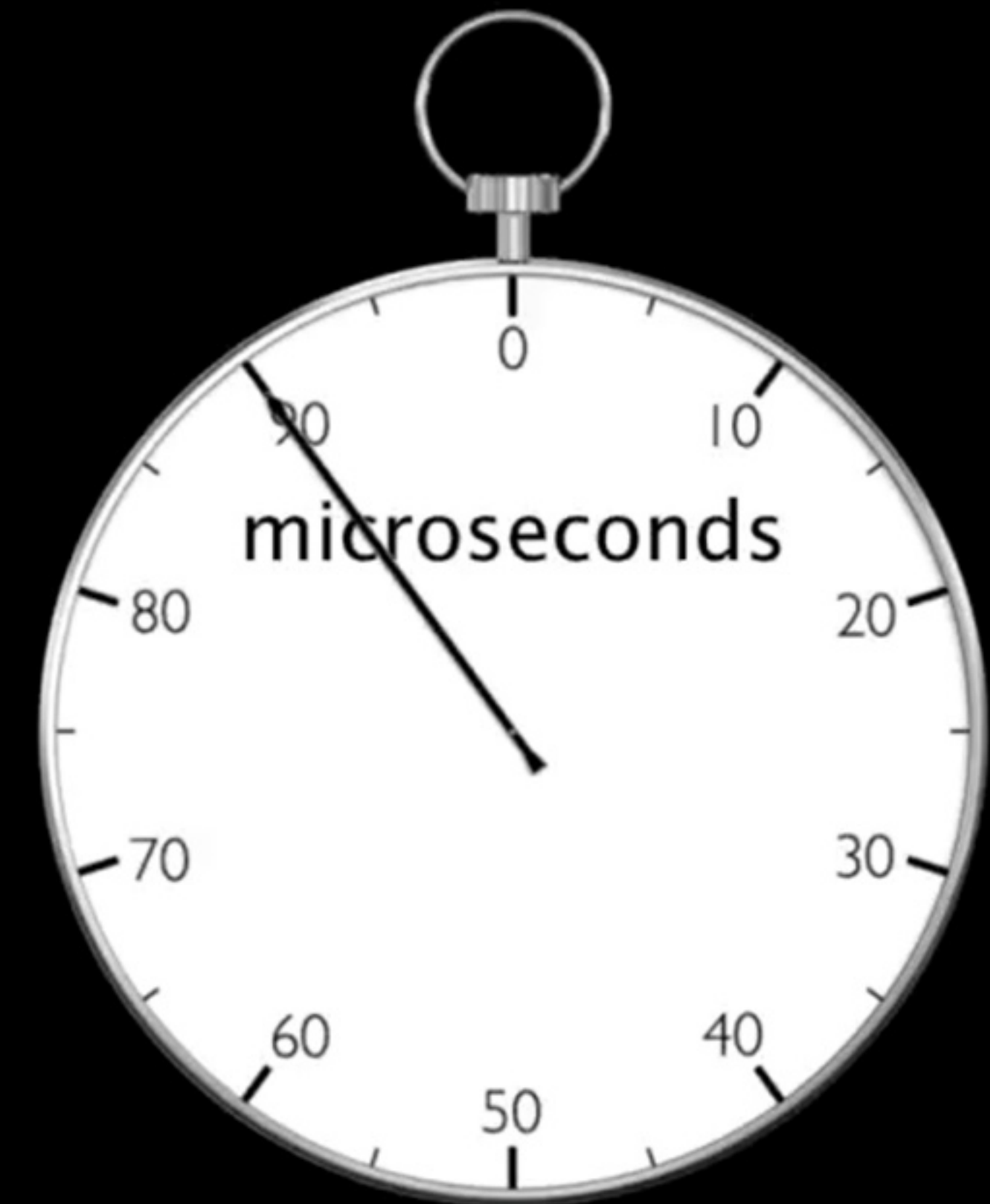
s számunkra ezt az attoszekundumos
technológia tudja biztosítani



A gyors mozgásokat **rövid expozíciós idővel** készült
képekkel tudjuk megörökíteni ...

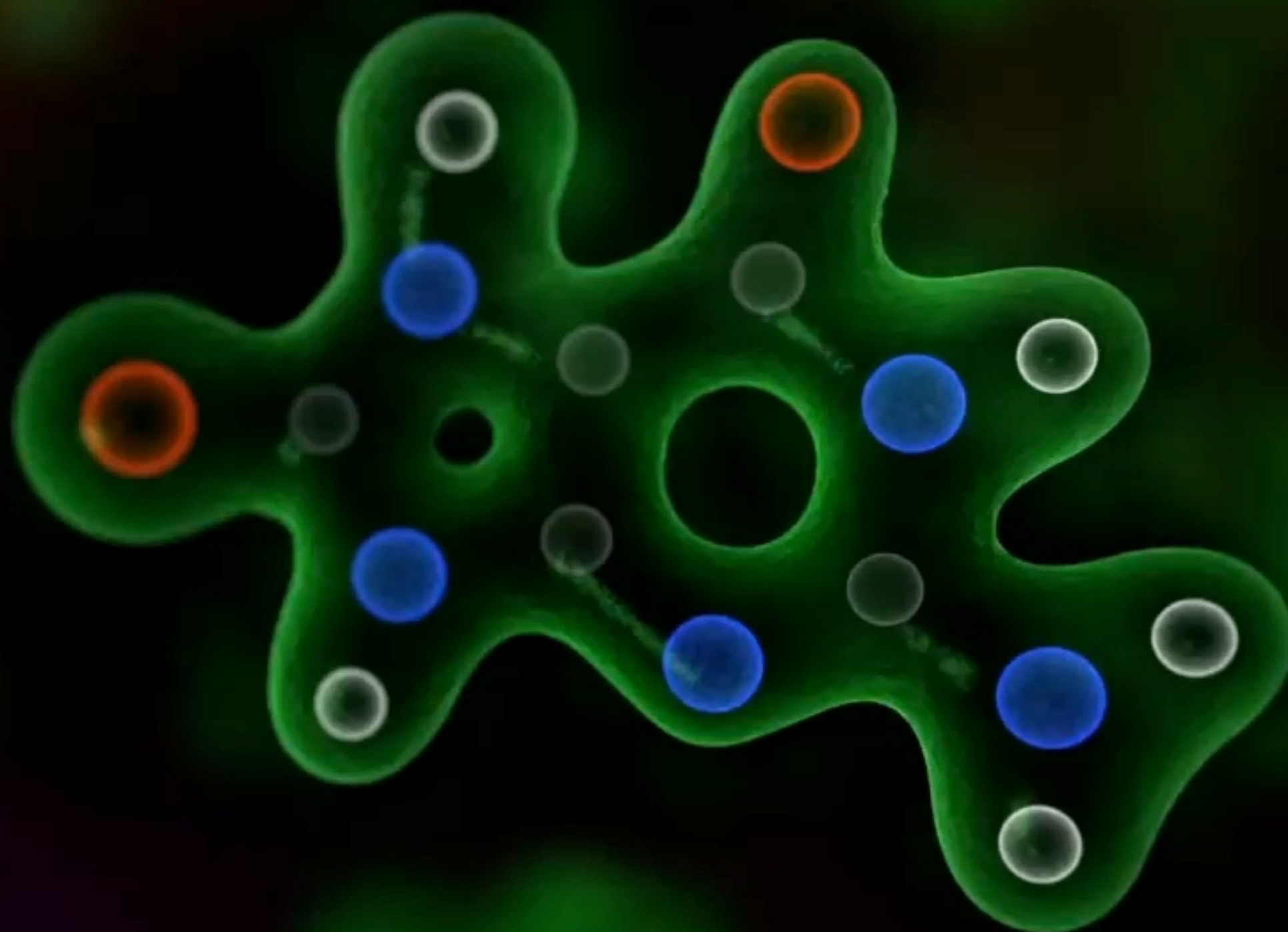


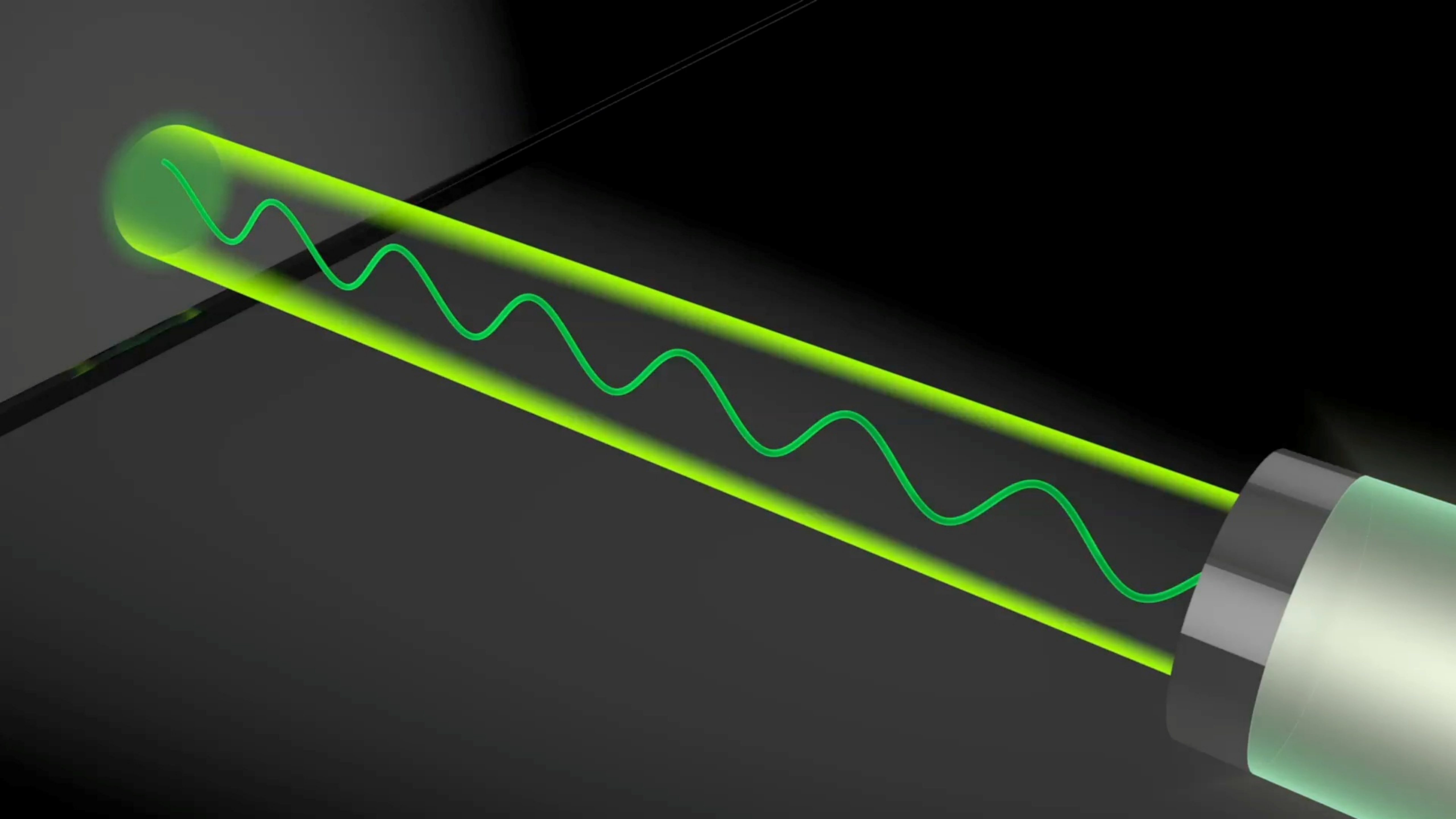
A gyors mozgásokat **rövid expozíciós idővel** készült
képekkel tudjuk megörökíteni ...

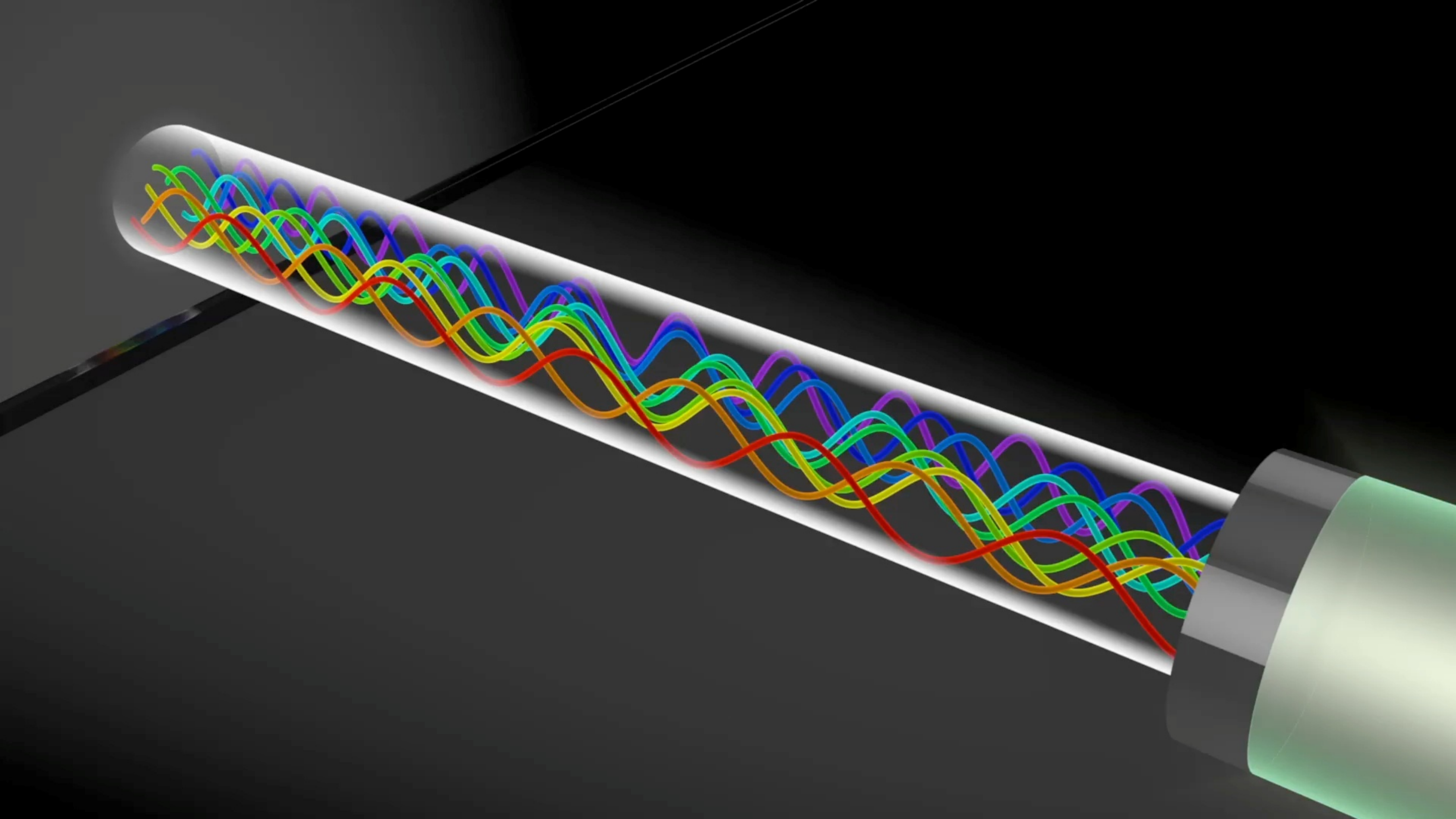


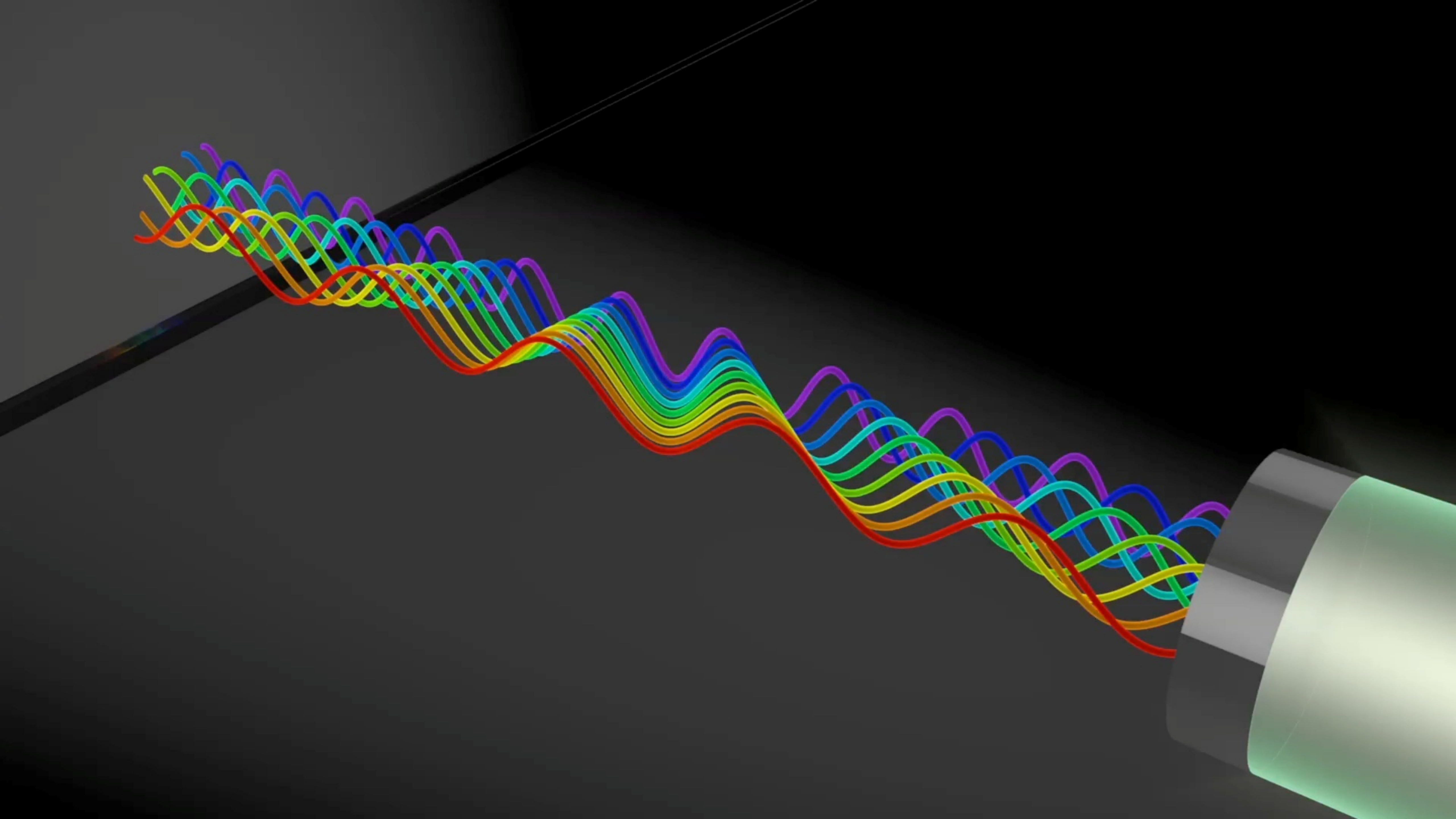
... a felvétel **lassított lejátszásával visszaadni**

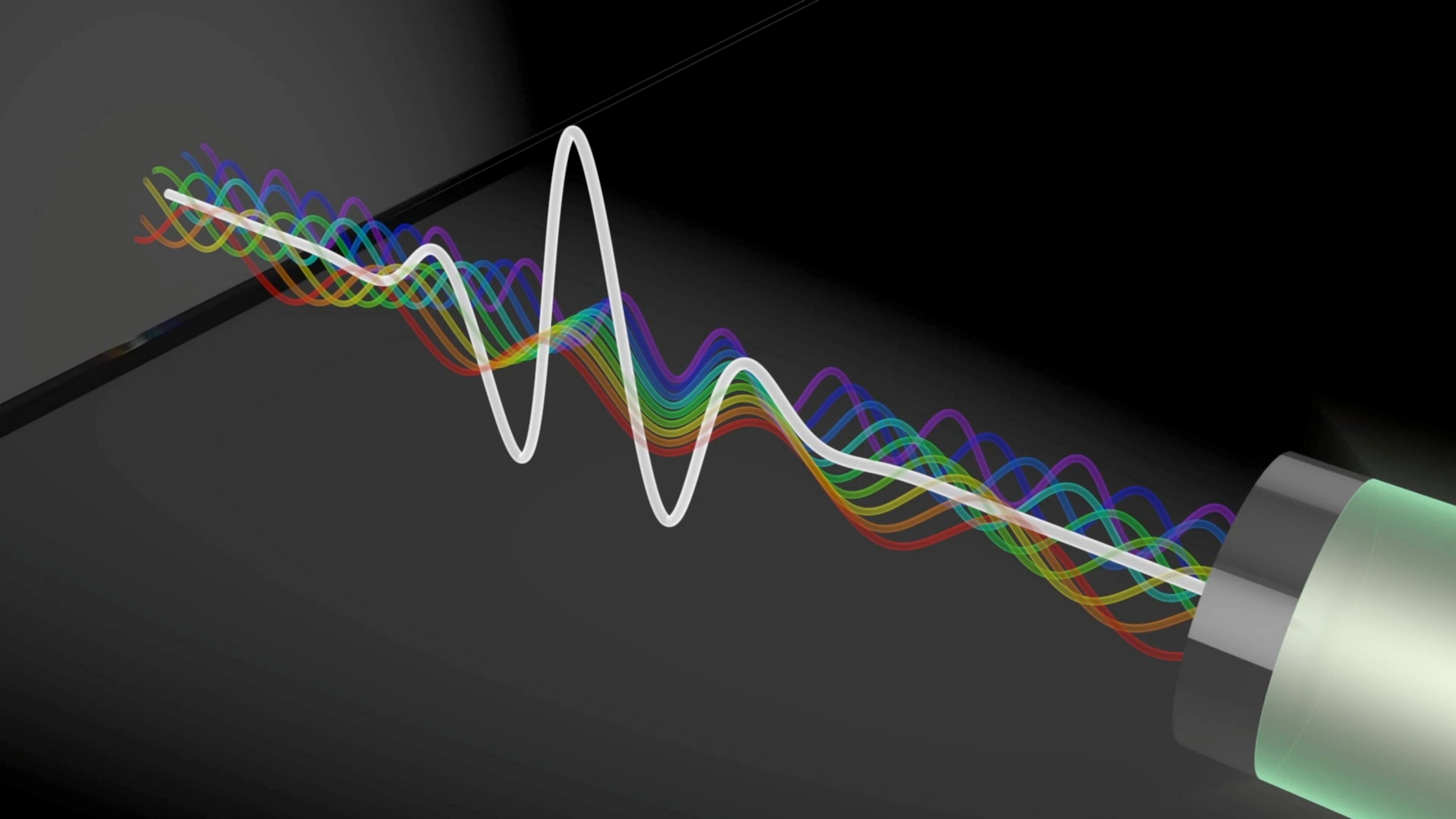
az elektronok mozgását megörökítő, és kimerevíthető állóképek
készítéséhez attoszekundumos expozíciós idők szükségesek









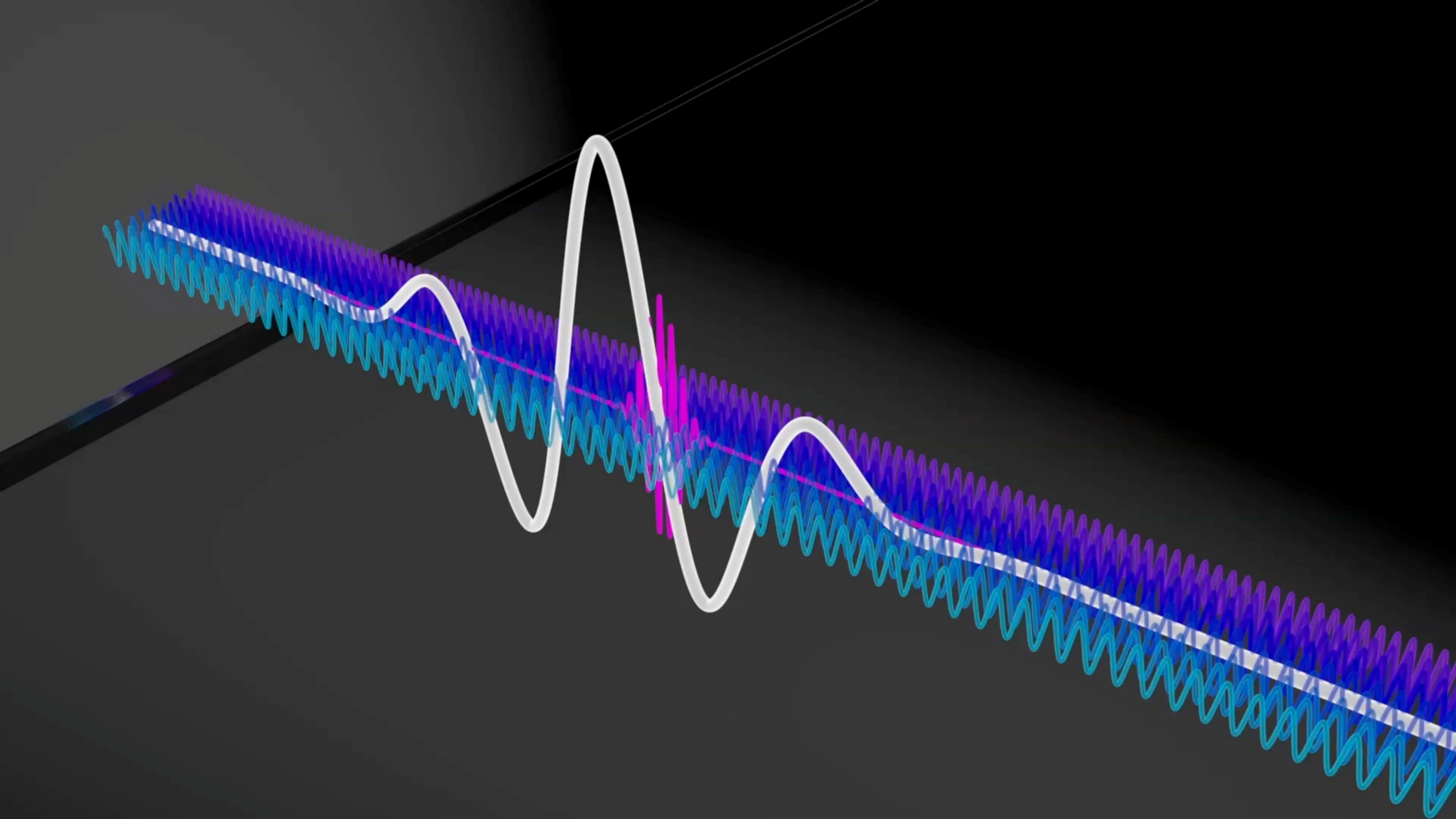


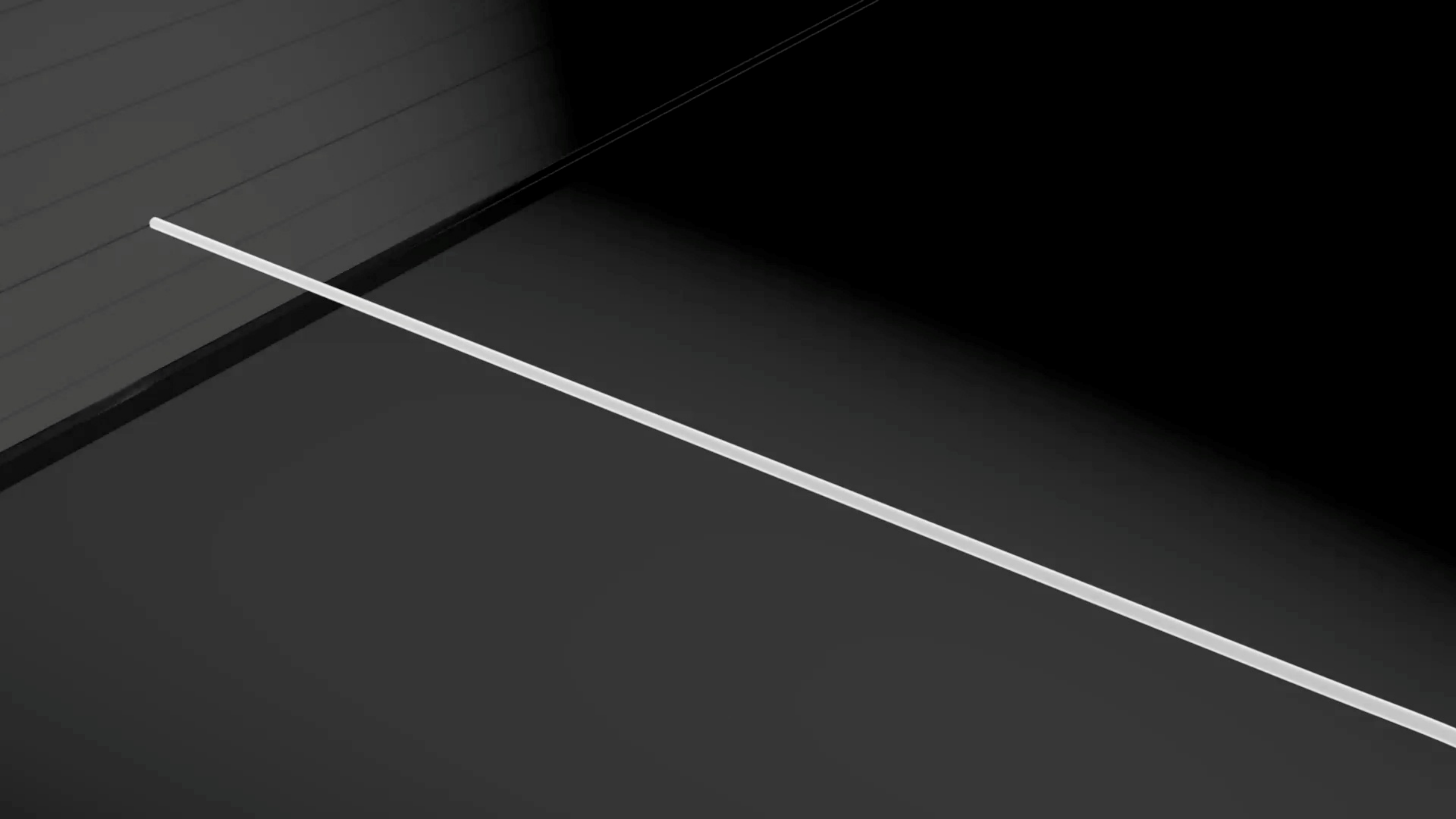


Különböző színű lézernyalábok hullámhegyeinek összehangolása
nagyon rövid fényimpulzust hoz létre



Az ibolyántuli sugárzás szinkronizált hullámai **attoszekundumos fényvillanásokat** eredményeznek

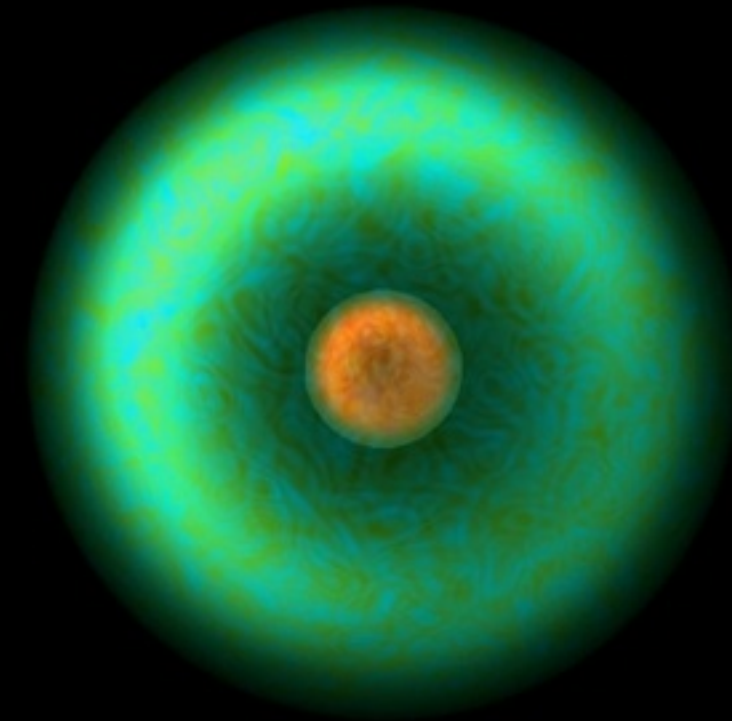
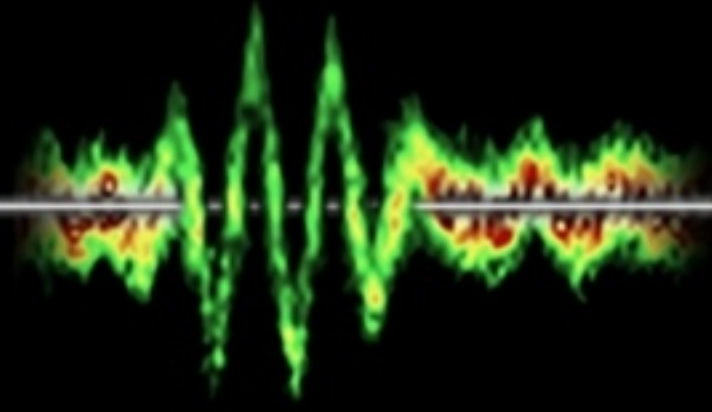




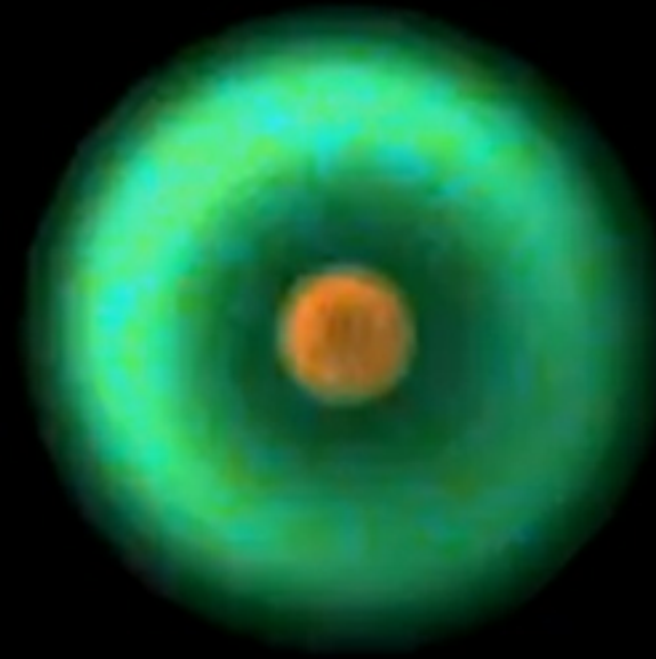
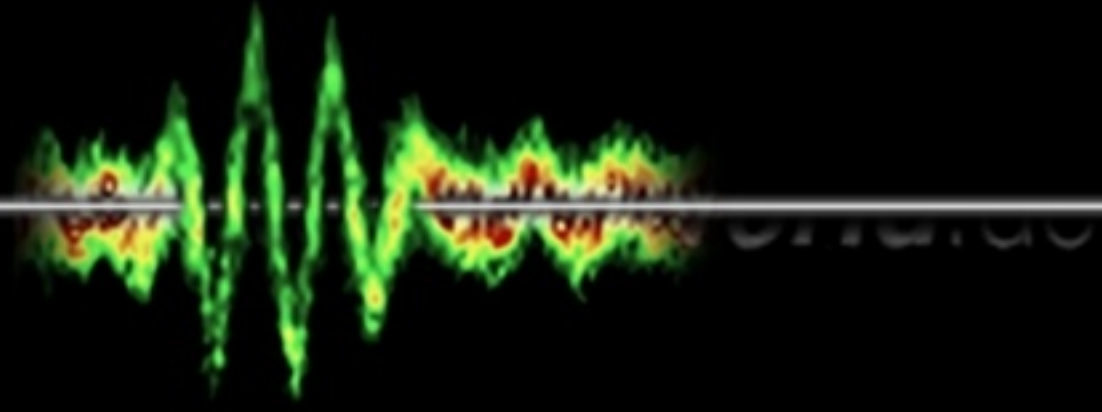


a lézerimpulzus elektronokra kifejtett erejével
mozgásba hozhatjuk az elektronokat

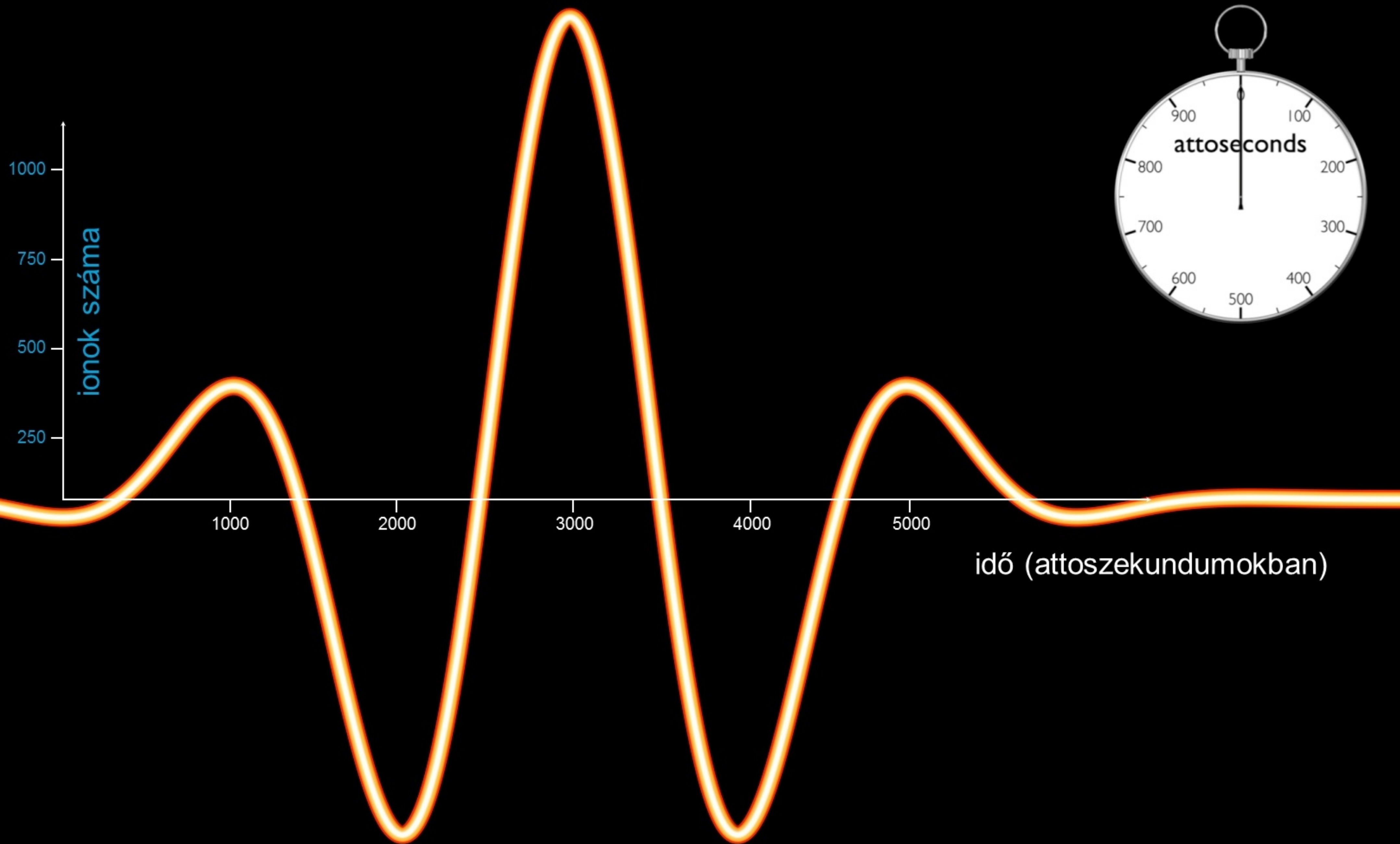
elektronmozgás ionizáció közben és után



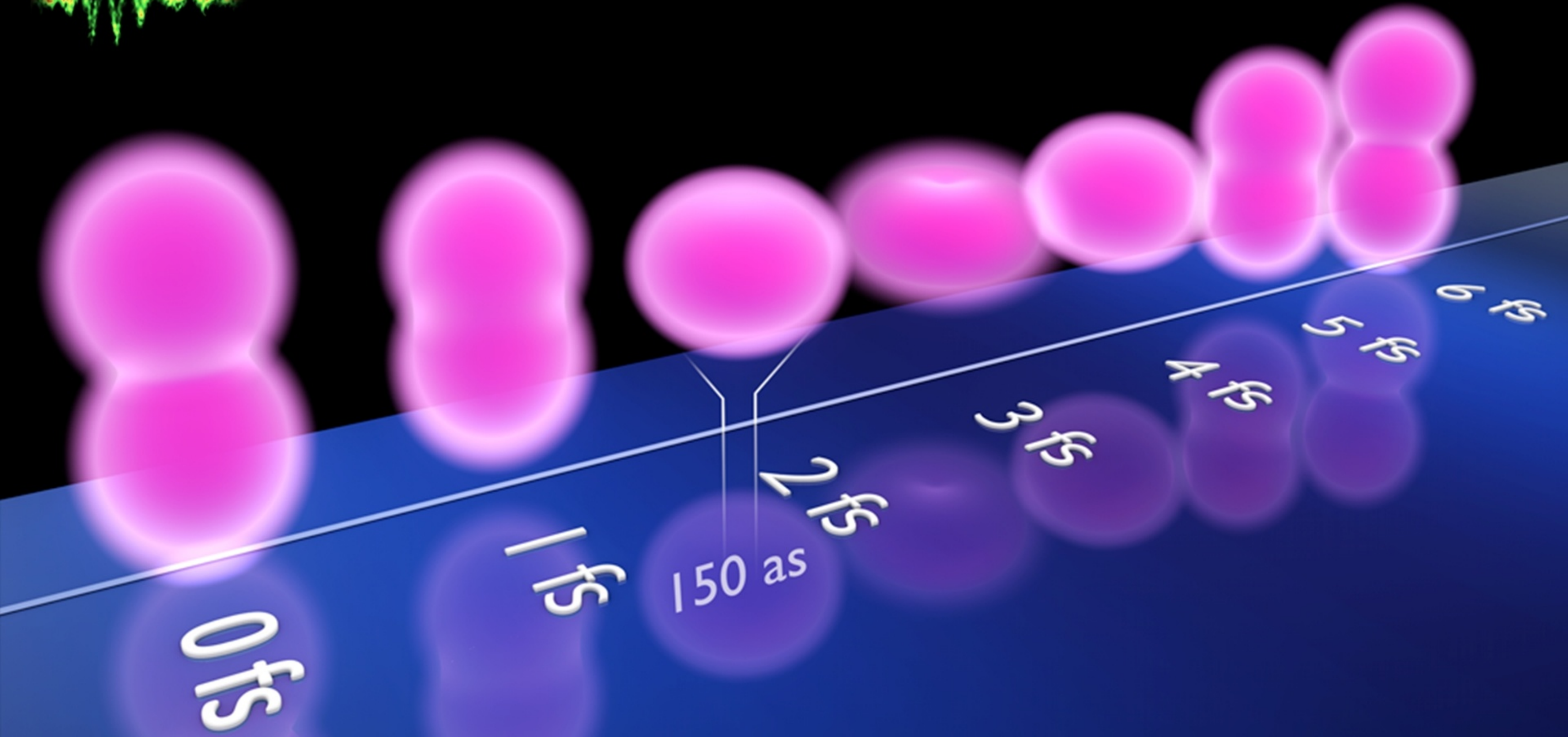
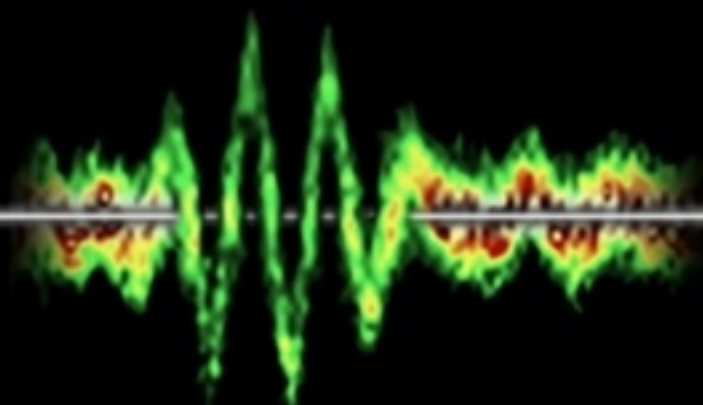
elektronmozgás ionizáció közben és után



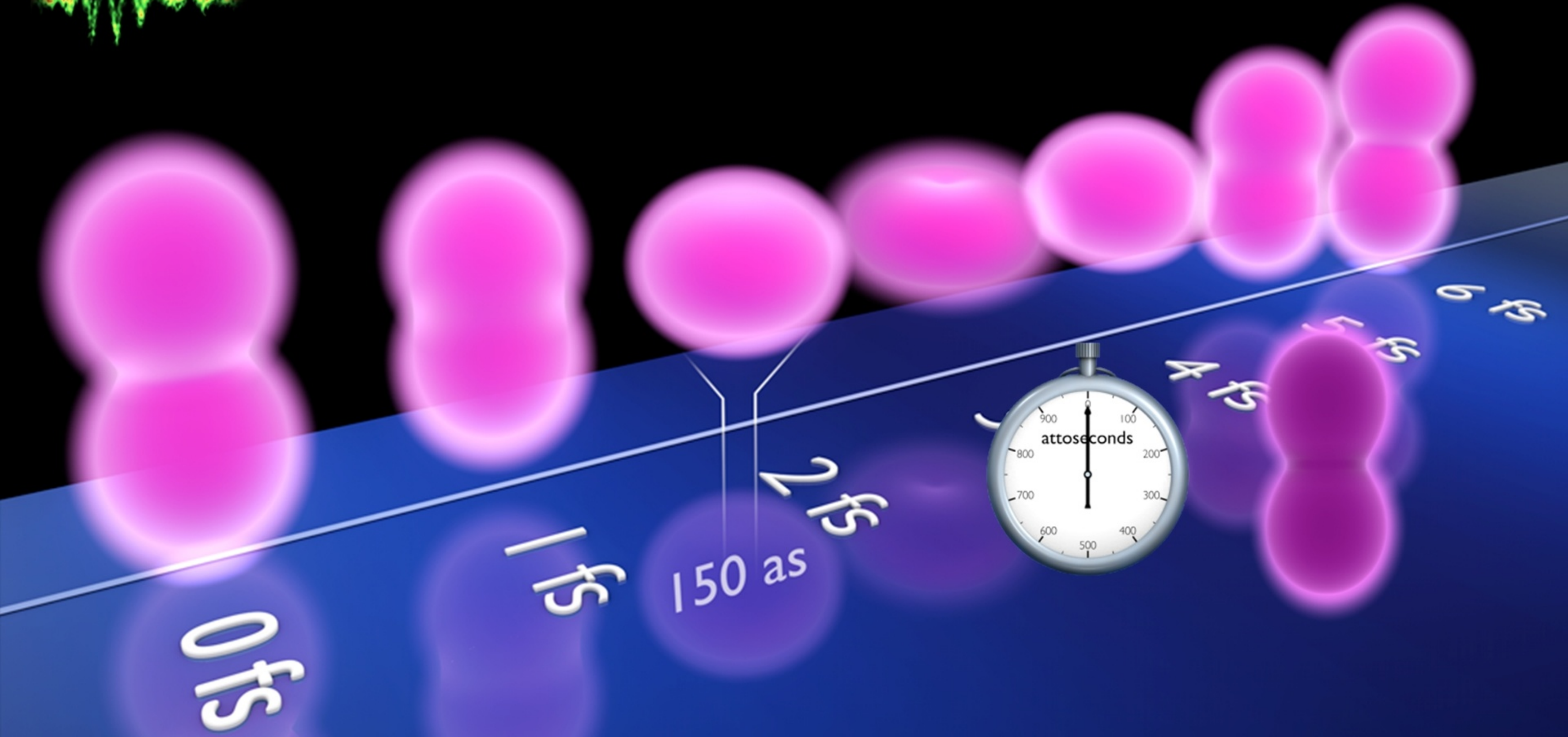
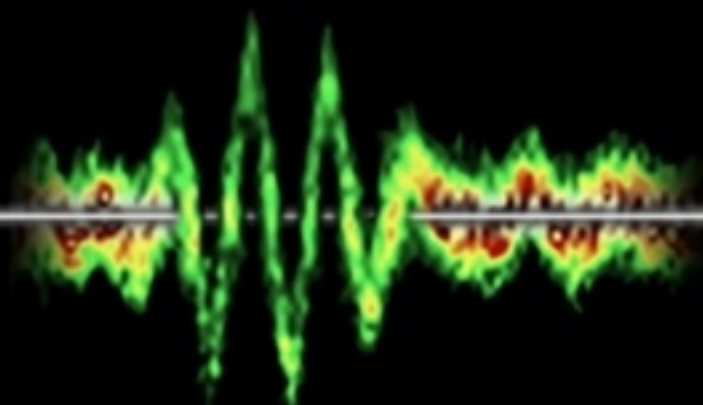
a fény ereje



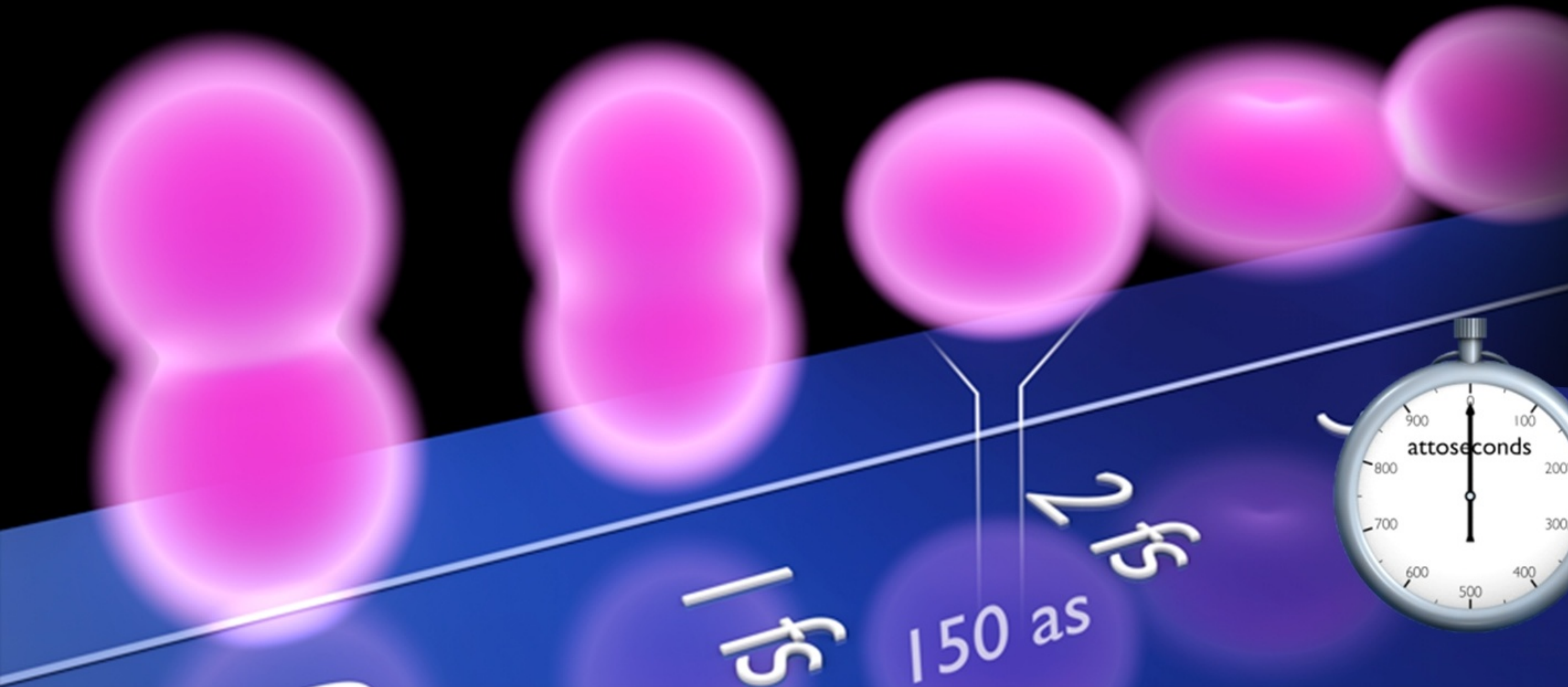
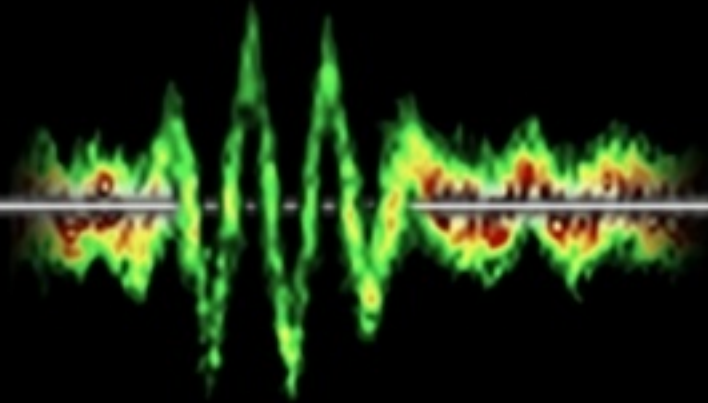
elektronok lassított visszajátzásban



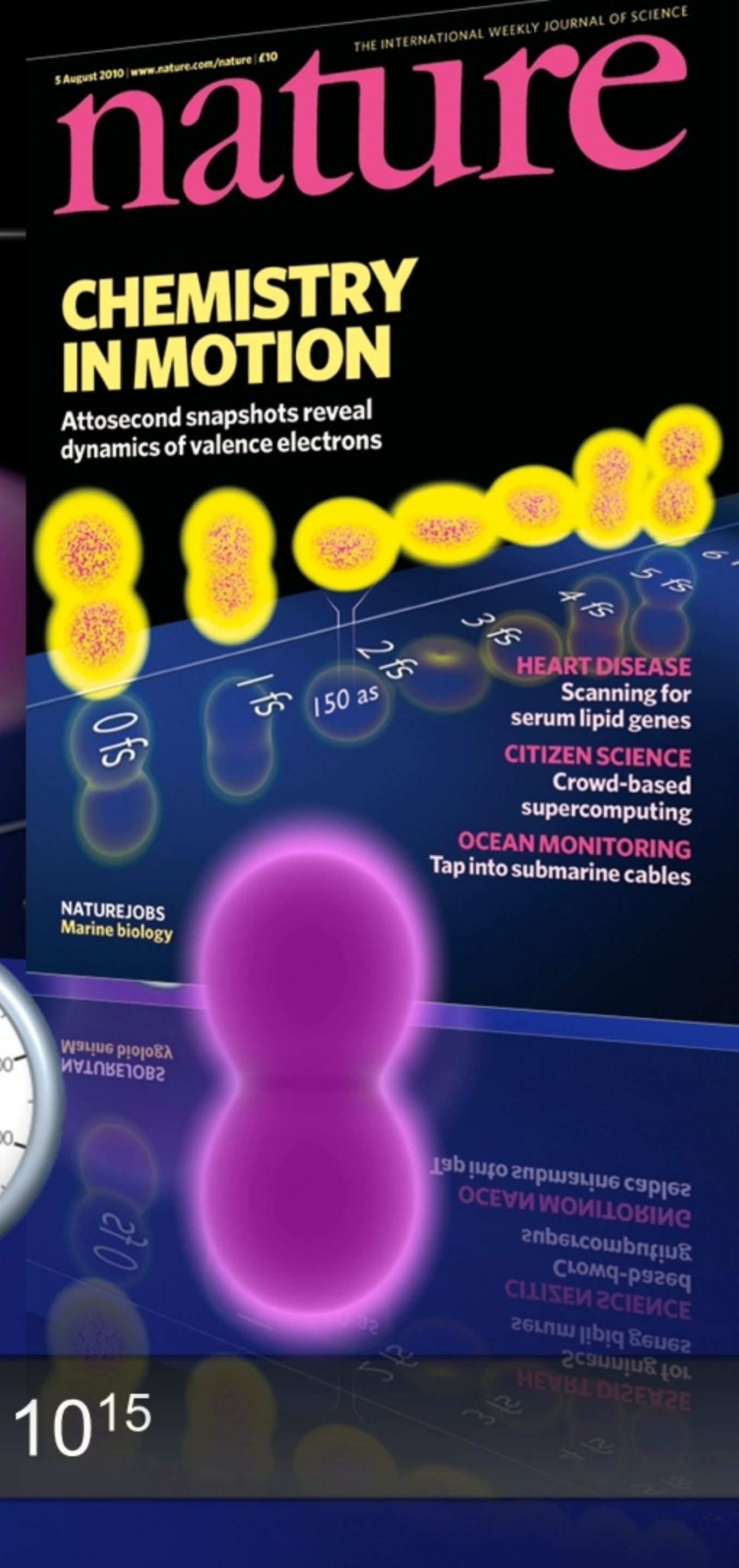
elektronok lassított visszajátzásban



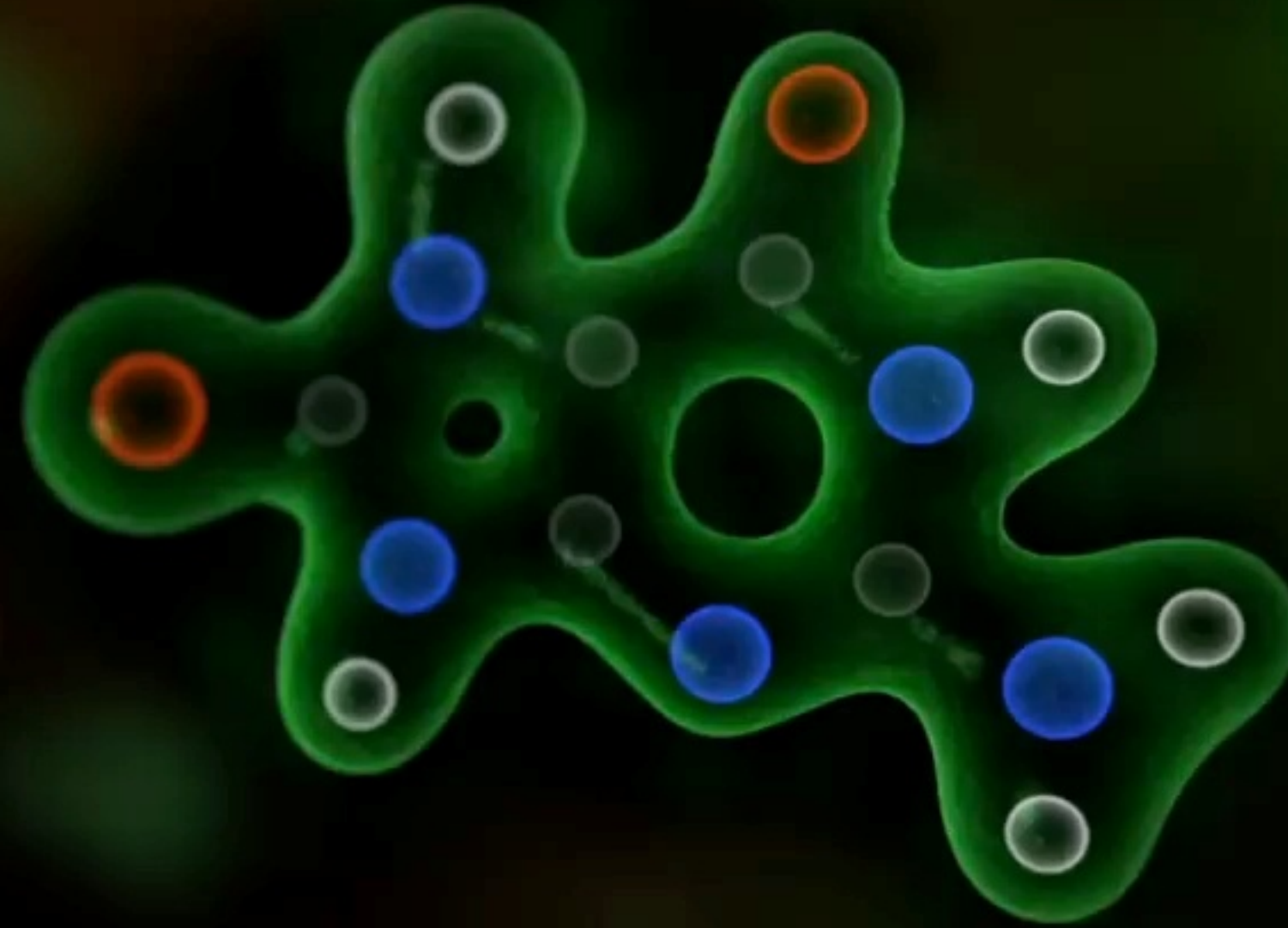
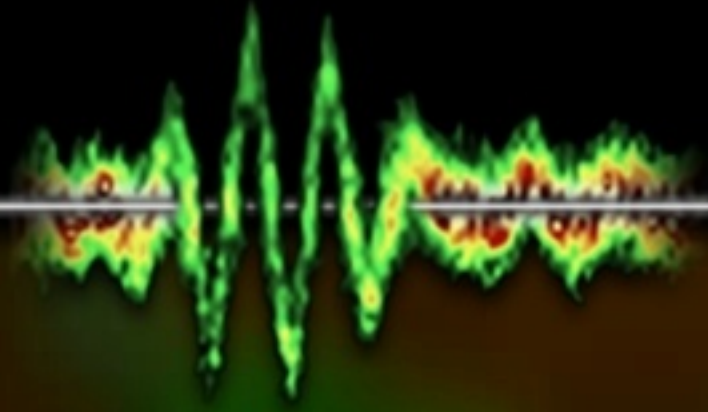
elektronok lassított visszajátzásban



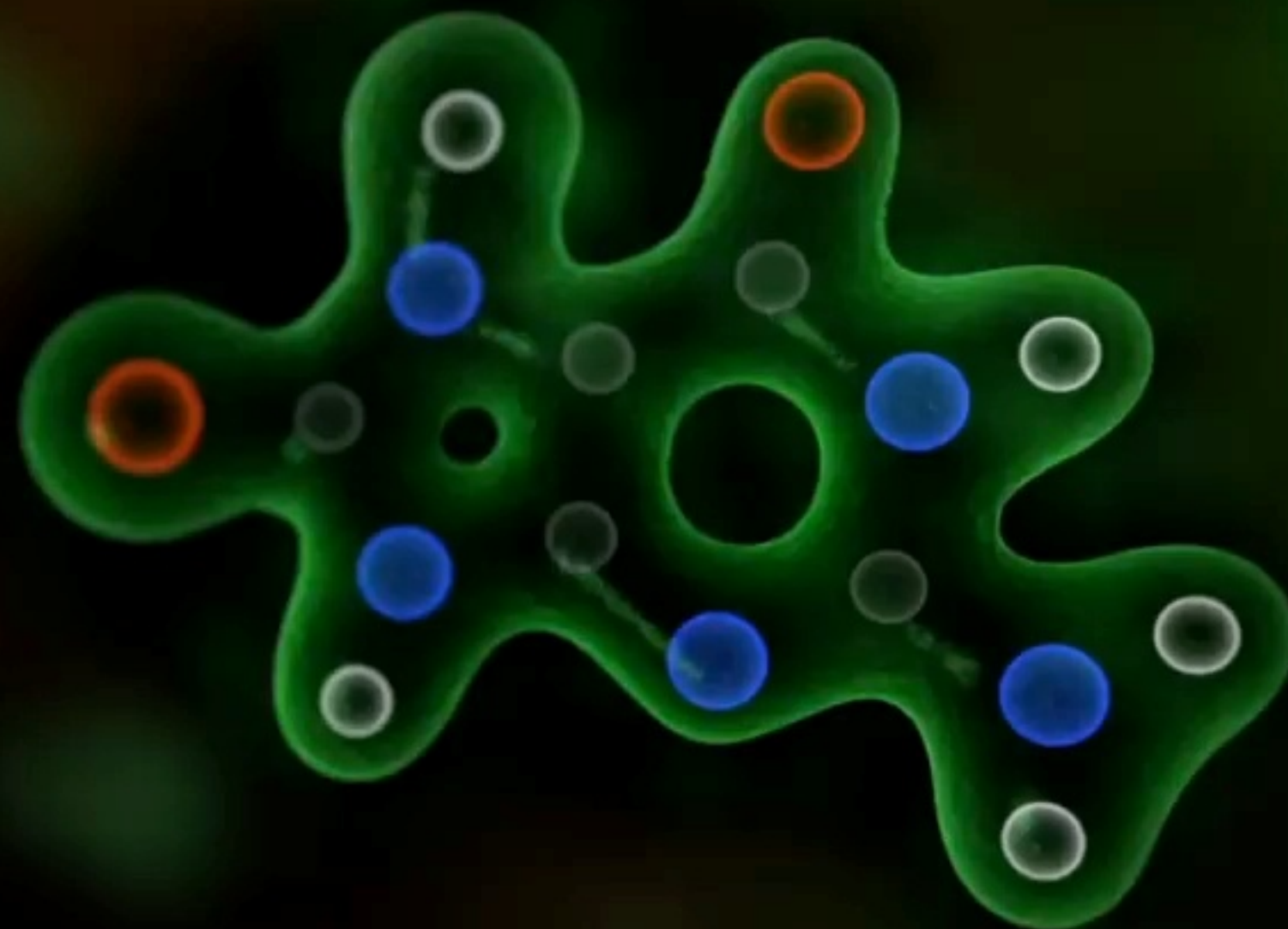
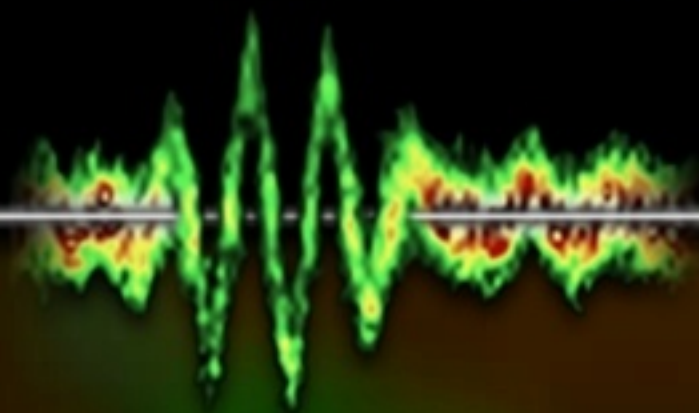
az idő nagyítása: 1 000 000 000 000 000 = 10^{15}



attoszekundumos röntgenvillanások: az elektronok elosztásáról készült pillanatfelvételek komplex rendszerekben



attoszekundumos röntgenvillanások: az elektronok elosztásáról készült pillanatfelvételek komplex rendszerekben



Atomi felbontású
négydimenziós
mikroszkópia



minden második ember ...
a nyugati világban rákos lesz és nagyjából a felük,
körülbelül minden negyedik, belehal



The background image shows a medical setting. A patient is lying on a blue padded table inside a large, white medical scanner, likely a CT scanner. The brand name 'Aquilion' is visible on the side of the machine. A healthcare professional, a woman in a white uniform, is standing next to the table, looking down at the patient. The scene is brightly lit, and the overall tone is clinical and professional.

minden második ember ...

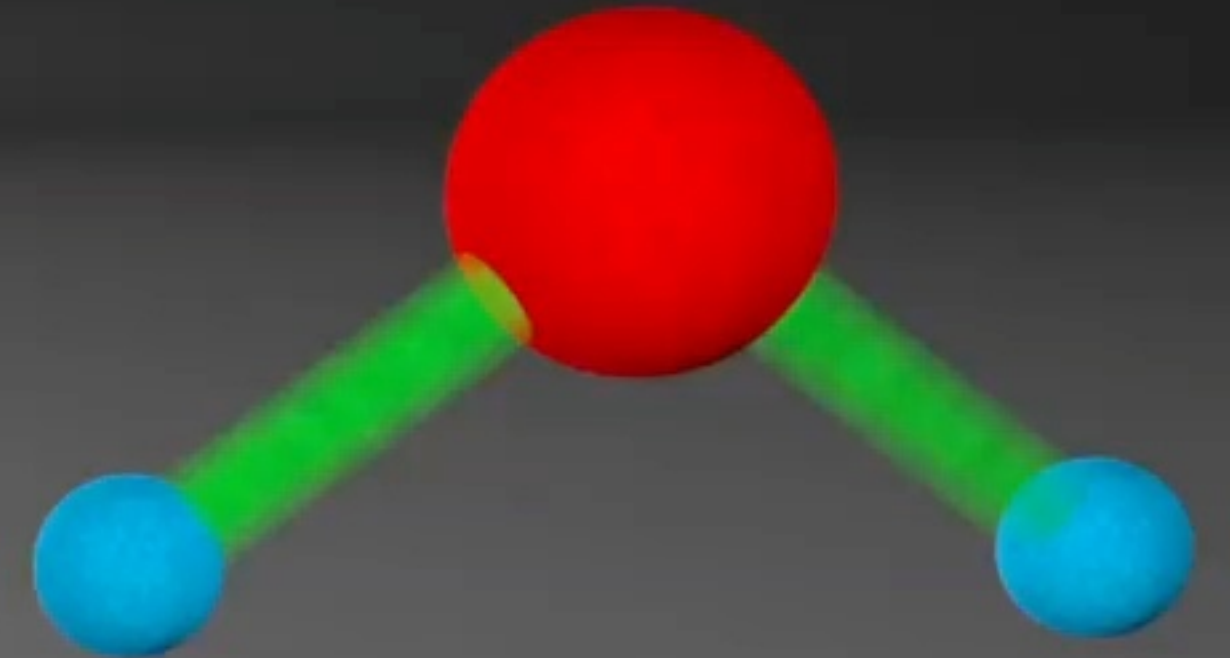
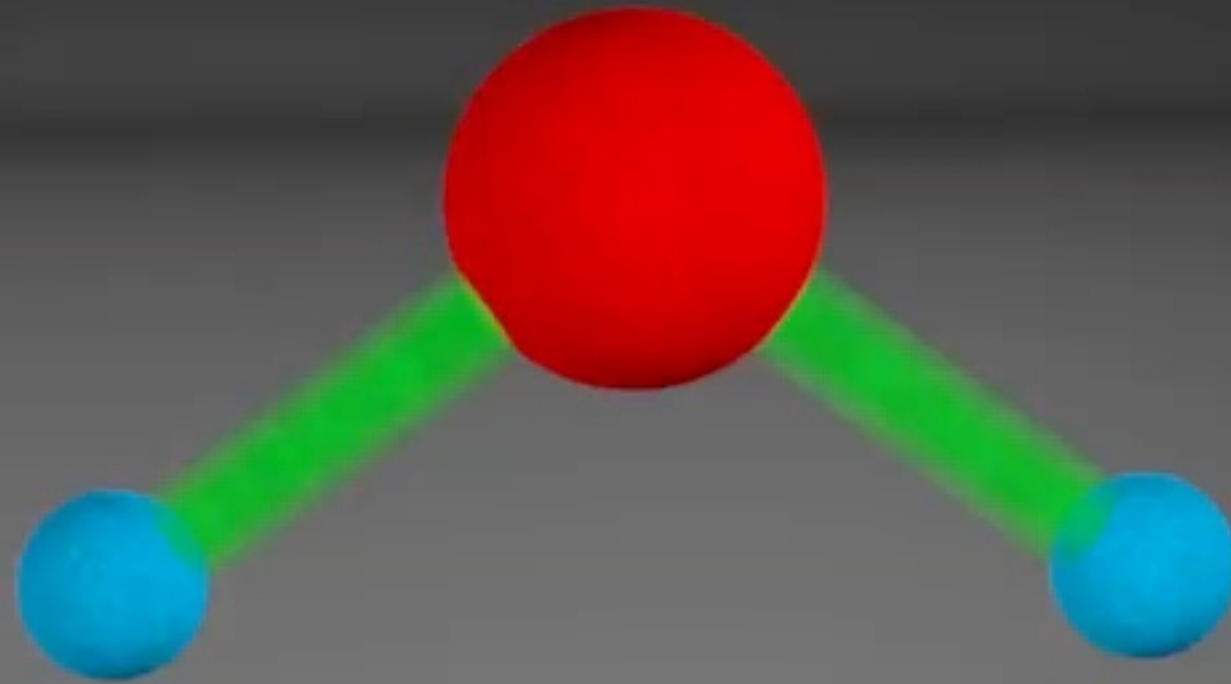
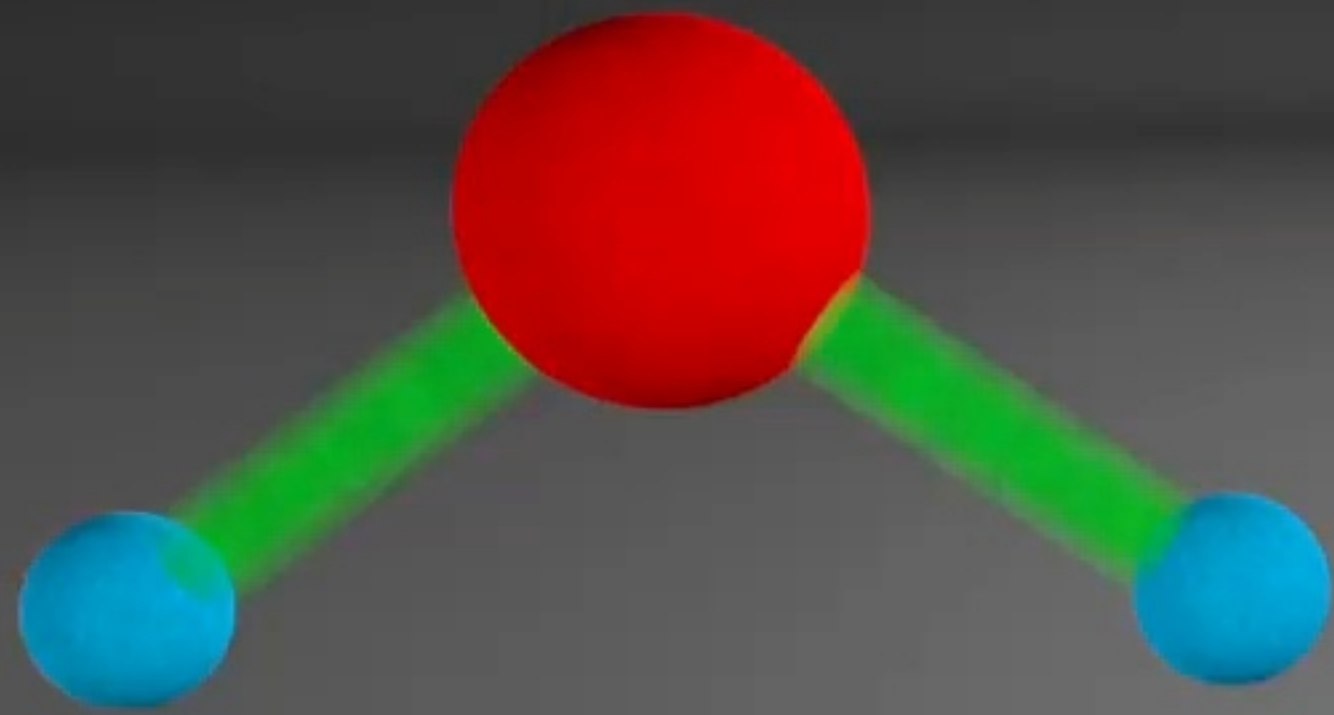
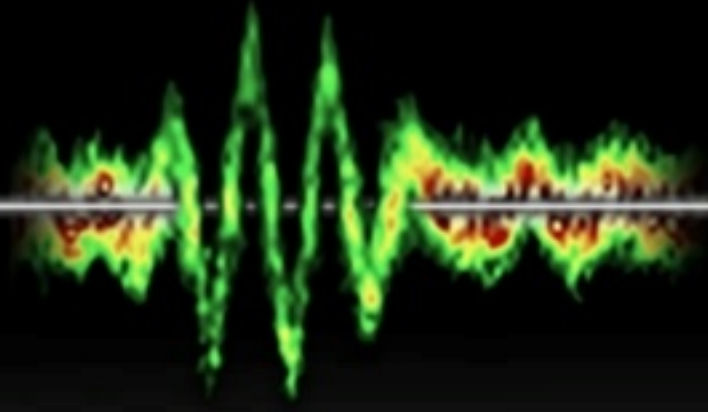
a nyugati világban rákos lesz és nagyjából a felük,
körülbelül minden negyedik, belehal

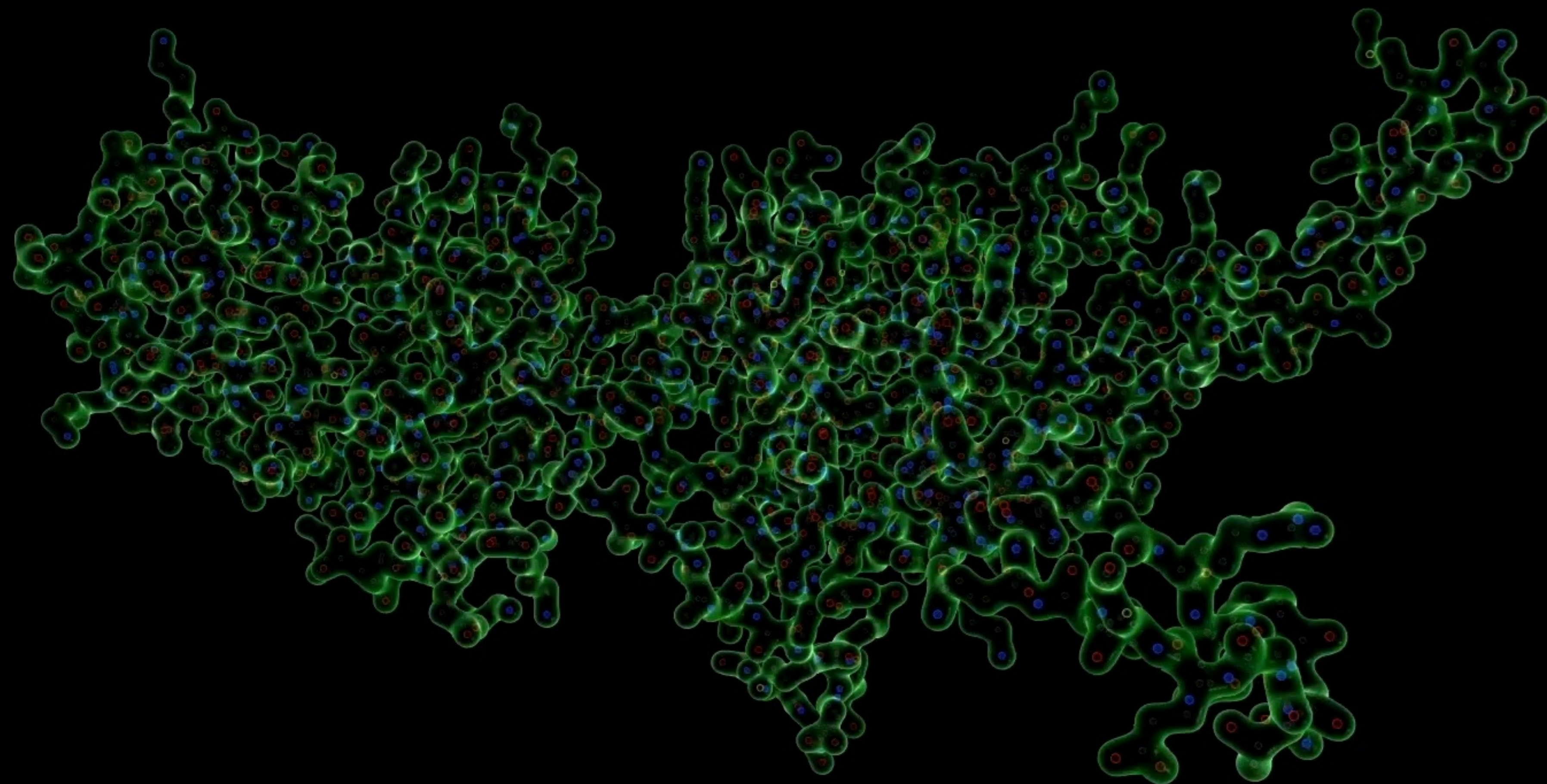
minden percben ...

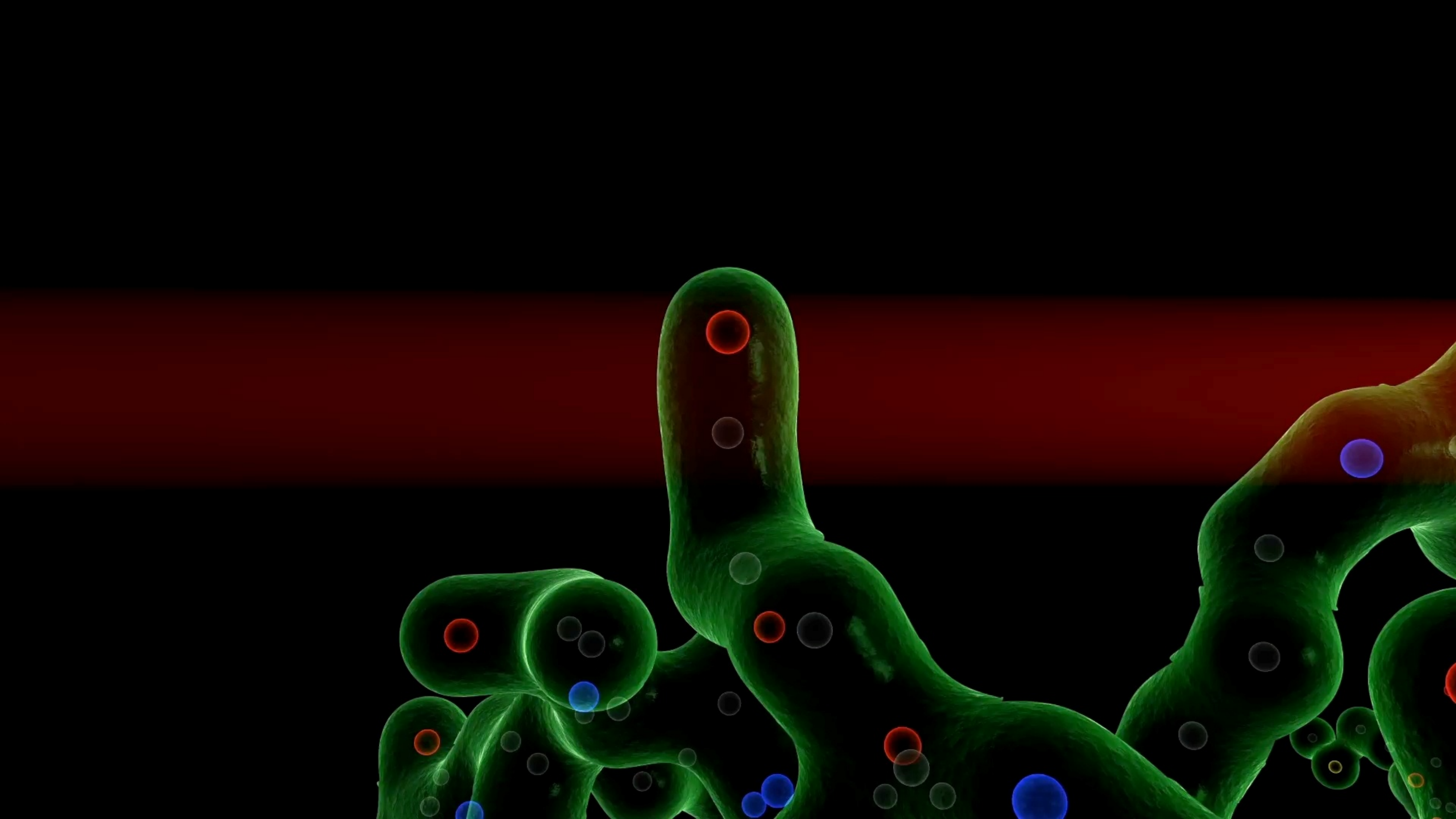
Németországban valakinek szembesülnie kell egy rákos diagnózissal

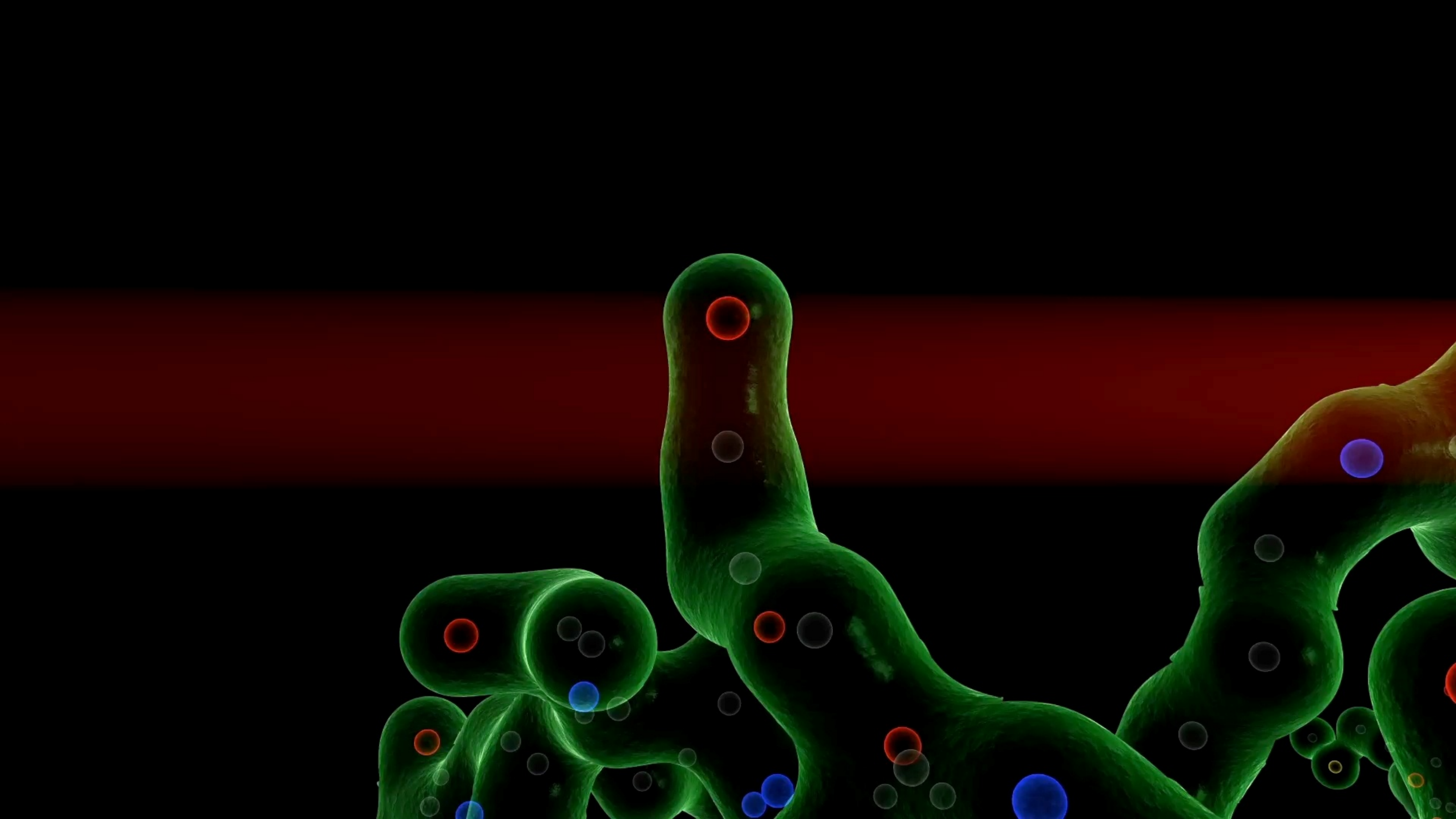
tud az **ultragyors lézertechnológia** (közvetlenül)
segíteni a rák elleni küzdelemben?

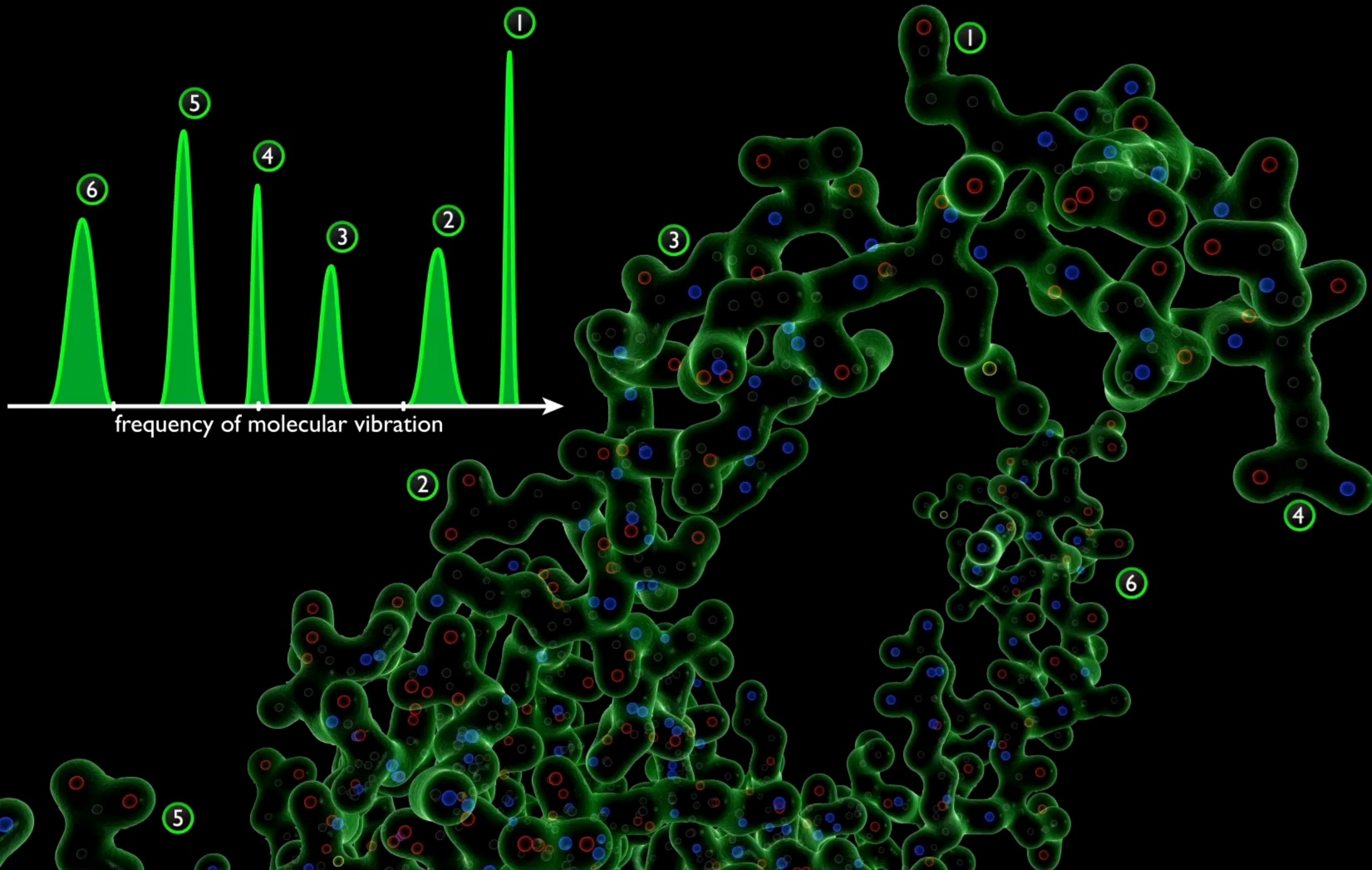
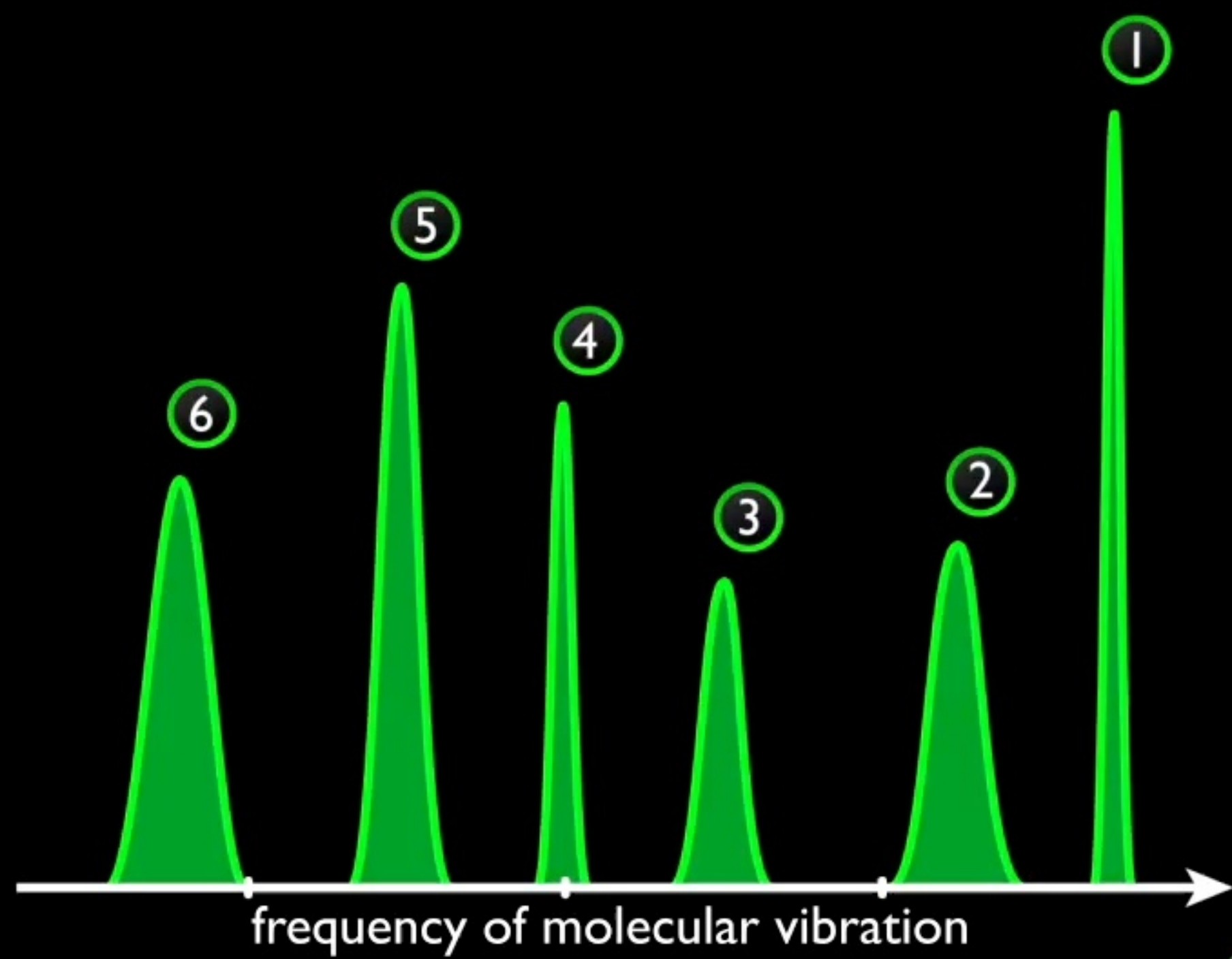
A vízmolekulák (H_2O) rezgései



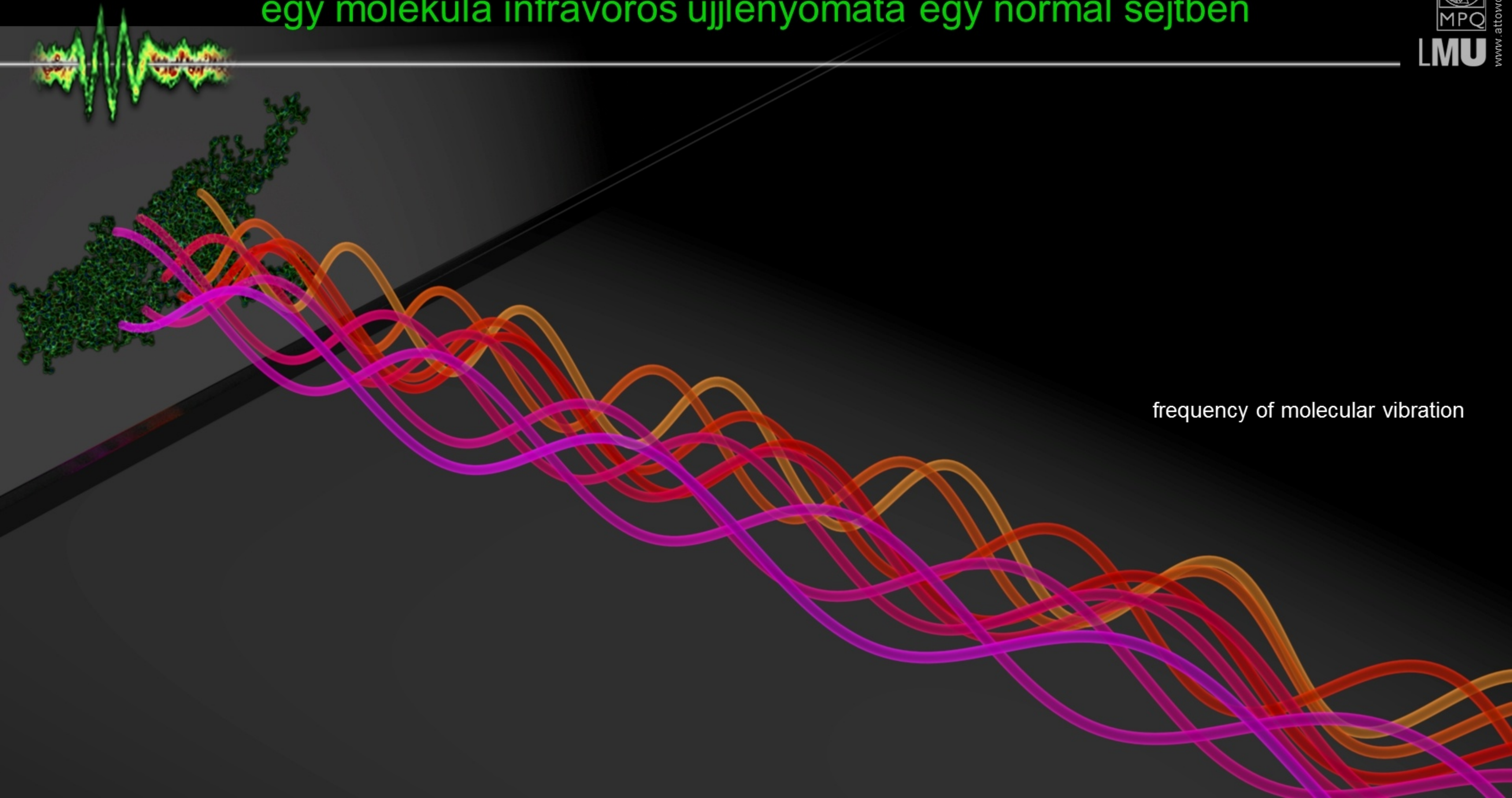




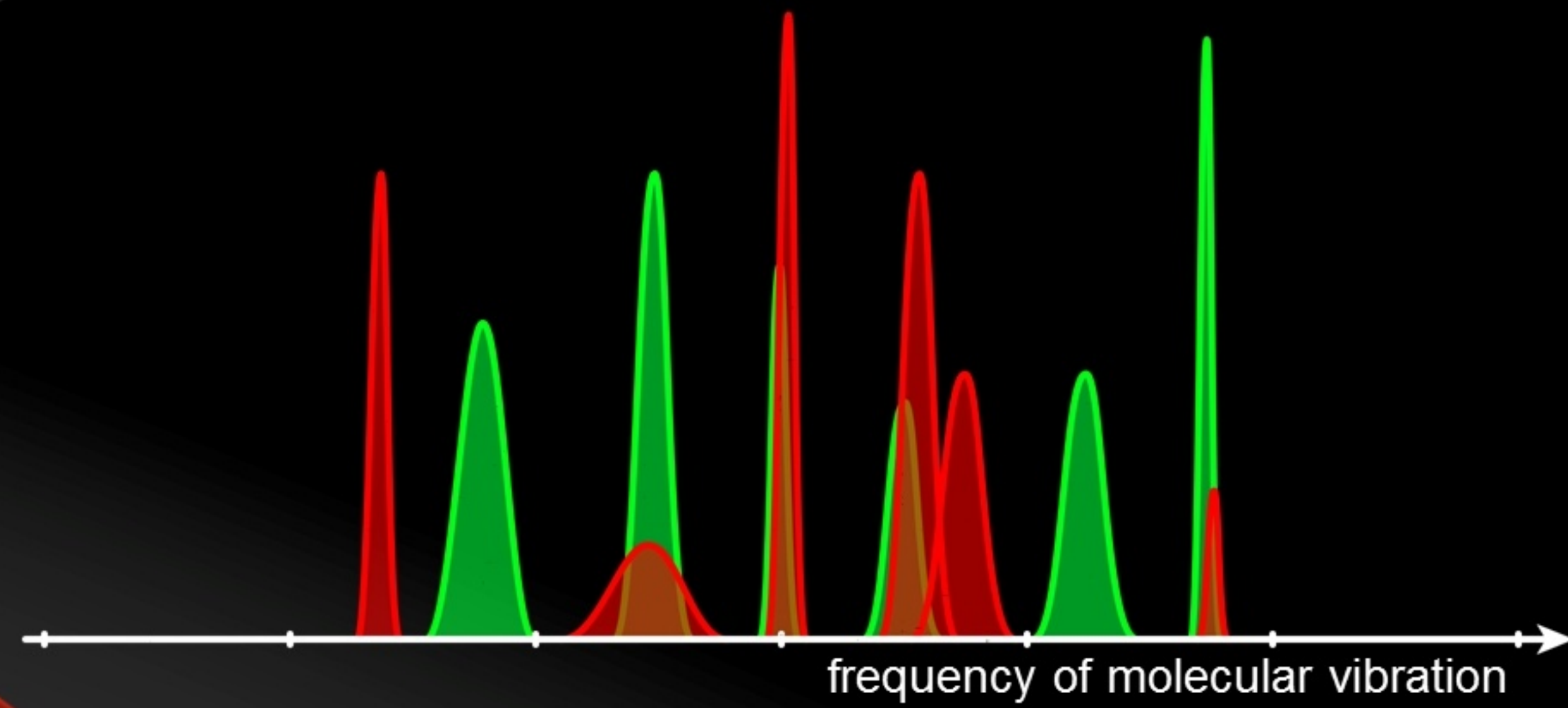
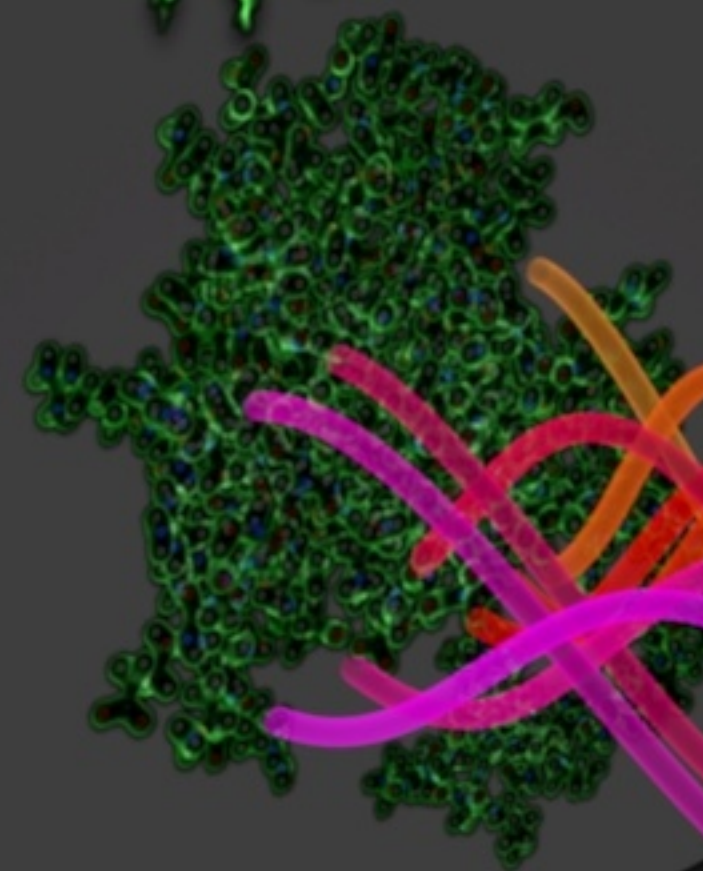
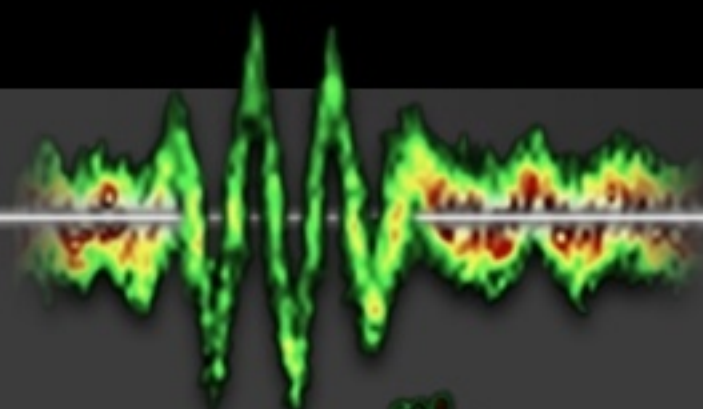


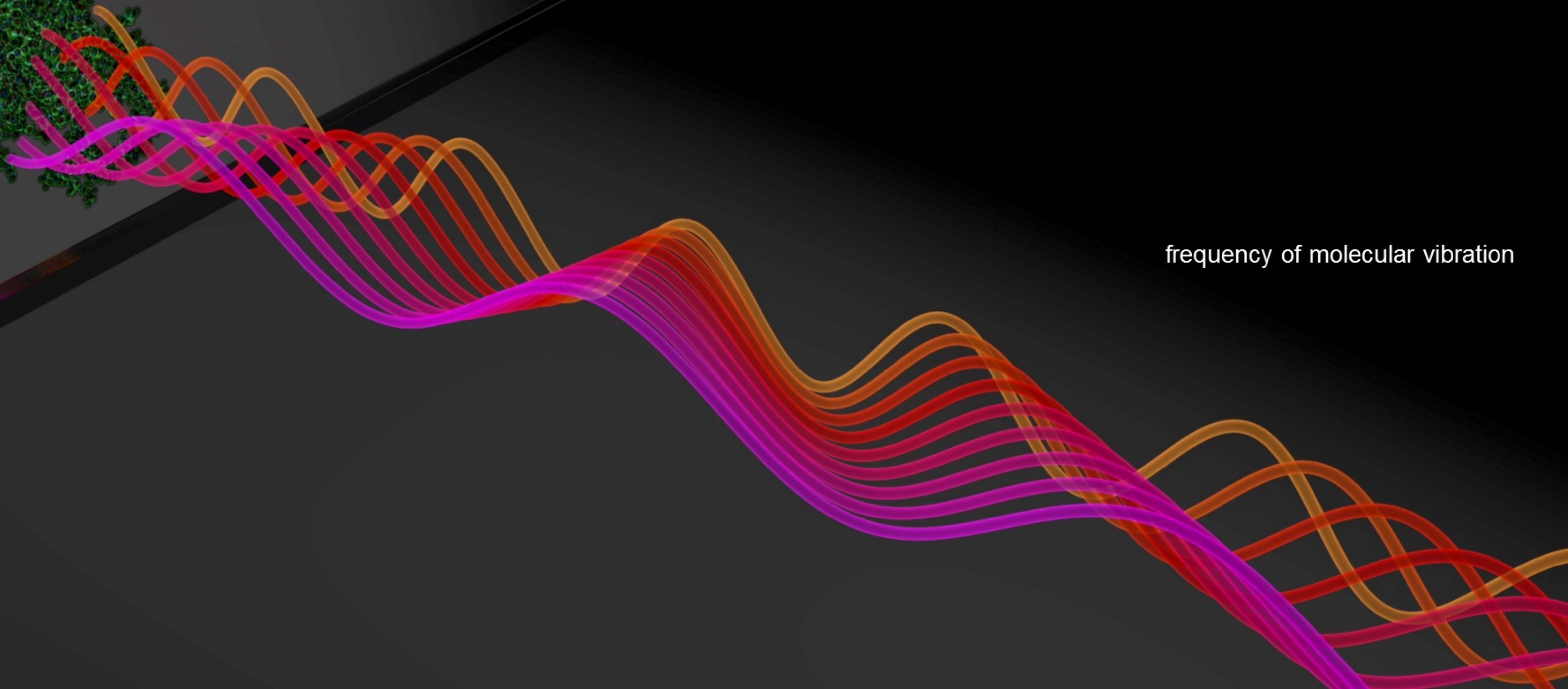
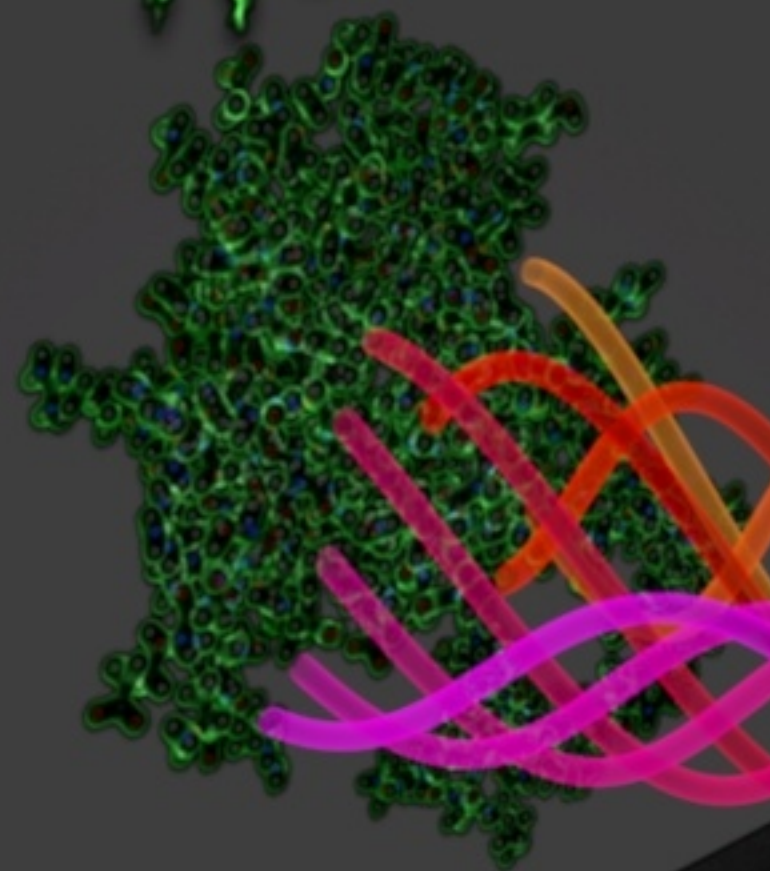
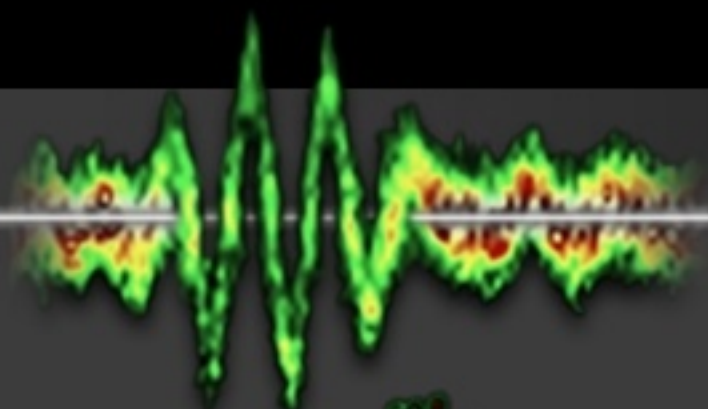


egy molekula infravörös ujjlenyomata egy normál sejtben

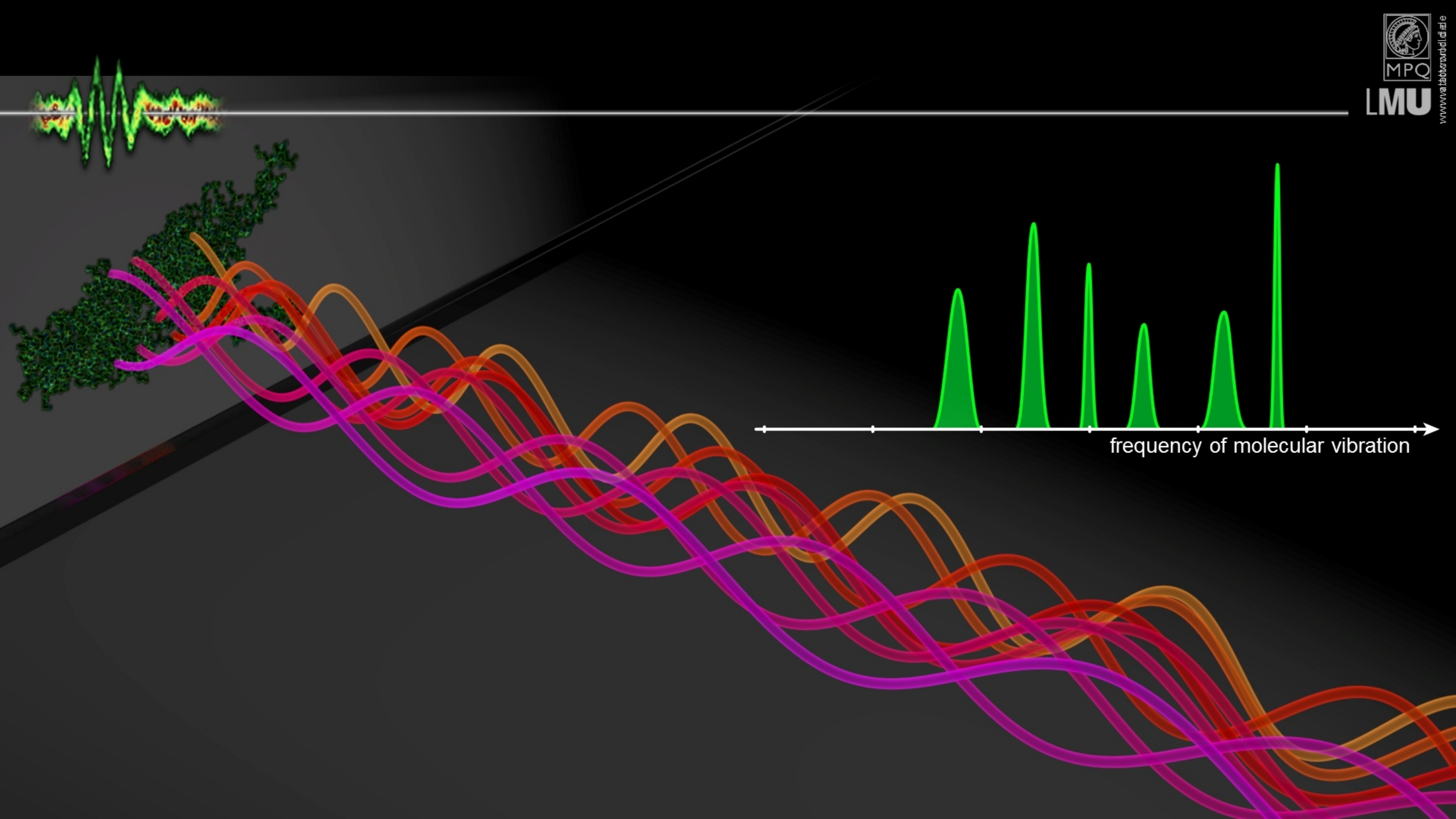


frequency of molecular vibration

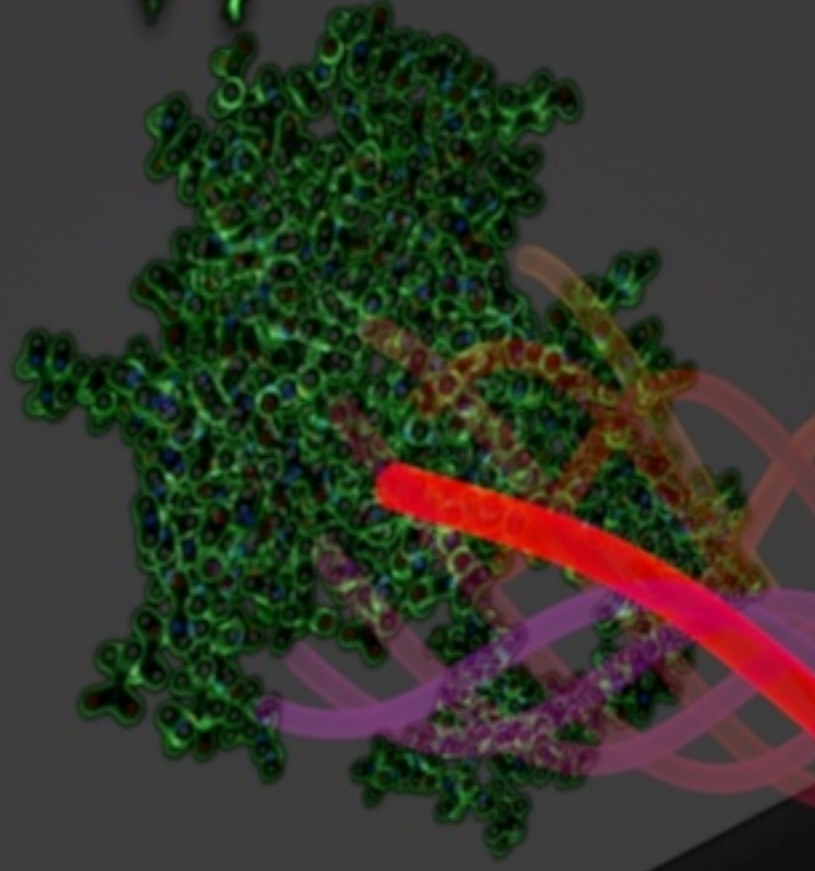
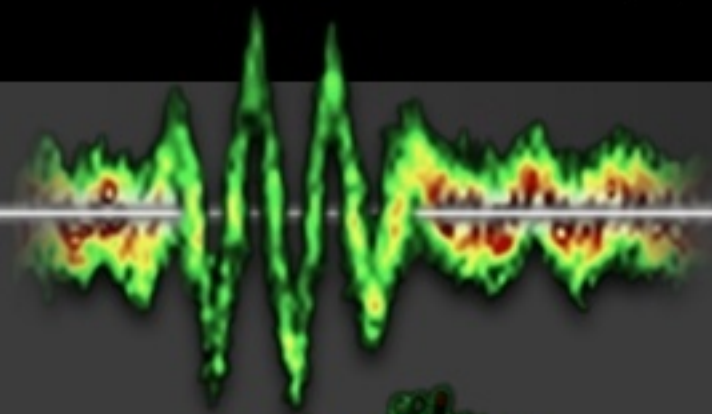




frequency of molecular vibration



A betegség korai fázisában csak néhány marker jelenik meg a testnedvekben
(például a vérben) és a leheletben



a legtöbb normális fajnál a molekularis lenyomat észlelhetőségének
(érzékenysége) ezerszeres növekedése

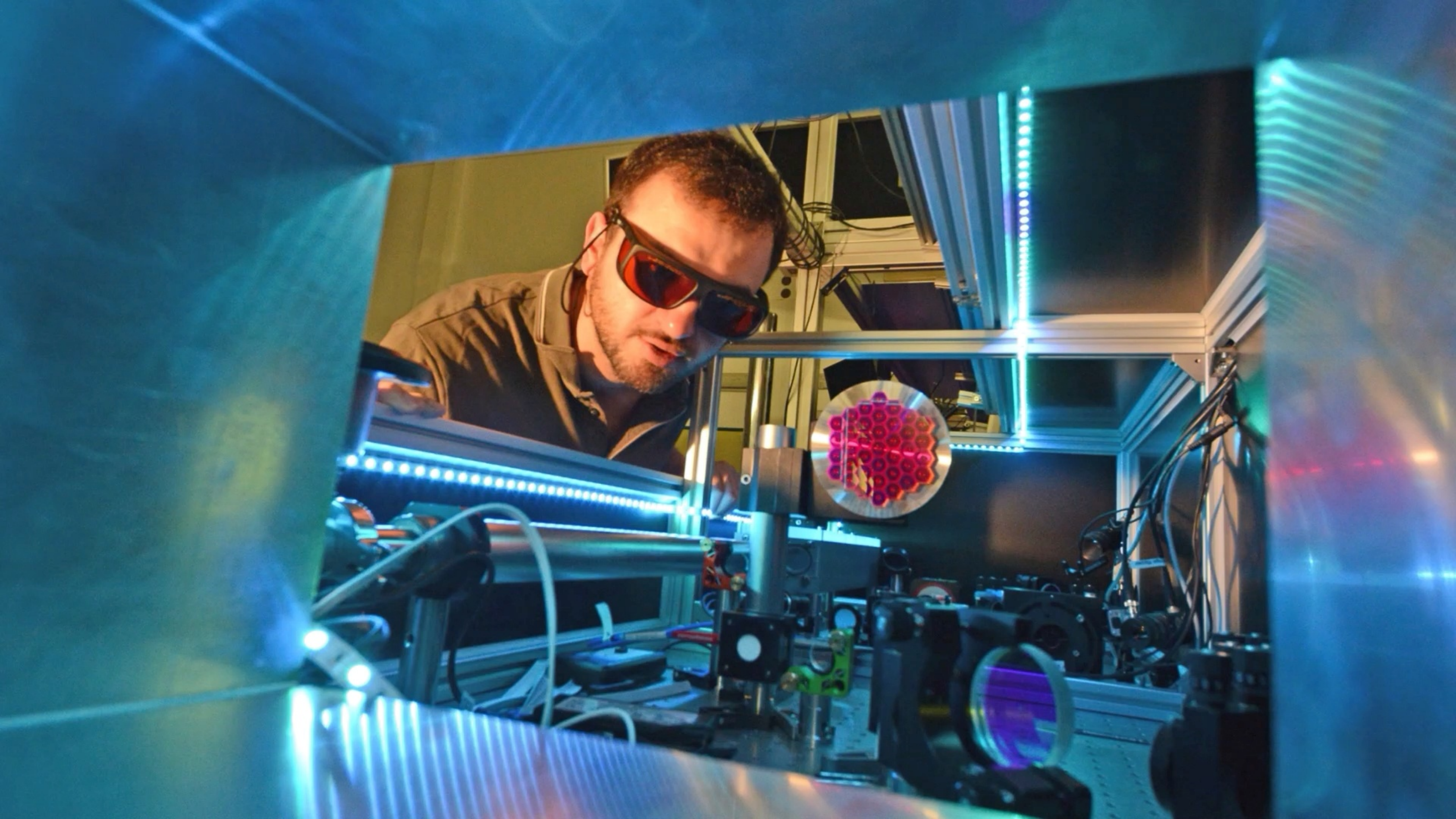
Az újszerű **femtosekundumos infravörös lézermetrológia** (szabadalmaztatás alatt) lehetőséget biztosít a rák molekuláris lenyomatának noninvazív (feltárás nélküli) felderítésére a vérben és a leheletben, akár a **betegség korai fázisában is, mielőtt áttétek keletkeznének**



Az újszerű **femtosekundumos infravörös lézermetrológia** (szabadalmaztatás alatt) lehetőséget biztosít a rák molekuláris lenyomatának noninvazív (feltárás nélküli) felderítésére a vérben és a leheletben, akár a **betegség korai fázisában is, mielőtt áttétek keletkeznének**



Infravörös molekuláris lenyomatvétele: mind a **korai rákszűrésre**, mind a **kezelés folyamatos megfigyelésére** használható kockázatmentes és költséghatékony módszer



A man with a beard and safety glasses is working on a complex optical setup in a laboratory. He is wearing a dark shirt and safety glasses. The setup includes various optical components like lenses, mirrors, and fiber optics, illuminated by blue and red laser beams. The background is dark, and the overall atmosphere is technical and focused.

Köszönöm a figyelmüket!