

Krausz Ferenc – Fizikai Nobel-díj 2023

Összeállította és írta Horváth Norbert, a Baár–Madas Református Gimnázium fizikatanára

KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2023 "for experimental methods that generate attosecond pulses of light for the study of electron dynamics in matter" to **Pierre Agostini**, The Ohio State University, Columbus, USA, **Ferenc Krausz**, Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching and Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany, and **Anne L'Huillier**, Lund University, Sweden.

The Nobel Prize 2023 in Physics

Electrons in pulses of light

Through their experiments, this year's laureates have created flashes of light that are brief enough to take snapshots of electrons' extremely rapid movements. Anne L'Huillier discovered a new effect from laser light's interaction with atoms in a gas. Pierre Agostini and Ferenc Krausz used this effect to demonstrate that they could create shorter pulses of light than were previously possible.

The faster an event, the faster a picture needs to be taken if it is to capture the instant. A tiny hummingbird can beat its wings 80 times per second. We can only perceive this as a whirring sound and a vague, blurred movement. To human senses, rapid events flow together, and very brief instants are impossible to perceive. A highly focused photograph of a hummingbird in flight requires an exposure time that is much shorter than a single wingbeat.

This year's laureates have conducted experiments that show how to produce pulses of light that are short enough to depict the processes occurring inside atoms and molecules. In the world of electrons, protons, and neutrons change at speeds of between one and a few hundred attoseconds, where an attosecond is one billionth of a billionth of a second.

ATOM'S FIELD
1. The atoms field is disturbed by the laser light, and the electron tunnels out.
2. The field changes direction and the electron is pulled back.
3. To reactivate the nucleus, the electron must be freed of the laser's energy it gained.
4. The energy is emitted as an ultraviolet flash, an experience to the next light.
5. Attosecond pulses are created.

ATOM'S FIELD
LASER LIGHT
ELECTRON
NUCLEUS

Example of an experimental set-up
LASER LIGHT
COMBINED LASER BEAM
TRAIN OF ATTOSSECOND PULSES
FILTER
DELAY
OBSERVATION

DIFFERENT OVERTONES
Different overtones from many atoms
The tones amplify each other
The waves amplify each other

THE TRICK TO MAKING SHORTER PULSES
Combining more and shorter wavelengths of light. The key is the overtones in laser light: overtones have several cycles for every cycle in the original wave.

IN 1987, Anne L'Huillier and her colleagues were able to produce and demonstrate overtones in infrared laser light by emitting through various noble gases. The experiment showed there was a plateau with many overtones of about the same intensity.

IN 2001, Pierre Agostini succeeded in producing and investigating a series of light pulses. Each pulse was just 200 attoseconds long.

IN 2001, Ferenc Krausz worked on a different type of experiment. He managed to isolate an individual pulse with a duration of 600 attoseconds.

THE LASER LIGHT IS DIVIDED into two beams, which only is used to create a train of attosecond pulses. This pulse train is then added to the original laser pulse and the combination is used to perform extremely rapid experiments.

Pierre Agostini
Born 1961 in Tunis, Tunisia. Professor at The Ohio State University, Columbus, USA.

Ferenc Krausz
Born 1962 in Mór, Hungary. Director at Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching and Professor at Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany.

Anne L'Huillier
Born 1958 in Paris, France. Professor at Lund University, Sweden.

2023. október 3. – A Nobel-díj Alapítvány sajtóközleménye

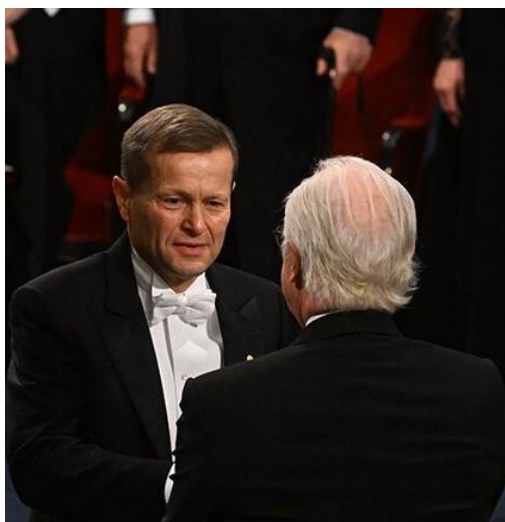
A Svéd Királyi Akadémia úgy döntött, hogy a 2023-as fizikai Nobel-díjat a következő személyeknek ítéli oda:

Pierre Agostini, Ohio Állami Egyetem, Columbia, USA,

Krausz Ferenc, Max Planck Kvantumoptikai Intézet, Garching és Ludwig-Maximilians-Universität München, Németország,

Anne L'Huillier, Lund Egyetem, Svédország,

„Az attoszekundumos fényfelvillanások kísérleti előállításáért, amelyekkel az anyagok elektronjainak mozgása tanulmányozható.”



Nobel-díj átadása [1]



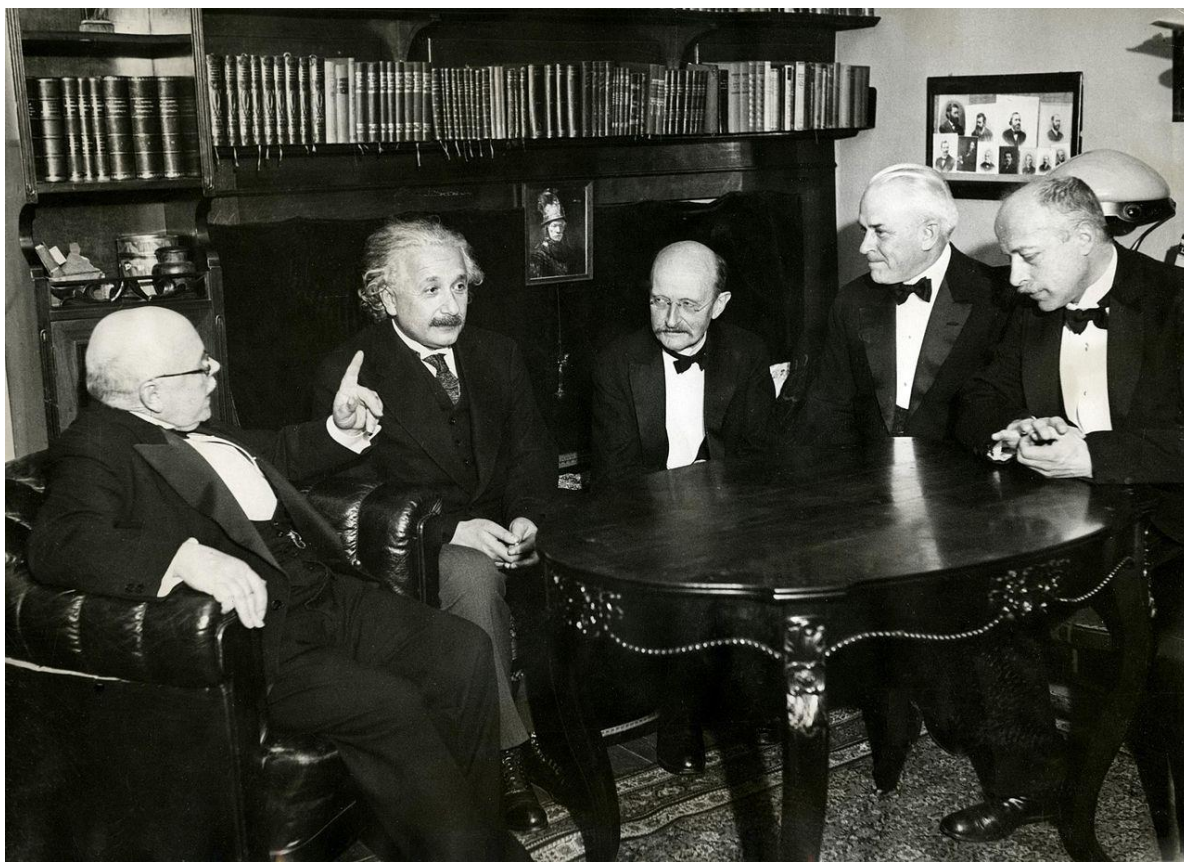
Krausz Ferenc a lézertalorban [2]

A XX. század fizikája a nagy elődökkel

A teljesség igénye nélkül vegyük végig a 20. század évtizedeinek legfontosabb eseményeit a fizika területén.

Első évtized (1900-) – 1900. december 14. a kvantummechanika születésnapja. A kvantummechanika atyja, Max Planck (Nobel-díj 1919) az addigi, ma úgy mondjuk, klasszikus fizika gondolatvilágába nem illő, forradalmian új megállapításával, miszerint a részecskék világában az energia oszthatatlan adagokban, úgynevezett kvantumokban létezik, meg tudta magyarázni a testek hőmérsékleti sugárzását.

1905: Albert Einstein (Nobel-díj 1921) a speciális és általános relativitáselmélet kidolgozója, Planck energia-adagosságának gondolatát felhasználva, megalkotja a fényrészecske, a foton fogalmát, amivel helyesen tudja értelmezni a fény és az elektron kölcsönhatását. Ezzel az addig csak elektromágneses hullámként elfogadott fényt új tulajdonsággal, a fényrészecske-tulajdonsággal ruházta fel. Eszerint a fény nem egy folytonosnak elképzelt hullám, hanem inkább egy véges hosszúságú hullámcsomag.



Balról jobbra: W. Nernst, Albert Einstein, Max Planck, R. A. Millikan és von Laue egy vacsorán, amelyet von Laue adott Berlinben 1931. november 11-én [3]

Einstein egy 1917-ben írt dolgozatában veti fel elsőként a fény mint hullámcsomag és az atomba zárt elektron kölcsönhatásában azt a jelenséget, amit később a lézerműködés alapvető jelenségeként stimulált emisszióknak neveznek.

Már Henry Becquerel 1896-ban felfedezi a radioaktivitás jelenségét, de magát a nevet Maria Sklodowska-Curie adja, aki férjével Pierre Curie-vel felfedezi a rádiumot, és helyesen értelmezi a természetes radioaktív sugárzásokat, az alfa-, béta- és gamma-sugárzást (Nobel-díj 1903).



Henri Becquerel [4]

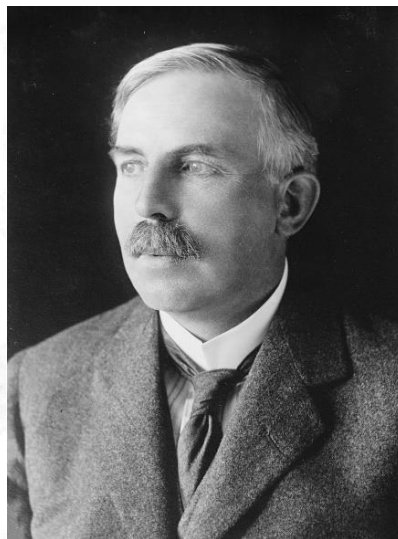
Maria Sklodowska Curie [5]

Pierre Curie [6]

Második évtized (1910-) – Az atommodellek fejlődésének évtizede. J. J. Thomson fedezi fel az atomon belüli részecskét, az elektront 1897-ben (Nobel-díj 1906). Atommodellje, a „mazsolás puding”, mely szerint az atom tömör, pozitív masszából és benne koncentráltan elhelyezkedő elektronok együtteséből áll, nem adott kielégítő magyarázatot az atom sugárzási jelenségeire. Ernest Rutherford (Nobel-díj 1908) alfa-sugarak segítségével történő szórás kísérletének (1911) eredménye az atom legnagyobb tömegének, az atommagnak a kimutatása. Az atomátmérő és a magméret viszonyát úgy képzelhetjük el, mint egy futballstadion átmérőjének és a pálya középpontjában lévő borsószem átmérőjének viszonyát. Rutherford atommodelljét Niels Bohr (Nobel-díj 1922) fejleszti tovább, atommodelljével a legegyszerűbb atom, a hidrogénatom tulajdonságait meg tudja magyarázni, de még mindig csak a mag körül keringő elektronok világával.



J. J. Thomson [7]



Ernest Rutherford [8]



Niels Bohr [9]

Harmadik évtized (1920-) – Louis de Broglie (Nobel-díj 1929) Planck és Einstein elméletét továbbgondolva feltette, hogy ha a hullám lehet részecske, akkor miért ne lehetne a részecske (az apró test) hullámtulajdonsággal is felvértezve, és valóban kísérletileg is igazolódott feltevése. Két elméleti fizikus, Erwin Schrödinger (Nobel-díj 1933) és Werner Heisenberg (Nobel-díj 1932) két különböző matematikai formalizmussal leírta a részecske-hullám kettősséget, megalkotva a kvantummechanika elméleti rendszerét, amely már minden összetett részecske-rendszer kísérleti eredményeit meg tudta jósolni. Ettől fogva használjuk az atomba zárt elektron keringése helyett az elektronfelhőt, ami az elektron megtalálási bizonytalanságára, valószínűségére utal.



Luis de Broglie [10]

Erwin Schrödinger [11]

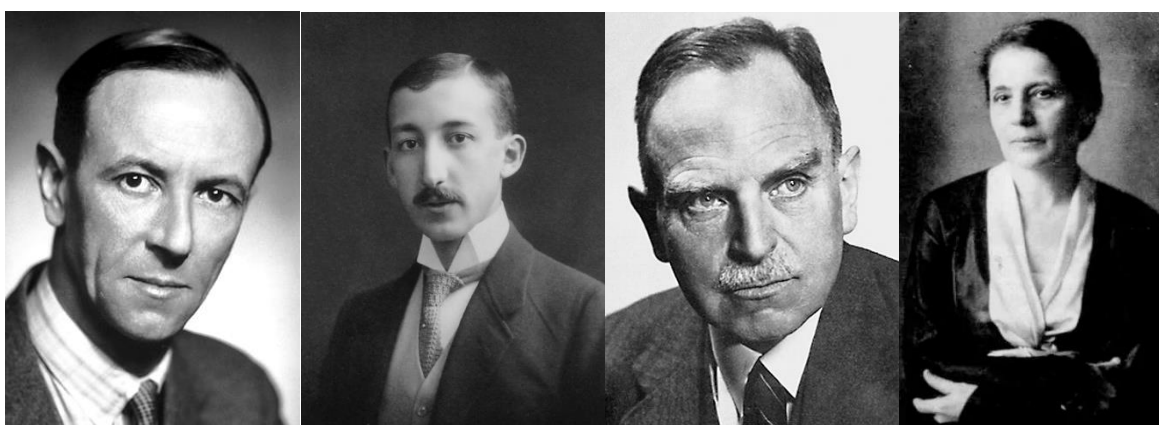
Werner Heisenberg [12]

G. P. Thomson [13]

A három elméleti tudós eredményeinek kísérleti igazolásáért, az elektronok hullámtulajdonságának kimutatásáért J. J. Thomson fia, G. P. Thomson 1937-ben kapott Nobel-díjat.

Negyedik évtized (1930-) – Az atomelmélet nagy fejtörése, az atom tömegét alkotó atommag tömegének különbözősége egy ugyanazon elem esetén. A kémiai tulajdonságot meghatározó rendszám, a protonok (nevét Rutherfordtól kapta 1915-ben) száma különböző tömegekkel jelenik meg. Először arra gondoltak, hogy a magban a protonok mellett elektronok is vannak, de ezt hamar elvetették „az atomi nyüzsgés” miatt. Végül az angol James Chadwick (Nobel-díj 1935) fedezte fel a felelős új, elektromosan semleges részecskét, a neutron. A harmincas években elindult, mesterséges radioaktivitást kutató kísérletek a neutron felfedezésével nagy erőre kapnak. A neutronnal meglőtt atommagok újabb részecskékre bomlanak szét. Nagy büszkeségünk, Hevesy György (Nobel-díj 1943) az orvosi diagnosztika forradalmasítója, a radioaktív nyomjelzés atyja, neutronnal aktiválva olyan izotópokat hozott létre, amelyeket a véráramba juttatva az emberi test egyes részeinek működését lehet vizsgálni.

Másik magyar büszkeségünknek, Szilárd Leónak jut először eszébe, hogy elképzelhető olyan magreakció, hogy a neutronaktiváció olyan bomlási folyamatot indíthat el, hogy a bomlás során újabb neutron, illetve több neutron is keletkezik, s ez láncreakciót indíthat be. Ezt a sejtést a maghasadással, melyet Otto Hahn (Nobel-díj 1944) és Lise Meitner 1939-ban felfedezett fel, sikerült kísérletileg bizonyítani.



James Chadwick [14]

Hevesy György [15]

Otto Hahn [16]

Lise Meitner [17]

Ötödik évtized (1940-) – Az atomenergia felszabadításának az évtizede. A sok tudós között is kiemelkedő munkát végzett Neumann János, Szilárd Leó, Teller Ede és Wigner Jenő (Nobel-díj 1963). Wigner Jenőt az atomreaktor tervezés atyjának, Teller Edét a reaktorépítés lelkiismeretének nevezhetjük. Wigner volt az első reaktortervezés felelőse, több reaktorfizikai probléma megfejtője. Teller elérte, hogy a könnyebb kivitelezhetőségű, de magas kockázatú szénvázás atomerőművek ne épülhessenek meg Amerikában.



Neumann János [18]

Szilárd Leó

Teller Ede

Wigner Jenő [19]

Bár a fenti fizikátörténeti gondolatmenetbe nem illik bele, meg kell említenünk Békésy Györgyöt, aki vegyészként diplomázott a berni egyetemen Svájcban, de fizikából doktorált Budapesten 1923-ban. 1948-ig, a kommunista hatalomátvételig Magyarországon dolgozott. Műszaki feladatai a hallás folyamatának érzékelése, a belső fül működésének megértésére fordították figyelmét. Eredményeit orvosi Nobel-díjjal jutalmazták 1961-ben második magyarként Szent-Györgyi Albert (Nobel-díj 1937) után. Itt említjük meg harmadik orvosi Nobel-díjasunkat, Karikó Katalint (2023).



Szent-Györgyi Albert [20]

Békésy György [21]

Karikó Katalin [22]

Hatodik évtized (1950-) – A technikai és technológiai fejlődés és a háború utáni tudományos összefogás eredményeként Svájc és Franciaország határán, Genfben megépül a részecskefizika központja, a CERN. Itt a nagy részecskegyorsítók segítségével újabb és újabb részecskék kutatása vált lehetővé, és az évtized végére, a következő évtized elejére megtalálják az atommag alkotóinak, a neutronnak és a protonnak az építőköveit, a kvarkokat és gluonokat.

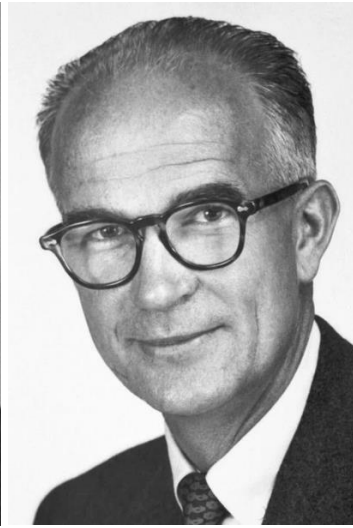
A tudományos kutatás eredményeinek feldolgozása már nem volt elképzelhető számítógépek nélkül. A Neumann János által kifejlesztett, azóta Neumann-elvű számítógépek először elektromechanikus relékkel, majd elektroncsövekkel épültek fel. A számítógépek méretének forradalmi csökkenését a félvezetők elterjedése tette elérhetővé. A félvezető alapú tranzisztorok kifejlesztéséért Walter Brattain, John Bardeen és William Shockley 1956-ban kapott Nobel-díjat.



Walter Brattain



John Bardeen



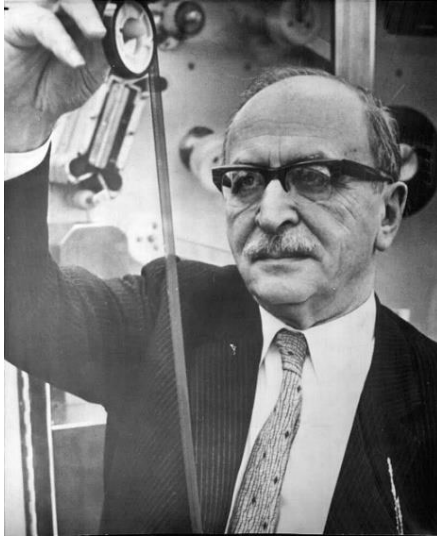
William Shockley [23]

Hetedik évtized (1960-) – A lézer első változatát az amerikai mérnök-fizikus, Theodore Harold Maiman mutatja be 1960. május 16-án.



A világ első lézere [24]– készítette Theodore Maiman [25]

Az 1960-as év első éve (éppen a nulladik) egy rendkívüli eszköz feltalálásával, kifejlesztésével indult. Ezzel az eszközzel lehetővé vált többek között Gábor Dénes elméletileg kidolgozott teljes képalkotása, azaz egy fizikai tárgyról olyan kép megalkotása, amely a tárgyról minden információt le tud képezni, azaz egy valódi háromdimenziós képet tud megalkotni. Ezt a képalkotást ma holográfiának, a tárgyról alkotott képet hologramnak nevezük. A holográfiát Gábor Dénes 1947-en találta fel, de csak a lézer feltalálása tette lehetővé a hologram megalkotását. Gábor Dénes „a holografikus módszer feltalálásáért és a kifejlesztéséhez való hozzájárulásáért” 1971-ben kapja meg a fizikai Nobel-díjat [26].



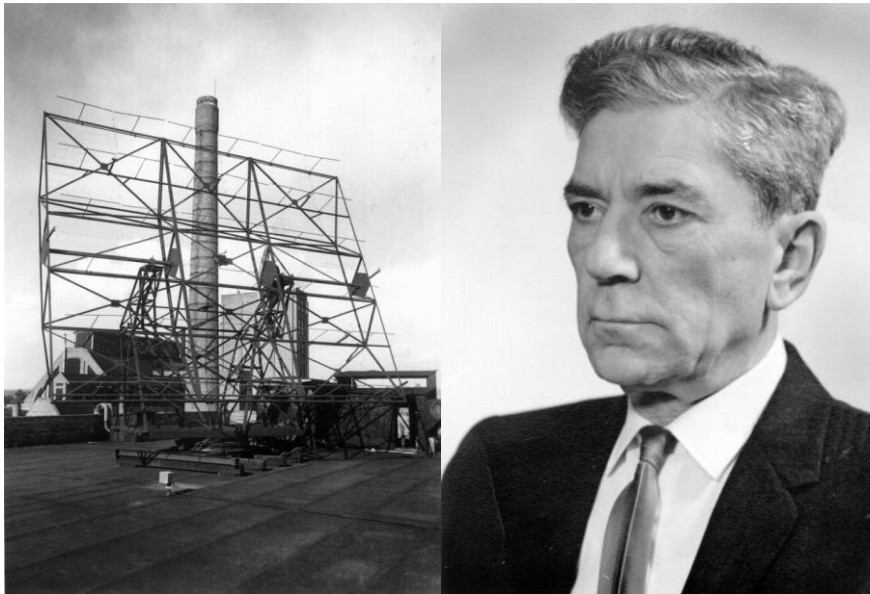
Gábor Dénes [27]



Hologram Gábor Dénesről [28]

1962. május 11-én az amerikai Massachusetts állam mérnökei már a Holdat „lövik” a lézerrel, és veszik fel a visszavert fényét, ahogy azt tette radarjellel Bay Zoltán [29].

Ez a tudománytörténeti érdekesség nemcsak a lézer miatt érdekes számunkra. Bay Zoltán volt a második, aki a Holdat „megérintette”. 1946-ban az Egyesült Izzó mérnöki csapatának vezetésével végrehajtotta a híres holdradarkísérletét.



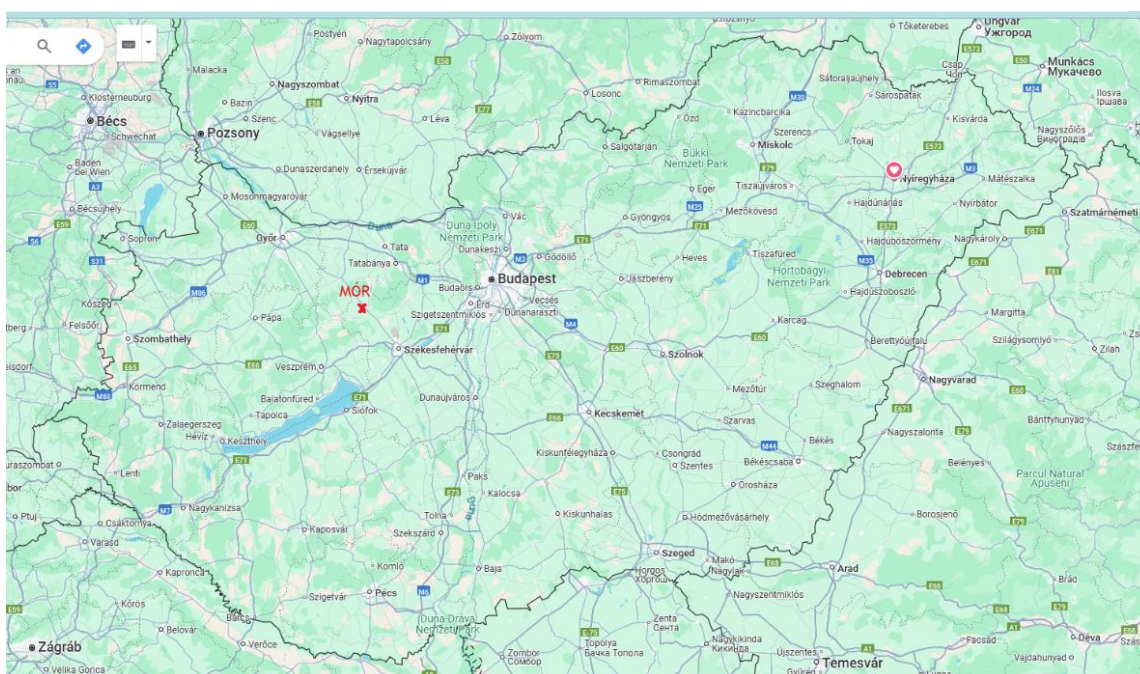
A Hold-radar antenna [30]– Bay Zoltán [31]

Krausz Ferenc

Pár nappal az amerikai lézeres Hold-letapogatás után, 1962. május 17-én megszületett Krausz Ferenc a Fejér vármegyei Mór városában. Mór városa a Győrt és Székesfehérvárt összekötő úton helyezkedik el a Vértes hegység nyugati aljában, Székesfehérvártól mintegy harminc, Győrtől nyolcvan kilométerre.

A török hódoltság 145 éve alatt a lakosság nagyon lecsökkent a településen. Külhoni jövevények egész sora érkezett Bajorországból és Württembergből, akik meghonosították a Vértes oldalában a szőlőkultúrát. 1763-ra a lakosság száma 2900-ra emelkedett. A lakosság számát 1784-ben írták össze pontosan: 4166 fő volt, ebből 36 nemes. 1846–1847-ben becslések szerint Mór 7175 lakójának ekkor háromnegyede német, negyed része magyar, néhány százalék szlovák nemzetiségű. A szorgos móriak gazdasági és társadalmi jóléte fellendülésének először az első, majd a második világháború vetett véget, de a legnagyobb csapást a háború lezárását követően a németek kitelepítése jelentette, amely 1700 főt érintett.

A háború utáni államosítások nyomán az 1950-es évektől a szén- és bauxitbányászat erőteljes fejlődése eredményezett újabb fellendülést. Az 1960-as években a szocialista iparosítás jegyében új üzemeket telepítettek. A gazdasági és infrastrukturális fejlődést elismerve Mórt 1984-ben nyilvánították újra várossá a 100. magyar városként. [32]



Krausz Ferenc betelepedett ősei asztalosok, méhészek, bányászok voltak. Szülei is a városban kétkezi munkával keresték kenyerüket nyugdíjazásukig. Két fiukat, Ferencet és hat évvel fiatalabb testvérét, Tibort a munka tiszteletére tanították, és mindent megtettek azért, hogy fiaik tanulmányaikat a legbiztonságosabban végezhessék.

Ferenc az általános iskolát Móron a Radnóti Miklós Általános Iskolában végezte. Az iskola immáron 130 éves fennállása alatt épült-szépült. Az 1894-es évben induló 4 osztályos polgári iskola célja „értelmes gazdákat, iparosokat és kereskedőket adni a hazának.” Előrelátó, gondos iskolatervezéssel hozták létre a 8 tanteremből, 6 szertárteremből, csillagvizsgáló teraszról álló tanítási részt, amit kiegészítettek az első emeleti könyvtárak, külön tanári és ifjúsági szobák, és az alagsori kézimunka melletti fürdőszoba.”

Az 1967-es tűzvészben a teljes tetőszerkezet leégett. Az ezt követő építkezésben nemcsak a tetőszerkezetet építették újjá, hanem egy új emeletet is kapott az iskola. Amikor Ferenc elemi iskoláit kezdte, már ebben az újjávarázsolt, szép iskolában kezdhette tanulói éveit. Az elmúlt években újabb épületrészt kapott az iskola, köszönhetően a gyereklétszám bővülésének. [33]



A Radnóti Miklós Általános Iskola régi és új szárnyának látképei

Belépve a főbejáraton, balra a folyosón éppen a természettudományi előadóval szemközi falon van Ferenc általános iskolai ballagási tablója. Ferenc alulról a második sorban jobbról a negyedik Krausz Ferenc II. néven.



A móri Radnóti Miklós Általános iskola folyosója – falán az 1976-ben végzett 8.a osztály tablója

A tablóval éppen szemben léphetünk be a kezdetek kezdetére, ahol Kiss Károly tanár úr szenvedélyes kísérleti bemutatói, órai magával ragadták a 12 éves Ferencet, aki a Nobel-díj után adott riportjaiban nagy szeretettel emlékszik vissza Kiss tanár úrra.



Kiss Károly tanár úr és az ő kedvenc terme a természettudományi előadó

Általános iskolai és későbbi gimnáziumi osztálytársától, Köhidi Margittól, Gittától megtudhattuk, hogy Ferenc nagyon szeretett sportolni, futni, kerékpározni, az óráközi szünetekben pingpongozni. Nem volt különösebben központi alak az osztályban, de minden osztályprogramban részt vett, nagyon sokat segítette az osztálytársait a matematika- és fizikadolgozatokra való felkészülésben.

Az iskola jelenlegi igazgatónője, Kajos Péterné, Ági elmondta, hogy már évek óta élő kapcsolat van tantestületi szinten Krausz Ferenc professzor úrral, évenként egyszer meglátogatja őt egy kisebb csapat Németországban.

Gimnáziumba is Mór városában, a Táncsics Mihály Gimnáziumba járt. Visszaemlékezéseiből megtudhatjuk, hogy mehetett volna akár Győrbe, akár Székesfehérvárra nagyobb hírű iskolákba, de úgy döntöttek otthon, hogy az ingázás fáradalmait és idejét megspórolva inkább szülővárosában folytatja középiskolás éveit.



A móri Táncsics Mihály Gimnázium homlokzata és a Ferenc érettségi tablójáról készült kép

Krausz Ferenc gimnáziumi éveiről alább olvashatjuk saját mondatait a gimnázium 60 éves fennállásának alkalmából készített riportból.

„– A Táncsics Mihály Gimnáziumban végzett. Hogy emlékszik vissza az itt eltöltött időre?

Mint életem legszebb éveire. Nagyszerű osztályközösségünk megannyi kalandja, az iskola falain belül és kívül egyaránt, ugyanúgy frissen az emlékezetemben élnek, mint Balogh tanár úr történelem-, Cseh tanár úr fizika-, Farkas tanárnő kémia-, Klock tanárnő matematika- vagy Mátrai igazgató úr németórái, valamint kiváló tanárainkhoz fűződő közvetlen kapcsolatunk, amelynek köszönhetően bármilyen ügyes-bajos dolgunkkal fordulhattunk hozzájuk. Tudásszomjunk ellenére a legnagyobb és legemlékezetesebb élmények persze nem a gimnáziumi órákhoz, hanem osztálykirándulásokhoz, hétvégi összefüggésekhez meg iskolai diszkókhöz fűződnek, de ezek részleteibe inkább nem mennék bele....

– Visszatekintve a múltba, mit nyújtott Önnek a Táncsics gimnázium?

Egy mondatban kifejezve: elindított azon az életpályán, amelynél izgalmasabb és szebb számomra mind a mai napig nem létezik, és amelynek köszönhetően azon szerencsések közé tartozom, akik munkájukat úgy végezhetik, mintha hobbijuk lenne. Kicsit részletesebben: a Táncsics gimnáziumban derült ki végérvényesen, hogy – köszönhetően nem utolsósorban nagyszerű tanárainak – a természettudományok és a technika, azokon belül is a fizika és elektrotechnika bővízkörébe kerültem, és – hála Istennek – ebből többé nem volt szabadulás. Az alapvető érdeklődés mellett hatalmas hajtóerőt jelentett – megint csak jó néhány tanárom odaadó munkájának köszönhetően – a megyei, megyék közötti, valamint országos tanulmányi versenyeken való sikeres részvétel. Büszkeséggel tölt el, hogy ezekkel az eredményekkel hozzájárulhattam a Táncsics gimnázium jó hírének öregbítéséhez.” [34]

Valóban hozzájárult. A Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok (röviden KöMaL) archívumában megtalálhatjuk az öregbítés nyomait.



Klock Julia matematika tanárnő [35]

A Fejér, Pest és Veszprém megyei középiskolások 1978. évi matematikai versenye

A Bolyai János Matematikai Társulat megyei Tagozatai ebben az évben is megrendezték a három megye középiskolás tanulóinak hagyományos matematikai versenyét. A verseny házigazdája ebben az évben a Fejér megyei Tagozat volt. A zárthelyi dolgozatok egyéni versenyen két kategóriában indultak a tanulók: tagozatosok (matematika II., matematika I., fizika szakosítású osztályok tanulói) és az általános tantervűek (egyéb szakosítású és általános tantervű gimnáziumi osztályok és szakközépiskolák tanulói). A verseny tételeit összeállította és a zsűri munkáját irányította dr. Urbán János, az OPI fődáldója.

A versenyen elérhető maximális pontszám 40 pont.

A verseny eredménye:

Tagozatos osztályok

I. évfolyam: 1. *Slenker Gyula* (Székesfehérvár, Telemi B. Gimn.) 21; 2. *Végh Balázs* (Vác, Sztáron S. Gimn.) 19; 3. *Csere Kálmán* (Veszprém, Lovassy L. Gimn.) 17 pont.
II. évfolyam: 1–2. *Bölszöldi László és Dénes László* 40; 3. *Benkő Bálint* 39 pont, mindhárman a székesfehérvári Telemi B. Gimn. tanulói.

III. évfolyam: 1. *Mészáros András* (Veszprém, Lovassy L. Gimn.) 44; 2. *Oláh Károly* (Veszprém, Lovassy L. Gimn.) 38; 3. *Nagy Gábor* (Székesfehérvár, Telemi B. Gimn.) 37 pont.

IV. évfolyam: 1. *Eisenberger Antal* (Székesfehérvár, Telemi B. Gimn.) 28; 2. *Sass Viktor* (Székesfehérvár, József A. Gimn.) 26; 3. *Szalkai István* (Veszprém, Lovassy L. Gimn.) 24 pont.

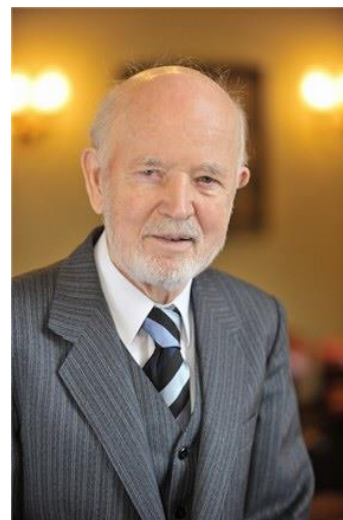
Általános tantervű osztályok:

I. évfolyam: 1. *János Imre* (Várpalota, Thuri Gy. Gimn.) 19; 2. *Reim Tibor* (Székesfehérvár, Ságvári E. Szakközépisk.) 17; 3. *Marx Ferenc* (Székesfehérvár, Ságvári E. Szakközépisk.) 15 pont.

II. évfolyam: 1. *Csismadia Sándor* (Vác, Lówy S. Szakközépisk.) 18; 2. *Krausz Ferenc* (Mór, Táncsics M. Gimn.) 19 pont.

III. évfolyam: 1. *Bogdan Klára* (Cegléd, Kossuth L. Gimn.) 38; 2. *Mala József* (Cegléd, Kossuth L. Gimn.) 31; 3. *Simon Károly* (Székesfehérvár, Ybl M. Szakközépisk.) 24 pont.

IV. évfolyam: 1. *Mihálik Rudolf* (Mór, Táncsics M. Szakközépisk.) 21; 2. *Wittmann Zoltán* (Székesfehérvár, Ságvári E. Szakközépisk.) 15; 3. *Tóth Csaba* (Székesfehérvár, Ságvári E. Szakközépisk.) 13 pont.



Láng Hugó matematika professzor [37]

Visszaemlékezések szerint kiemelkedően segítette Ferencet matematikatanára, Klock Julcsi néni, aki elmondta „Feriről” a Nobel-díj utáni riportban, hogy: „Sokat sportolt a társaival az iskolában, többek között pingpongozott és röplabdázott. Elképzelni sem tudtam, mikor jut ideje a tanulásra, ezért megkérdeztem. Ő közölte, hogy amikor hazaér, átnézi az anyagot. Rendkívül okos fiú, mégis igazi gyerek volt. Egyáltalán nem tudálékoskodott.” [35]

Láng Hugóhoz, a későbbi Rátz Tanár Úr-életműdíjas tanár úrhoz utazott hetente Ferenc Székesfehérvárra, speciális matematika-szakkörre. A KöMaL archívumában is látható nyom szerint a versenyeredmény miatt kaphatott meghívást Láng tanár úrtól.

Csak valószínűsíteni tudjuk, hogy ezután kezdhette el a komolyabb munkát a KöMaL fizikafeladataival. A vele készült riportfilmekből tudjuk, hogy a Táncsics gimnázium könyvtárból hazavitte a KöMaL korábbi füzeteit, és sorra megoldotta a benne lévő feladatokat. Később már a legnehezebb feladatok megoldásait tőle publikálták a későbbi számokban.

db.komal.hu/KomalHU/index.phtml

Matematikai és Fizikai Lapok

KöMaL

A(z) **Krausz Ferenc** névre kerestünk.

Tabló képek (1 találat):

1980/december: 4. oldal 4. sor 4. oszlop

Feladatok megoldásai (8 találat):

- 1980/május: 1599. fizika feladat
- 1980/október: 1613. fizika feladat
- 1980/november: 1623. fizika feladat
- 1980/december: 1638. fizika feladat
- 1980/december: 1640. fizika feladat
- 1981/január: 1645. fizika feladat
- 1981/január: 1646. fizika feladat
- 1981/január: 1650. fizika feladat

Kömal elektronikus archívuma [38]

Nemzetközi fizikai verseny Finnországban

1978-ban nem rendeztek Fizikai Diákolimpiát. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat akkor meghívott egy finn diákcsoportot – 6 tanulót 2 vezetővel –, és Debrecenben, az ATOMKI támogatásával, fizikaversenyt rendezett. 1980-ban a fizikai olimpia ismét elmaradt. Most a Finn Matematika-, Fizika- és Kémia Tanárok Egyesülete (MAOL) hívott meg magyar diákokat. A diáktalálkozó ezúttal valamivel szélesebb körben került megrendezésre. Fizikán kívül verseny volt matematikából is; részt vettek svédok és a matematikaversenyen saját költségükön angolok is. A magyar csapat utazását az Oktatási Minisztérium tetto lehetővé. A vendéglátás költségeit a MAOL és a finn ipari vállalatok szövetésege véselte.

A magyar csapat vezetői *Kunfalvi Rezső* és *Tichy Géza*; tagjai *Balogh Zsolt* (Szombathely, Nagy Lajos Gimn.), *Krausz Ferenc* (Mór, Táncsics M. Gimn.), *Lászlak László* (Budapest, Fazekas M. Gyak. Gimn.), *Mads Tyóor* (Kecskemét, Katona J. Gimn.) és *Szalontai Zoltán* (Törökzentmiklós, Berceányi M. Gimn.) voltak. (A csapatot *Tichy Géza*, *Takács László* és *Poór István* készítette fel a versenyre.)

A csapat jún. 29-én érkezett repülőgépen Helsinkibe. Rövid séta és vacsora után különautóbusz vitt Turkuba, a régi fővárosba. Jún. 30-án a finn szigetvilág között 6 óra hajóút Åland szigetére. Júl. 1-én de. elméleti verseny egy modern iskolában; du. hajóút vissza Turkuba. Júl. 2-án városnézés, az egyetemi csallagvizsgáló megtekintése, bangverseny a Sibelius múzeumban, du. autóbuzson Helsinkibe. Júl. 3-án kísérleti verseny az egyetem fizikai intézetében, városnézés, este fogadás a vezetők, szórakoztató program a tanulók részére. Júl. 4-én szabad idő, ünnepélyes eredményhirdetés, hazautazás repülőgéppel Budapestre.

KöMaL arcképcsarnok

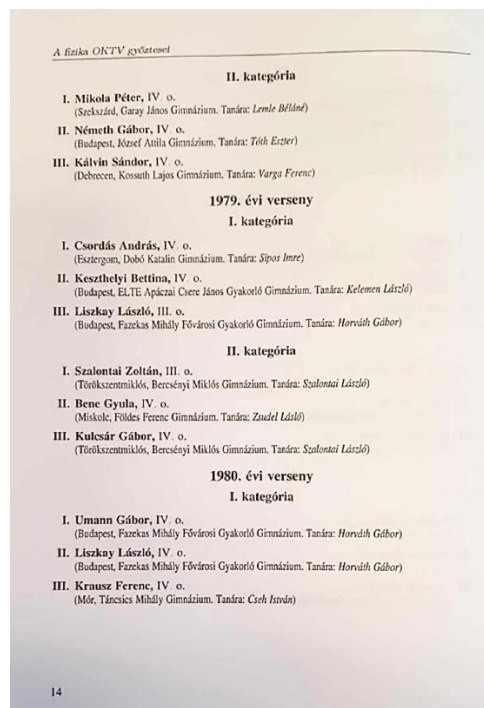
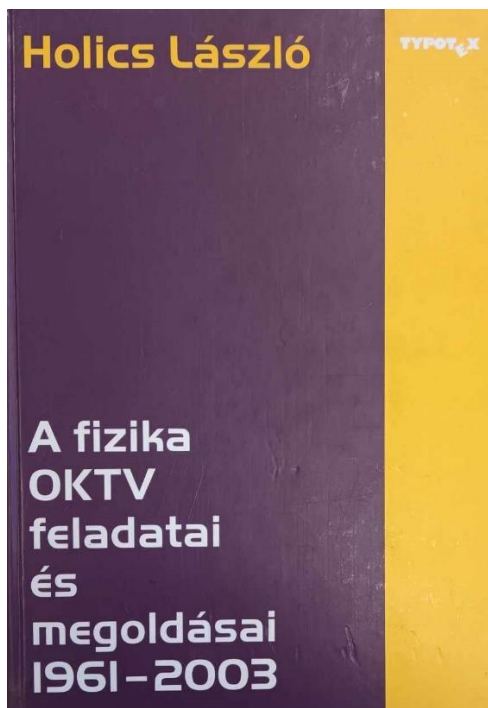
1979-1980

Krausz Ferenc

KöMaL arcképcsarnok

Ferenc 1980 júniusában leérettségizett, és bár abban az évben elmaradt a Nemzetközi Fizika Olimpia (IPhO), mint magyar olimpiai kerettag meghívást kapott a csapattal Finnországba, az Åland-szigeten megrendezett versenyre.

Másik dicsőséges nyom az OKTV, az Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny fizika tantárgyának I. kategóriájában elért 3. helyezés, amivel az akkori felvételi rendszer szerint már csak érettségiznie kellett, a felvételi eljárástól mentesült, „besétált” az egyetemre. Ferenc nevét megtalálhatjuk a Holics László tanár úr által írt *A fizika OKTV feladatai és megoldásai 1961–2003 című* kiadvány 14. oldalán.



Holics tanár úr fizika OKTV első kötete [40]

A fent már megemlített (borsonline-) riportból tudjuk, Ferenc az ELTE fizikus szakára szeretett volna jelentkezni, de a Táncsics gimnázium akkori igazgatója, Mátrai tanár úr lebeszélte: „*Figyelmeztettem, hogy azzal a diplomával nagyon nehéz elhelyezkedni, és megjegyeztem, hogy az egyik ismerősöm is hiába keres munkát. Azt javasoltam Ferinek, hogy válassza a műszakit. Négy évvel később találoztunk, és megtudtam, hogy végül a két szakot együtt végezte, és meg is mutatta mindkét indexét. Akkor közöltem vele, ha ennyire szorgalmas, nagyon sokra fogja vinni.*” [35]

Így lett Ferenc a BME Villamosmérnöki Karának hallgatója. A kor szokása szerint az egyetem megkezdése előtt 11 hónapos sorállományú kiképzésre került Debrecenbe. A katonai időszakából két tény ismeretes. Az egyiket a Kiss Gábor István rendezésében bemutatott, *Az elektronok nyomában* című életrajzi dokumentumfilmből tudhattunk meg. A debreceni ezred futóversenyen első lett 800 méteren Krausz Ferenc, megelőzve a futóriválisát. Így nyilatkozik erről: „*pingpongoztam, atletizáltam... aztán jött a hadsereg... a Nobel-díj kapcsán jött egy e-mail: a 400, az 1500 és a 3000 méter ezredbajnoka üdvözlí a 800 méter ezredbajnokát.*”. Ferenc rendkívül szerényen megmagyarázza a filmben, hogy a riválisától kölcsönkapott szöges cipőben tudott nyerni.



Az 1980. évi Eötvös Loránd Fizikai Verseny

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 1980. október 25-én rendezte 57. versenyét Budapesten és 11 vidéki városban az abban az évben érettségizettek és középiskolások részére. A versenyzők 5 órai munkaidő alatt oldottak meg három feladatot. Bármely segédeszköz használata meg volt engedve, beleértve a zsebszámítógépet is. A versenyen 247 dolgozatot álltak be. Ismertetjük a feladatokat és a verseny eredményét.

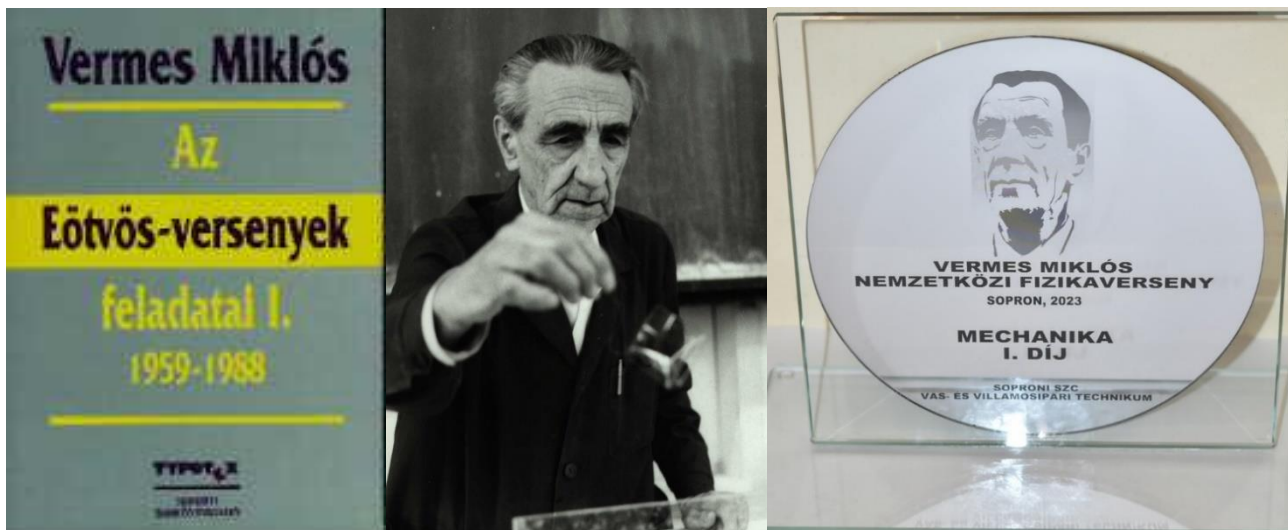
A verseny eredménye:

I. díjat nyert Szalontai Zoltán a BME villamosmérnöki karának hallgatója (Török-szentmiklósi és Bercsényi Miklós Gimnáziumban érettségizett mint Szalontai László tanítványa). II. díjat nyert Umann Gábor az ELTE matematikus hallgatója (Budapest és Fazekas Mihály Gimnáziumban érettségizett mint Horváth Gábor tanítványa). III. díjat nyertek egyenlő helyezésben Hidas Pál az ELTE fizikus hallgatója (Budapest és érettségizett az I. István Gimnáziumban mint Cséh Géza tanítványa) és Krausz Ferenc honvéd (érettségizett a móri Táncsics Mihály Gimnáziumban mint Cséh István tanítványa). Dicséretet kaptak egyenlő helyezésben: Bogdányi Zsolt honvéd (Szombathelyen a Nagy Lajos Gimnáziumban érettségizett mint Horváth István tanítványa), Nagy Tibor a szombathelyi Nagy Lajos Gimnázium IV. o. t., (tanára Peresztegi László) és Péll János Tamás a tatnai Eötvös József Gimnázium IV. o. t., (tanára Ádám Árpád, Mészáros András és Takács István).

A magyar krónika beszámolója Az elektronok nyomában életrajzi dokumentumfilm bemutatója után [41] KöMaL 1981. febr. [42]

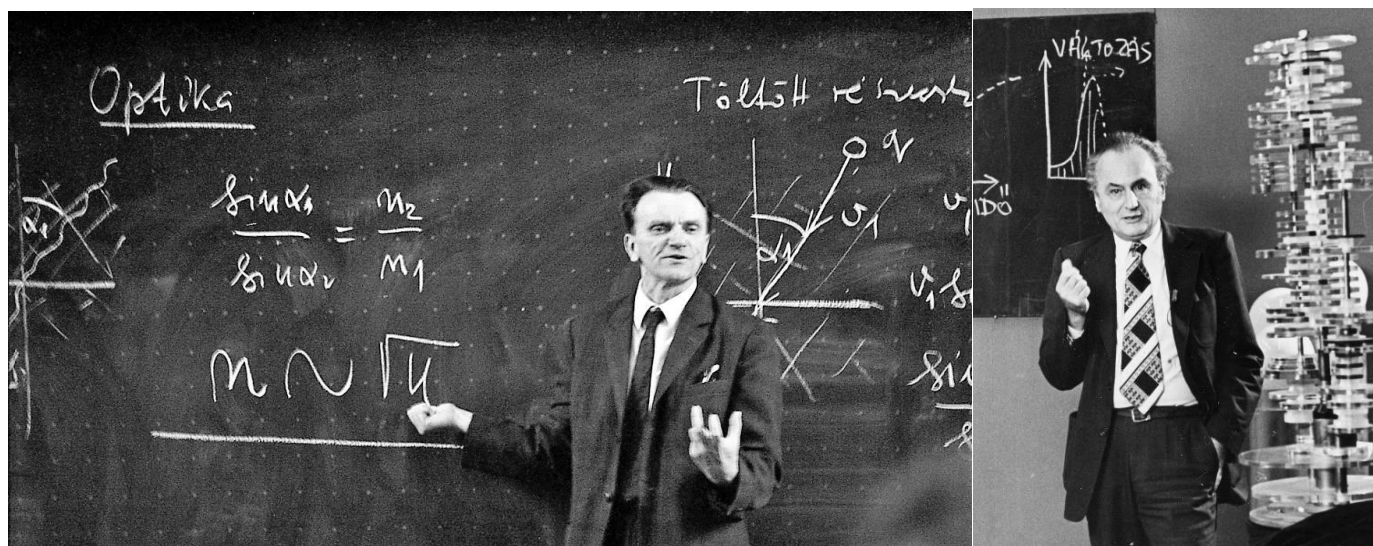
A másik tény, amit szintén egyik visszaemlékezéséből tudhatunk, hogy Vermes Miklós tanár úrral (tanítványainak csak Muki bácsi) folytonos levelezésben voltak a katonaság ideje alatt. Ennek áttételes nyomát ismét a KöMaL archívumában találjuk meg. Krausz Ferenc talán Magyarország legrangosabb fizikaversenyén,

az Eötvös Fizikaversenyen 1980-ban III. díjban részesült. Ezen a versenyen 3 elméleti feladatot kell megoldani öt óra alatt, minden írott segítség lehetőségével. Vermes Miklós középiskolai fizika-, kémia- és matematikatanár, kiváló tankönyvíró és kísérletező, ahogy azt megtudhatjuk a Wikipédiából. Valamint azt is, hogy „A soproni evangélikus líceumban (Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium) tanult, ahol egykoron Rátz László és Mikola Sándor is. Végig jeles bizonyítványa volt. 1923-ban érettségizett.” Muki bácsi, korának egyik legjelentősebb fizikatanára még a katonaság alatt is képezte, „gyorsította” Ferencet, ha nem is fizikailag, szellemileg biztos. Neve fémjelzi a Vermes Miklós Nemzetközi Fizikaversenyt, amelyet Sopronban rendeznek a tanév lezárását követő héten.



Vermes Miklós kísérletezés közben a Typotex Könyvkiadó oldalán [43] A Vermes Miklósról elnevezett verseny egyik díja

Krausz Ferenc 1981 szeptemberében a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Kar híradásipari ágazatának hallgatója lett a B tagozaton. Az egyetem 5 éves, de a B tagozat 4 év alatt teljesítette a teljes egyetemi képzést. Ferenc teherbíró képességét mutatja, hogy párhuzamosan az ELTE fizikusi szakára is beiratkozott. Így történhetett meg, hogy Magyarország két legkiemelkedőbb tudós tanárának tanítványa is lehetett, Simonyi Károlynak és Marx György professzoroknak.



Simonyi Károly előadás közben az 1970-es években. Forrás: mno.hu, Ürmössy Károly [44] Marx György professzor [45]

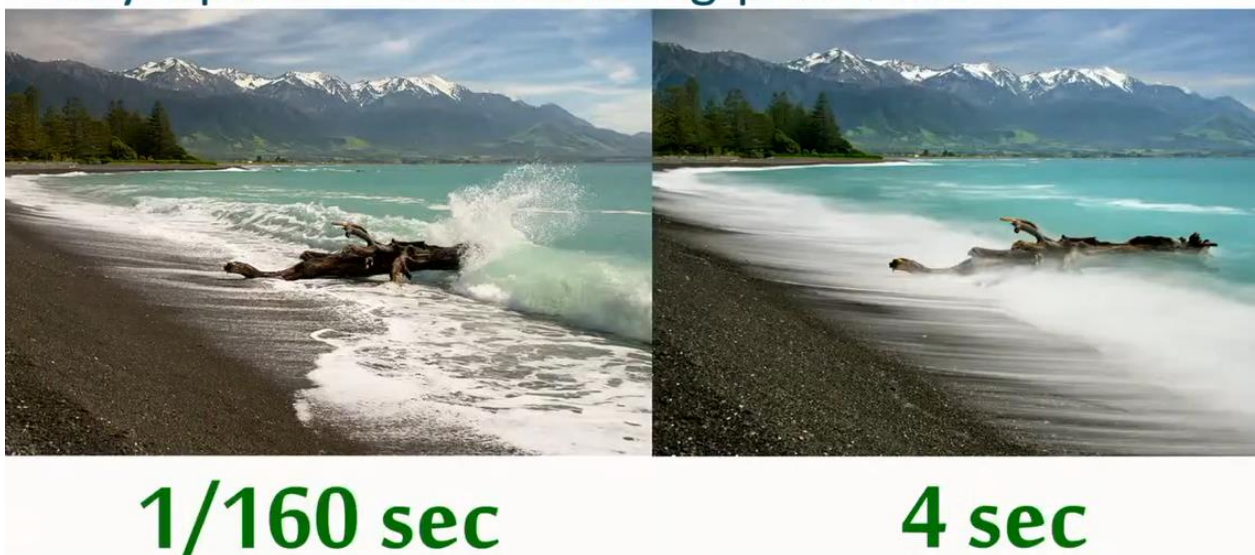
Érdeemes megemlíteni, hogy a professzorok könyveit talán már középiskolás korában is forgathatta. Egyik osztálytársa, jó barátja így mesél Ferencről *Az elektronok nyomában* című filmben, az 51. perctől kezdődően, ami után a filmben Krausz Ferenc levesz egy Simonyi Károly írta *Elektronfizika* könyvet: „Együtt utaztunk

Budapestre, leült mögém két üléssel hátrább, s mondta: – Bocs, de tanulnom kell – s kinyitott egy nagy, vastag könyvet...”.

Simonyi Károly tanár úr tanította a BME híradósait elméleti fizikára. Krausz Ferenc 2024. május 13-án a BME Q épületében tartott előadáson felidézte Simonyi professzor úr előadásának egyik részletét, amikor a fény mint elektromágneses hullám elektromos és mágneses rezgésösszetevőit mutatja a kezével. Simonyit idézve elmondja, hogy a fény olyan gyorsan rezeg, hogy azt nem lehet lefényképezni. Ferencben ez olyan mély nyomot hagyott, hogy további tanulmányában, kutatásában az kereste, hogyan lehetne mégis lefényképezni.

Tudjuk, hogy a folyamatokról akkor kaphatunk éles képet, ha a fényképezés legalább egy nagyságrenddel kisebb idejű, azaz rövidebb, mint a lefényképezendő folyamat. Jól illusztrálja az alábbi két kép a részletgazdagságot gyors fényképezés esetén, szemben az elmosódott képpel lassú fényképezéskor. A képet Dombi Péter, Krausz Ferenc volt doktorandusza, a Wigner Fizikai Kutatóközpont vezető fizikusa mutatta be *Krausz Ferenc, az elektronok Nobel-díjas lesifotója* című előadásában. Az előadás elérhető a YouTube-on. [46]

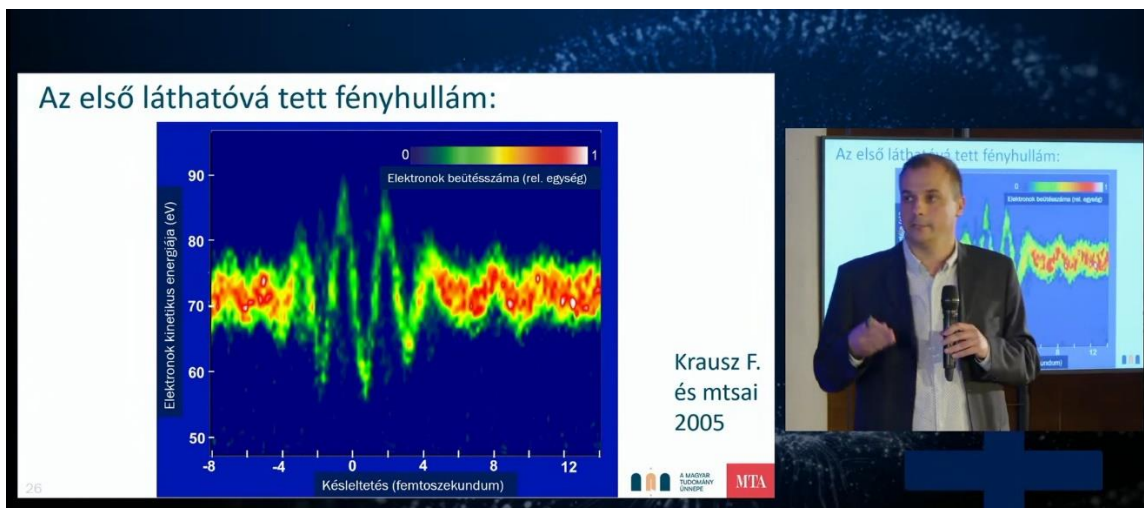
Fényképezés – a zársebesség-probléma



Fényképezés rövid és hosszú idejű zársebesség mellett

A fény rezgése „kicsit” gyorsabb folyamat, mint a víz spriccelése. A látható zöld fény hullámhossza 500 nm vagy másként 0,5 μm , azaz öttized mikrométer (mikrométer, a milliméter ezred része). Egy rezgési periódus ideje 1,67 fs (femtosekundum, a másodperc millió-milliárdod része), vagy másként $1,67 \cdot 10^{-15}$ s. A fentiekből következik, hogy a femtosekundumnál gyorsabban kell fényképezni. A femtosekundum alatti tartományt nevezük attosekundumosnak, atto = 10^{-18} . Ezt sikerült elérnie Krausz Ferencnek 2001-ben, mikor néhány száz attosekundumos lézerpulzusokat tudott előállítani, később már 80 attosekundumosat. (Jelenleg a világcsúcs 43 attosekundum.)

Dombi Péter előadásából megtudhattuk, hogy Krausz Ferencnek 2005-ben sikerült a fény rezgését is lefényképezni. Az alábbi képpel illusztrálta a számítógépes kiértékeléssel kapott eredményt. [46]



Dombi Péter a Krausz Ferenc által lefényképezett fényt mutatja be [46]

Kicsit előreugrottunk az időben, ugorjunk vissza 1985 nyarára, amikor tanulmányait befejezi Ferenc a BME-n és az ELTE-n. A BME-n diplomát szerez, az ELTE-n „csak” záróvizsgákat tesz. Diplomamunkájában rövid idejű lézerimpulzusok mérésével foglalkozik, amely témát Juhász Tibor javasolta neki. Ekkor még a rövid időt a pikoszekundum (millió-milliomod szekundum) jelentette, tehát a mérés az attoszekundumnál milliószorosan lassabb tartományú impulzusokkal történt.



A Budapesti Műszaki Egyetem központi épülete [47]



Juhász Tibor professzor úr [48]

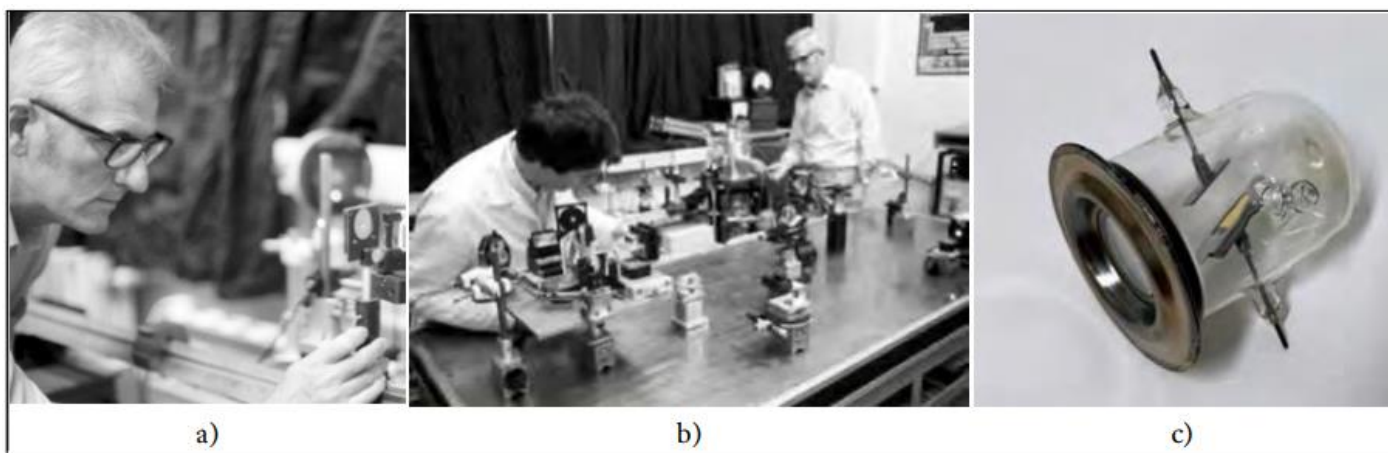
A diploma megszerzése után négy hónapra minisztériumi támogatással kikerült Bécsbe, az ottani műegyetem lézeres intézetébe, Arnold Schmidt docens úr csoportjába. Visszajövele után akadémiai ösztöndíjasként elkezdte doktori tanulmányait a BME lézeres csoportjában Bakos József vezetésével. Egy évvel később, 1986-ban már a neves angliai megjelenésű szaklapban (*Journal of Physics E: Scientific Instrument.*) jelent meg szerzőtársaival együtt a *Mikroprocesszor alapú rendszer ultrarövid lézerimpulzusok jellemzőinek mérésére* című cikke [49]. Még rövid bécsi tartózkodása alatt megjavított egy lézert, amire jól emlékezhetett az időközben professzorrá vált Arnold Schmidt, és meghívta Ferencet asszisztensének Bécsbe.



Arnold Schmidt a bécsi Fotonikai Intézet professzora [50] Bécsi Műegyetem (TU Wien) főbejárata [51]

1991-ben doktorált Bécsben, s maradt is a lézeres laboratóriumban. A Nobel-díj kihirdetését követő egyik első televíziós riportjából (Krausz Ferenc az *Út a Nobel-díjig* – Ez itt a kérdés 2023. október 6.) tudjuk, hogy a kilencvenes évek elején (1992) két magyar fizikus, Tóth Csaba és Farkas Győző jelentetett meg egy elméleti munkát, amelyben felvetették az elvi lehetőségét az attoszekundumos impulzusoknak. „*Felmerült, hogy mire is lehet ez jó. Hoppá, az elektronok mozgása egy teljesen érintetlen terület – terra incognita – az emberiség számára, ha ezek sikerülnének, egészen új dolgokat lehetne csinálni*” – mondja televíziós riportjában. [52]

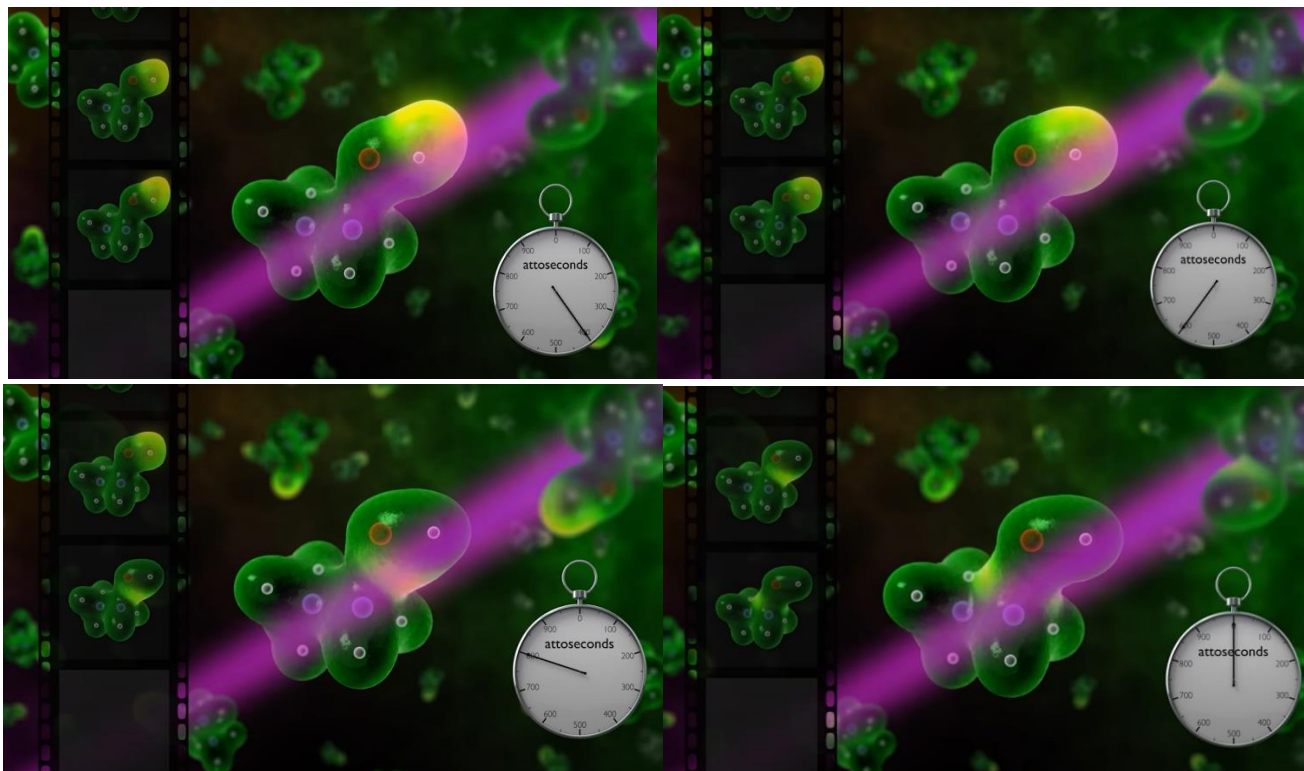
Farkas Győző professzor úr és Tóth Csaba fizikus ide vonatkozó munkásságáról olvashatunk a magyarországi fizikusok folyóiratában, a Fizikai Szemlében a 2024. januári lapszámban. A lap teljes terjedelmében letölthető: [53]



3. ábra. a) bal oldali fotó: Farkas Győző, a sokfotonos folyamatok kutatásának kiemelkedő, iskolateremtő alakja a KFKI kutatólaboratóriumában 1990-ben; b) jobb oldali fotó: Farkas Győző a jelen cikk egyik szerzőjével, Tóth Csabával, az elektronspektroszkópiai kísérletek beállítása közben. c) A fent leírt korai kísérletekben alkalmazott klasszikus céltárgy egy ún. „csőbőr” volt. Ez az informális elnevezés egy fémelektrodákat tartalmazó, vákuumra ($<10^{-7}$ mbar) leszivattyúzott és lezárt üvegedényt jelentett. Az egyik elektróda mindig gondosan előkészített, felületkezelt, rendkívül sima aranylemez volt olyan elrendezésben, amely lehetővé tette mind a lézeres megvilágítás hatására a fémelektrodából kilépő elektronok, mind pedig a felületnél keletkező másodlagos fényjelenségek észlelését

Részlet A SOKFOTONOS FÉMFELÜLETI FOLYAMATOKTÓL AZ ALAGÚTEMISSZIÓN ÁT AZ ATTOSZEKUNDUMOS FÉNYIMPULZUSOKIG: A 2023. ÉVI FIZIKAI NOBEL-DÍJ ELŐZMÉNYEI A KFKI/SZFKI-BAN cikkből

A bécsi labor lehetőségei között, majd egy évtizedes kísérleti munkával, már a kutatócsoport vezetőjeként 2001-ben (szeptember 11. hajnal 4 óra) sikerült előállítani a várva várt femtoszekundum alatti attoszekundumos impulzusokat. Ezekkel az impulzusokkal már lehet tanulmányozni a molekulákban lévő elektronok állapotát. A Nobel-díj után megtartott előadásokban a mérési eredményekből megkonstruált elektronállapotok képeit, az elektron mozgását láthatjuk.

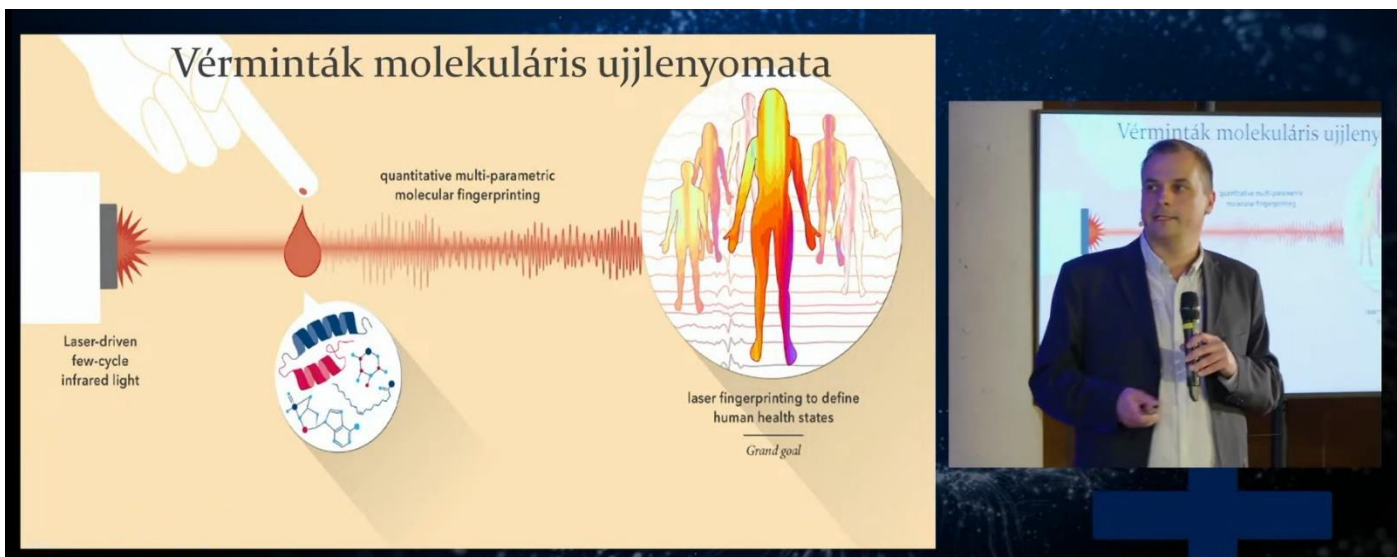


200 attoszekundumos időközönként készített képkockák modellezett képei az elektronok mozgásáról az atomban
 Ferenc Krausz - Attosecond Physics (VIDEO PORTRAIT) [54]

Krausz Ferenc 2004-től a németországi Max Planck Kvantumoptikai Intézet igazgatója, ugyanettől az évtől a müncheni Ludwig-Maximilians-Universität Kísérleti Fizika Tanszékét is átvette, továbbá 2019-től a budapesti Molekuláris Ujjlenyomat Kutató Központ (Center for Molecular Fingerprinting Research, CMF) vezetője.

Krausz Ferenc a következőképpen magyarázza a világon egyedülálló ujjlenyomat-kutatási munka lényegét. *„Rendkívül rövid infravörös fényimpulzusokat használunk, amelyekkel átvilágítjuk a vérmintát. Ez a fényimpulzus megerjeszti a molekulát, és a molekulák sok frekvencián rezgésbe jönnek, amelyek jellemzőek a molekulákra. Olyan ez, mint a hangvilla válasza, ha megpendítjük. A gerjesztésre adott választ nevezhetjük a vér molekuláris ujjlenyomatának. Ezt a jelet tudjuk nagy érzékenységgel mérni az attoszekundumos mérés technika segítségével. Ez a jel tartalmaz óriási mennyiségű információt arról, hogy a vér aktuálisan milyen molekulákból áll, milyen a vér molekuláris összetétele. Amikor a betegség kezdetét veszi, akkor a vér molekuláris összetétele megváltozik, tehát látunk egy jelváltozást. Ezek után a feladat abban áll, hogy megállapítsuk, hogy ez a változás egyértelműen összefüggésbe hozható-e a betegség kialakulásával. Ha az adott betegség kialakul, akkor az különböző emberekben ugyanazt a jelelváltozást váltja-e ki. Ha ez így van, akkor egyértelmű összefüggés állapítható meg az adott betegség és a jel elváltozása között. Ennek alapján meg lehet tanítani a mesterséges intelligencia segítségével egy algoritmust, amely megadja az adott betegség fennállását. Újabb vérvételnél az algoritmus megadja a választ, hogy ilyen és ilyen, pl. 2-es stádiumú tüdőrák esete állhat fenn.”* (Út a Nobel-díjig – Ez itt a kérdés) [52]

Dombi Péter fent már idézett előadásában is megjelenik a molekuláris ujjlenyomat magyarázata. A dokumentum végén elindíthatjuk az internetes előadást a kép alatt látható hivatkozási számon.



Dombi Péter a *Krausz Ferenc, az elektronok Nobel-díjas lesifotósa* című előadásában a molekuláris ujjlenyomat elemzéséről beszél [46]

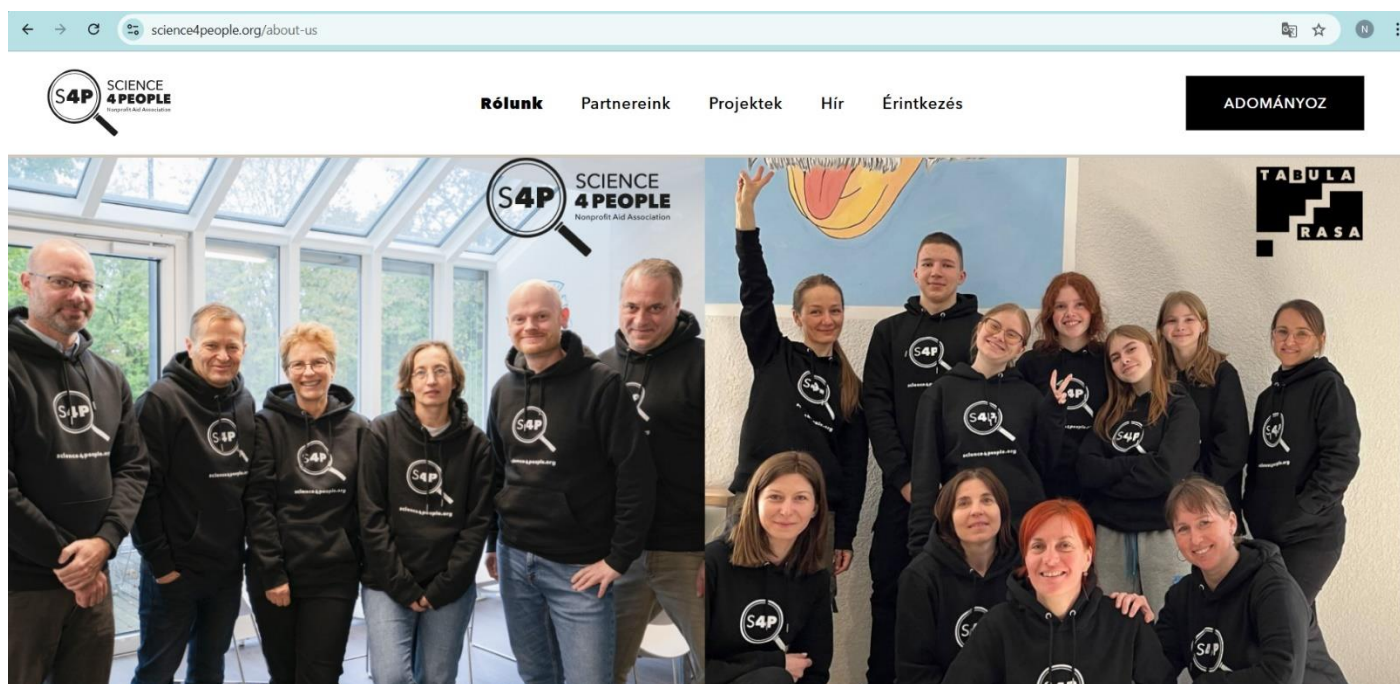
A világon első, 5 éve folyó kutatómunka már reménykeltő eredményeket mutat. A már többször idézett *Krausz Ferenc – Út a Nobel-díjig – Ez itt a kérdés (2023. október 6.)* riporterének feltett kérdésére:

„Professzor úr, bárhova vihette volna ezt a kutatást, miért Magyarországra hozta?”

Krausz Ferenc egyszerűen válaszolt: „Mert magyar vagyok.”

Új Nobel-díjasunk magyarságtudata mellett szociális érzékenysége is kitűnik a tudományos világban. A 2022 februárjában kezdődő orosz-ukrán háború után felhívta a tudósokat, hogy támogassák a válsághelyzetbe került fiatalokat. Megalapította a Science4People (Science for People) szervezetet, „amely a válsághelyzetekben, például a háború sújtotta Ukrajnában élő gyermekek és fiatalok számára szükséges oktatást biztosít és javít”. [55]

A 2022-ben megkapott, a „Nobel-díj előszobájának” számító Wolf-díj [56] és a Nobel-díj teljes összegét a S4P-nek adományozta. [57]



A <https://www.science4people.org/> oldalról lefényképezett csoportkép – ha elsőre nem látnád, balról a második Krausz Ferenc.

Javasolt filmek:

<https://videa.hu/videok/nagyvilag/krausz-ferenc-az-elektronok-nyomaban-94zlaFA16ylJLrrc> Krausz Ferenc - Az elektronok nyomában (2024)_FHD

<https://www.youtube.com/watch?v=I2sskJOG73o> Krausz Ferenc – Út a Nobel-díjig – Ez itt a kérdés, 2023. október 6.

<https://www.youtube.com/watch?v=nwKS0-zH2UQ> Az elektronok lesifotója – Krausz Ferenc

<https://www.youtube.com/watch?v=6ZIUJb85BAQ> Ferenc Krausz – Attosecond Physics

Hivatkozások

- [1] AYCED, „MÓRMOST,” 10 12 2023.. [Online]. Available: <https://mormost.hu/2023/12/10/krausz-ferenc-es-kariko-katalinis-atvette-a-nobel-dijat-kepek/> .
- [2] „MTA,” 3 10 2023. [Online]. Available: https://mta.hu/mta_hirei/krausz-ferenc-nobel-dijas-113184.
- [3] N. A. D. H. Ismeretlen szerző , „Wikipedia,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Planck#/media/File:Nernst,_Einstein,_Planck,_Millikan,_Laue_in_1931.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025].
- [4] P. Nadar, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel#/media/F%C3%A1jl:Paul_Nadar_-_Henri_Becquerel.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. február 2025].
- [5] M. Henri, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie#/media/F%C3%A1jl:Marie_Curie_c1920.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025].
- [6] Dujardin, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Pierre_Curie#/media/F%C3%A1jl:Pierre_Curie_by_Dujardin_c1906.jpg.
- [7] Ismeretlen, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Joseph_John_Thomson#/media/F%C3%A1jl:JJ_Thomson.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [8] G. G. Bain, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford#/media/F%C3%A1jl:Ernest_Rutherford_LOC.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [9] Lagrelius, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr#/media/F%C3%A1jl:Niels_Bohr.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [10] 2. Ismeretlen , „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie#/media/F%C3%A1jl:Broglie_Big.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [11] 3. Ismeretlen, „Wikipedia,” [Online]. Available: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Erwin_Schr%C3%B6dinger#/media/F%C3%A1jl:Erwin_Schr%C3%B6dinger_-_Narodowe_Archiwum_Cyfrowe_\(1-E-939\).jpg](https://hu.wikipedia.org/wiki/Erwin_Schr%C3%B6dinger#/media/F%C3%A1jl:Erwin_Schr%C3%B6dinger_-_Narodowe_Archiwum_Cyfrowe_(1-E-939).jpg). [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [12] Ismeretlen 4, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg#/media/F%C3%A1jl:Bundesarchiv_Bild183-R57262,_Werner_Heisenberg.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].

- [13] C. Davisson, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/George_Paget_Thomson#/media/F%C3%A1jl:George_Paget_Thomson.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [14] „Atomic Heritage Foundation,” [Online]. Available: <https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/james-chadwick/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [15] A. Rockenbauer, „Qubit,” [Online]. Available: <https://qubit.hu/2018/10/22/ha-hevesy-gyorgy-magyarorszagon-maradhat-a-hafniumot-ma-talan-hungaricumnak-hivnak>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [16] „THE NOBEL PRIZE,” 10. dec. 1945. [Online]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1944/summary/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [17] B. Hanly, „Wired,” [Online]. Available: <https://www.wired.com/2010/02/0211lise-meitner-publishes-nuclear-fission/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [18] 7. Ismeretlen, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Neumann_J%C3%A1nos#/media/F%C3%A1jl:JohnvonNeumann-LosAlamos.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [19] K. Berényi, „Ma7,” [Online]. Available: <https://ma7.sk/kavezo/az-oppenheimer-film-elveszett-magyar-fizikuscsillagaszilard-leo>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [20] V. Doonkos, „HÍRES MAGYAROK,” [Online]. Available: http://hiresmagyar.network.hu/kepek/tudosaink/szentgyorgyi_albert. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [21] I. Mollá, „Pinterest,” [Online]. Available: <https://nz.pinterest.com/pin/533324780844038559/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [22] US Embassy Sweden, „Wikipedia,” [Online]. Available: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Karik%C3%B3_Katalin#/media/F%C3%A1jl:Katalin_Karik%C3%B3_at_the_United_States_Embassy_Sweden,_2023_Nobel_Reception_\(cropped\).jpg](https://hu.wikipedia.org/wiki/Karik%C3%B3_Katalin#/media/F%C3%A1jl:Katalin_Karik%C3%B3_at_the_United_States_Embassy_Sweden,_2023_Nobel_Reception_(cropped).jpg). [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [23] Nobel Foundation, „THE NOBEL PRIZE 1956,” [Online]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [24] K. Maiman, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Maiman#/media/File:World's_first_laser_out_of_case.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [25] Sajtófotó 1960, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Maiman#/media/File:Theodore_Maiman_1960.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [26] „Hologram Wikipedia,” [Online]. Available: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hologr%C3%A1fia>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [27] Associated Press, „GÁBOR DÉNES Wikipédia,” [Online]. Available: [https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%A1bor_D%C3%A9nes_\(fizikus\)#/media/F%C3%A1jl:Dennis_Gabor_1971.jpg](https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%A1bor_D%C3%A9nes_(fizikus)#/media/F%C3%A1jl:Dennis_Gabor_1971.jpg). [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [28] J. Kampfl, „Köztérkép,” [Online]. Available: <https://www.kozterkep.hu/33296/gabor-denes-hologram#vetito=302253>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [29] „Wikipedia 1962 a tudományban,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/1962#cite_note-EV62-14. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].

- [30] Ismeretlen 8, „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyar_Hold-radar-k%C3%ADs%C3%A9let#/media/F%C3%A1jl:Antenna_of_Hungarian_Moon-radar.gif. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [31] Ismeretlen 9, „Wikipedia Bay Zoltán,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Bay_Zolt%C3%A1n. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [32] „MÓR az EZERJÓ városa,” [Online]. Available: <https://mor.hu/mor-tortenete>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [33] O. Krauszné Beck, „Radnóti Miklós Ált. Isk. Honlapja,” [Online]. Available: <https://www.radnotimor.hu/1nevado.html>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [34] K. Ferenc, Interviewee, *A móri TMG-től az „Arab Nobel-díjig”*. [Interjú]. 2012.
- [35] K. Koré, „BORS online,” 5 10. 2023. [Online]. Available: <https://www.borsonline.hu/aktualis/2023/10/sokat-csibeszkedtunk-ezt-mondja-krausz-ferencrol-a-magyar-nobel-dijasrol-a-testvere>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [36] H. Láng, „KöMaL archív-scan,” szept. 1978. [Online]. Available: <http://db.komal.hu/scan/1978/09/97809025.g4.png>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [37] „RÁTZ TANÁR ÚR DÍJ,” [Online]. Available: https://www.ratztanarudij.hu/dijazott/o_60. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [38] „1893-1905 – KöMaL-archívum – 1937-2020,” [Online]. Available: <http://db.komal.hu/KomalHU/index.phtml>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [39] M. Vermes, „KöMaL archív-scan,” szept. 1980. [Online]. Available: <http://db.komal.hu/scan/1980/09/98009033.tif.png>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [40] L. Holics, *A fizika OKTV feladatai és megoldásai 1961-2003*, Budapest: Typotex, 2003.
- [41] „MAGYAR KRÓNKA,” 30. dec. 2024. [Online]. Available: <https://kronika.hu/cikk/az-elektronok-es-krausz-ferenc-nyomaban-dokumentumfilm-a-nobel-dijas-tudosrol/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [42] M. Vermes, „KöMaL scan,” febr. 1981. [Online]. Available: <http://db.komal.hu/scan/1981/02/98102081.tif.png>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [43] „Typotex Könyvkiadó,” [Online]. Available: https://www.typotex.hu/author/97/vermes_miklos?embedded=1#. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [44] „ÉLMÉNY NEKTEK,” [Online]. Available: <https://www.elmenyektek.hu/simonyi-karoly/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [45] „Wikipedia Marx György,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Marx_Gy%C3%B6rgy#/media/F%C3%A1jl:Marx_Gy%C3%B6rgy.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [46] P. Dombi, „Youtube,” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=pCQPJhzosKo>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [47] „Wikipedia BME,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C5%B1egyetemi_1%C5%91t%C3%A9rt%C5%B1z#/media/F%C3%A1jl:Budapest_Muszaki_Egyetem_K_epulet_fobejarat.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [48] „MTA Köztestületi tagok,” [Online]. Available: https://mta.hu/koztestuleti_tagok?PersonId=12834. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [49] F. Krausz, T. Juhász, J. Bakos és C. Kuti, „Journal of Physics E: Scientific Instruments,” 1986. [Online]. Available: <https://beta.iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3735/19/12/008>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].

- [50] A. Baltuska,, E. Sorokin és K. Unterrainer, „TUWIEN,” 10 júl. 2024. [Online]. Available: <https://www.tuwien.at/tuwien/aktuelles/news/news/arnold-schmidt-1938-2024>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [51] P. Haas, „Wikipedia Technische Universität,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9csi_M%C5%B1szaki_Egyetem#/media/F%C3%A1jl:Technische_Universit%C3%A4t_Wien_mainbuilding_mainentrance_northview.jpg. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [52] „Youtbe Ez itt a kérdés,” 6. okt. 2023. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=I2sskJOg73o> . [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025].
- [53] „FizikaiSzemle ELFT,” jan. 2024. [Online]. Available: <https://fizikaiszemle.elft.hu/szemle/tartalom/124>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [54] K. Jarrah, és D. Hans, „Youtube Video Portrait,” 17. nov. 2022. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=6ZIUJb85BAQ>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [55] „SCIENCE4PEOPLE,” 2022. [Online]. Available: <https://www.science4people.org/>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025].
- [56] „Wikiedia Wolf Prize,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_Prize. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].
- [57] „INFOSTART,” 4. okt. 2023.. [Online]. Available: <https://infostart.hu/belfold/2023/10/04/kiderult-mire-kolti-penzjutalmata-friss-magyar-nobel-dijas#>. [Hozzáférés dátuma: 1. febr. 2025.].