

TOBIAS HÜRTER

A KÉTELYEK KORA

Hogyan fedezték fel a fizikusok
a kvantumvilágot
1895–1945

Fordította
DOBOSI BEÁTA


TYPOTEX



A mű fordítását a Goethe Intézet támogatta.

Tobias Hürter: *Das Zeitalter der Unschärfe.*

Die glänzenden und die dunklen Jahre der Physik 1895–1945

© 2021 Klett-Cotta – J.G. Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH, Stuttgart

Published by arrangement with Gaeb & Eggers Literary Agency, Berlin

Hungarian translation © Dobosi Beáta, 2026

Hungarian edition © Typotex, Budapest, 2026

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

Ezt a könyvet ember írta és ember fordította.

Lektorálta Szegedi Péter

ISBN 978 963 493 373 1

TARTALOM

Előszó	11
Párizs, 1903	
Az első repedések	13
Berlin, 1900	
Egy kétségbeesett tett	20
Bern, 1905	
A szabadalmi szolga	29
Párizs, 1906	
Pierre Curie a kerekek alatt végzi	35
Berlin, 1909	
A repülő szivarok végnapjai	37
Prága, 1911	
Einstein virágnyelven válaszol	38
Cambridge, 1911	
Egy dán fiatalembernek benő a feje lágya	40
Az Atlanti-óceán északi medencéje, 1912	
A tévedhetetlenség elsüllyedése	47
München, 1913	
Egy festőművész Münchenbe megy	49
München, 1914	
Haknizás az atomokkal	50
Berlin, 1915	
Elméletből csillagos ötös, kapcsolatokból elégtelen	56
Németország, 1916	
Háború és béke	62
Berlin, 1917	
Einstein összeroppan	64

Berlin, 1918	
Világjárvány	66
Karib-tenger, 1919	
A Hold eltakarja a Napot	69
München, 1919	
Egy ifjú Platónt olvas	72
Berlin, 1920	
Nagy elmék találkozása	75
Göttingen, 1922	
Egy fiú megtalálja az apját	81
München, 1923	
Az éltanuló hajsza hűjén elvérzik a vizsgán	92
Koppenhága, 1923	
Bohr és Einstein villamosra száll	98
Koppenhága, 1924	
Egy utolsó kísérlet	100
Párizs, 1924	
Egy herceg megszólaltatja az atomokat	105
Helgoland, 1925	
A hatalmas óceán és a parányi atom	112
Cambridge, 1925	
A csendes génius	120
Leiden, 1925	
A próféta és a becsavarodott elektronok	124
Arosa, 1925	
Egy megkésett erotikus fellángolás	126
Koppenhága, 1926	
Hullámok és részecskék	131
Berlin, 1926	
Látogatóban a félisteneknél	134

Berlin, 1926	
Parti Planckéknál	145
Göttingen, 1926	
A valóság eltörlése	148
München, 1926	
Területi villongások	156
Koppenhága, 1926	
Művészien kifaragott márványszobrok potyognak az égből	164
Koppenhága, 1926	
Játék éles késekkel	169
Koppenhága, 1927	
Elmosódik a világ	175
Como, 1927	
A főpróba	184
Brüsszel, 1927	
A nagy vita	188
Berlin, 1930	
Németország felvirágzik, Einstein megbetegszik	206
Brüsszel, 1930	
K. O. a második menetben	210
Zürich, 1931	
Pauli álma	220
Koppenhága, 1932	
Faust Koppenhágában	233
Berlin, 1933	
Egyesek elmenekülnek, mások maradnak	238
Amszterdam, 1933	
A szomorú vég	247
Oxford, 1935	
A macska, aki nincs	250

Princeton, 1935	
Einstein a világra fókuszál	257
Garmisch, 1935	
Piszkos hó	263
Moszkva, 1937	
Odaát	267
Berlin, 1938	
Felrobbanó magok	271
Atlanti-óceán, 1939	
A borzasztó hír	277
Koppenhága, 1941	
Elidegenedés	282
Berlin, 1942	
Hitlernek nem adunk bombát	285
Stockholm, 1943	
A menekülés	288
Princeton, 1943	
Einstein megszelídül	292
Anglia, 1945	
A robbanás ereje	294
Utószó	301
Jegyzetek	303
Válogatott irodalom	307
Képek forrása	313
Névmutató	315

Herbert Schmidtnek

ELŐSZÓ

Képzeljük el, hogy egy szép napon rájövünk: a világ, amelyben élünk, teljesen másként működik, mint korábban hittük! A házak, az utcák, a fák és a felhők csupán díszletek, és olyan erők mozgatják őket, amelyekről addig sejtelmünk sem volt.

Pontosan ez történt a fizikusokkal száz évvel ezelőtt. Kénytelenek voltak belátni, hogy a világ leírására használt fogalmaik és elméleteik mögött egy mélyebb valóság húzódik, amely olyan szokatlan volt számukra, hogy vita robbant ki, lehet-e egyáltalán „valóságról” beszélni.

Ez a könyv arról szól, hogyan kerültek a fizikusok ebbe a helyzetbe, és miképp birkóztak meg vele. A végére a világ már nem volt ugyanaz a hely: a fizikusok ugyanis nemcsak újraértelmezték, hanem gyökeresen meg is változtatták.

Párizs, 1903

AZ ELSŐ REPEDÉSEK

Párizs, 1903. júniusának egyik nyári estéje. Egy kert a tizenharmadik kerületi Boulevard Kellermannon. Az ablakokból fény szűrődik ki a gyepszőnyegre, majd kinyílik egy ajtó, és vidám hangok hallatszanak. Aztán kiözönlik a kis ünneplő társaság a kavicsos útra, közöttük egy fekete ruhás nő: Marie Curie, a harminckilenc éves fizikus. Máskor oly feszült arcán felszabadult öröm: a doktorrá avatását ünnepli.

Marie a karrierje csúcán jár. Franciaországban az első nőként kapott természettudományos doktori fokozatot, mégpedig „nagyon jó” minősítéssel, és a világon első nőként jelölték Nobel-díjra.

Mellette a férjét, Pierre-t majd szétveti a büszkeség. Marie-t a nővére, Bronia, a témavezetője, Gabriel Lippmann, a fizikus kollégái, Jean Perrin és Paul Langevin, valamint fiatal nők, a diákjai veszik körül. Az új-zélandi fizikus, Ernest Rutherford is vele ünnepel, éppen nászúton van a feleségével, Maryvel, aminek legfőbb ideje, hisz már három éve annak, hogy egybekeltek. Rutherford és Marie Curie vetélytársak, mindketten az atomok szerkezetét kutatják, és ádáz vita folyik közöttük. De ma estére félreteszik. Ünnepelnek.

Az az út, amely ebbe a boldog estébe torkollott, a francia fővárostól távol, Varsóban kezdődött az 1860-as években. Lengyelországot felosztották a nagyhatalmak, Poroszország, Oroszország meg Ausztria, és Varsó az orosz cárok zsarnokságát nyögi. Senki sem hívhatja fennhangon „Lengyelországnak” a hazáját. Itt születik meg Maria Skłodowska egy tanár házaspár ötödik és egyben utolsó gyermekeként 1867. november 7-én. A család ellenszenvvel viseltetik a megszálló hatalmak iránt, és az apa mindent elkövet, hogy független gondolkodókat nevel-

jen a lányaiból. Amikor Mania, ahogy Mariát odahaza becézik, betölti a negyedik életévét, már csak elvétve látja édesanyját, aki tuberkulózisban szenved, és nem akarja megfertőzni a gyerekeit. Az akkoriban gyógyíthatatlan betegséggel vívott hosszú harc után meghal.

Maniának több mint tíz évébe telik, hogy visszanyerje az életkedvét. Először a tanulásba menekül, könyvekbe temetkezik, és vaszorgalommal évfolyamelső lesz a leánygimnáziumban. Addig hajtja magát, míg tizenöt évesen ideg-összeroppanást nem kap. Apja vidékre küldi pihenni, ahol sikerül letennie a könyveket, felfedezi magának a zenét, szórakozik, flörtöl, és áttáncolja az éjszakát. Varsó illegális egyetemén kezd tanulni, amely nőket is felvesz, és mindenkit túlszárnnyal. Hogy anyagilag támogathassa a két évvel idősebb nővérét, Broniát, aki Párizsba megy orvostudományt hallgatni, pesztra lesz egy cukorgyáros családjánál Varsó mellett, és beleszeret a család huszonhárom éves, matematikahallgató fiába, Casimirba. A fiatalember apját felháborítja az affér. Casimir eleinte bátortalanul dacol vele, ám az évekig tartó huzavona után végül beadja a derekát, úgyhogy Mania ott áll magányosan és elhagyatva, összetört szívvel, a férfiakra dühösen. „Ha nem akarnak elvenni egy szegény, fiatal teremtet, menjenek a pokolba!”

1891-ben Mania követi a nővérét Párizsba. Bronia időközben férjhez ment, pont egy Casimir nevű férfihoz. Mindketten orvosok, és kommunista eszméket vallanak. A lakásukban rendelnek, a rászorulókat ingyen gyógyítják. Maniának, aki már a Marie nevet használja, túl nagy itt a nyüzsgés. Átköltözik egy padlásszobába, ahol a szó legszorosabb értelmében eltemetkezik: a hideg téli éjszakákon az összes ruhája alá. Hogy takarékoskodjon, csupán nagy néha cipel fel egy-egy vödör szenet, és kizárólag teán, gyümölcsön, száraz kenyéren meg csokoládén él. De a lényeg, hogy szabad. Csakhogy a századfordulón Párizsban egy nő minden, csak nem egyenjogú. Egy „diáklány” lehet egyetemi hallgató vagy egy egyetemi hallgató kedvese. De legalább zavartalanul tanulhat, és Marie szenvedélyesen tanul is. Napjait legszívesebben előadótermekben, laboratóriumokban és könyvtárakban tölti, az éjszakákat a könyvei társaságában. A legendás Henri Poincaré előadásait hallgatja. Ám megint túlzásba esik, és a könyvtárban rosszul lesz. Bronia hazaviszi magához, és addig eteti hússal meg krumplival kimerült és alutáplált hűgát, amíg vissza nem nyeri az erejét. Marie



*A kétszeres Nobel-díjas Marie Curie először fizikából
kapta meg az elismerést 1903-ban, majd kémiaiából 1911-ben.
A képen a párizsi laborjában látható 1917-ben*

hanyatt-homlok rohan vissza a könyveihez, és a záróvizsgát megint évfolyamelsőként teszi le.

De hogyan tovább? Bár a nők tanulhatnak, kutatóként a férfiak nemigen tűrik meg őket maguk között. Marie szerencsésnek mondhatja magát, mert elnyer egy ösztöndíjat, amelynek köszönhetően a különböző acélfajták mágneses tulajdonságait vizsgálhatja. Amikor nem boldogul a laboratóriumi berendezéssel, egy ismerőse a mágnesesség szakértőjét, a harmincöt éves Pierre Curie-t ajánlja a figyelmébe, aki

fiatalabbnak néz ki a koránál, félénk és megfontolt. Pierre megmutatja neki, hogyan működik az elektrométer, hisz ő maga is közreműködött a fejlesztésében. Marie feladja a fogadalmát, hogy a Casimirral történetek után soha többé nem lesz szerelmes, és egy pár lesznek Pierre-rel.

Az acél mágnesességének tanulmányozását azonban nem érzi hivatásának, vannak érdekesebb dolgok is, amelyekkel foglalkozhat. Würzburgban éppen akkor fedezte fel Wilhelm Conrad Röntgen teljesen véletlenül az úgynevezett Röntgen-sugarat, amikor egy elektron-cső elé tartotta a kezét, amelyet a sugarak átvilágítottak. 1896-ban, újév napján elküldte a felesége kézcsontjairól meg a jegygyűrűjéről készült felvételeket a kollégáinak. Ilyet emberi szem még nem látott. A röntgenképeket nagy tudományos és társadalmi felhajtás övezi.

Ugyanebben az évben fedezte fel Henri Becquerel Párizsban – ugyancsak véletlenül – azokat a sugarakat, amelyeket *rayons uraniques*-nak, uránsugaraknak nevezett el, mert egy urándarab bocsátotta ki őket, amelyet egy fotólemezen a fiókjában hagyott. Ez minden, amit Becquerel megtud ezekről a sugarakról, a keletkezésüket nem képes megmagyarázni. Feltételezi és reméli, hogy a foszforeszkáláshoz van közük, mert előfutáraival együtt generációk óta azt kutatják. Az ő felfedezése azonban kevésbé arat zajos sikert, mint Röntgené, és homályos felvételei elhalványulnak a röntgenképek mellett, amelyeket az újságok címlapon hoznak és kirakodóvásárokból mutogatnak.

Marie Curie-t azonban Becquerel felfedezése érdekli. Rájön, hogy ez az ügy a nem különösebben munkamániás Becquerel csekély számú kísérletével még távolról sincs elintézve, és új eljárást dolgoz ki az uránsugárzás mérésére Pierre elektrométere segítségével. Veszi a bátorságot, hogy ellentmondjon a nagy Becquerelnek. A sugarakat nem *uraniques*-nak, hanem *radioactif*-nak nevezi, mert meggyőződése, hogy nem csak az urán bocsátja ki őket. Hogy ezt be is bizonyítsa, újabb radioaktív elemek keresésére adja a fejét, és a következő évben kettőt is felfedez: a polóniumot meg a rádiumot.

Mi több, Marie azt állítja, hogy ez „a megfoghatatlan uránsugárzás az atom tulajdonsága”, ahogy azt 1898-ban írja, ami a tudomány akkori állása mellett kész provokáció. Az atomokba beletörött a tudósok bicskája. Egyszerűen túl sok van belőlük. Egyszer ott vannak a kémikusok atomjai, az anyag oszthatatlan és változtathatatlan építőelemei,

amelyek kémiai reakciókban kiszabadulnak kötéseikből, és újakat hoznak létre egymással. Újabban meg már ott vannak a fizikusok atomjai is, amelyek apró biliárdgolyókként száguldanak át a vákuumon, összeütköznek, hogy nyomást hozzanak létre és hőt termeljenek a gázokban. Aztán ott vannak a filozófusok atomjai, Démokritosz óta a világ örök építőkövei. És a különböző atomok között nincs semmiféle elméleti összefüggés. Csak annyi, hogy mindet „atomnak” hívják. Erre jön Marie Curie, és azt állítja, hogy ezekben az atomokban történik valami.

Miként lehetséges ez? Hogyan működhet az a mechanizmus, ami miatt az atomok radioaktív sugárzást bocsátanak ki? Ráadásul a kísérletek tanúsága szerint a kémiai folyamatoktól, a fénytől és a hőmérséklettől, az elektromos és mágneses mezőktől függetlenül. De akkor mi váltja ki? Marie Curie-nek van egy merész sejtése: semmi. Az a folyamat, amely során a sugárzás létrejön, magától indul be. Spontán. Az 1900-as párizsi világkiállítás alkalmából tartott Nemzetközi Fizikuskongresszusra írt előadásában papírra veti az ominózus mondatot: „A sugárzás spontaneitása rejtély, teljes döbbenet tárgya.” A radioaktív sugárzás magától, ok nélkül keletkezik. Curie ezzel a fizika alapját, az oksági elvet rengeti meg. Még azt is fontolóra veszi, hogy elvesse az energiamegmaradás törvényét, a fizika megingathatatlan elvét, amelynek értelmében az energia nemvész el és nem keletkezik a semmiből. Curie rejtélyére az új-zélandi fizikus, Ernest Rutherford derít fényt. Kidolgozza a radioaktív bomlás elméletét: ha egy atom radioaktív sugárzást bocsát ki, másik kémiai elemmé alakul. Ezzel megint a tudomány egy másik dogmája is. Egy ilyen átalakulás lehetetlen, alkimisták és sarlatánok fantazmagóriája! Még maga Marie is sokáig ellenáll Rutherford elméletének, de végül mindkettejüknek igaza lesz, Curie-nek a spontaneitás, Rutherfordnak az átalakulás terén. A régi fizikának meg kell hátrálnia.

Curie-ék a francia főváros tudósnegyedében, a Latin-negyedben található műszaki főiskola (ESPCI) belső udvarának pajtájában rendeznek egy laboratóriumot. A szél besüvít a repedéseken, a padló sosem teljesen száraz. Korábban diákok boncoltak itt hullákat, amíg el nem költöztek egy jobb helyre. A boncasztalok most különös eszközöknek adják át a helyüket: üveglombikoknak, elektromos vezetékeknek, vákuumszivattyúknak, mérlegeknek, prizmáknak, szárazelemeknek,

gázégőknek és olvasztótégelyeknek. A balti német kémikus, Wilhelm Ostwald „egy istálló és egy krumpliverem keresztezéséként” írja le Curie-ék barakklaborját, amikor „sürgető kérésére” megengedik, hogy felkeresse. „Ha nem láttam volna a kémiai berendezéseket a munkasztalon, viccnek tartottam volna az egészet.” Ebben az alkimista boszorkánykonyhában teszik meg Curie-ék az új évszázad néhány legfontosabb felfedezését. Miközben még csak nem is sejtik, hogy a huzatos pajtájukban egy új fizikai világkép alapjait vetik meg.

Egy új anyagot akarnak előállítani, amit nem is olyan régen sok kollégájuk még hókuszpókusznak tartott: tiszta rádiumot. Csodákra azonban nem képesek, a rádiumnak származnia kell valahonnan, ezért nyersanyagra van szükségük. Hosszadalmas kísérletezések során Marie rábukkan az uránszurokérc nevű, sugárzó ásványra. Tonnaszám kellene, de Párizsban nem lehet hozzájutni, és Curie-ék híján vannak a pénznek. Pierre egész Európában érdeklődik, és megtudja, hogy a Cseh-erdő mélyén található jáchymovi ércbányában, ahol a tallérhoz termelnek ki fémeket, hegyekben áll ez a meddő kőzet. Sikerül meggyőznie a bányagazgatót, hogy adjon belőle nekik tíz tonnát. A szállítást Edmond James de Rothschild, az apja bankügyleteinek köszönhetően dúsgazdag báró fizeti, akit jobban érdekelnek a művészetek, a tudományok és a lovak, mint a pénzügyek.

Amikor 1899 tavaszán leszállítanak egy halom uránszurokércet a barakk udvarára, Marie belemarkol a „fényőtűvel kevert barna porba”, és szemügre veszi. Kezdődhet a munka!

Majd megszakadnak: Marie nehéz vödröket cipel, folyadékokat öntöget, fortyogó fazekakat keverget vasrudakkal. Az uránszurokércet savval, alkáli sókkal és több száz hektoliter vízzel kell átmosni. Az uránszurokércben lévő anyagok szétválasztásához Curie-ék egy „frakcionálás” nevű eljárást dolgoznak ki. Újra meg újra felforralják az anyagot, majd hagyják lehűlni és kikristályosodni. A könnyű elemek hamarabb kristályosodnak ki, mint a nehezek, így tudják fokozatosan dúsítani a rádiumot az uránércben. Pontos mérésekre és sok türelemre van hozzá szükség, de a kínkeserves robotolás ellenére mindketten boldogok. Amikor éjszakánként hazasétálnak a laborból, arról álmodoznak, hogyan nézhet ki a tiszta rádium. Az oldat egyre tisztább lesz, a fény egyre erősebb, amellyel éjszakánként az üveglom-

bikok beragyogják a laboratóriumot. 1902 nyarán végre célt érnek, és a kezükbe vehetnek néhány tized gramm rádiumot. Marie meghatározza az elem atomtömegét, ami a 88. helyre sorolja a periódusos rendszerben.

Csak egyvalaki boldogtalan: a lányuk, Irène, aki két évvel a laboratórium berendezése előtt jött világra. Alig látja az anyját meg az apját. Amikor a szülők hazaérnek, hullafáradtak. Eugène nagypapa viseli a kislány gondját, aki a szeparációs szorongás minden jelét mutatja. Amikor édesanyja el akarja hagyni a helyiséget, sírva a szoknyájába csimpaszkodik. Egy nap megkérdezi nagypapáját, miért van otthon az anyja ilyen keveset. A papa kézen fogja, és elviszi a laborba. Irène-t megdöbenti ez a „nagyon-nagyon szomorú hely”. Ismét egy kislány, akinek hiányzik az édesanyja. Három évtizeddel később Irène Joliot-Curie az anyja után második nőként kap Nobel-díjat a radioaktivitás kutatásáért, és leánya, Hélène szintén magfizikus lesz.

Azon a júniusi estén a Boulevard Kellermannon Marie Curie még mit sem sejt abból a balszerencséből, amely a családjára csap le. Új ruhát varratott az ünnepre, feketét, hogy ne látsszon annyira, ha foltos lesz a laborban. És takarja a domborodó hasát. Három hónapos terhes. Néhány héttel később kerékpártúrára indul Pierre-rel. Szeretnek vidéken kerekezni, a nászútjukra is biciklivel mentek. De Marie már az ötödik hónapban van, és nem bírja a zötyögést a macskaköveken. Elvetél. A gyász elől munkába menekül, mígnem megint összeroppan. Így nem utazhat el Stockholmba a Nobel-díj átadójára, amelyet neki és Pierre-nek ítéltek Henri Becquerellel együtt a radioaktivitás felfedezéséért, ezért a rivaldafény teljes egészében a hiú Becquerelnek jut. Arannyal hímzett, zöld brokátzakóban feszít a színpadon, a mellén ki-tüntetések, az oldalán kard.

Amikor Marie a doktorrá avatásának ünnepén Pierre-be karolva kilép a szalon ajtaján a nyári estébe, a vendégek rá emelik a poharukat. Aztán a házaspár kissé félrevonul, hogy egy pillanatra kettesben maradjasson. A csillagos égbolt alatt Pierre a zsebébe nyúl, és egy fiola rádium-bromidot húz elő. Gyenge fénye beragyogja az alkoholtól kipirult, boldog arcukat, de a megégett és berepedezett bőrt is Pierre ujján. A sugárbetegség első jele, amely majd elviszi Marie-t, és azon tudás horderejének előhírnöke, amelynek a nyomára bukkantak.