

A FÉNY TERMÉSZETE
Bay Zoltán sejtése

A FÉNY TERMÉSZETE

Bay Zoltán sejtése

Szerkesztette
Horváth Gábor



Horváth Gábor Környezetmérnöki Kft.
Fertőszentmiklós, 2021

Bay Zoltán: „A foton”
című tanulmányának részleteit
a Természettudomány III. évfolyam, 1948, 97–108. oldal
alapján közöljük.
© Bay Zoltán örökösei, 2021

Szerkesztette, az előszót és a Bay Zoltán sejtése című
tanulmányt írta Horváth Gábor.
© Horváth Gábor, 2021

Az ábrákat készítette és a kéziratot gondozta
Kuslits Károly és Vörös Tibor, 2021

Borítóterv:
Grafik Dekor

ISBN 978-615-01-3469-7

Kiadja a Horváth Gábor Környezetmérnöki Kft.
Fertőszentmiklós
Felelős kiadó: Horváth Gábor ügyvezető igazgató
Nyomás: OOK-Press Nyomda, Veszprém

TARTALOM

ELŐSZÓ 7

A FOTON 9

BAY ZOLTÁN SEJTÉSE 25

FÜGGELÉK A HIVATKOZOTT KÍSÉRLETEKRŐL ÉS
FOGALMAKRÓL 45

FELHASZNÁLT IRODALOM 55

ELŐSZÓ

Ez a kis könyv a fény természetével, tulajdonságaival, tudományos vizsgálatával foglalkozik. Azt gondolnánk, hogy nincs is egyszerűbb dolog, mint valamit tudományosan, a tények és a tapasztalatok alapján megvizsgálni, majd a megfelelő következtetések levonása után leírni, hiszen a fizika fejlődése, a létrehozott modellek pontossága mára elképzelhetetlen méreteket öltött.

Amikor fiatalon a fény elektromágneses hullámtulajdonságával először találkoztam, lenyűgözött, és hosszú időre magával ragadott. Ahogy később megtudtam, sok más fiatal is. Belepillantani a természetnek ebbe a mélységébe varázslatos, és aki veszi a fáradságot, és fogékony rá, annak lehetséges is. Itt be is fejeződhetne a fény tudományos leírása, hisz mélységében megragadtuk – gondolhatnánk, mint ahogy gondolták ezt a XIX. század végén. Azóta viszont tudjuk, hogy a fény részecskeként is megjelenik.

Ha a fény, annak tulajdonságai – a fénysebesség, illetve viselkedése – nem volna központi helyen a relativitáselméletekben, a sugárzásokban, a kvantumfizikában, összekötve minden elméletet a legkisebttől a legnagyobbig (és nem találkoznánk olyan jelenségekkel, amiket ma sem tudunk értelmezni), akár át is léphetnénk a fény kettős természetének problémáján.

Van olyan nézet, hogy a fizika (legalábbis a modernkori fizika) története gyakorlatilag a fény megismerésének története. Ha ez nem is így van teljesen, az biztos, hogy meghatározó helyet tölt be, mutatva a felfedezések irányát,

újabb és újabb ajtókat nyitva az ismeretlen területek felé a megmagyarázhatatlan jelenségein keresztül.

Bay Zoltán fényről szóló tanulmánya 1948-ban jelent meg, egy olyan korban, mikor minden a feje tetején állt. Jó tíz éve készen volt az elektronsokszorozója, túl volt sikeres Hold-radarkísérletén, és talán már megfogant a fejében, hogy a hosszúság mértékegységét a fénysebességhez kellene kötni (amit azután sikerült is elfogadtatnia 1983-ban, mint az SI mértékrendszer alaphosszúságát). Tanulmánya szokatlanul objektíven és alázatosan közelít a fényhez és természetéhez. Ez különösen annak tükrében elgondolkodtató, ahogy ahhoz az elmúlt közel száz évben a fizikusok álltak: egyik oldalon a fény kettős tulajdonságát vallók, a másik oldalon az ebben lehetőséget látók. Ezzel a megosztottsággal magam is akkor szembesültem, amikor a múlt század fényvel kapcsolatos kísérleteit megismertem. (A fizika kutatása az elmúlt évszázadban tele volt reménységekkel és tragédiákkal, és ezt csak az látja, aki közelebb merészkedik a területhez, vagy a közvetlen környezetében él.) Innen nézve érthető, hogy jelen értekezésnek Bay Zoltán tanulmányával együtt kell megjelenie.

Kedves Olvasó, ez a munka mindig csak akkor haladt a felismeréstől a könyv megírásáig, amikor kellő alázattal tudtam az élet és a fény (tanulmányozása) felé fordulni. Azoknak ajánlom, akiket elvarázsolt és elvarázsol a fény, a természet mélysége és csodája, akik váltig kapaszkodtak és kapaszkodnak belé.

Köszönet és mély tisztelet James Clerk Maxwellnek és Bay Zoltánnak.

Horváth Gábor, 2021. november

Bay Zoltán

A FOTON

(részletek¹)

Napjainkban [1948 – a szerk.] a természettudomány jogos büszkeséggel számlálja elő azokat az új területeket, melyeket a természettől az eddig ismeretlenből elhódít. Az atomnak és az atom alkatrészeinek felderítése, a molekula belső erőinek megértése, a nagymolekulákon keresztül való előretörés az élet alapjelenségeinek megpillantása felé: ezek az eredmények jelzik a kívülálló felé is az új, eddig ismeretlen területeket, hol a tudomány ma már otthonosan mozog. Ez a valóban bámulatos haladás könnyen ejthet tévedésbe. Úgy tűnhetik, hogy a tudomány célja csupán egyre több és több megismerési elemnek a bekapcsolása, egyre több tartalomnak a tudomány számára való leltározása, hol az egyszer már elkönyvelt ismeret a birtokállomány változatlan része marad. Ha így volna, akkor a tudomány nem lenne élő szervezet. A tudományban nincsenek elraktározott ismeretek, hanem élő, folyton változó alakuló, fejlődő ismeretek vannak. Az előretörés mellett az *elmélyedés* teszi a tudományt élővé, ezáltal alkalmazkodik a tudomány a természet kimeríthetlenségéhez, ezáltal fedezzük fel a jelen-

¹ Bay Zoltán „A foton” című tanulmányának első részét, illetve a fény részecske–hullám kettősségének elméletét összefoglaló részletét és a szerző meglátásait a Természettudomány III. évfolyam. 1948. 97–108. oldal alapján, korabeli írásmódban közöljük. Az eredeti kiadás teljes terjedelmében a http://real-j.mtak.hu/10167/1/MTA_Termeszettudomany_1948.pdf webes hivatkozás 119. oldalától is elérhető.

[...]

Ragaszkodjunk a tapasztalati ismeretelmélet álláspontjához: a fizika csak olyan jelenségekkel foglalkozzék, melyek észlelhetők. A fizika története folyamán sokszor kisegítette ez az elv a tudományt a nehézségekből. Elég, ha GALILEIRE utalunk, aki az akkori, előítéletekkel telt gondolkodás helyébe a megfigyelést és kísérletet vezette be, vagy az Einstein-féle relativitáselméletre, mely kiküszöbölte az abszolút, a jelenségtől független tér fogalmát.

HEISENBERG és BOHR reámutattak arra, hogy a fény hullám- s korpuszkula-jelenségei nincsenek egymással ellentmondásban, mert *nem jelentkeznek egyszerre*. Végezhetünk a fényvel olyan kísérleteket, melyek annak korpuszkuláris tulajdonságát mutatják (Compton-effektus, fotoeffektus, abszorpció stb.) s ugyancsak végezhetünk olyanokat, melyek hullámtermészetét tárják fel (interferencia), de ha az egyik féle kísérletet végezzük, akkor elvész a lehetősége annak, hogy *egyidejűleg* a fény másik sajátosságát is vizsgáljuk. Így pl. az 1. képen bemutatott interferencia-kísérlet berendezhetjük úgy, hogy pl. *A* nyílásnál megállapíthatjuk a foton ott-tartózkodását fényelektromos effektussal (fotonszámláló), de ezzel teljesen megmásítottuk a kísérletet, s az ernyőn nem kapunk interferenciacsíkokat, mert elfogyasztottuk a foton energiáját. (Durván szólva: elfogtuk az *A* nyílást s ezáltal elrontottuk az interferenciát.) Ha pedig hagyjuk az interferencia-jelenséget zavartalanul végbe menni, akkor nem ismeretes előttünk – hiányzik a tapasztalásunkból – olyan kísérlet, mely egyidejűleg megmutatná, hogy a foton melyik nyíláson „jött keresztül”. Mivel pedig

nem ismerünk ilyen kísérletet (ismételjük: *minden* kísérlet, melyet e célból végzünk, elrontaná az interferencia-jelenséget), nem is szabad feltételeznünk, hogy a fotonnak közben pályája volt ugyan, csak mi nem ismerjük. Mert olyan természeti jelenség, amit *elvileg* nem ismerhetünk, számunkra nem létezik, de ami számunkra nem létezik, az nincs.

Összefügg mindez azzal a ténnyel, hogy megfigyelésünk, mérésünk szükségképen beavatkozást jelent a jelenségbe: a mérés befolyásolja a mérendőt. A klasszikus fizika szerint, hol a mennyiségek folytonosak, ez a beavatkozás a mérés gondos kivitelével akármilyen kicsiny lehet, nem úgy azonban a kvantumfizika szerint, hol pl. a „látás”, a «megnézése valaminek», nem mehet végbe kisebb energiával, mint egy foton energiája.

HEISENBERG kihangsúlyozta a mérésnek a mérendőre való ellenőrizhetetlen behatását és ez alapon véghezvitt szigorú kritikai megfontolásaival felállította a róla elnevezett határozatlansági relációkat. Ezekre nem térünk itt ki, csupán megemlítjük, hogy ezek segítségével a fénynek hullám- és korpuszkula-sajátsága matematikailag is ellenmondásmentesen letárgyalható.

A legújabb kori fizika legnagyobb élményei közé tartozik, hogy a fénynek ez a *hullám–korpuszkula dualizmusa* az anyagra is érvényes. DE BROGLIE elméletileg jutott el az anyaghullámok gondolatára 1924-ben s DAVISSON és GERMER 1927-ben kísérletileg is igazolta kristályrácsokon az elektronok interferenciáját, mely a fény interferenciájához teljesen hasonlóan folyik le. Így a hullám–korpuszkula dualizmus a természetnek megnyilvánulása, általános sajátsága.

Rá kell még mutatnunk arra, hogy mindezek a meggondolások, melyekkel itt foglalkoztunk, az *egy-foton* problémájára vonatkoznak. Természetesen új elméleti fizikai feladatok merülnek fel, midőn fel akarjuk építeni a makroszkópikus jelenségek *sok-foton* problémáját. Így a kvantummechanika többtest-problémájának feladatkörébe jutunk, melyet fotonoknál ugyanúgy meg kell oldani mint az anyagi részecskék esetében. Nem lehet célunk itt ezekkel a kérdésekkel foglalkozni – ezek még nincsenek is lezárva – csupán azt jegyezzük meg, hogy a feladat tulajdonképpen a makroszkópikus elektromágneses hullámok levezetése az új fotonelméletből, melynek alapelveit itt ismertettük. Mert a dolgok következetes végiggondolása azt mutatja, hogy az a hullám, melynek a korpuszkulával való dualizmusáról itt szó volt, még nem az elektromágneses hullám, hanem a fotonnak az *anyag-hulláma* vagy de Broglie-hulláma. Az észleléseknek hozzáférhető elektromágneses hullám a sok-foton probléma anyag-hullámából származtatandó le, és ezen a téren még az elméleti fizikának részletfeladatokba kell elmélyednie.

Hangsúlyozzuk még egyszer, hogy a modern fizika a hullám–korpuszkula dualizmus megoldásakor nem ellenmondásokat egyesít, hanem *ellenmondásokat szüntet meg*.

BOHR a hullám- és korpuszkula-sajátságokat *komplementereknek* nevezte. Általában komplementerek egy fizikai történésben szereplő azon mennyiségek, melyek a határozatlansági relációk értelmében nem határozhatók meg *egyidejűleg* pontosan. Egyiknek pontos meghatározása a másikonak teljes határozatlanságát vonja maga után.

A hullám és korpuzzkula is, mint komplementer jelenségek, egyidejűleg kizárják egymást, de jól megférnek egymás mellett, ha nem egyidejűleg jelentkeznek.

Az ember tehát megoldotta a természet által föladvott legnehezebb találós kérdést, de csupán egész gondolkodásának gyökeres kritikájával. Föl kellett adnunk mindennapos szemléletünk egyes elemeit, mint pl. a pálya fogalmát az interferencia-kísérletben. Ugyancsak föl kellett adnunk a kauzalitás elvét, mert a fényhullámot csupán mint valószínűségi hullámot tekinthetjük, mely nem determinálja a foton megtalálásának helyét. De lássuk be, hogy sem a minden áron megkövetelendő szemléletességet, sem az okság *elvét* nem merítettük a tapasztalatból. Nem vesztettük el tehát a csatát a természettel szemben, hanem éppen megnyertük, mert a természetből nyert új tapasztalatokat ellentmondásmentes logikai rendszerbe tudtuk beilleszteni.

A nagy tanulság pedig az, hogy a természet még a legegyszerűbb jelenségeiben is kimeríthetetlen, mindig új és új oldaláról mutatkozik meg. A fényről is biztosra vehetjük, hogy még sok új tulajdonságát fogjuk megismerni, olyankat, melyek kívül esnek mai legmodernebb fényelméleteink keretein is. A feladat akkor is az lesz, hogy változtassuk meg az elméletet, mert a természetet nem tudjuk megváltoztatni, sem „gúzsba kötni”. Az emberi gondolkozásban pedig alig képzelhető el nagyobb hiba, mint egy elméletről azt állítani, hogy végleges.

Horváth Gábor

BAY ZOLTÁN SEJTÉSE

A fény és a foton

A fény csodás jelensége végigkísérte a fizika fejlődését. Újra és újra inspirál, lehetőséget ad a távlatok megismeréséhez, miközben ma is úgy tekintünk rá, mint egy kettős világra. Természeténél fogva kettős tulajdonsággal jellemezték, és nem csak a múltban, hanem ma is.

Thomas Young 1803-as kísérletében³ [I] a fénynyaláb „kettéhasításával” interferenciát idézett elő. Ezzel döntő bizonyítékát adta, hogy a fénynek vannak hullámtulajdonságai. A XIX. század végére úgy látta a fizikusvilág, hogy végleg eldőlt: a fény hullám, méghozzá Faraday elgondolásai után Maxwell bizonyította, hogy valóban elektromágneses hullám, amit Hertz kísérletei megerősítettek.

A XX. század elején Einstein volt, aki felhívta a figyelmet arra, hogy a fénynek van részecsketulajdonsága, ami meghatározó szerepet játszik a keletkezésénél, és enélkül nem írható le teljes mértékben az anyag és fény kölcsönhatása. Ettől az időponttól kezdődik a foton története.

Einstein az általa megalkotott fényrészecske elmélete alapján további modelleket állított fel. Ezek egyike a túsugár-elmélet, amelyet közvetlen továbblépésnek szánt. Az elmélete szerint a fény kvantumai a térben egyirányban, adott zárt térfogatban, hullámvonulatok formájában vannak jelen. Vagyis olyan képe volt, amiben a fényhullámoknak nem csak irányuk, hanem kiterjedésük is van a tér mindhárom irányába. Ezt a képet Einsteinnek nem sikerült

³ A tanulmányban hivatkozott fogalmak és kísérletek leírása a hivatkozások sorrendjében adott római számok alatt a Függelékben megtalálhatók.

elfogadtatnia, és még idős korában is úgy nyilatkozott a fotonról, mint egy titokzatos, csodás dolgról, amiről sokan azt hiszik, hogy tudják micsoda, de számára még mindig rejtély [10].

Az egyik legmeghatározóbb kísérletet, ami ellentmond Einstein túsugár-elméletének, Selényi Pál [II] végezte 1908-ban. Kimutatta, hogy egy adott pontból igen nagy szögben induló fénysugarak között is létrejön az interferencia, tehát ugyanazon gömbhullám részei, ami nem fér össze a túsugár elmélettel. Ez úgy értelmezhető, hogy a hullámok mérete nagyobb, mint a túsugár-elméletből adódna, és haladásuk nem csak egy szűk tartományban történik, hanem nagy térszögben is.

De Broglie sejtése, majd Davisson és Germer interferenciakísérletei [III] megmutatták, hogy a részecskéknak – elektronoknak – is van hullámtulajdonsága, és ennek hullámhossz-értéke: $\lambda = h/(mv)$. Ennek alapján az elektron kettős tulajdonsággal rendelkezik: részecske és hullám. Ezzel a fény addigi furcsa kettős tulajdonsága is elfogadottá vált.

A fény részecsketulajdonságát igazolja az ún. Compton-jelenség [IV] is. Compton röntgensugarak szóródását vizsgálta paraffinon, és azt vette észre, hogy a szórt sugárzás hosszabb hullámhosszú, vagyis kisebb energiatartalmú, mint a beérkező röntgensugáré. A jelenségre jó választ ad az a feltételezés, ha fotonoknak fogjuk fel a röntgensugárzást, és ezen fotonok és az elektronok rugalmas ütközésének értelmezzük a jelenséget. Az impulzus- és energiamegmaradás-törvényt felírva, a számítások eredményei a

mérési eredményekkel jó egyezést mutatnak, és kimutatták az elektronok meglökődését is.

Az ellentmondások feloldására született meg az ún. koppenhágai iskola javaslata: a fény kettős, komplementer (egymást kiegészítő) tulajdonságokkal bír, mérésétől függően részecskeként vagy hullámként viselkedik. Ez gyakorlatilag a heisenbergi határozatlansági reláció átültetése a fény mérések során tapasztalt tulajdonságaira, annak megragadására. Így ma a fényre, mint komplementer tulajdonságokat hordozó jelenségre tekintünk. Ennek segítségével szüntették meg az elektromágneses fényelmélet és a fotonelmélet közti ellentmondásokat.

Ellentmondások a fény és a foton leírásában

Jánossy és Náray [V] 1955-57-ben a klasszikus interferenciakísérletet elvégezték egy fotonnal is, de más eszközzel. Ők Michelson-interferométerrel dolgoztak, és amit találtak, teljes mértékben egybeesett a Young-féle fénykísérletben tapasztalt jelenséggel. Tehát az egyes foton önmagával interferált.

Amikor Claus Jönsson [VI] 1961-ben a kettősrés-kísérletet elektronokkal (elektronnyalábbal) is elvégezte, ugyanolyan elhajlasképet tapasztalt, mint a fény esetén. Ez újabb bizonyíték volt az anyaghullámok létezésére.

Az utolsó mérföldkő 1989-ben volt, amikor Akira Tonomura és munkatársai [VII] ugyanilyen kísérletben egyenként átlőtt elektronokkal is interferenciát tapasztaltak.

Einstein elképzelése után Otto Robert Frisch 1933-ban igazolta, hogy a spontán fotonemisszió során az atomok a kibocsátással ellentétes irányba mozdulnak el, az impulzus megmaradásának megfelelően [4]. (Napjainkban a sugárzás ezen mechanikai hatását felhasználják a lézerek hűtésénél [10].) Ez a jelenség Einstein feltételezését támasztja alá, és cáfolja, hogy a foton gömbhullámban terjed, amely viszont ellentétes Selényi Pál kísérleti eredményével.

A Compton-kísérlet előtt, 1890-ben Otto Wiener [VIII] kimutatta, hogy léteznek és kimérhetők a fény állóhullámai, ami a fény hullámtermészetét bizonyítja. Ha jobban megvizsgáljuk, Wiener kísérletében a fény állóhullámai és részecsketulajdonságai együtt jelentek meg. Amikor a lemezre merőlegesen bocsátott fény visszaverődik, egyértelmű, hogy a foton (a részecske) megteszi az utat egyenes vonalú terjedése folytán a lemezig és vissza, egyúttal hullámokra jellemző csomó- és duzzadóhelyeket hoz létre. Ebben az esetben ismert a megtett útvonal és az állóhullámok jellemző viselkedése is adott helyen. A fotografiai réteg tanúsága szerint ugyanis a tükröződés helyén foton nem lehet jelen, mint ahogy a többi csomóhelyen sem.

Ez egyúttal rámutat egy ellentmondásra: a mért hullámhossz-tartomány egésze nem lehet a fény energiahordozója, mert akkor hogyan lennének a hullámhossz-tartományban duzzadó- és csomóhelyek, ha az energia mindenhol teljes mértékben jelen van.

A Wiener-kísérlet értelmezése magyarázatot adhat arra is, hogy a kétrés-kísérleteknél miért nem mérhető a résben foton. Mégpedig azért nem, mert az a foton számára mint

sugárzó- (induló-) hely, vagyis csomóhely jelenik meg, és ott ez alapján nem is mérhető. Míg ha csak egy rés van nyitva, ott a fotonnak meg kell jelennie.

Bay Zoltán 1948-ban a fotonról írott tanulmányának végén rámutatott, hogy ha a fény hullámtermészetének mintájára lett az elektron anyaghullámhossza megállapítva, akkor a de Broglie sejtésnek, majd egyenletnek megfelelően ez a tulajdonság a fény részecskéjének is az ún. anyaghullámhossza:

„... a dolgok következetes végiggondolása azt mutatja, hogy az a hullám, melynek a korpuszkulával való dualizmusáról itt szó volt, még nem az elektromágneses hullám, hanem a fotonnak az *anyaghulláma* vagy de Broglie-hulláma.”

Összefoglalva a fenti kísérletek tapasztalatait, a fény tulajdonságainak három különböző leírásáról lehet szó. Időben az első a Maxwell-féle elektromágneses fényhullám elmélet, melynek a visszaigazolása, hogy a hullámelmélet két fizikai állandója kiadja a fénysebességet. A második az Einstein által megfogalmazott fénykvantum elmélet, mely jól magyarázza a fotoeffektust (az elektron kilépési munkájához szükséges fény kvantáltságát), és ez a Planck-állandó felhasználásával nagy pontosságú egyezést mutat a kísérleti eredményekkel. A harmadik leírás a de Broglie hullám (a Davisson és Germer interferencia kísérletével igazolt, részecskékre vonatkozó hullámtermészet) Bay Zoltán által javasolt analógiája a fény anyaghullám természetére, mely

A combined interpretation of electromagnetic radiation and the photon

Theoretically it can be shown that the photon can be interpreted as an electromagnetic wave which is different from the de Broglie wave of light, as Zoltán Bay conjectured⁵ in 1948.

If we take the integral form of the Poynting vector on the one side as it propagates perpendicular to a given surface A at a given T/k time span this must be equal to the energy W of a photon absorbed or emitted by an electron – an elementary charge [7].

That is:

$$\int_0^{\frac{T}{k}} \left[\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} \int_{l'} \mathbf{H} d\mathbf{l}' \right] dt = Q \oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l}$$

where

T – period of the light generated by a particular photon in which the photon is present in time (and in length cT) [s]

k – a real number showing the fraction of the period of the light generated by a particular photon when the Poynting vector is interpreted [-]

\mathbf{E} – electric field strength vector [V/m]

\mathbf{H} – magnetic field strength vector [A/m]

Q – elementary charge – charge of an electron [Cb]

⁵ As cited from Zoltán Bay in the chapter of this book „A foton” (The Photon).

a and b – length, where the electric and magnetic field strength vectors \mathbf{E} and \mathbf{H} of the Poynting vector can be measured (i.e., they take a value) along the closed curves l and l' , or the length a where the electric field vector \mathbf{E} is active in the electron's vicinity [m]

$A = ab$ – the surface through which the Poynting vector passes and which is perpendicular to its direction [m²]

W – the energy required to generate the photon, or utilized when it is absorbed [J]:

$$W = Q \oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l}$$

The left side of the initial equation can be interpreted in the figure below:

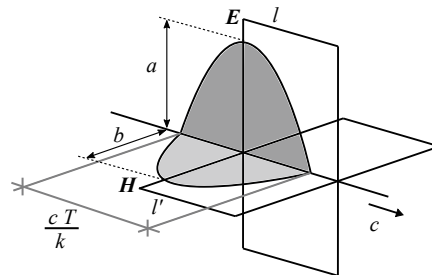


Figure 1: Interpretation of the Poynting vector in space for a photon

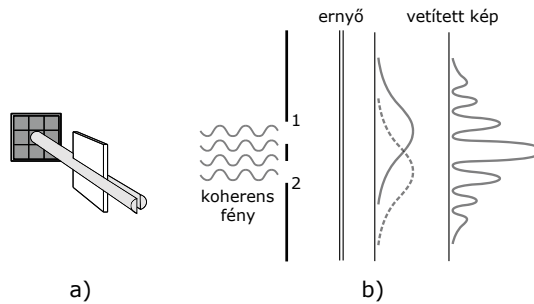
Substituting $\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu_0$ into the initial equation:

$$\int_0^{\frac{T}{k}} \left[\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} \oint_{l', \mu_0} \mathbf{B} d\mathbf{l}' \right] dt = Q \oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l}$$

FÜGGELÉK A HIVATKOZOTT KÍSÉRLETEKRŐL ÉS FOGALMAKRÓL

I. Young interferencia kísérlete

A kétrés-kísérletek eredeti verziójában Thomas Young a koherens fénysugárpárt egy ablak zsalujának tűhegynyi lyukán beeső, majd tükörrel irányított fénynyaláb papírlappal történő „kettéhasításával” hozta létre (2. a) ábra). Ernyőre vetített interferenciaképen pedig már mérni tudta a fény hullámhosszát. Későbbi kísérletekben ezt a kettős fénysugarat egy közeli réspár monokromatikus átvilágításával állították elő (2. b) ábra). Mivel a fénysugárpár az útjába helyezett fehér lapon interferenciaképet alkotott, bizonyossá vált, hogy a fény hullámtermészettel rendelkezik. A 2. b) ábra középső része azt szemlélteti, hogy ha a réseket felváltva letakarjuk, az ernyőre érkező sugárzás normál eloszlást mutat.

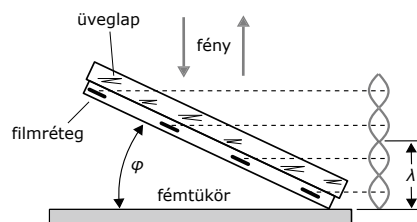


2. ábra: a) Young „fénysugár-hasítása” [11] alapján, és
b) a kétrés-kísérletek általános elrendezése

VIII. Wiener kísérlete

Otto Wiener 1890-ben kísérleti úton létrehozta a fény állóhullámát, egyúttal sikerült megmérnie a fény hullámhosszát.

Ehhez egy fémtükör előtt igen kis szögben ($\varphi \sim 1'$) vékony ($\lambda/30$) fotografiai réteget kellett elhelyeznie, majd a fémtükörrre merőlegesen homogén kék fényt bocsátott. Előhívás után a fényérzékeny rétegben fekete csíkok jelentek meg [1]. A kísérlet elrendezését a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: Álló fényhullámok fotografiai kimutatása Wiener kísérletében [1]

Az egymástól $\lambda/(2\sin\varphi)$ távolságban lévő csíkok az állóhullám duzzadó helyeinek, a világos részek a hullám csomóponti helyeinek feleltek meg. A besugárzó fény λ hullámhosszának $1/4$ -énél volt az első duzzadóhely a tükörtől mérve, és $3/4 \lambda$ értéknél a második, míg $\lambda/2$ -nél és λ -nál az első és második mérhető csomóponti hely. Ez pedig azt mutatja, hogy a tükröződés helyén – a fémtükör felületén – szintén csomóhely van, mint ahogyan minden állóhullámnál várnánk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

BAY Zoltán: A foton, *Természettudomány* III. (1948/4) 97–108.

1. BUDÓ Ágoston – MÁTRAJ Tibor: *Kísérleti fizika*, III. kötet, *Optika és Atomfizika*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 241, 578.
2. The double-slit experiment, *Physicsworld* 15 (2002/9) 15. <https://physicsworld.com/a/the-double-slit-experiment/#> [2021.05.06.]
3. Experimental setup, Davisson – Germer experiment, *Wikipedia*, 2017.07.21. https://en.wikipedia.org/wiki/Davisson%E2%80%93Germer_experiment [2021.04.26.]
4. FRISCH, Otto Robert: Experimenteller Nachweis des Einsteinschen Strahlungsrückstoßes, *Zeitschrift für Physik* 86 (1933/1-2) 42–48.
5. PÉCZELI Imre: A fény fizikája, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar, Fizikai Intézet, Fizika Tanszék, Kémiai Fizika Csoport*, 2007.11.07, 72. <http://www.fke.bme.hu/oktatas/Biofizikahonlap/Afenyfizikaja/FenyFiz.pdf> [2021.09.17.]
6. SIMONYI Károly: *Elméleti villamosság*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1958. 34–36.
7. STACHEL, John: *Einstein csodálatos éve*, Akkord, Budapest, 2004. 169.

8. TÖRÖK János – OROSZ László – KERTÉSZ János: Elméleti fizika 2., *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar, Fizikai Intézet*, 2014.03.11, 80-81. <http://www.phy.bme.hu/~torok/tanit/elmfiz2.pdf> [2021.09.21.]
9. VARGA Péter: A Jánossy-kísérletek – I. Emlékezés egy tudósra és egy problémakör fejlődéstörténete. *Fizikai Szemle* 59 (2009/9) 294.
10. VARRÓ Sándor: A fény kettős természete: Einstein és a fotonok. *Természet Világa* 137 (2006/1 különszám) 38., 43. o.
11. Young's Experiment, *The Physics Classroom*, é.n. <https://www.physicsclassroom.com/class/light/Lesson-3/Young-s-Experiment> [2021.05.06.]