

A fizika története

Véletlenek pedig vannak

Mottó

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

*„GRETE HERMANN: De hát ez iszonyú! Egyrészt maga is azt állítja, hogy tökéletlen a rádium B-ről alkotott tudásunk, amennyiben nem mondhatja meg, mikor és milyen irányban fogja kibocsátani az elektront; másrészt viszont **arról beszél, hogy igenis mindent tud róla, mert ha további determinánsok is lennének, a többi kísérletekkel keverednének ellentmondásba.** Csakhogy elképzelhetetlen, hogy tudásunk teljes és ugyanakkor mégsem az. Merő képtelenség!... Ha képtelenek vagyunk rájönni az elektronkibocsátás okára, miért kell abbahagynunk a további keresést? Nyilván maguk sem tiltják meg a keresést, csak éppen hiábavalónak tartják, mondván, hogy úgysem lehet további meghatározó tényezőket találni. Sőt konkrétan kijelentik, hogy éppen ez a bizonyos határozatlanság – ha pontos matematikai nyelven van megfogalmazva – tesz lehetővé más kísérletben határozott előrejelzéseket. És ezt, Önök szerint, a gyakorlat is igazolja. Ha tehát így érvelnek, **a bizonytalanságból objektív jellegű fizikai realitást kovácsolnak**, holott – a mindennapos szóhasználatban – a bizonytalanság a tudatlanság szinonimája, és mint ilyen, tisztán szubjektív.”*

→

Mottó

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

*„WERNER HEISENBERG: Ezzel az utolsó mondatával rendkívül pontosan megfogalmazta a modern kvantumelmélet legjellegzetesebb vonását. Valahányszor törvényt próbálunk leszűrni az atomi jelenségek tanulmányozásából, mindannyiszor felfedezzük, hogy térben és időben nem hozhatjuk korrelációba az egyes objektív folyamatokat: ezt már csak az egyes megfigyelési szituációkkal tehetjük meg. Empirikus törvényt csak a megfigyelési szituációra tudunk származtatni. **A matematikai szimbólumok, melyekkel e megfigyelési szituációkat rögzítjük, nem tényeket, hanem csak valószínűségeket képviselnek. Úgy is mondhatnánk, hogy a lehetséges és tényleges közötti átmeneti állapotot írják le,** és ez csak annyiban tekinthető objektívnek, amennyiben például a statisztikus termodinamika objektívnek nevezi a hőmérsékletet. A lehetségesről alkotott tudásunk révén egy-két esetben világos előrejelzésre is vállalkozhatunk, általánosságban azonban **a jövő eseményeknek csak a valószínűségét állapíthatjuk meg.** Kant nyilván nem láthatta előre, hogy egy, a hétköznapi tapasztalatok világától olyannyira távol eső kísérleti birodalomban nem bánhatunk majd úgy a megfigyelésekkel, mintha továbbra is megfelelnek a »Ding an sich« vagy a »tárgyak« kritériumának, azaz nem láthatta előre, hogy az atom nem dolog vagy tárgy.*

GRETE HERMANN: Hanem micsoda?

WERNER HEISENBERG: Nincs rá megfelelő szavunk, hiszen a nyelv csak a mindennapi tapasztalattal foglalkozik, és az atomok világa kívül esik ezen a körön.”

HEISENBERG: *A rész és az egész* (FALVAY MIHÁLY fordítása)

A klasszikus fizika ideálja

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

„Minden esemény, még az olyan is, amely teljesen jelentéktelen és ezért úgy tűnik, nem követi a természet nagy törvényeit, éppúgy eredménye azoknak, akárcsak a Nap járása. Minthogy korábban nem ismerték azokat a kötelékeket, amelyek ezen eseményeket az univerzum egész rendszerével egybefűzik, úgy gondolták, hogy valamilyen cél-októl, vagy a véletlentől függnék aszerint, hogy ismétlődő szabályossággal fordulnak elő, vagy teljesen rendszertelenül; de ezek a képzelt okok fokozatosan visszaszorultak az ismeretek horizontjának tágulásával, és teljesen eltűntek a józan filozófia számára, amely ezekben az álokokban csak az igazi okok nem ismerésének kifejezését látja.

*A jelen eseményeit az előző eseményekkel egy kapcsolat fűzi össze azon nyilvánvaló elv alapján, hogy **egy dolog nem történhet meg egy őt létrehozó ok nélkül**. Ez az axióma az elégséges ok elve...*

*Így tehát az Univerzum jelen állapotát úgy kell tekintenünk, mint előző állapotának következményét, és egyúttal mint az elkövetkezendők okát. Ha lenne egy értelmes lény, amely egy adott időpillanatban fel tudná fogni az összes erőket, amelyek a természetet működtetik és az azt alkotó minden létező egymáshoz viszonyított helyzetét is – és ez a lény eléggé hatalmas lenne ahhoz, hogy ezeket az adatokat ki tudná értékelni –, egyetlen formulába tömöríthetné az univerzum legnagyobb tömegeinek és legkisebb atomjainak mozgását; számára **semmi sem lenne bizonytalan, a múltat és a jelent egyaránt látnák szemei.**”*

LAPLACE: *Essai philosophique sur les probabilités*, 1814

Tartható-e LAPLACE ideálja?

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- a kinetikus hőelmélet statisztikus jellege: nem mond ellent a LAPLACE-féle oksági követelményeknek – az egyes részecskék mozgásegyenletei szigorúan determinisztikusak, csak túl sok van belőlük, hogy kezelni tudjuk őket, csak a statisztikus leírás teszi kezelhetővé
- a kvantummechanika koppenhágai értelmezése: a valószínűség nem csupán számítási segédeszköz, hanem a természet saját szerűsége, az elemi folyamatokra is fönnáll
- a koppenhágai értelmezés ellenzői (EINSTEIN, SCHRÖDINGER) leginkább a determinizmus elvetésével, a véletlen jelleg törvény erejére emelésével helyezkedtek szembe

Okság és determinizmus

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- a viszony nem egészen tisztázott
- okság: logikai kategória, számos értelemben használatos
- determinizmus: a jövő meghatározhatósága, az adott okra bekövetkező okozat egyértelmű megjósolhatósága
- kvantummechanika: melyik érvényes még, az okság vagy a determinizmus?
- DE BROGLIE: a kvantummechanikában az okság továbbra is fönnáll, a determinizmus nem
 - ◆ tekintsünk egy A jelenséget, amelyre mindig a B_1, B_2, B_3, \dots jelenségek egyike következik
 - ◆ ha B_1, B_2, B_3, \dots egyike sem következik be, amennyiben A nem következik be, akkor kimondhatjuk, hogy A a B_1, B_2, B_3, \dots jelenségek **oka**
 - ◆ viszont nem tudjuk egyértelműen meghatározni, hogy B_1, B_2, B_3, \dots közül melyik következik be A bekövetkezte után \Rightarrow **determinizmusról nem beszélhetünk**

Az okság az ókori görögöknél

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- az okság törvényszerűsége: az ember a saját tevékenysége és az annak következtében előálló hatás viszonyában fedezte föl
- ANAXIMANDROSZ: az ok úgy vonja maga után a hatást, mint bűn a büntetést
- a görög ok (*aitia*) szó egyúttal a bűnt is jelenti
- az okok négy fajtája ARISZTOTELÉSNél
 - ◆ *causa formalis*: struktúra, szellemi tartalom
 - ◆ *causa materialis*: az anyag, amelyből a dolog áll
 - ◆ *causa finalis*: a dolog célja
 - ◆ *causa efficiens*: a hatóok (a mai értelemben vett ok)

Okság: filozófiai extrémumok

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

■ DAVID HUME (1711–1776)

- ◆ nem tagadja az általános kapcsolatok érvényességét
- ◆ logikai szükségszerűségüket viszont megkérdőjelezi
- ◆ a tárgyaknak nincs fölismerhető kapcsolata egymással
- ◆ az okság (egy jelenség létéből következtetéseket vonunk le egy másik léteire vagy lefolyására) csupán a megszokás eredménye

■ IMMANUEL KANT (1724–1804)

- ◆ a kauzalitás mint kategória, elménk rendezőelve
- ◆ *a priori*, tapasztalattól független érvénye van
- ◆ az oksági viszonyok a tapasztalatot megelőzően érvényesek
- ◆ a kauzalitás minden tapasztalat lehetőségének az alapja

Okság a fizikában

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF (1824–1887): az ok és következmény fogalma túl homályos; a mechanika feladata a jelenségek teljes és a lehető legegyszerűbb leírása – megmondani, mely jelenségek jönnek létre, azok okainak meghatározása nélkül
- ERNST MACH (1838–1916): az ok és okozat fogalmát homályosnak és száműzendőnek, az azokhoz való ragaszkodást fetisizmusnak tartotta

A KAUZALITÁS A FIZIKA MÓDSZERTANÁBAN

1. A jelenségek értelmezhetősége: konkrét jelenségek \Rightarrow törvények \Rightarrow a jelenség kvantitatív leírása, vagy legalább annak elvi lehetősége
2. A fizikai események egymásra hatásának korlátai: egy esemény nem hathat már megtörtént eseményekre, és olyan események nem lehetnek kölcsönhatásban, amelyekre a „korábbi” és „későbbi” fogalma nem értelmezhető (\Leftarrow relativitáselmélet)
3. Az egyértelmű jóslás lehetősége: olyan differenciálegyenletek, amelyek alapján a jelen ismeretében a jövő meghatározható (Laplace-démon)

A kauzalitás problémái a fizikában

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- klasszikusan: az okság ellenőrzéséhez egymástól független, párhuzamosan futtatható jelenségek kellenek – azonos okok (peremfeltételek) esetén azonos okozatokat (állapotokat) kapunk-e \Rightarrow egyszeri eseménysorozat (pl a Világegyetem keletkezése) esetén az okság értelmezése bajos
- a kvantummechanika okság-determinizmus problémája
HEISENBERG szerint:
 - ◆ „ha ismerjük a kezdeti állapotot, a jövő egyértelműen meghatározható”: nem a következmény hamis, hanem a premissza nem állhat fön
 - ◆ az állapotfüggvény továbbra is egyértelműen megjósolható az alapegyenletekből, azonban az már csak valószínűségi leírást ad

EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- EINSTEIN erős ellenszenvet tanúsított a koppenhágai iskola valószínűségi értelmezése iránt: „az Úristen nem kockázik”
- HEISENBERG és EHRENFEST is fölhívta EINSTEIN figyelmét arra, hogy pont úgy viselkedik, mint az ő relativitáselméletének ellenzői egykoron
- sorsdöntő jelentőségű cikke: A EINSTEIN – B PODOLSKI – N ROSEN: „Teljesnek tekinthető-e a valóság kvantummechanikai leírása?” (*Can quantum-mechanical description of reality be considered complete?*) *Physical Review* **47**, 1935 ⇒ **EPR-paradoxon**
- célja: megmutatni, hogy a kvantummechanika nem teljes elmélet; a cikk zárásában ezt bizonyítottként ki is mondja

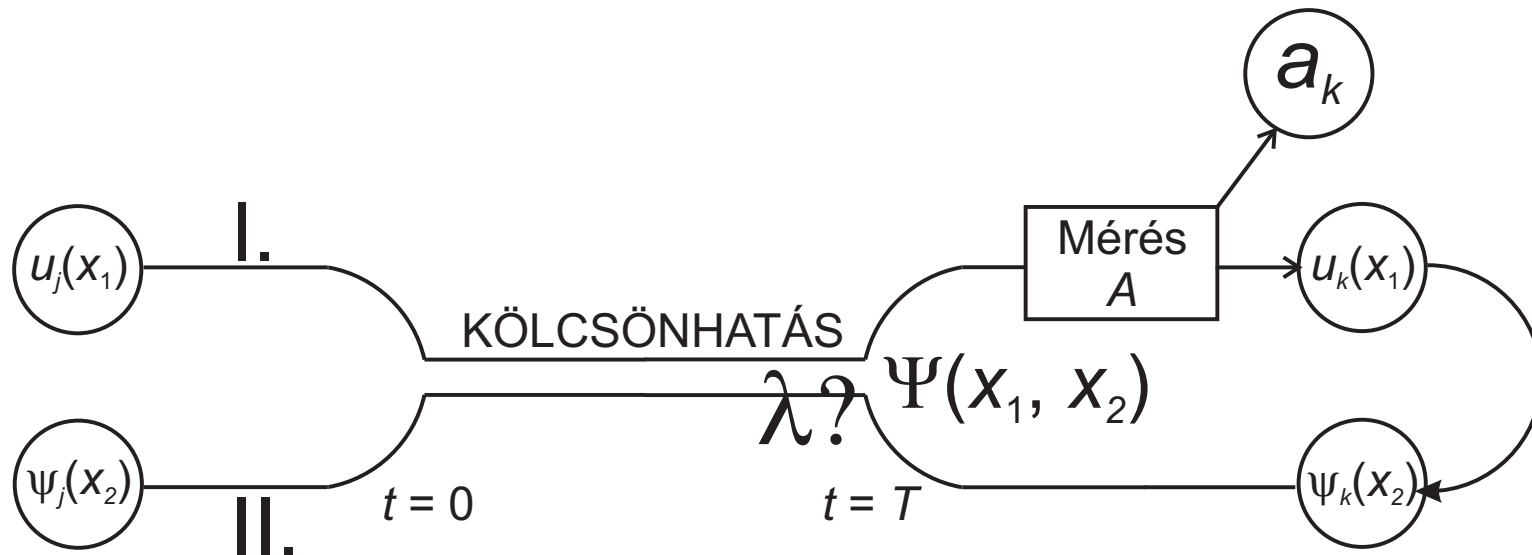
A elmélet teljessége

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- egy elmélet sikere: (1) az elmélet helyes; (2) az elmélet teljes
- a helyesség kritériuma: egyezés az elméletből levonható következtetések és a tapasztalat között
- a teljesség kritériuma: a fizikai valóság minden elemének van megfelelője az elméletben; a valóságosság definíciója: ha a rendszer bármilyen megzavarása nélkül meg tudjuk határozni egy fizikai mennyiség értékét, akkor ennek a fizikai mennyiségnek kell lennie megfelelőjének a valóságban
- a határozatlansági relációból következtetve kimondja, hogy a következő állítások VAGY kapcsolatban állnak:
 - (A): a kvantummechanika nem teljes elmélet
 - (B): a nemfölcserélhető mennyiségeknek nem feleltethető meg egyidejűleg fizikai realitás
- utóbbi állítást cáfolva bizonyítja azt a tételt, hogy a kvantummechanika nem teljes elmélet

Az EPR-paradoxon

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom



- kölcsönhatás két rendszer között \Rightarrow csatolt állapotfüggvény (mindkettő paramétereitől függ) – EPR-párok
- föltétel: a rendszerek elválasztása után az egyiken végzett mérések nem hathatnak ki a másikra (LOKALITÁS)
- belátja, hogy ebben a sémában két nemfölcserélhető mennyiségnek egyidejű fizikai realitás feleltethető meg, az előzőek szerint tehát a kvantummechanika nem teljes elmélet

Rejtett paraméterek

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- ha a kvantummechanika nem teljes elmélet, vannak olyan paraméterek, amelyeket nem ír le \Rightarrow a statisztikus viselkedés adódhat abból, hogy nem ismerjük a **rejtett paraméterek** értékét, amelyek ismerete determinisztikus összefüggések fölállítását tenné lehetővé
- NEUMANN JÁNOS: ha rendszerek egy sokaságán végzett mérés statisztikus viselkedést mutat, annak két oka lehet: (a) nem azonos állapotban vannak; (b) a természettörvények nem kauzálisak \Rightarrow végkövetkeztetés: nincsen szórásmentes sokaság a rejtett paramétereiktől függetlenül, a kauzalitás nem gondolati szükségszerűség
- JOHN STUART BELL: a rejtett paraméterek létezése esetén az EPR-párok egyes statisztikai paramétereire bizonyos egyenlőtlenségeknek érvényesnek kell lennie (1964)
- ALAIN ASPECT: kísérletileg kimutatta (EPR-pár: csatolt polarizációjú fotonok, 1981), hogy a Bell-egyenlőtlenségek sérülnek, a kvantummechanikai jóslatok pedig pontosan teljesülnek \Rightarrow **nem lehetnek rejtett paraméterek, a kvantummechanika teljes elmélet**

Káosz

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- a klasszikus fizika keretein belül is elképzelhetők olyan jelenségek, ahol a determinizmus nem tartható: pl káosz
- káosz: a jelenségeket leíró, önmagában teljesen determinisztikus differenciálegyenlet olyan természetű, hogy a kezdeti föltételek nagyon kis változása is nagy változásokat idéz elő a végeredményben
- mivel a kezdeti föltételek meghatározásának pontossága korlátos (teljesen klasszikus szemszögből is), a kimenetel sosem határozható meg egyértelműen
- példa kaotikus rendszerre: a késélen megpattanó pingpongabda

Fölhasznált irodalom

- » Mottó
- » Mottó
- » A klasszikus fizika ideálja
- » Tartható-e LAPLACE ideálja?
- » Okság és determinizmus
- » Az okság az ókori görögöknél
- » Okság: filozófiai extrémumok
- » Okság a fizikában
- » A kauzalitás problémái a fizikában
- » EINSTEIN a koppenhágai értelmezés ellen
- » A elmélet teljessége
- » Az EPR-paradoxon
- » Rejtett paraméterek
- » Káosz
- » Fölhasznált irodalom

- SIMONYI KÁROLY: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó
- EINSTEIN, A – PODOLSKY, B – ROSEN, N: Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, vol 47 (1935) 777–780. p.
- BELL, J S: On the Einstein–Podolsky–Rosen paradox. *Physics*, vol 1 (1964) 195–200. p.
- ASPECT, A – GRANGIER, P – ROGER, G: Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities. Physical Review Letters*, vol 49 (1982) 91–94. p.