

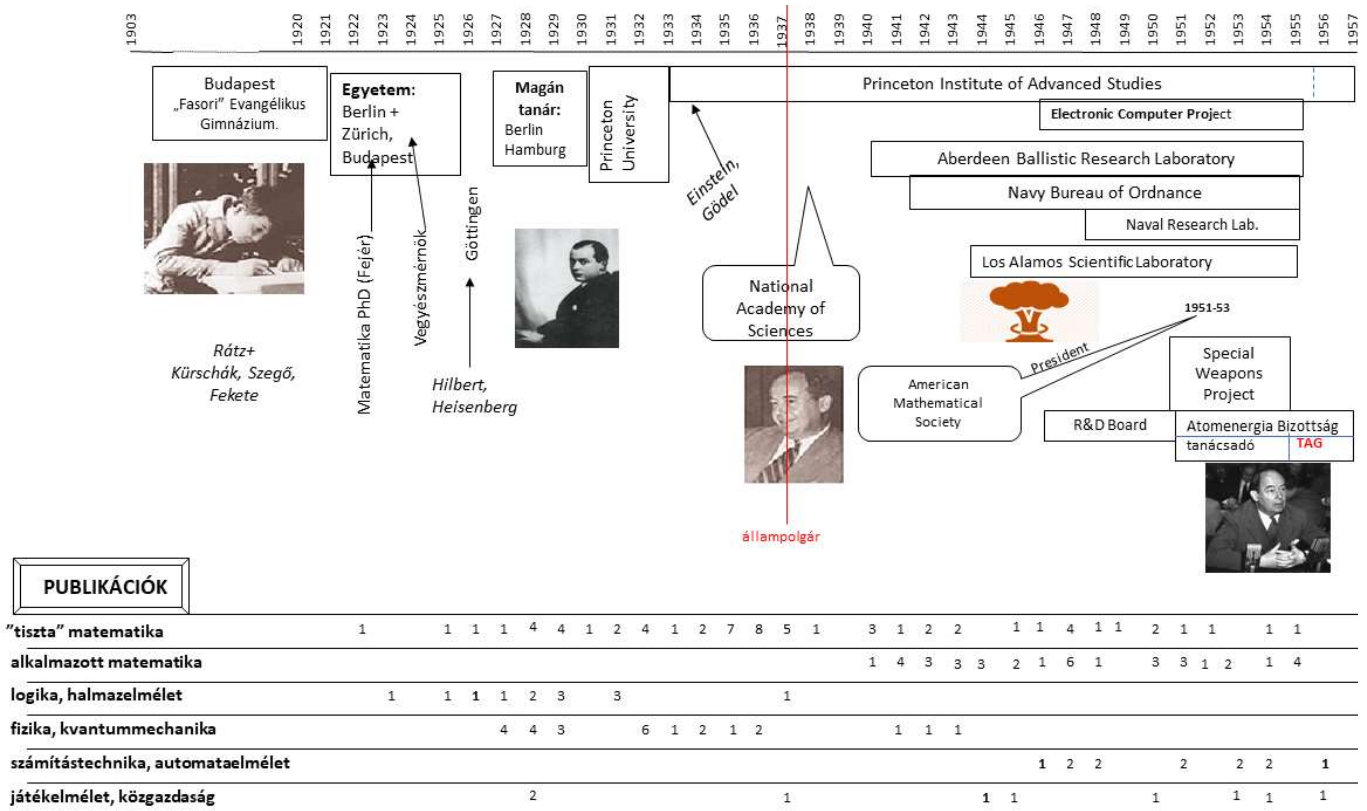
## Neumann János kettős élete

Neumann János lánya, Marina von Neumann Whitman így kezdte az NJSZT Informatika Történeti Kiállításának megnyitása alkalmából 2013 júniusában Szegeden tartott előadását [1]:



"Ismeretes, hogy Apám kettős életet élt: egyrészt a tiszta tudomány elefántcsonttoronyának vezető alakjaként, másrészt a cselekvés embereként, akinek tanácsadói és döntéshozói tevékenysége iránt állandó igény volt abban a hosszú küzdelemben, amely annak biztosításáért folyt, hogy az Egyesült Államok győzedelmeskedjen mind a forró-, mind a hidegháborúban, amelyek együttesen uralták a fél évszázadot 1939-től 1989-ig."

Az alábbiakban ezt a kettős életet fogjuk a Neumann János életútját és publikációit<sup>1</sup> röviden összefoglaló ábra segítségével végig követni.



<sup>1</sup> A publikációk táblázata a Neumann halálát követően a Matematikai Lapokban megjelent listából [2] lett kigyűjtve, így a posztumusz publikációkat nem tartalmazza

A publikációk időbeli eloszlását megfigyelve a következő megállapításokat tehetjük:

- pályájának elején elsősorban a matematika alapjaival kapcsolatos témákkal foglalkozott, válaszolva arra a kihívásra, amit a halmazelméletben a huszadik század elején felismert paradoxonok jelentettek. Jelentős eredménye itt a halmazelmélet egy biztonságos axiómarendszerének kidolgozása [3];
- a húszas-harmincas évek másik jelentős témája egy újonnan megjelenő fizikai tudományág, a kvantummechanika matematikai megalapozásának kidolgozása, lehetővé téve a kvantumelmélet különböző szemléleti módjainak egységes alapon való tárgyalását. Eredményeit az 1932-ben megjelent könyv foglalja össze [4];
- az alkalmazott matematikán belül elsősorban a robbanások természetével foglalkozó hidrodinamikai tárgyú vizsgálatokkal találkozunk a negyvenes-ötvenes években, nyilván nem függetlenül a katonai szervezetek számára végzett tanácsadás igényeitől;
- a különböző területeken szükségessé váló nagymennyiségű numerikus számítások meggyorsításának igénye fordította érdeklődését a számítástechnika felé, melynek elméleti és gyakorlati kérdéseivel a negyvenes évek közepétől az élete végéig foglalkozott;
- a játékelmélet területével – a húszas és harmincas évek végén megjelenő egy-egy jelentős publikáció után – a negyvenes években egy terjedelmes monográfiában [5] foglalkozik, kiterjesztve azt a közgazdaságtani problémák tárgyalására is;
- és életének valamennyi időszakában jelentek meg „tisztá” matematikai témájú publikációi is. Ezek egy része olyan matematikai diszciplínákkal foglalkozik, amelyek a fenti területek problémáinak megoldásához szükséges matematikai apparátus megteremtése során jöttek létre és váltak önálló diszciplínákká (pl. operátor elmélet [6], Neumann algebrák, ergod elmélet).

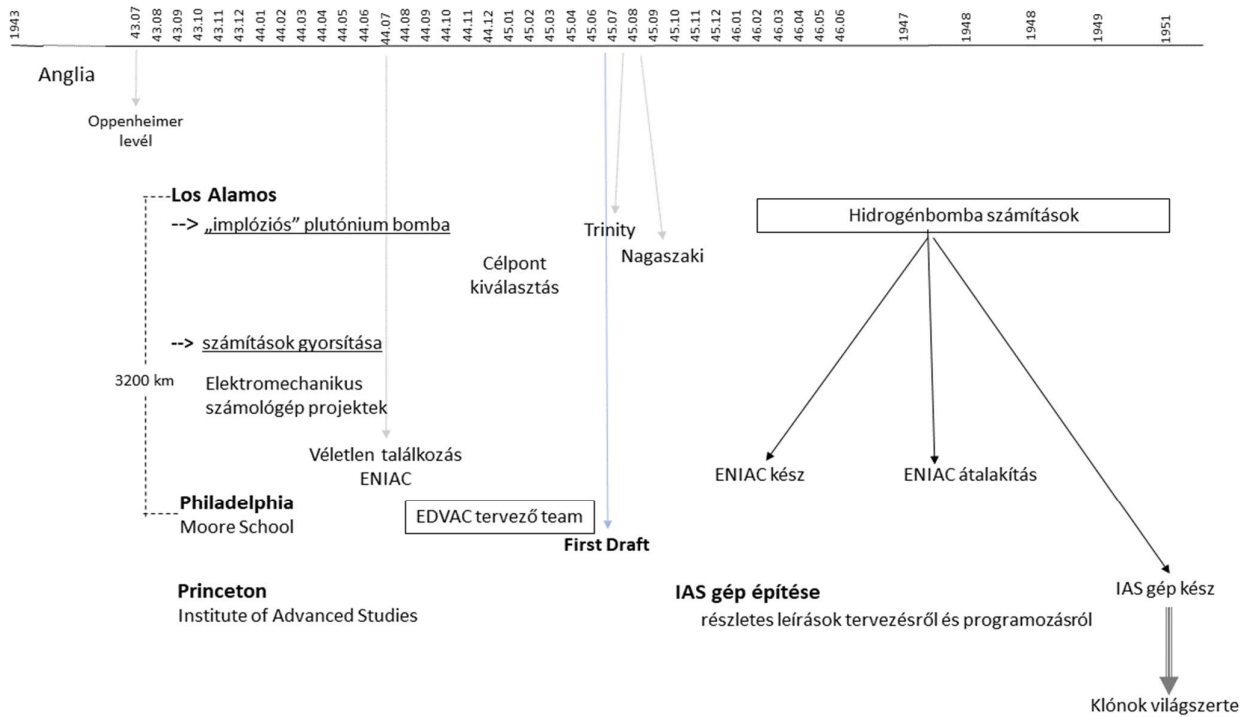
Láthatjuk, hogy Neumann János tevékenysége a húszas-harmincas években teljesen a „tisztá tudomány elefántcsonttoronyában” zajlott és eredményeivel, különösen a halmazelmélet axiomatikus felépítésének valamint a kvantumelmélet matematikai megalapozásának kidolgozásával kora matematikájának valóban „vezető alakjává” vált, mint ahogy ezt pl. az Institute of Advanced Studies egyik első professzoraként való meghívása is tanúsítja.

Jelentős változást az amerikai állampolgárság megszerzése jelentett 1937-ben. Ekkor Neumann – aki tisztában volt a háború kitörésének valószínűségével – lehetőséget látott arra, hogy „cselekvő emberré” válva képességeit az USA hadigépezetének szolgálatába állítsa.

Ennek előjátéka az volt, hogy megpróbált belépni a hadseregbe. A tiszti rang megszerzéséhez az út egy sor vizsgán keresztül vezetett, amelyeket az 1938 év folyamán Neumann kiváló eredménnyel letett. Az utolsó vizsga időpontját azonban – egy konferencia részvétel miatt – el kellett halasztania. És mivel így az utolsó vizsgára már 1939-ben került volna sor, átlépte volna a tiszti rang megszerzésére vonatkozó 35 éves korhatárt. Így nem lett Neumann Jánosból az USA hadseregének hadnagya. (Lett helyette tábornokok és admirálisok tanácsadója!)

Tanácsadói tevékenységét 1940-ben a hadsereg Ballisztikai Kutató Laboratóriumában kezdte meg Aberdeenben, kapcsolódva a robbanások hatásával foglalkozó kutatásaihoz. Ezt a hadsereg és a haditengerészet különböző intézményeknél betöltött tanácsadói pozíciók követték és az Atomenergia Bizottság tagjává történő elnöki kinevezés koronázott meg 1954-ben.

Kövessük részletesebben Neumann tevékenységeit, a „cselekvő ember” szempontjából talán legjelentősebb 1943-1945 években, a következő ábra segítségével.



1943 első felében Neumann a haditengerészet megbízásából Angliában tartózkodott, ahol a tengeri szállítmányok akna és torpedó elleni védelmében segített a brit haditengerészetnek.

Hazaérkezése után, 1943 júliusában levelet kapott Robert Oppenheimertől<sup>2</sup>, az atombomba kutatásokkal foglalkozó titkos laboratórium vezetőjétől, amelyben meghívta, hogy csatlakozzon hozzájuk Los Alamosban: „Csak annyit mondhatok, rettenetesen nagy szükségünk van a segítségére”

Los Alamosban Neumann két feladatot kapott

1. Közreműködés a plutóniumbomba tervezésében.
2. A különböző területeken szükségessé váló nagymennyiségű numerikus számítási feladatok elvégzésének meggyorsítása.

Az 1. feladat megértéséhez el kell mondani, hogy a láncreakció létrehozására kezdetben az ún. „puska módszer” használták, amikor a hasadó anyag egyik felébe belelőtték a második felét, így hozva létre a szükséges kritikus tömeget. Ez a megfelelő urán izotóppal tökéletesen működött. Ilyenből azonban nem állt rendelkezésre a megfelelő számú atombomba előállításához elegendő készlet. Ezért Los Alamosban elkezdtek kísérletezni egy másik hasadóanyaggal, a plutóniummal, ami ugyancsak alkalmas a láncreakció létrehozására. Kiderült azonban, hogy a „puska módszer” a plutóniumnál nem lehet használni, mert a kritikus tömeg még a láncreakció beindulása előtt elolvad. Ezért a plutóniumbomba esetében az ún. „implóziós” módszert kellett alkalmazni,

<sup>2</sup> Mivel Oppenheimer 2007-ben doktorált Göttingenben, Neumannal való ismeretsége feltehetőleg már onnan származhatott.

amelyben a hasadó anyagot bonyolult térbeli struktúrában elhelyezve, „berobbantással” érik el a kritikus tömeg szükséges ideig való együtt maradását. Ennek megtervezéséhez nagy szükség volt Neumannnak a robbanásokkal és lökéshullámokkal kapcsolatos eredményeire és szakértelmére.

Így vált Neumann Los Alamosban a plutóniumbomba készítésének kulcsemberévé. Tekintettel az implóziós eljárás újszerűségére, egy kísérleti robbantást tartottak szükségesnek, amelyre Trinity néven 1945 július 16-án került sor a New Mexikói sivatagban, amely sikeres voltát követően augusztus 9-én Nagaszakira ledobták a - Neumann János jelentős közreműködésével készített - plutóniumbombát.

Közben 1945 májusában Neumann résztvett a Japán elleni háború befejezése érdekében ledobandó két atombomba célpontjait kijelölő bizottság munkájában is.

Az atombombák ledobásával nem ért véget Neumann tevékenysége Los Alamosban, mert a háború befejezése utáni években intenzíven bekapcsolódott a hidrogénbomba létrehozásával kapcsolatos kutatásokba.

A 2. feladat előzménye az volt, hogy Los Alamosban a különböző kutatások során keletkező numerikus számítási igényeket egy 20-30 „humán computer”-ből álló csoport elégítette ki, amelynek tagjai nagyrészt a munkatársak feleségeiből kerültek ki. Ezen kívül üzembe állítottak néhány IBM adatfeldolgozó gépet is. A feladatok növekedésével ez a kapacitás egyre kevésbé bizonyult elegendőnek, ezért kértek segítséget Neumanntól a számítások meggyorsítására. (Van egy olyan pletyka, miszerint amikor a probléma felvetődött, akkor Teller azt dörmögte: a „*Hívjátok ide Neumann Jancsit, majd ő fejben mindent kiszámol*”). Neumann – amellett, hogy sok esetben tett javaslatokat az egyes feladatokhoz szükséges számítások hatékonyabb elvégzésére – igyekezett tájékozódni a számítások gépesítésének lehetőségei felől. Ezért megkérte *Warren Weawert*, aki akkor a katonaság által támogatott kutatások fő felelőse volt, hogy jelölje meg a számítások gépesítésével foglalkozó projekteket.

Weawer két projektet ajánlott Neumann figyelmébe:

- a *Howard Aiken* által fejlesztett Harvard Mark 1 elektromechanikus gépet [7],
- a Bell Labs-nál<sup>3</sup> *George Stibitz* által fejlesztett ugyancsak elektromechanikus Complex Number Calculatort [8]

Neumann részletesen megismerkedett mindkét projekttel, megtanulta a gépek programozását, Los Alamosból származó próba feladatokat oldott meg rajtuk és arra a következtetésre jutott, hogy az elektromechanikus gépek sebessége nem elegendő ahhoz, hogy Los Alamos problémáira megoldást jelentsen.

És itt jött a VÉLETLEN !

1944 nyarán *Herman Goldstine* százados, aki a Ballistic Research Laboratory-ban a lőelem táblázatok készítésének vezetője volt, az aberdeeni pályaudvaron a vonatra várakozók között észrevette az általa látásból ismert John von Neumannt. Bemutatkozott neki és elkezdtek beszélgetni, aminek során elmondta, hogy a hadsereg részéről ő felügyel egy a Pennsylvaniai

---

<sup>3</sup> Tekintve, hogy az az antwerpeni gyár, ahol Kozma László a harmincas évek végétől jelfogós számológépek fejlesztésével foglalkozott [22 ], a Bell Labs érdekeltségi körébe tartozott, nem kizárt, hogy egyes eredményei Stibitz munkáiba is beépülhettek.

Egyetemen a Moore School-ban folyó projektet, amely egy nagysebességű elektronikus számoló berendezés létrehozására irányul. Ez nagyon felkeltette Neumann érdeklődését, mert ő éppen ilyen gépet keresett. Az egyetlen szépséghiba az volt, hogy az ENIAC gép elkészítésének határideje 1945 végére volt kitéve, így azt az atombomba számításokban már nem tudták volna használni. (Feltehetően ezért nem említette Weaver ezt a projektet Neumannnak). Ennek ellenére a vonatúton Neumann részletesen kifaggatta Goldstinet a gép tulajdonságairól, majd 1944 szeptemberében meg is látogatta a már épülőfélben lévő ENIAC-ot és találkozott annak tervezőivel *John Mauchly* matematikussal és *Presper Eckert* mérnökkel.

Megállapodtak, hogy Neumann csatlakozik a Moore School-ban folyó projekthez. Mivel azonban az ENIAC tervei szigorúan be voltak fagyasztva, abba beleszólni már nem lehetett, Neumann annak a teamnek a munkájába kapcsolódott bele, ami – az ENIAC tapasztalatai alapján - egy következő gép, az EDVAC tervezését készítette elő. E munka kapcsán Mauchly és Eckert mellett Goldstine és felesége Adele, valamint Arthur Burks matematikus heti rendszerességgel találkoztak brainstorming jelleggel, amin Neumann is általában résztvett, ha nem ingázott éppen Philadelphia és Los Alamos között. (A távolság mintegy 3200 kilométer és a vezető tudósoknak biztonsági okokból nem volt szabad repülniük!).

A team 1945 márciusára jutott el az EDVAC tervének egy prezentálhatónak ítélt állapotára és Neumannt kérték meg, hogy a közös gondolkodás eredményeit írja le. Ennek első tervezetét („first draft of a report”) küldte el levelekben Los Alamosból Goldstine-nek, aki azt önállóan publikálható írásműnek ítélvén, szélesebb körben is terjesztette, a fedőlapon csak John von Neumann nevét feltüntetve [9]. Ez az eljárás több szempontból is vitatható, aminek tárgyalásába azonban jelen cikkben nem kívánunk belemenni. Ha azonban valaki ebben Neumannt hibáztatná, az a naptárra tekintve láthatja, hogy 1945 júniusában, a plutóniumbomba készítés finisében Neumanntól nem volt elvárható, hogy ilyen publikációs finomságokkal foglalkozék.

A First Draft tartalma azonban valamennyire indokolta is publikálásának a rendhagyó módját. Neumann itt ahelyett, hogy egyszerűen felsorolná az új gép hardverjére vonatkozóan kialakult tervezési döntéseket, a gép logikai struktúráját írja le hardver-független eszközök segítségével. Az EDVAC projekt haladásáról szóló jelentésben 1945 szeptemberében Eckert és Mauchly ezt így jellemzik:

*"A fizikai struktúrákat és berendezéseket idealizált elemekkel helyettesítette annak érdekében, hogy el lehessen kerülni az olyan technikai problémákkal való foglalkozást, amelyek elvonnák a figyelmünket a logikai megfontolásokról."*

A logikai struktúrának az ilyen leírása módot adott a fő tervezési döntések hardvertől nem függő módon való megfogalmazására, amik „Neumann architektúra” néven váltak közismertté és határozzák meg mindmáig a számítástechnikai berendezéseink logikai struktúráját.

Az EDVAC-ot tervező csapat ezután feloszlott: Mauchly és Eckert a Pennsylvaniai Egyetem szabadalmi rendszerével kapcsolatos nézeteltérés miatt elhagyták a Moore Schoolt, Neumann és Goldstine pedig az IAS-ben kezdett egy saját gép építésébe. Az EDVAC-ot egy új emberekből álló társaság építette meg, 1951-re készült el és Aberdeenben üzemelt 1962-ig.

Az ENIAC-ot 1946 februárjában helyezték üzembe a Moore School-ban, majd 1947 júliusában szállították át Aberdeenbe, ahol 1947 októberétől üzemelt 1955-ig.

Az ENIAC-al kapcsolatban két gyakran látható tévedés eloszlátása szükséges:

1. Nem igaz az, hogy Neumann Jánosnak bármilyen része lett volna az ENIAC tervezésében, az kizárólag John Mauchly és Presper Eckert szellemi gyermeke.
2. Nem igaz az, hogy az ENIAC pusztán egy löelem táblázatok számítására készített célgép lenne. A külső panelekkel való programozás segítségével bármilyen számítási feladat elvégezhető rajta, tehát univerzális computernek tekinthető.

1948-ban, Neumann ötlete alapján, az aberdeeni üzemeltetők *Richard Clippinger* vezetésével jelentős fejlesztést hajtottak végre az ENIAC-on [10]: kidolgoztak egy utasításrendszert és az egyes utasítások végrehajtását a külső panelek segítségével beprogramozták és készítettek egy értelmező programot (interpretert), amely a memóriában tárolt utasítás sorozatok elemeit sorra véve, meghívja az aktuális utasítás végrehajtásának programját (Mai nyelven ezt úgy mondanánk, hogy egy tárolt programú gép emulátorát készítették el az ENIAC-on). A végrehajtás sebességét ez az eljárás természetesen jelentősen csökkentette, de ezután az ENIAC-ot tárolt programú computerként lehetett használni, ami a feladatok programozását jelentősen megkönnyítette. (Megjegyezzük, hogy az átalakítás utáni első programot, ami egy a hidrogénbombával kapcsolatosan számítás volt Los Alamos számára, Neumann felesége, *Dán Klára* készítette el és futtatta le az átalakított ENIAC-on [11])

Közben Neumann szerette volna a computerekkel kapcsolatos – az EDVAC-on is túlmutató – gondolatait egy saját fejlesztésű gépben is megvalósítani. Mivel egy ilyen fejlesztés az IAS jellegével nem nagyon látszott összeférhetőnek, Neumann több egyetemről is kapott ajánlatokat arra, hogy biztosítják számára egy gép megépítésének a feltételeit. Végül mégis sikerült az IAS-ben 1945 végén elindítani az Electronic Computer Project-et, melynek vezetője Neumann lett és csatlakozott a projekthez a katonaságtól leszerelt *Herman Goldstine* valamint *Arthur Burks* is. Az IAS gép építése 1951-ig tartott. Közben egy sor nagyon részletes jelentést publikáltak a gép logikai tervezésének, felépítésének és programozásának kérdéseiről [12], [13]. Ezeket széles körben terjesztették, ami hozzájárult ahhoz, hogy az IAS gép klónjai a világban sok helyen megjelentek.

Neumann tevékenységeinek ez az áttekintése mutatja, hogy a harmincas évek végétől kezdve, életében inkább a „cselekvő ember” jelleg dominált. Két lényeges kivétel említhető, amelyek, ha nem is nevezhetők az „elefántcsont toronyba” tartozóaknak, de jelentős elméleti eredményeknek tekinthetők:

1. 1944-ben megjelent *Oskar Morgenstern* osztrák közgazdással együtt írt *Theory of Games and Economic Behavior* című monográfiája, amely megalapozta a játékelmélet tudományát és új fejezetet nyitott a közgazdaságtanban [5]. Ennek ismertetése meghaladná a jelen cikk kereteit.
2. Az 1948-ban a Hixon Symposiumon tartott *The General and Logical Theory of Automata* című előadását [14] követően Neumann több munkájában foglalkozott az automaták elméletének különböző kérdéseivel, különösen az önreprodukálás és megbízhatóság témakörében [15], [16], [17]. Az utóbbi magyar kiadásának utószavához írt utóiratban *Tarján Rezső* megfogalmazza azt a felismerését, hogy ezek a dolgozatok feltehetően egy nagy elméletnek a részei, amik a befejezetlenül maradt „*A számológép és az agy*”-ban

kerültek volna szintetizálásra. De a dolgozatok önmagukban is érdekesek és sok helyen kerültek alkalmazásra.

Neumann János „kettős életének” két oldalát részletesebben megvizsgálva, láthatjuk, hogy a két rész közötti határvonal nem is olyan nagyon éles:

- Neumann a „cselekvő ember” mivoltában elé kerülő feladatok megoldásánál is az elméleti kutatásoknál használatos módszereket alkalmazta: a feladatot matematikai problémaként megfogalmazva, logikai következtetésekkel jutott el a megoldáshoz;
- megfordítva, az „elefántcsont torony” világába tartozó elméleti problémák megoldását is általában a való világból származó valamilyen kihívásnak eleget téve (pl. halmazelmélet axiomatizálása, kvantumelmélet matematikai alapjai) végezte;
- végül, nagyon fontos szempont az, hogy Neumann életének ez a két oldala kölcsönhatásban állt egymással és erősítették egymást!

Amikor pl. Goldstinet megkérdezték, hogy mit tart Neumann legfontosabb hozzájárulásának a számítástechnika fejlődéséhez, akkor a logikai struktúra és a tárolt program mellett, harmadikként ezt mondta: „*az a tény, hogy világhírű volt és meg tudta győzni az embereket a számítógépek fontosságáról*” [18]

Összefoglalva láthatjuk, hogy a fentiekben tárgyalt kettősség Neumann János életében nem akadályozta, hanem éppen ellenkezőleg elősegítette kiemelkedően kiváló képességeinek érvényesülését.

Globális jelentőségű elismerése volt ennek a Financial Times által 1999-ben odaítélt “Évszázad embere” cím [19], melynek indoklásában tevékenységének mindkét oldala helyet kapott: *“Von Neumann hozzájárulásai - a matematikai elmélethez, az atombomba projekthez, a számítógép megalkotásához, a hidegháborús rakéta stratégiához és az közgazdaságtanhoz - önmagukban is jelentősek, de tükrözik az idők szellemét is, a huszadik század közepének merész hitét a racionalitás erejében, hogy befolyásoljuk és szelídítsük a fizikai világot”*.

Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy Neumann eltávolodását az elmélet világától, sokan nem nézték jó szemmel. Marina erről így beszél [20]: *“Bár 1955-ig az IAS fakultásának tagja maradt, a tiszta matematika problémáinak vizsgálata háttérbe szorult... az Egyesült Államok biztonságával kapcsolatos kulcsfontosságú kérdésekben való részvétellel szemben, ami kiváltotta matematikus kollégáinak rosszállását.”*

Jelentős változást hozott Neumann életében az, amikor Eisenhower elnök kinevezte az Atomenergia Bizottság tagjává, ami már nem tanácsadói, hanem teljes munkaidőt igénylő döntéshozói állás volt. Ehhez 1955-ben a család Washingtonba költözött és a sokféle tanácsadói megbízás nagy részét – összeférhetetlenségi okokból – Neumannak meg kellett szüntetnie. Ez elvileg lehetőséget biztosított volna Neumannnak az elméleti kérdésekkel való foglalkozásra. Erre azonban már nem kerülhetett sor, mert a Washingtonba való költözés után néhány hónappal, 1955 szeptemberében fedezték fel azt a rákbetegséget, ami 1957 február 5-én bekövetkezett halálát okozta.



Végezetül nézzük meg *Teller Ede* megfejtését Neumann kiválóságának titkáról [21]:

*Sokan szeretnék tudni, hogy Neumann Jancsi mitől tudott olyan gyorsan és hatékonyan gondolkodni, hogyan tudott originális megoldásokat találni olyan területeken, ahol a legtöbb ember még a problémákat sem veszi észre. Azt hiszem, hogy én tudom a válasz egy részét, talán egy fontos részét: **Neumann Jancsi élvezte a gondolkodást.***

## IRODALOM

- [1] A jövő múltja Konferencia (<https://ajovomultja.hu/album/26>) Marina von Neumann Whitman előadása <https://youtu.be/mgb1FkIL3GM> 1:58-2:25
- [2] Neumann János munkáinak jegyzéke. Matematikai Lapok, 1957. 1.szám, 1.-7. o.
- [3] Die Axiomatisierung der Mengenlehre. Math. Zschr., 27 (1928), pp. 669—752.
- [4] Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik. J. Springer, Berlin (1932)  
Magyarul: A kvantummechanika matematikai alapjai. Akadémiai Kiadó 1980
- [5] Theory of Games and Economic Behavior. O. Morgensternnel együtt. Princeton Univ. Press (1944, 1947, 1953), 625 pp
- [6] Szőkefalvi-Nagy Béla: Neumann János munkássága az operátorelmélet területén. Matematikai Lapok , 1957. 3-4 szám 185-210 o.
- [7] Harward IBM Mark 1, Collection of Historical Scientific Instruments, Harward University <https://chsi.harvard.edu/harvard-ibm-mark-1-function>
- [8] George Stibitz - CHM Revolution <https://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/85>>
- [9] First Draft of a Report on the EDVAC by John von Neumann <https://archive.org/details/vnedvac/mode/2up>
- [10] R. F. Clippinger: A Logical Coding System Applied to the ENIAC, 29 September 1948 Aberdeen Proving Ground, Maryland <https://ftp.arl.army.mil/~mike/comphist/48eniac-coding/index.html>
- [11] Ananyo Bhattacharya: NEUMANN JÁNOS az ember a jövőből. Open Books, 2023, 172-179 o.
- [12] Preliminary discussion of the logical design of an electronic computing instrument. Part 1, Vol. I A. W. Burks és H. H. Goldstine-nel együtt. Report prepared for U. S. Army Ord. Dept, under Contract W-36-034-ORD-7481 (28 June 1946, 2nd ed. 2 Sept. 1947), 42. pp. 1947 93. <https://www.ias.edu/sites/default/files/library/pdfs/ecp/planningcodingof0103inst.pdf>



- [13] Planning and coding of problems for an electronic computing instrument. H. H. Goldstine-nel együtt. Report prepared for U. S. Army Ord. Dept, under Contract W-36-034-ORD-7481  
Part II, Vol. I. (1947), 69 pp.  
Part II, Vol. II. (1948), 68 pp.  
Part II, Vol. III. (1948), 23 pp
- [14] : Lloyd A. Jeffress (szerk.): Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium. Wiley, New York, 1951. [Magyarul: Neumann János: „Az automaták általános és logikai elmélete”, in: Ropolyi és Szegedi (szerk.): Neumann János válogatott írásai. Typotex, 2003
- [15] Theory of self reproducing automata. A kéziratot sajtó alá rendezte és kiegészítette Arthur W. Burks. University of Illinois Press, 1966
- [16] Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components. “Automata Studies”, edited by C. F. Shannon and J. McCarthy. Princeton Univ. Press 1956, pp. 3—98.
- [17] The computer and the brain. Yale University Press, 1959. Magyarul A számológép és az agy. Fordította Szalai Sándor. Gondolat 1972
- [18] Charles Babbage Institute, Oral history interview with Herman H. Goldstine (OH 18)  
<https://conservancy.umn.edu/handle/11299/107333> p.47
- [19] Peter Martin: Architect of the computer age. Financial Times, 1999 december 24
- [20] Ld. [1] 4:20-4:45
- [21] Edward Teller talks about John von Neumann (1966)  
<https://www.youtube.com/watch?v=IGW6sEFDWZ0>
- [22] Kozma László: Mérnöki tevékenységem az elektronikus számítógépek “őskorában” Magyar Tudomány, 1973/1. 28-38 pp.