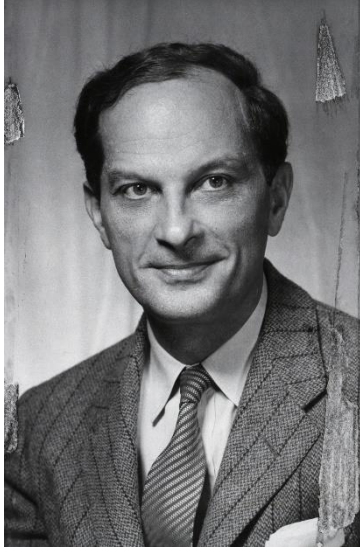


STANISŁAW ULAM



Stanisław Marcin Ulam (13.04.1909 – 13.05.1984) oli juudi päritolu poola matemaatik, tuumafüüsik ja arvutiteadlane. Ta oli üks neist Euroopa teadlastest, kes põgenes Hitleri juudivaenuliku poliitika eest Ameerika Ühendriikidesse. Ta osales tuumapommi loomises Manhattani projektis, töötas välja Ulam-Telleri disaini termotuumarelvale, avastas tsellulaarse automaadi kontseptsiooni, leiutas Monte-Carlo arvutusmeetodi ja pakkus välja idee kasutada pulsseerivat tuumareaktsiooni raketi tõukejõuks. Puhtas ja rakendusmatemaatikas tõestas ta mitmeid teoreeme ja pakkus välja uusi.

Ulam sündis Lembergis, mis asus tollases Galiitsias ja see ala kuulus Galiitsia ja Lodomeria kuningriigile. Selline riik oli sündinud I maailmasõja järel Austria-Ungari impeeriumist. 1918. a muutus see riik uuesti sündinud Poola riigi omaks Austria jagamise kaudu. Ja Lemberg sai oma uueks nimeks Lwów. Ulamid olid Poola juutide perekond, kus oli pankureid, tööstureid ja muid professionaale. Nad ütlesid enda kohta, et nad on heal järjel, aga mitte rikkad. Ulami isa Józef, kes oli advokaat, oli sündinud Lwówis ja Ulami ema Hania Auerbach (keda kutsuti Annaks) oli sündinud Stryis, mis oli väike linnake umbes 65 km Lwówist lõunasse. Anna isa Michael Auerbach oli terasetööstur, kellel olid vabrikud nii Galiitsias kui Ungaris. Josefil ja Annal oli kolm last, Stanisław (1909), Stefania Teofila (1912) ja Adam Bruno (1922).

Ulami onu Michał oli arhitekt, ehitusfirma omanik ja puidutööstur.

Aastatel 1916 kuni 1918 elas Ulamite perekond Viinis ja kui nad Lwówi tagasi pöördusid, oli linn Poola-Ukraina sõja keerises. Just siis oli linn ukrainlaste piiramisrõngas.

Lapsepõlves huvitus Ulam väga matemaatikast ja kuna tema isa raamatukogus oli saksa pehmekaanelisi raamatuid firmalt *Reklam*, siis juba kümneaastaselt tutvus ta Euleri *Algebra*ga. Ja kuigi selles olevad sümbolid tundusid talle maagiliste märkidena, leidis ta näiteks iseseisvalt ruutvõrrandi lahendi, küll väga suurte pingutustega. Viieteistkümnneselt asus ta kõrgema matemaatika kallale ja leidis isegi Sierpinski *Hulkade teooria* olevat võluva. Sõber Metzgeriga arutas ta matemaatika abstraktseid probleeme ilma vastava ettevalmistuseta, kuid see tundus talle olevat nii juudilik – muuta olemasolevat nagu seda tegid Jesus, Marx, Freud ja Cantor.

1919. a asus Ulam õppima Lwówi gümnaasiumi VII, mille ta lõpetas 1927. a. Seejärel õppis ta matemaikat Lwówi Polütehnilises Instituudis juhendaja Kazimierz Kuratowski, Sierpinski õpilase käe all, kes sai aru Ulami suurest huvist matemaatika vastu ja kes hakkas Ulamiga individuaalselt tegelema. Ulami sügavale huvile matemaatika vastu aitas tublisti kaasa tema kohtumised ja järgnevad vestlused Stanisław Mieczysław Mazuri ja Stefan Banachiga. Ta sai magistriks 1932. a ja loodusteaduste doktoriks kohe järgmisel aastal. Oma esimese publikatsiooni *Hulkade funktsioonidest* avaldas ta 20-aastaselt ajakirjas *Fundamenta Mathematicae*. Ka tema järgmine artikkel hulkadest ilmus samas ajakirjas. See osutus kaalukeeleks elukutse valimisel, sest matemaatikuna töölesaamine eriti professorina tundus tollaegses Poolas kahtlasena ja perekond soovitas tal minna üle elektriinseneriks õppima. Kuid matemaatikahuvi võitis.

Aastatel 1931 kuni 1935 reisis ja õppis ta Vilniuses, Viinis, Zürichis, Pariisis ja Cambridge'is (UK), kus kohtus G.H. Hardy ja S. Chandrasekhariga. 1932. a võttis ta osa Rahvusvahelisel Matemaatikute Kongressil Zürichis, kus tal oli ka ettekanne ja kus kohtus Norbert Wieneriga.

Koos Stanisław Mazuri, Mark Kaci, Włodzimierz Stożeki, Kuratowski, jt, oli Ulam Lwówi Matemaatikakooli liige. Selle kooli asutajad olid Hugo Steinhaus ja Stefan Banach, kes olid Jan Kazimierzi Ülikooli professorid. Selle kooli matemaatikud kohtusid pikkadel istungitel Šoti Kohvikus, kus läbi arutatud probleemid pandi kirja Banachi abikaasa annetatud paksu märkmikku, mille nimeks sai *Šoti Raamat*. Ulam oli selles raamatus põhiline autor, sest 193st probleemist, mis pandi kirja aastatel 1935 kuni 1941, oli nendest tema omad 40, 11 probleemi olid koos Banachi ja Mazuriga ning veel 15 koos teiste matemaatikutega. 1957. a sai ta Steinhausilt selle raamatu koopia, mis oli sõja üle elanud ja inglise keelde tõlgitud (tõenäoliselt oli Mazur selle oma lubaduse kohaselt Lwówi jalgpalliväljaku väravaposti kõrvale maha matnud ja raamat oli seal sõja üle elanud).

1981. a andis Ulami sõber R. Daniel Mauldin välja laiendatud ja annoteeritud versiooni ja raamat alustas oma uut elu.

1934. a otsustas Ulam maailmas natuke ringi vaadata ja alustas seda vaatamist sõiduga Viini Karl Mengeriga kohtuma. Edasi viis ta tee Zürichi kohtuma topoloog Heinz Hopfiga. Järgnes sõit Pariisi, kus sel ajal elas Ulami onunaine, kes pakkus talle ringisõitmiseks oma Rolls-Royce'i. Ulam kohkus sellisest vastuvõtust, et lükkas lahke pakkumise tagasi. Kuid ta esines Poincaré instituudis ja Sorbonne'is ettekannetega. Sama aasta oktoobris sõitis ta Cambridge'i, kus kohtus poola teadlase Leopold Infeldiga.

1935. a kutsus John von Neumann, keda Ulam oli Varssavis kohanud, teda mõneks kuuks Princetoni Süvauuringute Instituuti USAs. Ulam sõitis sinna, võttis osa loengutest ja seminaridest, kus ta teiste hulgas kuulas ka Einsteini. Von Neumanni majas kohtas ta Birkhoffi, kes soovitas tal konkureerida positsioonile Harvardi lõpetanute seltsi kaudu. See õnnestus ja Ulam veetis suved Poolas ja akadeemilise aasta Cambridge'is (USA) aastatel 1936-1939, kus ta tegeles koos John C. Oxtoby'ga ergoodilise teooriaga. Töö tulemused ilmusid ajakirjas *Annals of Mathematics*. Sellele lisaks tutvus ta suure hulga matemaatikutega, nende hulgas ka ukraina päritolu Jakov Tamarkiniga, kes

oli professoriks Browni ülikoolis ja Ameerika Matemaatika Seltsi viitsepresidendiks aastatel 1942-1943.

Igal suvel 1936. ja 1939. aasta vahel pöördus Ulam koju Poolasse tervelt kolmeks kuuks.

Ulami ema Anna jäi haigeks ja käis sageli arstide juures Viinis. Kuid vähki ravida ei õnnestunud ja Anna suri Viinis 18. märtsil 1938.

Ulami õde Stefania abiellus ja sai perekonnanimeks Kruger. Tal sündis 1940. a laps ja kui sakslased vallutasid Lwówi, läks Stefania peitu ühe kristliku naise juurde.

1940. aasta 20. augustil saatis Ulami isa tema ja ta venna, 17 aastase Adami ja oma venna Szymoni Gdynias laevale, mis sõitis USAsse. Poolas oli siis juba tunda suurt ärevust, sest kuuldi Molotov-Ribbentropi lepingust. Ja ei läinudki palju aega, kui Saksamaa tungis Poolale kallale. Kahe kuuga okupeerisid sakslased Lääne-Poola ja siis ründasid ja vallutasid venelased Ida-Poola. Poola riik lakkas olemast.

Hugo Steinhaus peitis enda, Kazimierz Kuratowski pidas loenguid Varssavi põrandaaluses ülikoolis, Włodzimierz Stożek tapeti koos oma kahe pojaga. Stefan Banach jäi ellu, sest teda sunniti osalema tüüfuse uuringutes Rudolf Weigl'i instituudis, kus Banach oli täidele söödaks. Järgnevas elus pidas Ulam end agnostikuks ja kirjutas "Teinekord mõtlen ma mulle nähtamatute jõudude peale. Kui ma olen juba lähedal Jumala ideele, tunnen ennast otsekohe sellest eemaldumas selle maailma õuduste tõttu, mida Jumal paistab taluvat."

Ulami õe käsi ei käinud hästi, sest naabrid reetsid peidupaigas olijad gestaapole ja kõik seal olnud inimesed viidi koonduslaagrisse ja nende perenaine lasti maha. Üks koonduslaagri ohvitser andis mõista, et ta saab Stefania pere päästa, kuid muidugi tasu eest. Kui ta tasu oli kätte saanud, teatas ta, et seda on vähe ja ta saab päästa vaid kaks. Stefania pidi langetama ränga otsuse ja see otsus mõistis surma nii tema kui ta lapse ja ka pääsenute vanaisa.

Ulami isa tapeti samuti siis, kui sakslased okupeerisid Lwówi 1941. a.

See aga tähendas, et Ulamid ei saanud enam Poolast toetust ja pidid elama Stanisławi väikesest palgast. Kuid 1940. a läks elu kergemaks, sest Ulam sai George David Birkhoffi soovitusel instruktoriks Wisconsin-Madisoni ülikoolis (USA) palgaga 2300 USD aastas, mis tollal polnudki nii vähe. Ja juba järgmisel aastal anti talle USA kodakondsus. Samal aastal abiellus ta Françoise Aroniga, kellega ta kohtus Cambridge'is. Nad said tütre, kellele anti nimeks Claire Anne. Madisonis kohtus Ulam ka oma tulevase sõbra ja kolleegi C. J. Everett'iga, kellega koos avaldas ta hulga artikleid, sealhulgas korrastatusest elementide rühmades ja projektiivses algebras. Nad mõlemad õpetasid ka noori mereväelasi. Ulami teise aasta alguses Madisonis anti talle kaasprofessori tiitel. See parandas oluliselt tema elujärge, sest ta pidi üleval pidama ka oma venda. 1943. a alguses pöördub Ulam palvega von Neumanni poole, et see rakendaks teda sõjalistes probleemides ja ta saigi sügisel von Neumannilt vastuse, et ta töötab ühe huvitava projekti kallal, aga ta ei saa öelda, kus. Siiski kutsus ta Ulami endaga kohtuma, kusjuures Ulami suureks imestuseks saatsid von Neumanni kaks ihukaitsjat või valvurit. Omavahelises vestluses kasutas Ulam täiesti juhuslikult termineid, mis panid von Neumanni kummalisi nägusid tegema, sest need terminid olid kasutusel ka Los Alamose laboris. Sama aasta oktoobris sai ta kutse asuda tööle identifitseerimata projekti kallal Santa Fe lähedal. Kutsele oli alla kirjutanud Hans Bethe, kelle Oppenheimer oli nimetanud teoreetilise divisjoni juhiks Los Alamose riiklikus laboris. Nii sai Ulamist Manhattani projekti – aatompommi loojate projekti – töötaja palgaga 5000 USD aastas.

Los Alamose laboris oli just tegemist tõsise probleemiga, sest reaktoris tehtud plutooniumi ei saanud pommiks kasutada sama moodi nagu uraan-235. Kuid kuna looduses uraanimaak koosneb enamasti 99.27% U238st ja 0.72% U235st, siis tuumareaktsiooniks vajaliku U235 saamiseks tuli uraanimaaki tugevasti rikastada, mis võttis palju aega¹. Pommiks vajaliku plutooniumi tootmiseks oli ehitatud võimsad reaktorid Hanfordi, mis uue probleemi

¹ Tänapäeva tuumarelvades on U235 puhtuseastmeks 93.5%.

ilmnemisel oleks jäänud kasututeks. Selle vältimiseks otsustas Oppenheimer hakata arendama implosioon-tüüpi aatomrelva ja nimetas George Kistiakowski implosiooni osakonna juhiks. Mõte oli selles, et suunatud plahvatuste abil viia plutoonium kriitilise massini, kus oleks alanud neutronite ahelreaktsioon. Aga kohe läks suureks tülik, sest Seth Neddermeyer pakkus silindrilist implosiooni, aga von Neumann sfäärilist, mille oleks kujundanud eksplosioonläätsed. Asi oli selles, et von Neumannil oli suuri kogemusi erikujuliste soomustlähbistavate laengutega. Ta oli ammu aru saanud, et plahvatuse sümmeetria ja kiirus, millega laeng plutooniumi kokku pressis, oli äärmiselt kriitiline. Ta kutsus Ulami rehkendama eksplosioonläätsede konfiguratsiooni, mis annaks sfäärilise implosiooni. Kuna pommis toimuvate reaktsioonide tulemusena oleks metall muutunud vedelikusarnaseks, siis see tähendas hüdrodünaamilisi rehkendusi, mis oleks kindlustanud laengu plahvatusel tekkiva sümmeetria ja vältinud tuumaplahvatuse susinaks muutumise.

Niisiis tuli pöörduda tohutu hulga hüdrodünaamiliste rehkenduste juurde - kõrgetel rõhkudel hakkab aine käituma vedelikuna.

Ulam ja von Neumann alustasidki neid keerulisi rehkendusi, kus arvuti moodustasid enamasti naised ja said täiesti rahuldavaid tulemusi, aga samas näitas see rehendus, et Los Alamosse laborisse on vaja väga suuri arvutusvõimsusi. Otto Frisch olevat rääkinud, et brilliantne poola topoloog võluva prantslannast abikaasaga (siis Ulam), olevat talle öelnud, et ta on laskunud nii madalale, et tema viimases artiklis on tegu isegi arvudega, mis sisaldavad kümnendikke!

Need arvutused viisid Ulami ja David Hawkinsi, hiljem ka Everetti, multiplikatiivsete protsesside teooria² käsitlemisele, kus olulist kohta omasid tõenäosust genereerivad funktsioonid ja hargnemiste statistika.

² Hiljem sai see nimeks hargnevate protsesside teooria.

1944. a septembris tuli Los Alamosesse Enrico Fermi ja Telleri superpommi grupp läks koos Ulamiga uude divisjoni, mille juhiks sai Fermi. Ulam ja Fermi moodustasid uurijate paari, kes osutus väga viljakaks pärast sõda.

Sõja lõppemine tõi kaasa paljude teadlaste lahkumise Los Alamosse laborist, kaasa arvatud Ulam. Wisconsinis ülikoolis öeldi talle, et kui ta oleks ameeriklane, oleks tal palju suuremad šansid ametiredelil tõusta. Ulamil oli õnne, sest ta sai Lõuna-Kalifornia ülikoolist kutse tulla sinna kaasprofessoriks veidi suurema palgaga kui Wisconsinis. Elukoha leidmine ja kohanemine suures linnas võttis aega, kuid sujus, aga siis jäi Ulam raskelt haigeks Chicagost koju tagasi pöördudes, kui ta teel rängalt külmetas. Väga suuri peavalusid talunud Ulamile pandi haiglas diagnoos – viiruseline entsefaliit, mille raviks tehti talle ajuoperatsioon ja võimalikud nakkused hoiti ära siis veel uudse ravimi penitsilliini abil. Ulam tervenenes aeglaselt, kuid kindlalt, isegi esialgu kadunud kõnevõime tuli tagasi. Kuid Los Angeles oli kaotanud tema jaoks oma külgetõmbavuse ja kui talle tuli 1946. a kutse tulla tagasi tööle Los Alamosesse, oli ta rõõmus ja vastas kutsele otsekohe jaatavalt. Laboratoorium, mis sõja lõppedes oli jäänud unarusse, hakkas uuesti kosuma. Üks matemaatiline suund, tegelikult küll tõenäosusteooria haru, millega Ulam tegelema hakkas, oli hargnevate protsesside teooria. Aga veel olulisem olid hiiglaslikku ressursi nõudvad hüdrodünaamilised arvutused, kuid elektronarvutite aeg alles hakkas kohale jõudma.

Siis tegi Ulam väga olulise avastuse ja nimelt pani ta pasjanssi mängides tähele, et kui mängida tuhandeid pasjansse korraga, saaks hinnata ühe mängu võiduvõimalusi. Aga samal ajal, sõja lõpu poole, olid von Neumann, Frankel ja Metropolis hakanud rehkendama esimesel elektronarvutil ENIAC³, mis paiknes Aberdeeni katsepolügonil Marylandis. Ulami tähelepanek köitis von Neumanni ja 1947. a märtsis pakkus ta statistilise lähenemise neutronite difusiooni käsitlemisele tuumaaines. Ulam pani ette nimetada see meetod Monte Carlo meetodiks, sest tema onu Michał Ulam oli käinud Monte Carlos

³ Teine arvuti MANIAC paiknes Princetonis ja kolmandat ehitati Los Alamoses.

ruletti mängimas. Metropolis ja Ulam avaldasid 1949. a selle meetodi kohta esimese avaliku artikli.

29. augustil 1949 katsetas Nõukogude Liit oma esimest aatompommi RDS-1. Selle valmimisele olid kaasa aidanud mitmed spioonid, nagu Klaus Fuchs, Theodore Hall ja David Greenglass ja RDS-1 oli tõepoolest äravahetamiseni sarnane Fat Maniga, USA esimese aatompommiga.

Kuigi sellist sündmust oli oodata, rabas see siiski ameeriklasi ja poole aasta pärast, 31. jaanuaril 1950. a kuulutas president Harry Truman välja “hoogtöö” programmi vesinikupommi loomiseks. Tegelikult oli töö selle pommi loomiseks alanud juba 1942. a, kuid kuna kasutati Telleri disaini – panna deuteeriumi ja triitiumi segu plahvatava aatompommi lähedusse, et algaks vesiniku aatomituumade ühinemine ja hiiglasliku hulga energia vabanemine - siis edu polnud. Lisaks ei olnud paljud teadlased selle programmiga liitunud moraalsel põhjustel.

Ulam ja von Neumann otsustasid kontrollida Telleri disaini elektronarvutitel. Sama tehti ka mehaanilistel arvutitel, kus Ulami abikaasa Françoise oli üks “naisarvutitest”. Rehkenduse tulemused ütlesid, et Telleri disainis ei sütti termotuumareaktsioon, kui aine tihedus on väike ja kui sütib, siis pole see ahelreaktsioon.

1951. a jaanuaris tuli Ulamile uus idee: pressida tuumareaktsiooniks vajalik aine plahvatusega kokku, nii tõstes oluliselt aine tihedust. Kui Teller sellest ettepanekust teada sai, siis soovitas ta aine kokkusurumiseks kasutada pehmeid röntgenkiiri, mis tekivad aatompommi lõhkemisel. Nii tekkis Teller-Ulami disain, kuid Teller tegi järgnevalt alati kõik, et ennast esikohale upitada. Tehti valmis Ivy Mike – USA esimene vesinikupomm, mis lõhati 1. novembril 1952 Eniwetoki atollis Vaikse ookeani katsepolügonil.

Kui Ulam pöördus tagasi Los Alamosesse, siis hakkas ta arvuteid kasutades uurima heuristilisi probleeme matemaatikas ja füüsikas.

Fermi oli hakanud veetma akadeemilisi aastaid Chicago ülikoolis ja suvesid Los Alamoses. Samal ajal hakkasid Pasta, Ulam ja Mary Tsinou tegelema klassikalise probleemiga, mis käsitles vedrudega kooshoitavate masside

liikumist, kui neile mõjuvad jõud, mis on võrdelised nende kaugusega tasakaaluasendist. Fermi lisas sellesse probleemi ka mittelineaarse liikme. Selle lisamisega lootis Fermi, et algselt põhimoodis oleva süsteemi energia jaguneb aja jooksul võrdselt kõikide moodide vahel. Ent ilmnes, et alguses on tõesti nii, kuid mõne aja pärast pöördub süsteemi koguenergia põhimoodi tagasi. Selle mõistatuse lahendasid Kruskal ja Zabuski näidates, et selle süsteemi võrrandi saab taandada Korteweg-de Vriesi võrrandiks, mis on solitoni kirjeldav osatuletistega mittelineaarne diferentsiaalvõrrand ja kogu probleem loob vundamendi kaose, solitonide ja dünaamiliste süsteemide teooriale.

Alates 1955. aastast kuni 1972. aastani tegelesid Ulam ja Frederick Reines projektis Rover tuumaenergial töötavate reaktiivmootoritega, sest need annavad massiühiku kohta miljon korda rohkem energiat kui keemilised protsessid. Selles projektis peeti silmas, et rakettmootorid töötavad pidevalt – tuumaprotsessid kütavad raketist väljuvaid gaase. Kuid Ulam ja Everett astusid veel ühe sammu ja nende uus projekt Orion pidi kasutama raketi tõukejõuks suhteliselt väikese energiaga tuumaplahvatusi, nii imiteerides II maailmasõja aegseid pulsseeriva rakettmootoriga saksa rakette Vergeltungswaffe V-1. Projekti alustati 1958 ja lõpetati 1965, sest 1963. aastal kirjutati alla Osaline tuumakatsetuste keelu leping.

Los Alamosse labori uus direktor Norris Edwin Bradbury nimetas Ulami ja John H. Manley enda teadusnõustajateks. Ulam oli sellel ametikohal kuni Los Alamosest lahkumiseni.

Kohe pärast John Kennedy valimist USA presidendiks nimetas Kennedy Ulami hea tuttava Jerry Wiesneri riigi teadust ja tehnoloogiat nõustava allüksuse juhatajaks. Ulam kirjutas hiljem, et Wiesner pöördus ka tema poole küsimusega, mida Ulam peab riiklikult tähtsateks projektideks ja Ulam arvas, et üks väga hea projekt võiks olla inimese viimine Kuule. Kennedy kuulutaski selle projekti välja oma ametisse astumise kõnes! Ning Ameerika Ühendriigid viisid selle projekti 1969. a ka ellu.

1967. a nimetati Ulam Colorado ülikooli matemaatika teaduskonna professoriks ja dekaaniks. Elukohaks valis ta Santa Fe, mis lihtsustas tema suvede veetmist Los Alamoses konsultandina. Ulam valiti Ameerika Loodusteaduste ja Kunsti Akadeemia, Riikliku Teaduste Akadeemia ja Ameerika Filosoofia Seltsi liikmeks.

Kuna Ulamit hakkas huvitama bioloogia, siis valiti ta Colorado ülikooli meditsiinikooli biomatemaatika professoriks, kus ta rakendas matemaatikat evolutsiooniprotsessidele ja numbrilisele taksonoomiale. Tema sellealased tööd panid aluse rakuliste automaatide teooriale, populatsiooni bioloogiale ja biomeetrikale üldiselt.

Kolleegid hindasid kõrgelt Ulami saavutusi, öeldes, et tema suurimad panused olid uuritavade probleemide selge identifitseerimine ja üldine tehnika nende lahendamiseks.

Kui Ulam lahkus Colorado ülikoolist, siis asus ta talviste semestrite ajal tööle uuriva professorina Florida ülikoolis.

Poola eksiilvalitsus Londonis andis Ulamile Tähega komandöri risti ordenile Polonia Restituta.

Ulam suri 13. mail 1984 Santa Fes infarkti tõttu. 1987. a andis Françoise Ulam kõik tema kirjutised, nende hulgas üle 150 teadusartikli, Ameerika Filosoofia Seltsi raamatukogule Philadelphias. Françoise jäi elama Santa Fesse, kus ta suri 2011. a 93 aasta vanusena. Nad mõlemad on maetud Françoise'i perekonna hauaplatsile Montparnasse'i kalmistul Pariisis.

Järgnev demonstreerib kujukalt Ulami mõju matemaatikas ja matemaatilistes protsessides:

- Borsuk-Ulami teoreem
- Mazur-Ulami teoreem
- Kuratowski-Ulami teoreem
- Hyers-Ulam-Rassiasse stabiilsus
- Önnelik number
- Ulami spiraal
- Ulami oletus (numbriteoorias)

- Ulami oletus (graafide teoorias)
- Ulami pakkimisoletus
- Ulami mäng
- Ulami maatriks
- Ulami arvud.

Kasutatud allikad

https://en.wikipedia.org/wiki/Stanis%C5%82aw_Ulam

<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Ulam/>

S.M. Ulam, *Adventures of a Mathematician*, University of California Press, 1991