

## Ајнштајн и Хилберт - настанак опште теорије релативности

Од школских дана и наставе физике знамо да је творац теорије релативности немачки физичар Алберт Ајнштајн<sup>1</sup>. За оне који нису студирали физику, обично је то и једино име које се везује уз настанак ове теорије, а њена основна карактеристика је да је «укинула Њутна». У ствари, ни једно од ових тврђења није тачно. Последњих година је учињено више напора да се разјасни право стање ствари у историји открића специјалне и опште теорије релативности.

Нећемо се превише задржавати на првом значајном открићу, специјалној теорији релативности. Навешћемо само да она даје ново виђење закона механике и електромагнетизма за брзине блиске брзини светлости, теоријским извођењем из две основне аксиоме: (апсолутне) константности брзине светлости и принципа релативности за инерцијалне системе координата. Ајнштајн је ово откриће објавио 1905. године, као своје потпуно самостално откриће. Ова година је у историји науке добила назив *annus mirabilis* – чудесна година, због чињенице да је те године Ајнштајн објавио четири значајна рада и завршио докторску дисертацију (докторирао је јануара 1906), док је радио у Патентном бироу у Берну и живео у браку са својом првом женом, Милевом Марић-Ајнштајн (слика је из године 1904). Улога Милеве Марић у његовим радовима из тог времена је последњих година веома брижљиво истраживана<sup>2</sup> и дошло се до закључка да је њена улога много већа него што то званична историја науке сматра.



Тих година је, међутим, неопходност нових теорија у физици висила у ваздуху због многобројних проблема који су се надвили над теоријом кретања електрона. Један од два највећа математичара и филозофа краја деветнаестог и почетка двадесетог века<sup>3</sup>, француз Анри Поенкаре<sup>4</sup> је радећи на проблемима физике разматрао питање мерења времена<sup>5</sup>, формулисао принцип релативности за инерцијалне системе<sup>6</sup> и увео Лоренцову трансформацију<sup>7</sup>. Ајнштајн је у Берну читао Поенкареову књигу «Наука и хипотеза»<sup>8</sup>, а вероватно и друге његове радове.

<sup>1</sup> Albert Einstein (Ulm, 14. марта 1879. – Princeton, 18. априла 1955.)

<sup>2</sup> Радмила Милентијевић: „Милева Марић Ајнштајн – Живот са Албертом Ајнштајном“, Матица српска, Нови Сад, 2010, 457 стр.

<sup>3</sup> о другом ће бити речи нешто касније

<sup>4</sup> Henri Poincaré (Nancy, 29. априла 1854 – Paris, 17. јула 1912)

<sup>5</sup> Poincaré H. (1898), “La mesure du temps”, *Revue de métaphysique et de morale* **6**: 1-13

<sup>6</sup> Poincaré H. (1900), “La théorie de Lorentz et le principe de réaction”, *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles* **5**: 252–278.

<sup>7</sup> Poincaré H. (1905), “On the Dynamics of the Electron”, *Comptes Rendus* **140**: 1504–1508;

Poincaré H. (1906), “On the Dynamics of the Electron”, *Rendiconti del Circolo matematico Rendiconti del Circolo di Palermo* **21**: 129–176

<sup>8</sup> Poincaré H. (1902), “La Science et l’hypothèse”

Период 1904-1916 био је изузетно буран за породицу Ајнштајн. Поред научног рада и *annus mirabilis* добили су два сина, Ханса Алберта (14. маја 1904.) и Едварда (28. јула 1910.). Иако прво незапажени, радови из 1905. су Алберту постепено доносили професорска места и славу. Са славом је, међутим, дошла до изражаја његова необуздана, неконвенционална и егоцентрична личност. Приликом преласка на ново професорско место у Берлин, поново среће своју сестру од тетке Елзу Ајнштајн Левентал и почиње са њом ванбрачну љубавну аферу која ће довести до постепеног, дугогодишњег и мучног распада брака са Милевом Марић. У тренутку врхунца афере са Елзом и разлаза са Милевом у првој години боравка у Берлину 1914-1915<sup>9</sup>, Алберт ради на општој теорији релативности, теорији која треба да обједини претходне резултате са теоријом гравитације. Требало



је укључити гравитацију у релативистичку слику света. На томе је Ајнштајн почео да ради још 1912. године у доба спокојног живота са Милевом, када је добио професорско место на ЕТХ у Цириху, на универзитету на коме су њих двоје некад заједно студирали. Корен ових разматрања води од првог примећивања принципа еквиваленције: Ајнштајн 1907. године у мисаоном експерименту (објављено 1908.) схвата да је немогуће разликовати убрзано кретање од кретања у гравитационом пољу. Поред принципа еквиваленције, улогу друге значајне аксиоме опште теорије релативности игра општи принцип релативности или принцип коваријантности: физичке једначине морају имати исти изглед у свим координатним системима. У Цириху је срео свог некадашњег колегу са студија Марсела Гросмана<sup>10</sup>, професора геометрије на ЕТХ, који му је открио математичку теорију Риманове геометрије. У том периоду Ајнштајн више није имао помоћ у раду од стране Милеве која је, напустивши студије без дипломе, имала пуне руке посла око домаћинства и двојице синова. Ајнштајн ће се до краја свог живота обраћати многим другим особама за сарадњу у области математичких основа физике.

Заједно са Гросманом, Ајнштајн објављује први покушај обједињавања гравитације и специјалне релативности у оквиру Риманове геометрије<sup>11</sup>. Општа теорија релативности своди питање гравитационе силе односно поља на геометријске особине простора. Уместо да привлачне снаге тела објашњава постојањем поља силе која делује између њих, она користи неевклидску закривљеност простора у близини великих маса. Прве једначине које су Гросман и Ајнштајн разматрали нису задовољавале принцип коваријантности у потпуности: биле су само линеарно коваријантне (нису се мењале у односу на линеарне смене координата). У том раду се, ипак, први пут појављује Ричијев тензор кривине који ће у будућим једначинама играти главну улогу.



<sup>9</sup> и години почетка Првог светског рата

<sup>10</sup> Marcell Grossmann (9. априла 1878, Budapest – 7. септембра 1936, Zurich)

<sup>11</sup> Einstein A., Grossmann M. (1914), "Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation", *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 62: 225-261

Милева са децом напушта Берлин путујући за Цирих 29. јула 1914. Управо у то време почиње Светски рат у ватромету догађаја: после ултиматума Аустроугарске Србији од 23. јула којом приликом руски посланик у Београду Хартвиг умире од срчаног удара, 24. јула Србија тражи помоћ од Русије а сутрадан одбија аустроугарски ултиматум. Наредног дана Русија потврђује помоћ Србији, да би 28. јула Аустроугарска објавила рат Србији. Русија почиње парцијалну мобилизацију 29. јула а општу два дана касније и шаље трупе на границе са Аустроугарском и Немачком. Оцењујући то као претњу и објаву рата, Немачка 1. августа објављује рат Русији.

У тим данима Милева са децом је већ у Цириху, док Алберт у Берлину ужива у стеченој слободи и новој љубавници Елзи, са којом међутим, одуговлачи да се чвршће веже. Наставља да ради на општој теорији релативности, са следећим математичким «помоћником» (Adriaan Fokker) са којим објављује нови рад у коме су једначине сада коваријантне, али скаларне тј. свODE се на случај поља силе. Незадовољан резултатима, почетком 1915. године Ајнштајн напушта рад на гравитацији и ради у области експерименталне физике са холандским физичарем Ван дер Хасом.

Главни центар математике у Немачкој у то доба није био Берлин већ Гетинген. Тамо је

као суверени краљ владао други чувени математичар краја деветнаестог и почетка двадесетог века: немац Давид Хилберт<sup>12</sup>. Хилбертова интересовања су била веома широка, од полинома са више променљивих<sup>13</sup>, преко логике и основа математике па до основа геометрије и списка од 23 проблема у математици<sup>14</sup>. Од 1912. године Хилберт почиње да се интересује за физику, посебно теорију гравитације и електромагнетизма и више пута позива Ајнштајна да говори на његовом семинару. Ајнштајн се најзад одазива и на семинару у Гетингену код Хилберта од 28. јуна до 5. јула 1915. излаже проблеме теорије гравитације на основу својих радова са Гросманом и Фокером. Крајем октобра те године у Берлину Ајнштајн добија писмо (изгубљено) од Зомерфелда у коме му овај саопштава да се Хилберт озбиљно бави питањем гравитације. То вероватно буди



Ајнштајново интересовање за гравитацију и у новембру 1915. године Ајнштајн и Хилберт размењују велики број писама о проблему теорије гравитације. Ајнштајн прекида сваку другу (иначе уобичајену) кореспонденцију. Даљи догађаји се одвијају као на филму.

4. новембар: У Берлину у Пруској краљевској академији Ајнштајн формулише нове једначине поља помоћу дела Ричијевог тензора. Једначине нису опште коваријантне.

7. новембар: Ајнштајн шаље Хилберту коректуре свог рада од 4. новембра.

11. новембар: Ајнштајн одбацује претходне и формулише нове једначине, које су овог пута коваријантне. То су једначине гравитационог поља без члана са трагом.

12. новембар: Ајнштајн шаље Хилберту дописницу у којој му се захваљује на «љубазном писму» (које је изгубљено).

13. новембар: Хилберт позива Ајнштајна на своје предавање у Гетинген 16. новембра.

15. новембар: Ајнштајн се дописницом извињава да не може да дође и моли Хилберта да му пошаље коректуре тог рада.

<sup>12</sup> David Hilbert (23. јануара 1862 – 14. фебруара 1943)

<sup>13</sup> Чувене су Хилбертове теореме о бази, која представља први неконструктивни математички доказ, и о сизигијама

<sup>14</sup> Списак је Хилберт изнео на Међународном конгресу математичара у Паризу 1900. године, као списак проблема које XIX век оставља XX веку

16. новембар: У Гетингеншкој академији, Хилберт излаже рад који је објављен у Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten, Math.-Phys. Klasse, 1915). Хилберт шаље Ајнштајну (данас изгубљено) писмо са својим једначинама (највероватније са чланом са трагом)

18. новембар: На основу својих (погрешних) једначина без члана са трагом, Ајнштајн изводи (тачан) закључак о прецесији Меркурове орбите. Ајнштајн потврђује пријем Хилбертове дописнице и пише му о објашњењу прецесије Меркура. У својој дописници Ајнштајн каже: «Систем који сте ви добили се потпуно слаже са оним што сам нашао претходних недеља и саопштио у Академији».

19. новембар: Хилберт дописницом честита Ајнштајну на објашњењу прецесије Меркура.

20. новембар: Хилберт предаје за штампу рад од 16. новембра.

25. новембар: Ајнштајн поправља једначине гравитационог поља додавањем члана са трагом и саопштава рад у Академији.

26. новембар: У писму Цангеру Ајнштајн се жали на «једног колегу, који је одлично разумео теорију и покушава да је «нострификује»»

28. новембар: Тек сада Ајнштајн одговара на Зомерфелдово писмо с краја октобра.

30. новембар: У писму свом пријатељу Бесу Ајнштајн каже «колеге се лоше понашају».

2. децембар: Из штампе излази Ајнштајнов рад од 25. новембра. У раду нема објашњења како је дошао до једначине са додатним чланом и не цитира Хилберта.

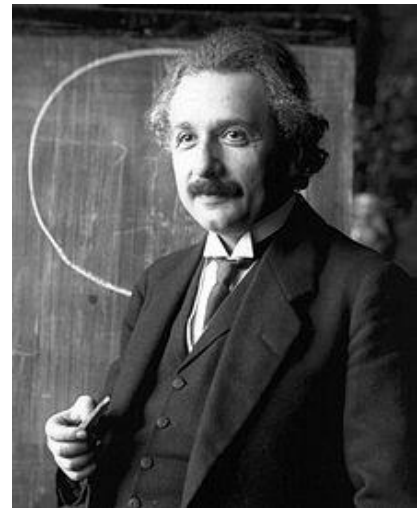
6. децембар: Хилберт добија коректуре свог рада од 16. (20.) новембра.

20. децембар: Ајнштајн шаље Хилберту позив за помирење.

22. децембар: Прочитавши рад од 18. новембра, Карл Шварцшилд (1873 - 11. мај 1916) пише писмо Ајнштајну, у коме му саопштава тачно решење за централно симетрично временски константно поље у вакууму. Рад излази у јануару 1916. Шварцшилд користи Ајнштајнове (погрешне) једначине без члана са трагом, исто као и Ајнштајн у раду од 18. новембра.

Тек наредне 1916. године, 31. марта Хилбертов рад излази из штампе. И тако, једначине које је први написао Хилберт, данас се називају Ајнштајновим доневши му велики (и последњи) научни успех и славу<sup>15</sup>.

Историја Хилбертовог рада је изазвала велике турбуленције када је 1994. године у архиви у Гетингену откривен (једини) примерак коректура тог рада, о чему је изишао чланак 1997. године. У коректурама је на мистериозан начин био исечен један део – управо онај који је могао да садржи тачне једначине<sup>16</sup>. Да ли их је заиста садржао и шта је писало на изгубљеној дописници од 16. новембра? Не можемо никада са сигурношћу сазнати.



<sup>15</sup> На слици је Ајнштајн године 1921, пред добијање Нобелове награде за физику за 1921, коју није добио за теорију релативности већ за фотоефекат.

<sup>16</sup> Аутори Leo Corry, Jürgen Renn и John Stachel нису поменули ову чињеницу која је касније изашла на видело.