M.T. HUEBR

ALBERT EINSTAIN
I Jego Teorja

PROF. DR. M. T. HUBER.

ALBERT EINSTEIN I JEGO TEORJA

LWÓW, 1920.
— NAKŁADEM SPÓŁKI WYDAWNICZEJ „SŁOWA POLSKIEGO". —

PROF. DR. M. T. HUBER.

ALBERT EINSTEIN I JEGO TEORJA

LWÓW, 1920.
— NAKŁADEM SPÓŁKI WYAWDNICZEJ „SŁOWA POLSKIEGO". —

Z DRUKARNI „SŁOWA POLSKIEGO"
POD ZARZĄDEM WILHELMA ANTONIEGO SKRZYCZYŃSKIEGO.

I.

Wrzawa kilkuletniej światowej wojny i spowodowane przez nią przewroty społeczno-polityczne na niebywałą skalę, przytłumiły silnie rozgłos innego przewrotu, dokonanego współcześnie w filozofji przyrody (że użyję szczególnie w tym wypadku trafnej angielskiej nazwy fizyki) przez zbudowanie jednego z najwspanialszych pomników myśli ludzkiej, jakim jest niewątpliwie „teorja względności", zapoczątkowana przez **Alberta Einsteina** w r. 1905, a wykończona również przezeń po dziesięcioletniej pracy. To też dopiero po zawarciu pokoju wersalskiego można zauważyć na zachodzie Europy większe zainteresowanie ogółu ideami niemieckiego uczonego. Niestety przyjęcie przez **Einsteina** odznaczenia od **Royal Society** w Londynie stało się niedawno w Niemczech hasłem do szowinistycznej nagonki na głośnego fizyka, niepozbawionej conajmniej dziwnego w tym wypadku antysemickiego zabarwienia. Do tej tylko na tle ogólnego zdziczenia wojennego możliwej akcji przyłączyła się pewna niewielka grupa uczonych, jak się zdaje, przeważnie filozofów, z tych, którzy widocznie nie mogli się wznieść na wyżyny myśli nowożytnego reformatora fizyki, tkwiąc uporczywie w metafizycznych pojęciach bezwzględnego czasu i przestrzeni, jako dogodnych, lecz abstrakcyjnych, niefizycznych, założeniach mechaniki klasycznej. Einsteinowska zasada względności, podobnie jak niejedna wybitnie rewolucyjna teorja w naukach ścisłych, wywołała pewną selekcję mózgów my-

ślicieli i do tych, którzy zaryzykowali wystąpienie przeciw nowej doktrynie i odważyli się niezrozumiawszy zanegować jej wartość, można zastosować dosłownie łacińską apostrofę: „Si taculisses..."

Z tego rodzaju krytyką Einsteina spotkałem się ku przykremu zdumieniu w fejletonie „Słowa polskiego" z 9 października b. r. („Teorja relatywności i Albert Einstein"), a że radbym uczynić zadość życzeniu pewnych kół naszej inteligencji przez podanie bodaj w najogólniejszych zarysach treści i znaczenia teorji względności, przeto spróbuję to uczynić przy sposobności odparcia conajmniej nieopatrznych zarzutów i błędów p. J. Z., autora wymienionego feljetonu. Będzie to zapewne korzystnem dla zainteresowania czytelnika i jasności przedstawienia splotu koncepcji twórcy rzeczonej teorji, koncepcji po części zasadniczo prostych, a jednak wielce trudnych do przyswojenia, wskutek, że się tak wyrażę, dziedzicznego obciążenia naszych umysłów niefizycznemi pojęciami bezwzględnego czasu, bezwzględnej przestrzeni i wskutek wiary w dogmat stałości masy. Dzięki bowiem rewolucyjnej teorji względności ostała się z fundamentów „dawnej" fizyki tylko zasada zachowania energji i niełatwo było nawet uczonym dawnej szkoły pogodzić się z takiemi konsekwencjami teorji względności jak bezwładność energji i zmienność masy (w zależności od jej ruchu). A przecież z świeżo wydanej wspaniałej książki znakomitego monachijskiego profesora A. Sommerfelda (Atombau und Spektrallinien) dowiadujemy się, że właśnie teorja względności w połączeniu z nową o wielkiej doniosłości nauką innego sławnego niemieckiego fizyka M. Plancka o t. zw. kwantach energji wyjaśnia aż do najdrobniejszych szczegółów nadspodziewanie zawiłą strukturę linji widmowych i rzuca światło na tajemniczą budowę atomów.

Już to samo wystarczyłoby, aby uzasadnić doniosłość i płodność pomysłów filozoficzno-przyrodniczych Einsteina; inne powszechniej znane wyniki, wyprowadzone z jego teorji dla doświadczalnego sprawdzenia (a cytowane z błędami przez p. J. Z., jako rdzeń główny" nauki Einsteina) są następujące:

1) Pewne zakłócenia ruchu planet dokoła słońca,

nie dające się wyjaśnić zapomocą klasycznej mechaniki Newtona, a polegające na tem, że osie główne ich orbit obracają się powoli w ich płaszczyznach. Obliczona z teorji Einsteina prędkość tego obrotu jest wprawdzie dla naszej ziemi i planet odleglejszych od słońca znikomo mała, ale dla planet bliższych osiąga dające się zmierzyć wartości. Dla najbliższego słońcu Merkurego wypadło z rachunku Einsteina 43" (sekundy kątowe) na stulecie, co najzupełniej zgadza się z pomiarami astronomicznemi. A trzeba wiedzieć, że wszystkie dotychczasowe teorje tego, przez Leverrier'a stwierdzonego zakłócenia w ruchu Merkurego opierały się na hipotezie nieznanych jeszcze ciał w układzie słonecznym, wszelkie zaś poszukiwania ciał o masie dość wielkiej dla wyjaśnienia tej anomalji na podstawie mechaniki klasycznej okazały się bezowocne. Żałować wypada, że druga z rzędu planeta Wenus odznacza się tak małym mimośrodem swej orbity, iż nie można dotąd z wystarczającą dokładnością wyznaczyć jej punktu przysłonecznego (perihelium), a tem samem położenia osi wielkiej, aby stwierdzić jej nader powolny obrót wymagany przez teorję Einsteina.

2) W dostatecznie silnem polu grawitacyjnem zakrzywiają się promienie światła w stopniu dającym się dostrzec przy sprzyjających warunkach. Dla promieni wysyłanych przez gwiazdy stałe do nas obliczył Einstein zboczenie w bezpośredniej bliskości słońca na 1.7" (a nie 1.7 stopnia, jak pisze p. Z.) Dalej od słońca musi ono maleć i stać się niedostrzegalnem, wobec czego trzeba było czekać lat parę na całkowite zaćmienie słońca, które jedynie pozwala obserwować i mierzyć położenie gwiazd na tle nieba w pobliżu tarczy słonecznej. Taka sposobność nadarzyła się 29 maja 1919 r., a materjał obserwacyjny dwu angielskich wypraw naukowych dostarczył nowego rozgłośnego tryumfu teorji Einsteina.*)

---

*) Zajmujący opis dotyczących posiedzeń Royal Society w listopadzie 1919 r. znajdzie czytelnik w pięknym artykule p. Marji Sułkowskiej, ogłoszonym w „Czasie" około 8 lutego br., a godnym uwagi także i z tego powodu, że autorka zachowuje naukową bezstron

3) **Działanie pola grawitacyjnego na światło objawia się nadto nieznaczną zmianą położenia linji widmowych (Fraunenhoferowskich)** tak, że np. pewna określona linja widmowa światła pochodzącego od słońca lub innych gwiazd stałych musi być przesunięta ku czerwonej części widma względem tejże samej linji światła ze źródeł ziemskich.

Sprawdzeniu tej teoretycznej przepowiedni **Einsteina** poświęcili już wiele prac astrofizycy, jak dotychczas, bez decydującego rezultatu. Pole grawitacyjne słońca jest zapewne za słabe, aby wywołać zboczenia linji nie zakryte innemi ubocznemi wpływami, natomiast u niektórych gwiazd stałych, przewyższających wielekroć swą masą słońce mnożą się niewątpliwie oznaki grawitacyjnego przesunięcia linji widmowych.

Ale nietylko na powyższych konkretnych wynikach teorji względności polega jej naukowe znaczenie. Chociaż nowa oparta na niej mechanika nie uczyni nigdy zbyteczną mechaniki klasycznej i nie umniejszy jej praktycznej doniosłości, to jednak nie da się zaprzeczyć, że uogólniona teoria względności obejmująca teorję grawitacji jest istotnie „najgłębszem wniknięciem myśli ludzkiej w sam ustrój rzeczywistości". To też nie bez uzasadnionej obawy zabierałem się do, być może, beznadziejnego przedsięwzięcia, skoro, jak zaznacza p. **Sulkowska**, nie zadowolnił żądnych wiedzy szerokich kół, ani nieprześcigniony mistrz jasnego naukowego stylu, nieżyjący już niestety **H. Poincare** (inżynier, matematyk, fizyk, astronom i filozof światowej sławy) i sam **Einstein** pisząc „przystępne" wykłady teorji względności. Wszak już trzynaście lat upłynęło od X. zjazdu lekarzy i przyrodników we Lwowie, na-

---

ność i wyrażając żal, „że nikt dotąd nie uprzystępnił teorji względności tym wszystkim, którzy się nią ze względu na jej rewolucyjne znaczenie w filozofji zapoznać pragną", nie wysnuwa stąd nienaukowych wniosków w rodzaju powtarzanego z modyfikacjami w kółko przez p. Z. zdania: „Podać jego teorji, streścić, pokazać na czem ona polega, nie potrafił nikt, bo w książce Einsteina teorji żadnej niema". (?!)

którym jeden z młodych naszych uczonych, przyjechawszy z zagranicy, referował jako nowość pierwszą Einsteinowską koncepcję t. zw. szczególnej teorji względności; a jednak mam w świeżej pamięci wrażenie, jakiegośmy doznali, porażeni śmiałością i nowością idei, a pierwszej chwili niezdolni do jej ujęcia i krytycznej oceny. A przecież trudności szczególnej teorji względności mają się tak do uogólnionej, jak dajmy na to, elementarna płaska geometrja do przestrzennej, lub euklidesowa do nieeuklidesowej. Dopiero przy użyciu i opanowaniu potężnych środków matematycznych, jakie były dotychczas przeważnie zbędne dla fizyków-teoretyków, staje się ogólna teorja względności jasną i zrozumiałą, podobnie jak elektromagnetycznej teorji światła nie pojmie dokładnie nikt, kto się nie zaznajomił z równaniami różniczkowemi **Maxwell'a**. O rozmiarach aparatu matematycznego potrzebnego do ujęcia uogólnionej teorji względności można wnosić stąd, że do pierwszego jej opracowania, publikowanego w r. 1914 dołączył część matematyczną szwajcarski matematyk **M. Grossmann**.

Jako ludzką słabostkę można wybaczyć utyskiwania niematematyków na nieprzystępność teorji względności, ale poczytywać za ujmę teorji i odmawiać jej wartości tylko dlatego, że nie da się jasno wyrazić w języku ogólnie zrozumiałym, może tylko zaślepienie lub zła wola, nie mające z nauką nic wspólnego.*) Wszakże symbolika matematyczna jest jakoby możliwie prostą i dogodną stenografią rozumowań nad wielkościami; operacje zaś matematyczne spełniają

---

*) P. Z. powołuje się w swoim feljetonie niefortunnie na opinię **Kamila Flammariona** „nestora astronomów europejskich, słynnego autora Uranji, że **Einstein** dumy swojej w tem nie widzi, ażeby być zrozumiałym". Otóż **Flammarion** jest wielce utalentowanym literatem i zasłużonym popularyzatorem astronomji, ale nie był nigdy naukowym badaczem. Astronom lwowskiego uniwersytetu prof. dr. **M. Ernst** zaliczył go słusznie do „matoidów" w astronomji w artykule drukowanym przed laty, jeżeli się nie mylę w „Słowie Polskiem".

funkcje niby jakiejś cudownej maszyny, oszczędzającej tak wiele wysiłku myślowego, że kto jej używa jest często zdumiony i zaskoczony niespodzianemi wynikami, do których niepodobnaby było dojść inną drogą. Dlatego to miał się wyrazić jeden z największych matematyków XVIII stulecia L. Euler: „Nieraz mi się wydaje, że ołówek, którym piszę, przewyższa mnie inteligencją".

W myśl opinji księcia niemieckich filozofów I. Kanta, że tylko to stanowi trwały dorobek nauki, co się da ująć w formę matematyczną, żaden chyba umysł naprawdę filozoficzny nie zarzuci teorji względności jej matematycznie ciężkiej (chociaż w danych warunkach zapewne najprostszej) formy, a jeżeli ma wątpliwości, to wyrazi je tylko krytyką pojęciowych podstaw teorji.

Rola, jaką odegrała matematyka przy budowie teorji względności jest godną uwagi także z tego powodu, ponieważ przytem święciły praktyczny tryumf takie gałęzie tej nauki, które uprawiano dotąd tylko w celach matematycznych, bez widoków na zastosowanie (geometrja nieeuklidesowa itp.).

II.

Uprzystępnieniu teorji względności utorował drogę jej twórca wraz z pleiadą tęgich komentatorów jak np. astronom E. Freundlich i filozof M. Schlick. Niewielka książeczka samego Einsteina pt. „Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitaetstheorie" wyszła właśnie w dziewiątem wydaniu (30—35 tysiąc od r. 1916) u Viewega w Brunświku. Dodatek w tytule „gemeinverstaendlich" rozczarował zapewne większość czytelników, na których, jak to zwykle bywa, w parę lat po maturze działa najprostsza formuła matematyczna, jak przysłowiowa święcona woda na djabła. (Jest to zrozumiałe zresztą wobec faktu, że uzdolnienie matematyczne jest udziałem stosunkowo nielicznych jednostek;; ludzie zaś tą cechą nieobdarzeni zapominają nadzwyczaj szybko i gruntownie to, czego się z matematyki nauczyli w szkole nie bez mozołu).

Jakoż w swej przedmiowie suponuje **Einstein** czytelnika, jako abiturienta szkoły średniej opatrzonego „sporą dozą cierpliwości i siły woli" mimo skromnej objętości książki.*)

Punkt wyjścia teorii względności stanowiła dokonana przez **Einsteina** ze zdumiewającą bystrością analizą najfundamentalnieiszych pojęć nauk przyrodniczych, tj. **przestrzeni i czasu.** Temi pojęciami operuje przedewszystkiem mechanika. Ale umysły głęboko filozoficzne zapatrywały się już od dawna krytycznie na podstawy mechaniki klasycznei. W dziełach, poświęconych tej mechanice widać bądźto zakłopotanie autorów przy sformułowaniu i objaśnieniu zasadniczych praw dynamiki, bądź też dogmatyczne przedstawienie pod widocznym wpływem niewzruszonego autorytetu wielkiego fundatora tei nauki **I. Newtona.** Dlaczegóż teraz dopiero zaprzeczono jego dumnej dewizie: **„Hypotheses non fingo"?** Czemuż dopiero w r. 1905 znalazł się śmiałek, który się odważył dowodzić, że właśnie w prawach mechaniki newtonowskiej tkwią hipotezy i to nieuzasadnione, że te prawa, mimo wszelkie pozory ścisłości, odzwierciadlają tylko w pewnem przybliżeniu (coprawda często zupełnie wystarczającem) świat zjawisk materialnych? Odpowiedź prosta: Przedewszystkiem dlatego, ponieważ dopiero w naszych czasach wyszły na jaw przyrodnicze fakty niedające się pogodzić z niefizycznym postulatem bezwzględnei przestrzeni w mechanice Newtona, a przez całe dwa wieki zbierała jego teorja coraz to nowe tryumfy, objaśniając ilościowo aż do najdrobnieiszych szczegółów ruchy ciał niebieskich i czyniąc zadość wszelkim wymogom mechaniki ziemskiej w miarę

---

*) Widocznie brakło tych właściwości autorowi wspomnianego feljetonu, bo wypędziwszy żywe konie ze swej filozoficznei stajni (parafraza użytej w feljetonie alegorii), ocenił tylko malowane nieudolnie przez siebie samego, wołając: „Jakie na to wszystko Einstein daje dowody? Nie daje żadnych; tam są człony (sic!) i kolumny matematyczne, ciągnące się bez końca, mające niby dowieść czy uzupełnić słowny tekst; naprawdę widzimy tylko, że ta matematyka, te cyfry, ten tekst zastępują."

użytych środków matematycznych. Powtóre zaś z tego powodu, że ów śmiałek okazał się genjuszem, którego wpływ na dalszy rozwój nauki będzie prawdopodobnie conajmniej tak doniosłym, jak wpływ autora dzieła: **„Philosophiae naturalis principia mathematica"**. Jak fakt, że **Newton** wykończył gmach zaczęty przez **Galileusza**, nie czyni ujmy jego wiekopomnym zasługom i nie zmniejsza podziwu i czci dla wielkiego Anglika, tak też i nie obniża olbrzymiej zasługi **Einsteina** to, że koncepcję teorji względności ułatwiły mu prace innego sławnego współczesnego teoretyka-fizyka Holendra **H A. Lorentza.**

Ten uczony podał pierwszy zgodną z doświadczeniem teorję zjawisk elektromagnetycznych i optycznych w poruszających się ciałach, wychodząc z fundamentalnych równań **Maxwell'a** i z założenia, że hipotetyczne podścielisko tych zjawisk, zwane, jak wiadomo eterem nie porusza się razem z ciałami, jakkolwiek je w zupełności i bez oporu przenika. To założenie musiał zrobić z dwu powodów: Po pierwsze teorja **Hertza**, oparta na przyjęciu, że ciało poruszające się porywa ze sobą eter, okazała się niezgodną z doświadczeniami **(Fizeau)**, powtóre zaś holenderski astronom **de Sitter** wykazał niezbicie na podstawie obserwacji, że prędkość rozchodzenia się światła w pozbawionych materji przestrzeniach międzygwiaździstych jest niezależną od prędkości ruchu ciała wysyłającego światło.**) Ażeby jednak swoją teorję uzgodnić także z negatywnym wynikiem słynnych doświadczeń optycznych **Michelson'a i Morley'a**, przedsiębranych w celu zmierzenia prędkości ziemi względem eteru, obmyślił **Lorentz** dodatkową hipotezę (zaproponowaną także niezależnie przez fizyka angielskiego **Fitzgeralda**), według której wszystkie ciała poruszające się względem eteru doznają w kierunku ruchu określonego skurczenia zależnego od prędkości. To nagromadzenie hipotez nie mogło zadowolnić nastałe umysłów badawczych, chociaż ilościowe wyniki teorji były zupełnie zgodne z rzeczywistością i to wła-

---

**) Oczywiście ruchu względem układu odniesienia, na którym rozchodzenie się światła obserwujemy i mierzymy.

śnie było bodźcem dla **Einsteina** do rewizji pojęć czasu i przestrzeni, a w następstwie do zastąpienia zasady względności ruchu mechaniki klasycznej, czyli zasady względności świata materjalnego, ogólniejszą zasadą względności dla całokształtu zjawisk fizycznych.

Zasada względności mechaniki klasycznej powiada, że prawa ruchu ciał materjalnych są te same dla wszystkich układów odniesienia poruszających się względem siebie jednostajnie i prostoliniowo. Całkiem popularnie da się to zilustrować powiedzeniem, że dzięki tej zasadzie można np. na płynącym statku (o ile się nie kołysze lub nie opisuje łuku) tańczyć lub grać w piłkę z takiem samem powodzeniem jak i na lądzie. Mechanika klasyczna nie wykluczała jednakże możliwości znalezienia układu uprzywilejowanego, o którym będzie można powiedzieć, że jest „bezwzględnie nieruchomy w przestrzeni" i przez długi czas podejrzywano, że wypełniający „przestrzeń" hipotetyczny eter okaże się właśnie tym upragnionym układem. Atoli według nowej zasady względności, sformułowanej przez **Einsteina**, a objaśnionej bliżej w dalszym ciągu „bezwzględny" ruch jednostajny i prostolinjowy w żaden sposób stwierdzić się nie da, albowiem pojęcie ruchu ma sens fizyczny jedynie w odniesieniu do materjalnego układu odniesienia.

Ale powoli! Rozpatrzmy najpierw idąc za świetnem przedstawieniem samego **Einsteina** (potraktowanem z doskonałem lekceważeniem przez p. Z.)

„pojęcie czasu w fizyce"

W dwa miejsca **A** i **B** na ziemi o znacznej wzajemnej odległości uderzyły pioruny. Donosząc o tem nierzadkiem zdarzeniu, zaznaczam, że obydwa pioruny uderzyły **jednocześnie**. Czytelnik zapytany, czy to twierdzenie ma określony sens, odpowie tonem głębokiego przekonania: „Tak". Skoro jednakże poproszę czytelnika o dokładniejsze objaśnienie znaczenia powyższego zdania, to po pewnym namyśle spostrzeże, iż odpowiedź nie jest taka prosta, jak się wydaje na pierwszy rzut oka.

Po pewnym czasie przyjdzie na myśl zapytanemu, być może, następująca odpowiedź: „Znaczenie zdania jest samo w sobie jasne i nie wymaga dalsze-

go objaśnienia; w każdym razie jednak musiałbym się namyślić, gdybym otrzymał polecenie stwierdzenia przez obserwację, czy w konkretnym przypadku oba wypadki zaszły jednocześnie, czy nie". Ale ta odpowiedź nie może mnie zadowolnić z następującego powodu. Dajmy na to, że jakiś sprytny meteorolog wydedukował, że w miejsca A i B muszą pioruny uderzać jednocześnie, wtenczas nasuwa się zadanie sprawdzenia, czy ten wynik teoretyczny odpowiada rzeczywistości, czy też nie. Podobnie ma się rzecz we wszystkich fizycznych wysłowieniach, w których gra rolę pojęcie jednoczesności. To pojęcie istnieje dla fizyka dopiero wówczas, gdy ma możność stwierdzenia w konkretnym przypadku, czy równoczesność zachodzi, czy też nie. Potrzeba przeto takiego określenia jednoczesności, któraby dawała do rąk obserwatora metodę, pozwalającą w naszym przypadku przez doświadczenia rozstrzygnąć, czy oba uderzenia zaszły jednocześnie, czy też nie. Dopóki nie uczynię zadość temu wymaganiu ulegam złudzeniu, sądząc, iż z wyrazem „jednocześnie" wiąże się pewne określone znaczenie. (Zanim czytelnik nie przyzna tego z przekonaniem, niechaj dalej nie czyta).

Po pewnym namyśle zaproponuje zapewne zapytany taki sposób stwierdzenia jednoczesności: Znajdujemy środek odcinka AB, dajmy na to C i tutaj ustawiamy obserwatora, opatrzonego prostym przyrządem optycznym, pozwalającym na równoczesne***) celowanie do obu punktów A i B. (Takie przyrządy pryzmowe lub zwierciadełkowe są dobrze znane inżynierom). Skoro dostrzeże obydwa pioruny jednocześnie, to one uderzyły jednocześnie.

Zadowolony mocno z tej propozycji nie uważam atoli sprawy za zupełnie wyjaśnioną mogę bowiem zrobić następujący zarzut: „Zaproponowane określenie byłoby bezwarunkowo słuszne, gdybym już wiedział, że światło, które pośredniczy obserwatorowi w C w dostrzeżeniu piorunu, rozchodzi się z tą samą prędkością od A do C, co od B do C. Sprawdzenie zaś tego założenia byłoby tylko wtedy możliwe, gdybym już rozporządzał środkami do pomiaru czasu. Kręcimy się tutaj, jak się zdaje, w logicznem kole."

***) Pojęcie równoczesności w jednem miejscu jest **a priori** jasne i nie nastręcza żadnych trudności.

Zastanowiwszy się znowu, obrzuci mnie czytelnik słusznie trochę lekceważącem spojrzeniem i oświadczy: „Podtrzymuję mimo to moją poprzednią definicję, ponieważ ona naprawdę niczego o świetle nie suponuje. Od określenia zaś równoczesności wymagać możemy tylko tego, aby w każdym rzeczywistym przypadku pozwalało empirycznie rozstrzygnąć o tem, czy określone pojęcie zachodzi, czy też nie. A niepodobna zaprzeczyć, że moje określenie czyni temu zadość. To, że do przebieżenia drogi **AC** i drogi **BC** potrzebuje światło tego samego czasu****), nie jest istotnie żadnem **założeniem** lub **hipotezą** o fizycznej naturze światła, lecz **umową dobrowolną** dla uzyskania określenia równoczesności."

Jest rzeczą jasną, że można użyć tego określenia, aby orzeczeniu jednoczesności nietylko dwu wydarzeń ale dowolnej ich liczby udzielić ścisłego znaczenia, gdziekolwiekby się znajdowały miejsca wydarzeń względem układu odniesienia (w naszym przypadku ziemi). W ten sposób dochodzimy także do określenia „czasu" w fizyce. Wyobraźmy sobie mianowicie w różnych punktach tego samego ciała (układu) odniesienia zegary zupełnie jednakowe i tak nastawione, że ich wskazówki pokazują jednocześnie (w powyższem znaczeniu) tę samą liczbę. Wtedy rozumiemy przez „czas" pewnego zdarzenia, tę wartość, którą wskazują zegary bezpośrednio sąsiadujące z miejscem tego zdarzenia. Tym sposobem przydzielamy każdemu zdarzeniu wartość czasu, która się zasadniczo da obserwować.

Powyższa umowa zawiera przecież pewną fizyczną hipotezę, w której słuszność nie podobna jednakże wątpić bez wyraźnego sprzeciwu doświadczenia. Mianowicie przyjęliśmy, że wszystkie (idealnie) jednakowe zegary muszą, wyraziwszy się potoczną mową, „iść równo", albo też ściśle: Skoro nastawimy dwa zegary spoczywające w różnych miejscach układu odniesienia tak, aby jedno położenie wskazówek jednego zegara było jednoczesnem (w powyższem znacze-

---

****) Powietrze usuwamy oczywiście z naszego idealnego doświadczenia.

piu) z tem samem położeniem wskazówek drugiego zegara, to równe położenia wskazówek obu zegarów są wogóle równoczesne (w tem samem znaczeniu).

Przemyślawszy dobrze Einsteinowskie ścisłe określenie fizycznego czasu, pójdzie czytelnik także za nim, śledząc najbliższą doniosłą konsekwencję tego określenia tj. **„względność jednoczesności"**. Niechaj przez punkty A i B przechodzi oś prostego toru kolejowego, na którym porusza się bardzo długi pociąg ze stałą prędkością v w kierunku od A ku B. Pasażerowie pociągu będą z natury rzeczy obserwować i notować wszelkie wydarzenia w odniesieniu doń, czyli do połączonego z nim sztywnie „układu spółrzędnych"; każde zdarzenie, zachodzące w pewnem miejscu toru, zachodzi także w określonym punkcie pociągu i nawzajem. Określenie jednoczesności da się przy tem podać dokładnie w ten sam sposób w odniesieniu do pociągu, co i w odniesieniu do toru. Skoro jednakże zapytamy czy dwa zdarzenia (np. oba uderzenia piorunów w A i B) jednoczesne w **odniesieniu do toru**, są także jednoczesne w **odniesieniu do pociągu**, to, jak zaraz zobaczymy, musi odpowiedź wypaść przecząco.

Jeżeli bowiem powiadamy, że pioruny A i B są jednoczesne względem toru, to to znaczy, że promienie światła, sygnalizujące ich uderzenia i wychodzące z punktów A i B spotykają się w środku C odcinka toru AB. Ale obu zdarzeniom odpowiadają także miejsca A i B pociągu, pomiędzy któremi znajduje się w pociągu środek C'. Ten punkt schodzi się wprawdzie w chwili uderzenia piorunów z punktem C (dla obserwatora na torze), atoli porusza się z prędkością v pociągu, wskutek czego zbliża się do idącego ku niemu sygnałowi świetlnemu z B, a oddala od takiego sygnału z A. Obserwator w C' zobaczy zatem najpierw piorun w B, a potem w A. Obserwatorzy posługujący się pociągiem jako układem odniesienia muszą przeto stwierdzić w przeciwieństwie do obserwatorów na ziemi, że piorun B uderzył wcześniej niż A. Dochodzimy więc do następującego ważnego wyniku: Zdarzenia jednoczesne w odniesieniu do toru nie są jednoczesne w odniesieniu do pociągu i nawzajem (względność równoczesności). **Każdy układ odniesie-**

nia posiada swój osobny czas; podanie czasu ma ściśle określone znaczenie tylko wtedy, gdy podajemy zarazem układ odniesienia, do którego ono się odnosi.

III.

Otóż stąd wychodzi „rdzeń" główny nauki Einsteina; fizyka „przedrelatywna" przyjmowała zawsze cichaczem, że znaczenie podań czasu jest bezwzględne, ti. niezależne od stanu ruchu układu odniesienia i to właśnie pociągnęło za sobą dziwną hipotezę Lorentzowskiego skurczenia. Zobaczymy wkrótce jak wygląda teorja Lorentza w świetle nauki Einsteina, rozpatrując z nim **„względność pojęcia przestrzennej odległości"**.

Weźmy pod uwagę dwa określone miejsca naszego pociągu, jadącego z prędkością v, np. środki A i B pierwszego i ostatniego wagonu i zapytajmy się o ich wzajemną odległość. Pasażer pociągu będzie mierzył tę odległość, przykładając kolejno swoją miarę jednostkową wzdłuż odcinka A B, począwszy od A. Liczba, podająca, ile razy musiał przyłożyć miarę, aby dojść do punktu B, określa szukaną odległość. Jakże teraz rozwiąże to zadanie obserwator, znajdujący się na terze? On poleci pasażerom pociągu naznaczyć podczas ruchu punktów A i B te punkty toru A' i B' które jednocześnie się z niemi schodzą, a potem zmierzy ich wzajemną odległość na ziemi w taki sam sposób. Ponieważ, jak powyżej stwierdzono, zdarzenia jednoczesne dla pasażerów pociągu nie są jednoczesne dla obserwatorów na ziemi, przeto odległość AB nie wypada równa dokładnie odległość A'B'. Ażeby tę różnicę obliczyć, trzeba znać prędkość światła. Każdy z czytelników pamięta zapewne okrągłą liczbę 300.000 km/sek, podawaną w szkole jako prędkość światła (w próżni). Oznaczmy ją dla krótkości przez c. Prędkość ziemskich środków lokomocji, a nawet bez porównania większe prędkości ciał niebieskich, są nadzwyczajnie małe w porównaniu do prędkości światła. O tem wiedziano od dawna, ale przypuszczano, stosownie do zasady względności ruchu w klasycznej me-

chanice, że gdyby się dało wykonać pomiary prędkości światła z dostateczną dokładnością, to np. obserwator mierzący tę prędkość na naszym pociągu, jadącym z prędkością v km/sek, otrzymałby nie wartość c, znalezioną przez obserwatora na ziemi, lecz c+v, albo c—v, zależnie od tego, czy pociąg zbliża się, czy też oddala od źródła światła. Wiemy obecnie z całą pewnością, że to przypuszczenie było błędne, wobec czego wypadało albo wnosić, że zasada względności nie stosuje się do ruchu zjawisk świetlnych i wogóle elektromagnetycznych, albo też uważać sprzeczność z zasadą względności za pozorną i szukać jej rozwiązania gdzieindziej. To właśnie uczynił Einstein, dowodząc względności pomiaru czasu i długości, a wysuwając jako postulat stałą prędkość światła w każdym z układów odniesienia posuwających się względem siebie jednostajnie i prostolinjowo.

Dalsze rozważania ilościowe, na które tutaj nie ma miejsca, pouczają, że każdy odcinek, wyznaczony na jadącym pociągu w kierunku jego ruchu, przedstawia się dla obserwatora na ziemi jako skrócony, a wartość tego skrócenia równa się dokładnie $\sqrt{1-v^2/c^2}$*) tj. właśnie tyle, ile przyjmuje hipoteza Lorentza**). Obie teorje są zatem zgodne co do wyników jakościo

---

*) pierwiastkowi kwadratowemu z jednostki pomniejszonej o kwadrat ilorazu prędkości pociągu przez prędkość światła.

**) Niejednemu czytelnikowi nasuwa się następujące pytanie: Skoro metr używany do mierzenia na ziemi staje się krótszym w jadącym po ziemi pociągu, to któryż jest „prawdziwym" metrem? Albo też: Czy zmiana długości jest „rzeczywistą", czy też tylko pozorną? Otóż te pytania stawiają błędne alternatywy. Różne długości w układach poruszających się względem siebie prostoliniowo i jednostajnie, przynależą „rzeczywiście" temu samemu metrowi, bo wszystkie te układy są równouprawnione. Niema w tem żadnej sprzeczności, bo właśnie „długość" jest pojęciem względnem. Wynik pomiaru długości jednego i tego samego ciała sztywnego, umieszczanego kolejno w co

wych i ilościowych, ale podczas gdy **Lorentz** uważał hipotetyczny eter za bezwzględny, uprzywilejowany niejako układ odniesienia w duchu mechaniki klasycznej, a wykazaną doświadczalnie niemożliwość stwierdzenia ruchu ciał względem eteru („ruchu bezwzględnego") tłumaczył hipotetycznem skurczeniem się tych ciał przez działanie eteru, to **Einstein** obchodzi się bez hipotezy eteru, a posługując się jedynie postulatem stałej prędkości światła w próżni, jako uniwersalnej stałej fizycznej, tłumaczy skurczenie jako skutek wyłuszczonych powyżej metod pomiaru czasu i długości, metod zupełnie zadowalających nasz umysł pod względem teoretyczno-poznawczym.

Zachwianie, a być może nawet bankructwo hipotezy eteru, wywołane teorją względności*) obudziło oczywiście niekłamany żal dawniejszych teoretyków, zwłaszcza angielskiej szkoły, lubującej się w mechanicznych modelach i nie dziwota, że taki np. **Sir Oliver Lodge**, nestor angielskich fizyków, który niedawno jeszcze zajmował się teoretycznem obliczeniem gęstości eteru, wyraził się z pewną goryczą, że „uzyskanie przez teorję Einsteina prawa obywatelstwa w nauce, stanie się początkiem strasznych czasów dla fizyków, którzy ze względów praktycznych uczyć się i nauczać będą klasycznej mechaniki i fizyki, a dla celów teoretycznych i postępu wiedzy, będą musieli wżywać się w relatywistyczny pogląd na świat". Tem większe trudności czekają przedstawicieli nauki nauk, filozofii, o ile nie są jednocześnie matematykami lub fizykami

---

raz to nowych układach będzie oczywiście ten sam jeźli pomiaru dokonano zwykłym sposobem w każdym układzie z osobna, bo miara użyta do mierzenia, tak samo się „kurczy" jak ciało.

* Obecny kryzys hipotezy eteru przypomina nieco zamierzchłe czasy filozofii przyrody, kiedy w miarę jak postęp astronomii umożliwił mierzenie odległości ciał niebieskch, usuwano z poglądu na świat kryształową sferę gwiaździstego nieba starożytnych greckich myślicieli.

i to po części tłumaczy, aczkolwiek nie usprawiedliwia zaciekłych ataków niektórych filozofów na Einsteina.

Objaśniona powyżej co do głównych podstaw Einsteinowska szczególna zasada względności, da się sformułować w następujący sposób:

Prawa wszelkich zjawisk fizycznych są dla układów odniesienia poruszających się względem siebie jednostajnie i prostolinjowo tesame, skoro w każdym układzie mierzymy czas i długości stosownie do poprzednich rozważań. Każdemu określonemu zdarzeniu odpowiadają w jednym układzie pewne wartości x, y, z, t, spółrzędnych i czasu; w innym zaś wartości x', y', z', t'. Pomiędzy temi wartościami zachodzą związki matematyczne, noszące nazwę wzorów przekształcenia Lorentza. Jeżeli wchodząca w skład tych wzorów prędkość światła c przyjmiemy za nieskończenie wielką w porównaniu do prędkości układu odniesienia, to one stają się wzorami przekształcenia Galileusza, odpowiadającego zasadzie względności mechaniki klasycznej. Nic tedy dziwnego, że mechanika klasyczna opisywała z tak wielką dokładnością ogromnie w porównaniu do fal świetlnych leniwe ruchy materji na ziemi i ruchy ciał niebieskich. Dopiero w niedawno zbadanych promieniach katodowych i tak zw. promieniach „beta", wysyłanych przez rad i inne ciała promieniotwórcze, mamy do czynienia ze zjawiskami ruchu t. zw. elektronów, które z powodu swej kolosalnej prędkości okazują tak znaczne zboczenia od praw mechaniki klasycznej, że dopiero zastosowanie teorji względności pozwala je objaśnić w sposób zupełnie zadowalający.

IV.

Już powyższe fragmentaryczne przedstawienie szczególnej teorji względności wystarcza, aby objąć jednym rzutem oka jej doniosłe znaczenie filozoficzne, oświetlone wybornie przez M. Schlick'a*), a mianowicie:

---

*) „Raum und Zeit in der gegenwaertigen Physik".

„Oddzielenie **przestrzeni** od **czasu** da się wykonać tylko w abstrakcji od fizycznych **rzeczy** (Dinge) i zdarzeń. Realnem jest tylko połączenie, jedność przestrzeni, czasu i rzeczy; każde z osobna jest abstrakcją. Przy każdej zaś abstrakcji należy się zawsze zapytać czy ona ma także znaczenie przyrodnicze, to znaczy, czy to, co rozdzieliliśmy przez abstrakcję jest także rzeczywiście nawzajem od siebie niezależne".

„Gdyby miano zawsze świadomość tej ostatniej prawdy, to sławny, wciąż odnawiany spór o istnienie tak zwanego „ruchu bezwzględnego" byłby odrazu otrzymał inne oblicze. Mianowicie pojęcie ruchu ma realne znaczenie przedewszystkiem tylko w dynamice, jako zmiany położenia ciał materjalnych w czasie; tak zwana czysta kinematyka (dawniej foronomia) powstaje przez abstrakcję od pojęcia masy, czyli jest nauką o czasowych zmianach miejsca punktów matematycznych. Tylko doświadczenie może rozstrzygnąć, o ile ten abstrakcyjny utwór może służyć do opisu natury. Przeciwnicy ruchu bezwzględnego argumentowali przed **Einsteinem** zasadniczo w następujący sposób: Każde oznaczenie miejsca jest jako określone tylko dla oznaczonego układu odniesienia, stosownie do swego pojęcia względnem, a zatem także każda zmiana miejsca. Przeto istnieje tylko ruch względny, czyli nie może być układu uprzywilejowanego; a ponieważ pojęcie ruchu jest względnem, przeto każdy dowolny układ odniesienia można uważać za będący w spoczynku".

„W tem rozumowaniu prześlepiono jednakże, że określenie ruchu jako samej **zmiany miejsca** dotyczy tylko ruchu w znaczeniu kinematyki. Dla rzeczywistych ruchów ciał materjalnych (w dynamice) nie musi być powyższy wniosek obowiązującym i dopiero doświadczenie powinno pokazać, czy był uprawnionym. Ze stanowiska kinematyki jest naturalnie wszystko jedno, czy powiemy: ziemia się obraca, czy też, że niebo gwiaździste obraca się dokoła ziemi; z tego jednakże nie wynika, aby obydwa zdania nie dały się rozróżnić także i z punktu widzenia dynamiki. Wszak Newton

był, jak wiadomo, przeciwnego zdania, sądząc, pozornie w najlepszej zgodności z doświadczeniem, że ciało obracające się można odróżnić od spoczywającego przez obecność sił odśrodkowych (spłaszczenie ziemi); że przeto możnaby określić bezwzględny spoczynek (pominąwszy jednostajną translację) brakiem sił odśrodkowych. W dającej się dostrzegać rzeczywistości, każda przyśpieszona zmiana miejsca idzie w parze z oporami bezwładności (np. siłami odśrodkowemi). Jest tedy dowolnością, skoro z obu tych momentów, należących zarówno do fizycznego ruchu i tylko w abstrakcji rozłączalnych, określamy jeden jako przyczynę drugiego, a mianowicie pojmujemy opory bezwładności jako działanie przyspieszenia. Z samego pojęcia ruchu nieda się przeto dowieść (jakby to można mniemać na podstawie wywodów E. Macha) niemożliwości znalezienia wybitnego układu odniesienia, czyli układu bezwzględnego, lecz należy rozstrzygnięcie pozostawić obserwacji".

„Newton nie miał oczywiście racji, sądząc, że obserwacja już rozstrzygnęła kwestję i to tak, że wprawdzie prostolinjowo-jednostajne ruchy są istotnie względne, tzn. prawa dynamiki są dokładnie tesame dla dwu układów odniesienia poruszających się względem siebie prostolinjowo i jednostajnie), że jednak to nie zachodzi dla ruchów przyspieszonych (a więc np. obrotowych), że więc wszelkie przyspieszenia mają charakter bezwzględny, a pewne układy odniesienia wyróżniają się tem, iż tylko w nich jest ważnem prawo bezwładności. Z tego powodu nazwano je układami inercjalnemi (bezwładnościowemi). Układ inercjalny cechowałoby zatem według Newtona to, że ciało, na które żadne siły nie działają, poruszałoby się w nim prostolinjowo i jednostajnie (lub spoczywałoby), że przeto u ciała nie pojawiają się siły odśrodkowe (spłaszczenie) tylko wtedy, gdy to ciało nie obraca się względem układu inercjalnego. Te zapatrywania uczynił Newton, jak zaznaczono, niesłusznie fundamentem mechaniki, albowiem one naprawdę nie mają wystarczającej podstawy w doświadczeniu; żadne mianowicie doświadczenie nie wskazuje nam na ciało nie

podlegające działaniu żadnych sił i nie posiadamy dotąd (jak to słusznie zaznacza Mach) żadnych doświadczeń, któreby odpowiadały na pytanie, czy w ciele spoczywającem w układzie inercjalnym nie powstaną może siły odśrodkowe wskutek obrotu nadzwyczaj wielkiej masy w pobliżu, czy przeto być może i te siły nie są tylko właściwościami obrotu **względnego**".

„Mieliśmy zatem taki stan sprawy: Z jednej strony znane doświadczenia nie wystarczały do wykazania słuszności przyjęcia przez **Newtona**, że istnieją bezwzględne przyspieszenia (t. zn. uprzywilejowane układy odniesienia); z drugiej strony, jak właśnie wykazano, ogólne argumenty na korzyść względności wszelkich przyspieszeń nie były wcale zniewalające. Ze stanowiska doświadczenia były przeto obydwa zapatrywania dopuszczalne, jako równo możliwe. Atoli z punktu widzenia teorii poznania ma zaprzeczenie istnienia uprzywilejowanych układów odniesienia i obstawanie przy względności **wszelkich** ruchów wielki powab i ogromne korzyści w porównaniu z zapatrywaniem **Newtona**. Gdyby się bowiem dało konsekwentnie przeprowadzić, toby to oznaczało nadzwyczajne uproszczenie obrazu świata. Byłoby ze wszech miar **zadowalającem**, gdybyśmy mogli powiedzieć: nietylko jednostajnie — prostolinjowe, lecz wogóle wszystkie ruchy są względne. Wówczas kinematyczne i dynamiczne pojęcie ruchu zlałyby się istotnie ze sobą; do stwierdzenia charakteru ruchu wystarczyłyby czysto kinematyczne obserwacje, nie byłoby potrzeby obserwacji oporów bezwładności, wymaganej przez **Newtona**. Mechanika, zbudowana na ruchach względnych, dałaby zatem o wiele więcej zwarty i skończony obraz świata, aniżeli mechanika Newtonowska. Nie musiałby to być jedynie prawdziwy obraz świata, ale zalecałaby go z góry imponująca prostota i wykończenie".

„Atoli taki obraz świata, t. j. idea mechaniki opartej wyłącznie na ruchach względnych, była aż do **Einsteina** zawsze tylko życzeniem, **ponętnym celem** badań; nie można było nawet wiedzieć, czy wogóle i przy jakich założeniach była taka mechanika możebną i dającą się pogodzić z faktami doświadczalnemi. Ba nawet, wiedza szła pozornie w przeciwnym kie-

runku, bo podczas gdy w mechanice klasycznej wszystkie układy, poruszające się względem układu inercjalnego, były również inercjalnemi, tak, iż przynajmniej wszystkie prostoliniowe i jednostajne przesunięcia układu (translationes) zatrzymywały względny charakter, to dla zjawisk elektromagnetyczno-optycznych i to nawet wydawało się nieważnem; w elektrodynamice Lorentza był już tylko jeden jedyny układ odniesienia („spoczywający w eterze"). Dopiero gdy się udało Einsteinowi szczególną zasadę względności, ważną już w starej mechanice, rozpostrzeć na całą fizykę, można było na tak przygotowanym gruncie podjąć na nowo myśl całkiem ogólnej względności dowolnych ruchów. I znowu zawdzięczamy Einsteinowi rzeczywiste spożytkowanie tej myśli. On ją niejako przesadził z regionów teoretyczno-poznawczych na grunt fizyki i przez to zbliżył na uchwytną odległość".

„Einstein dołączył do motywów teoretyczno-poznawczych, bez względu na ich wagę, przedewszystkiem argument fizyczny na to, że najprawdopodobniej wszystkie ruchy mają w rzeczywistości charakter względny. Ten fizyczny argument opiera się na równości masy bezwładnej i grawitującej (ciężkiej). Możemy to sobie wytłumaczyć w następujący sposób: Dajmy na to, że wszystkie przyspieszenia są względne; wtedy wszystkie siły odśrodkowe, lub inne opory bezwładności, jakie spostrzegamy, polegają na ruchu względem innych ciał; musimy tedy przyczyn oporów bezwładności upatrywać w obecności tychże ciał. Gdyby np. oprócz ziemi nie było żadnych innych ciał niebieskich, to nie możnaby mówić o obrocie ziemi i ziemia nie mogłaby być spłaszczoną. Siły odśrodkowe, które jej faktyczne spłaszczenie wywołały, muszą przeto swoje istnienie zawdzięczać działaniu ciał niebieskich na ziemię. Otóż mechanika klasyczna zna istotnie działanie, które wszystkie ciała na siebie nawzajem wywierają, t. j. grawitację (powszechne ciążenie). Czy jednak doświadczenie daje jakieś wskazówki, że grawitację możnaby uczynić odpowiedzialną i za działanie bezwładności? Takie wskazówki

mamy w samej rzeczy; daje je jedna szczególnej wagi okoliczność, iż dla jakiegokolwiek danego ciała jedna i ta sama stała, zwana **masą**, charakteryzuje tak działanie bezwładności, jak i grawitacji. Skoro np. ciało opisuje tor kołowy w układzie inercjalnym, to potrzebna do tego siła centralna jest według klasycznej mechaniki proporcjonalna względem charakterystycznej dla tego ciała wielkości m; gdy zaś to ciało jest przyciągane przez inne wskutek grawitacji (np. przez ziemię), to działająca nań siła (np. ciężar ciała) jest proporcjonalna względem tej samej wielkości **m**. To polega na fakcie, że w tem samem miejscu pola grawitacyjnego doznają wszystkie ciała bez wyjątku tego samego przyspieszenia, masa bowiem ciała **m** znosi się po obu stronach równania, występując jako spółczynnik proporcjonalności tak w wyrażeniu na opór bezwładności, jako też w wyrażeniu dla siły przyciągającej".

Związek między grawitacją a bezwładnością uzmysłowił **Einstein** wybornie zapomocą następującego rozważania: Pomyślmy sobie, gdzieś w wszechświecie ze wszech stron zamkniętą skrzynię, w której znajduje się obserwator, zaopatrzony we wszelkie przyrządy fizyczne. Dajmy na to, że ten obserwator zauważył, że wszystkie puszczone swobodnie przedmioty otrzymują określone przyspieszenie, że np. spadają ze stałem przyspieszeniem na dno skrzyni, to to zjawisko mógłby sobie równie dobrze objaśnić na dwa sposoby: Po pierwsze mógłby przyjąć, że jego skrzynia spoczywa na jakiemś ciele niebieskiem, a wtedy spadek przedmiotów przypisywałby grawitacji; powtóre zaś mógłby przyjąć, że skrzynia porusza się ze stałem przyśpieszeniem „w górę", a wówczas spadek ciał byłby wytłumaczony ich bezwładnością. Ten człowiek nie miałby żadnego sposobu do rozstrzygnięcia, które z tych objaśnień odpowiada rzeczywistości*). Przyjąwszy, że wszystkie przyśpieszenia są względne, że zatem zasadniczo niema środka do roz-

---

*) Czytelnik zechce porównać jak o tem idealnem doświadczeniu pisze p. J. Z.

różnienia, można to uogólnić w wysłowieniu: W każdym punkcie wszechświata można obserwowane przyśpieszenie ciała, pozostawionego samemu sobie pojmować albo jako działanie bezwładności, albo też jako działanie grawitacji, t. zn. można powiedzieć albo: „układ odniesienia, z którego obserwuję zjawisko, jest przyśpieszony", albo też: „zjawisko zachodzi w polu grawitacyjnem". To równouprawnienie obu pojmowa nazwał **Einstein zasadą równoważności.** Ona polega jak widzieliśmy na identyczności masy bezwładnej i grawitującej.

„Fakt tożsamości obu tych czynników jest nadzwyczaj uderzający i skoro mu się dobrze przypatrzymy, musimy być zdumieni, że przed **Einsteinem** nikt o tem nie pomyślał, aby ciężkość i bezwładność ze sobą powiązać. Niema z tego śladu w mechanice klasycznej; odnosi się wrażenie, że równość masy bezwładnej i grawitującej była dla Newtona przypadkową. Miałożby tak być w istocie? Toby było w najwyższym stopniu nieprawdopodobne".

„Identyczność masy bezwładnej i grawitującej jest przeto właściwą racją doświadczalną, która nas uprawnia do przyjęcia lub twierdzenia, że działania bezwładności, obserwowane na danem ciele, sprowadzają się do wpływu innych ciał na ciało rozpatrywane. To twierdzenie domaga się nieograniczonej względności ruchów, bo skoro teraz wszystkie zjawiska mają zależeć tylko od **wzajemnego** położenia i ruchu ciał, to niema już odniesienia do jakiegoś szczególnego układu spółrzędnych. Prawa przyrody muszą się dać wyrazić tak samo w odniesieniu do pewnego układu spółrzędnych, spoczywającego w obranem ciele (np. słońcu), jak w odniesieniu do innego układu, spoczywającego w jakiemkolwiek innem ciele (np. karuzel na ziemi); musimy mieć możność uważania obu ci tem samem prawem za „spoczywające". Mechanika **Newtona** musiała swoje prawa odnosić do całkier określonego układu (inercjalnego), niezależnego od wzajemnego położenia ciał, tylko bowiem dla tego kładu było ważne prawo bezwładności; natomiast w nowej mechanice, która ma objąć działania bezwł

dności i grawitacji jako wyraz jednego jedynego zas dniczego prawa, muszą nietylko zjawiska ciężkości, lecz także i bezwładności zależeć jedynie od wzajemnego położenia i względnego ruchu ciał. To prawo należy przeto tak wyrazić, aby nie wyróżniało żadn go układu spółrzędnych przed innym, lecz aby dla każdego układu zachowało swoją ważność bez zmiany Jasnem jest, że dawna Newtowska dynamika mo mieć tylko znaczenie pierwszego przybliżenia nowej mechaniki, ponieważ ta ostatnia żąda w przeciwieństwie do pierwszej, aby np. pojawiły się przyśpiesz nia odśrodkowe u ciała, skoro dokoła niego obracają się wielkie masy. Sprzeczność nowej mechaniki z klasyczną, nie występuje w tym szczególnym przypadku na jaw tylko dlatego, ponieważ owe siły są nawet przy największych masach, jakiemi dysponujemy w doświadczeniach ziemskich, tak jeszcze małe, że się usuwają z pod obserwacji".

Einsteinowi powiodło się istotnie ustawić prawo zasadnicze, obejmujące zarówno zjawiska bezwładności, jak i grawitacji. Ścisłe sformułowanie tego prawa jest właśnie podkreślonym poprzednio tryumfem m tematyki i oczywiście przekracza zakres niniejszego artykułu. Poprzestanę przeto na daniu czytelnikow pojęcia, jak z przesłanek ogólnej teorji względności wynika konieczność przepowiedzianej przez **Einsteina** „grawitacyjnej refrakcji", której stwierdzenie przez obserwację było może najbardziej rozgłośnym sukcesem teorji.

Skoro postulatem szczególnej teorji względności było prostoliniowe rozchodzenie się światła w próżni ze stałą prędkością c dla każdego z układów odni słenia, poruszających się względem siebie prostoliniowo i jednostajnie, to dla układu obdarzonego przyśpieszeniem, dajmy na to g, nie mogą te promienie przedstawiać się wogóle jako prostoliniowe, czyli muszą s zakrzywić. Stosownie do Einsteinowskiej „zasady równoważności" musi to samo zajść i w polu grawitacyjnem, określonem wartością przyśpieszenia g. Na większego zakrzywienia doznają oczywiście promie nie prostopadłe do kierunku linji sił pola, czyli do kierunku g, zupełnie tak samo, jak największa krzywizn

parabolicznego toru ciała rzuconego nad ziemią zachodzi w miejscu, gdzie kierunek prędkości ciała jest poziomy, t. j. prostopadły do pionowego kierunku przyśpieszenia ciężkości. Całkiem prosty rachunek poucza, że promień krzywizny toru równa się ilorazowi z kwadratu prędkości ciała przez wartość owego przyśpieszenia. Najmniejszy promień krzywizny promieni świetlnych w polu ciężkości, określonem przyśpieszeniem g, będzie przeto równy c^2/g. To jest zasada, na której oparł Einstein swoją przepowiednię zboczenia światła gwiazd przez pole grawitacyjne słońca o 1, 7".

V.

Z pośród wielu wyników ogólnej teorji względności, szczególniej godnym uwagi jest nowy pogląd na całokształt kosmosu*).

Rozważania Einsteina na ten temat ugruntowują jeszcze silniej przekonanie, że zapatrywanie na stosunek przestrzeni do materji wypływające z ogólnej teohii względności, jest jedynie słuszne i uprawnione w filozofii przyrody. Według tego zapatrywania „przestrzeń" niema samodzielnego bytu bez materji określającej jej fizyczne jakości. Materja i jej względne ruchy określają wciąż zmienną strukturę tej przestrzeni, dzięki czemu klasyczna geometria Euklidesa, wystarczająca nawet jeszcze w szczególnej teorji względności przestaje obowiązywać ściśle w ogólnej i musiała być zastąpiona ogólniejszą nieeuklidesową. Najbardziej roz-

*) W swej „popularnej" broszurze rozwija Einstein ten pogląd w końcowej części pt. „Betrachtungen über die Welt als Ganzes". Tymczasem p. J. Z. pisze w ostatniej kolumnie swego feljetonu, że w książce Einsteina „niema przedewszystkiem żadnego określenia w czem zmieniają się nasze pojęcia o świecie, jak powinniśmy pojmować cały kosmos, jego skończoność czy nieskończoność, z punktu widzenia relatywności" (!!). Trudno przypuścić, aby p. Z. całkiem nie czytał tego, o czem pisze; wolę tedy wierzyć wobec tej rażącej sprzeczności, że miał w rękach jedno z pierwszych wydań, które, być może, nie zawierało tego rozdziału.

powszechniony aż do naszych czasów pogląd na ustrój wszechświata wygłosił już **Giordano Bruno**, który rozbił „kryształową kulę“ niebios starych Greków i upajał się śmiałym lotem swej myśli po nieskończonej przestrzeni, zaludnionej nieskończoną liczbą słońc, podobnych do naszego, a unoszących się swobodnie w olbrzymich wzajemnych odległościach. Ten wysoce poetyczny i filozoficznie najbardziej zadowalający obraz wszechświata, nie dał się jednak pogodzić z mechaniką niebieską **Newtona**. Żyjący obecnie astronom monachijski **Seeliger**, zwrócił już dość dawno na to uwagę wykazując, że przy ścisłej ważności Newtonowskiego prawa grawitacji (według którego wszystkie masy przyciągają się z siłą odwrotnie proporcjonalną względem kwadratu ich wzajemnej odległości), musiałoby przyjęcie nieskończonej masy rozsianej mniejwięcej równomiernie w nieskończonej przestrzeni, pociągnąć za sobą nieskończoną wartość i nieoznaczony kierunek siły pola grawitacyjnego w dowolnym punkcie przestrzeni. Ponieważ to jest niemożliwe, przeto stosownie do teorji **Newtona** musiałby kosmos tworzyć jakby skończoną wyspę w nieskończonej „próżnej przestrzeni“ Wskutek promieniowania w przestrzeń, zmniejszałaby się stale energja tego układu, a nawet jego materja rozpraszałaby się z powodu ciśnienia promieniowania przeciwdziałającego na drobnych cząsteczkach skutecznie grawitacji i po pewnym czasie musiałby świat zamrzeć bez możności zmartwychwstania (jakiego się domaga przepiękna, lecz także nie troszcząca się o mechanikę, koncepcja **S. Arrheniussa**. Ob. jego książkę pt. „Jak powstają światy“).

Widzimy tedy, jak dalece niezadowalającym byłby obraz wszechświata, skonstruowany logicznie przez klasyczną mechanikę wraz z Newtonowskiem prawem grawitacji. To też **Seeliger** usiłował wybrnąć z tej trudności przez taką hipotetyczną modyfikację prawa grawitacji, któraby nie była w sprzeczności z klasyczną mechaniką układu słonecznego, a pozwalała zapełnić wszechświat nieskończoną ilością materji tak aby średnia jej gęstość była wszędzie skończoną. Lecz taka hipoteza **ad hoc**, żadnemi zresztą doświadczeniami nie wywołana i nie poparta, nie może także zadowolić

naszego umysłu, zwłaszcza, że nadzwyczaj gruntowne i na różnorodnym a obfitym materjale doświadczalnym oparte badania niektórych wybitnych astronomów, wskazywały z bardzo wielkiem prawdopodobieństwem na olbrzymią wprawdzie, lecz skończoną ilość gwiazd. Ponieważ układ tych gwiazd obserwowany z odległości bardzo wielkiej w porównaniu do potężnych lecz skończonych rozmiarów układu, przedstawiałby się jako mgławica, przeto chętnie upatrywano w nader licznych obserwowanych na niebie mgławicach pewnej kategorji inne niezmiernie odległe światy, podobne „naszemu" układowi gwiazd, wracając w ten sposób manowcami do ulubionej i jedynie w duchu dawnych pojęć o przestrzeni zadowalającej myśli o nieskończoności i nieograniczoności wszechświata, jakkolwiek ta myśl nie zgadza się z mechaniką Newtona.

Po powstaniu ogólnej teorji względności, nasuwało się przeto zaraz pytanie, czy też nowa teorja nie wskaże drogi do rozwiązania kosmologicznego zagadnienia w sposób zadowalający pod każdym względem. Horoskopy były wcale dobre, albowiem po pierwsze teorja względności, wchodząc głębiej w istotę grawitacji, każe Newtonowskie prawo uważać tylko za pierwsze znaczne przybliżenie ogólniejszych ścisłych praw, sformułowanych przez **Einstelna**; powtóre zaś rzuca całkiem nowe światło na zagadnienia przestrzeni.

Nie bez trudu, bo dopiero po przerobieniu paru alternatyw, powiodło się **Einsteinowi** znaleść zupełnie zadowalającą odpowiedź na powyższe pytania. Ze stanowiska ogólnej teorji względności jest wszechświat **nieograniczony** ale **skończony**. Niema w tem żadnego paradoksu, jeżeli się zważy, że przestrzeń wszechświata ma, jak dowiódł **Einstein**, strukturę bardzo zbliżoną do „sferycznej". Ta przestrzeń jest w takim stosunku do najbardziej dostępnej naszemu poglądowi przestrzeni euklidesowej, jaki zachodzi między (dwuwymiarową) powierzchnią kuli a płaszczyzną. Powierzchnia kuli jest również nieograniczona, a mimo to skończona. Ale podczas gdy na płaszczyźnie linie „najprostsze" (zwane prostemi) wychodzące z jednego punktu, nigdzie się nie schodzą po raz drugi,

to na powierzchni kuli, gdzie najprostszemi linjami są łuki kół wielkich, te linje wychodzące z jednego punktu schodzą się w drugim (leżącym na przeciwległym końcu średnicy kuli), a wędrując po jednej takiej linji od pewnego jej punktu, dochodzimy w końcu napowrót do tego samego miejsca, okrążywszy całą kulę. Tutaj wypada przestrzec czytelnika przed powierzchownym sądem z powyższej analogji, iż trójwymiarowa przestrzeń sferyczna da się wyobrazić jako kula. Bynajmniej! Kula jest **ograniczona** swoją powierzchnią i stanowi część wyciętą niejako z przestrzeni, natomiast t. zw. **„przestrzeń sferyczna"** nie jest częścią nieskończonej przestrzeni, lecz sama niema żadnych granic. Skoro z pewnego punktu naszego „sferycznego" świata posuwamy się po „prostej" coraz dalej, to nigdy nie dojdziemy do powierzchni ograniczającej. Poza światem niema przestrzeni; przestrzeń istnieje tylko, o ile istnieje materja, ponieważ przestrzeń sama w sobie jest wytworem abstrakcji. (Niejednemu myślącemu czytelnikowi nasunie się tutaj spostrzeżenie, że mimo to abstrakcyjna przestrzeń geometrji euklidesowej jest łatwiejsza do pojęcia od „konkretnej" przestrzeni „quasi — sferycznej" wszechświata. Ale to chyba jasno się tłumaczy przeszło dwudziestowiekową tradycją naukową i po wsze czasy zapewnioną praktyczną wartością i stosowalnością geometrji euklidesowej. W pierwszem bardzo znacznem przybliżeniu można bowiem niezbyt dużą część przestrzeni „sferycznej" traktować jako euklidesową) Skoro poprowadzę z dowolnego punktu „najprostsze" linje na wszystkie strony, to one oczywiście oddalają się od siebie na razie, a potem, potem znowu przybliżają, aby spotkać się napowrót w jednym punkcie. Ogół tych linji wypełnia całkowicie przestrzeń wszechświata o skończonej objętości. Przy założeniu danej średniej gęstości materji w wszechświecie, pozwala teorja **Einsteina** nawet obliczyć jego objętość, wyrażającą się olbrzymią, przynajmniej kilkudziesięcio-cyfrową liczbą. (Odpowiadającą formułę znajdzie czytelnik w cytowanych źródłach).

Trudno o piękniejsze uwieńczenie ogólnej teorji względności, jak powyższy obraz budowy wszechświa

ta nacechowany zdumiewającą konsekwencją i zadowalający w zupełności tak przyrodnika, jak i filozofa

„Wszelkie trudności, wyrosłe na gruncie nauki **Newtona**, pokonane; wszystkie zaś zalety nowożytnego obrazu świata wobec ciasnego poglądu starożytnych, jaśnieją w tem wspanialszem świetle. Świat nie jest ścieśniony jakiemiś granicami, a jednak harmonijnie zwarty; uratowany przed niebezpieczeństwem opustoszenia, ponieważ żadna cząstka energji lub materji nie może uciec w nieskończoność, przestrzeń bowiem nie jest nieskończoną. Upadła wprawdzie przestrzenna nieskończoność kosmosu, ale to nie stanowi ofiary z podniosłości obrazu wszechświata, tem bowiem, co czyni ideę nieskończoności dźwignią wzniosłych uczuć, jest napewno wyobrażenie nieograniczoności przestrzeni (aktualna nieskończoność nie dałaby się przecie wyobrazić), tej zaś bezbrzeżności, którą się tak zachwycał **Giordano Bruno**, nowa teorja nie narusza".

„Genialne współdziałanie fizycznego, matematycznego i filozoficznego myślenia, umożliwiło danie odpowiedzi na podstawie ścisłych metod na te pytania o wszechświecie, które, jak się zdawało, miały być zawsze tylko przedmiotem jałowych spekulacji i domysłów. Tutaj poznajemy znowu wyzwalającą potęgę teorji względności, która obdarzyła duch ludzki taką swobodą i poczuciem siły, jak mało który czyn naukowy".

Kończąc w powyższych dwu ustępach pełnemi szczerego podziwu i zapału słowami **M. Schlicka**, nie mogę sobie jeszcze odmówić scharakteryzowania, bodaj jednym rysem, osoby twórcy teorji względności. Nie można było, niestety, w krótkim czasie, jaki miałem do dyspozycji, zebrać bodaj szczupłych dat o nim prócz rzeczy powszechnie znanych, jak, że karjerę naukową rozpoczął w niemieckim uniwersytecie w Pradze, poczem przeniósł się do Zurychu, a stąd już podczas wojny został powołany do Berlina, gdzie razem z **M. Planckiem** jaśnieją jako podwójna świetna gwiazda na firmamencie światowej nauki. W odniesieniu do naszej nauki kojarzy się nazwisko **Einsteina** z jej chlubą: przedwcześnie zgasłym ś. p. **Smoluchow-**

skim. Obaj bowiem, niezależnie od siebie i równocześnie ustawili sławną teorję t. zw. ruchów **Brown'a**, tych dziwnych w polu mikroskopu dostrzeganych ruchów drobniutkich ciałek, zawieszonych w płynie lub gazie. Wspomnę także nawiasowo, że kiedy po wypadkach opisanych przez p. J. Z. chciał **Einstein** opuścić Niemcy, to pruski minister oświaty udał się doń osobiście z prośbą o zaniechanie tego zamiaru. (Tak wygląda „zgasła" według p. Z. sława tego uczonego). Ów zaś rys charakterystyczny zaobserwowałem rok temu w rocznikach Akademji berlińskiej (liczącej **Einsteina** w poczet swych członków) przy sposobności krytyki jednej z jego prac, poświęconej próbie wyjaśnienia pewnej okresowej nieregularności w ruchu księżyca na podstawie teorji względności. Otóż błąd tej pracy, wykazany przez prof. v. **Brunn'a** z Gdańska nietylko **Einstein** uznał, ale natychmiast z właściwą sobie ścisłością sformułował objektywny sąd o nim ku pożytkowi uczonego świata. A wiadomo, że w tym świecie im mniejszym jest autor, tem trudniej się przyznaje do popełnionego błędu.

Na zakończenie jeszcze jedna uwaga, jaką nasuwa artykuł p. J. Z., ziejący jak gdyby zbożnym zachowawczym wstrętem do przedsięwziętej i dokonanej przez **Einsteina** rewolucji w nauce. Taki wstręt da się objektywnie usprawiedliwić jedynie w odniesieniu do wielkich przewrotów społecznych w rodzaju ostatniej rosyjskiej rewolucji, te bowiem wyrządzają ludzkości niewątpliwie trudne do powetowania szkody, które dałyby się prawie zupełnie uniknąć przez postawienie hasła ewolucji w miejsce rewolucji. W imię dobra całej ludzkości jest przeto całkiem zrozumiałem zwalczanie idei, że tylko gwałtowny przewrót może usunąć t. zw. zła w ustroju społecznym. Jak natomiast nie potrzebną i bezrozumną byłaby obawa przed przewrotem w nauce, tego chyba dowodzić nie potrzeba, prócz bowiem pewnej przykrości dla niektórych uczonych i uczących, niezdolnych do przyswojenia sobie nowych poglądów, oraz zmarnowania czasu i papieru przez niefortunnych oponentów, żadnej innej szkody ludzkość przez przewrót naukowy nie poniesie, nie mówiąc już o korzyściach.