

A jednak to był problem, nad którym Einstein myślał nieustannie, znajdując rozwiązania i odrzucając je, bo były niezadowolające, bo nie widział w nich piękna i prostoty, bo nie uzyskiwał z nich nowych wniosków, które by doświadczenia mogły potwierdzić. W roku 1949 Einstein miał lat siedemdziesiąt. Sądził on, że w tym to roku znalazł teorię, której szukał przez lat trzydzieści. Czy istotnie Einstein rozwiązał ten wielki problem znalezienia jednego prawa rządzącego zjawiskami makro- i mikrofizycznymi? Trudno wydać w tej chwili wyrok ostateczny. Dopiero dokładna analiza matematyczna, kontrola doświadczalna nowych wniosków wyda taki wyrok. Potrwać to może jeszcze długo. Pierwsze oznaki nie są niestety obiecujące. Teoria jest piękna matematycznie, ale można mieć duże wątpliwości, czy jest ona postępowaniem w poznaniu naszej rzeczywistości i czy istotnie Einstein rozpoczął nową i trzecią rewolucję w nauce. Pomimo tych wątpliwości warto zaznajomić się z zasadniczymi ideami tej teorii. Teoria Einsteina oparta jest głównie na teorii pola. Obecny rozwój nauki, m. in. dyskusje naukowe nad zagadnieniem pola, które toczą się w Związku Radzieckim, wskazują, jak niezmiernie ważne jest to pojęcie, które w nauce istnieje niecałe sto lat.

Pole elektromagnetyczne

Aby zrozumieć bodaj w ogólnych zarysach problem, nad którym Einstein pracował, musimy się cofnąć do wieku XIX, do czasów Maxwella, który był pierwszym twórcą teorii pola. Od anteny do mojego radioodbiornika fala radiowa, tzn. fala elektromagnetyczna, rozchodzi się z prędkością światła. Od atomów w rurce neonowej do mojego oka promienie optyczne, tzn. fale elektromagnetyczne, rozchodzą się z prędkością światła. Fale radiowe i fale optyczne rządzone są tymi samymi prawami, które wyrażone są przez równania Maxwella. Mówią nam one, jak fala elektromagnetyczna, albo jak to dzisiaj zwykliśmy mówić, jak pole elektromagnetyczne zmienia się w przestrzeni i w czasie i jakie są jego własności fizyczne. Teoria Maxwella jest teorią pola, ponieważ rozważa ona zmiany w naszej trójwymiarowej przestrzeni i w czasie. Jest ona bardzo różna od teorii mechanicznej, która zajmuje się takimi zagadnieniami jak ruch Księżyca naokoło Ziemi lub Ziemi naokoło Słońca. W teorii mechanicznej sprawa cząstek i ich ruchu jest ważna. W teorii pola ważne są zmiany pola w przestrzeni i w czasie.

Gdy analizujemy plotkę, jesteśmy często zainteresowani prędkością, z jaką się ta plotka rozchodzi i po jakim obszarze ona się rozchodzi. To byłby „polowy” aspekt „zjawiska plotki”. Z drugiej strony możemy być zainteresowani ludźmi, którzy tę plotkę rozpowszechniają i mechanizmem ich akcji. To byłby „mechaniczny” aspekt „zjawiska plotki”.

Jednak gdy opisywaliśmy zjawiska elektromagnetyczne w XIX i w początkach XX wieku, nie używaliśmy wyłącznie pojęć polowych; mówiliśmy również o elektronach, tzn. o cząstkach elementarnych naładowanych ujemnie, które, gdy poruszają się, są źródłem pola elektromagnetycznego. A więc w teorii Maxwella, a później w teorii Lorentza ciągle jeszcze znajdujemy mieszkankę aspektu polowego i korpuskularnego (korpuskuła = cząstka). Cząstki (elektrony) poruszają się w polu elektromagnetycznym i wpływają na pole przez swój ruch. A jednak ten aspekt polowy jest tym nowym, dominującym czynnikiem charakterystycznym dla teorii Maxwella.

Pole elektromagnetyczne opisujemy w każdym punkcie przestrzeni przez dwie strzałki, czyli przez dwa wektory; jedna z nich reprezentuje pole elektryczne, a druga pole magnetyczne. Ale strzałka może być opisana przez jej trzy rzuty na trzy wzajemnie prostopadłe osie. (Strzałka w płaszczyźnie scharakteryzowana jest przez dwa rzuty, w trójwymiarowej przestrzeni — przez trzy). Widzimy więc, że w każdym punkcie przestrzeni pole reprezentowane jest przez sześć liczb, trzy należące do elektrycznego i trzy należące do magnetycznego pola. Pamiętamy, że mieliśmy dwie strzałki, czyli sześć liczb. Owe liczby zmieniają się od punktu do punktu przestrzeni. Te dwie strzałki, a więc również tych sześć liczb zmienia się w tym samym punkcie przestrzeni od jednej chwili do drugiej. Równania Maxwella mówią nam, jakie prawa rządzą tymi zmianami. Albo innymi słowy: charakterystykę pola elektromagnetycznego podaje sześć funkcji w przestrzeni i w czasie. Równania Maxwella mówią nam, jak te funkcje zmieniają się w przestrzeni i w czasie.

Pole grawitacyjne

Możemy teraz scharakteryzować w ogólnych zarysach co najmniej jeden aspekt drugiej rewolucji Einsteina: była ona tym dla zjawisk grawitacyjnych, czym teoria Maxwella dla zjawisk elektromagnetycznych.

Teoria grawitacji Newtona ma charakter mechaniczny. Cząstki (Księżyc, Ziemia) przyciągane są przez inne cząstki (Ziemia, Słońce). Nie ma miejsca w tej teorii dla pojęcia pola, którego scenariusz jest całą przestrzenią. Nie ma miejsca w tej teorii dla pola grawitacyjnego, rozchodzącego się w przestrzeni i zmieniającego w czasie. Teoria grawitacji Einsteina nie jest poprowadzoną wersją teorii Newtona. Jest to zupełnie nowa teoria opisująca zjawiska grawitacji, oparta na nowych założeniach i logicznie bardziej zadowolająca aniżeli teoria Newtona. Jednakże rezultaty sprawdzone za pomocą obserwacji są bardzo podobne w obydwu teoriach. Pomiedzy tymi dwiema teoriami jest wielki obszar zgodności i mały obszar niezgodności. Najślynniejszym nowym zjawiskiem przepowiedzianym przez teorię Einsteina jest zakrzywienie promieni świetlnych przechodzących blisko Słońca. Istotnie, zjawisko to odkryte w roku 1919 podczas zaćmienia Słońca, gdy ukazują się gwiazdy blisko zakrytej tarczy Słońca, zwróciło uwagę całego



Antymateria

Marian SKOP — Raciborz. — Prosi o wyjaśnienie pojęcia antymateria.

W końcu ub. roku udało się wytworzyć, a następnie zaobserwować w promieniach kosmicznych dawniej przez teoretyków przewidzianą cząstkę elementarną, którą nazwano antyprotonem. Antyproton ma taką samą masę jak proton i taki sam ładunek elektryczny, lecz ujemny (gdymy proton ma ładunek dodatni). Jak wiemy, atomy wchodzące w skład materii naszej galaktyki zbudowane są z jąder złożonych z protonów i neutronów oraz z krążących na zewnątrz jądra negatonów (ujemnych elektronów). Nie jest jednak wykluczone, że istnieją jakieś inne galaktyki, których jądra atomowe zbudowane są z antyprotonów i neutronów (ściślej mówiąc pewnej odmiany neutronów zwanych antyneutronami), na zewnątrz zaś jądra krążą pozytony (elektrony dodatnie). Tego rodzaju hipotetyczną materię nazywamy antymetrią. Jeżeli istnieje ona, to oczywiście — mimo „antymaterialistycznej” nazwy musi mieć charakter najzupełniej materialny, byłaby to po prostu jeszcze jedna forma materii.

Józef HURWIC

świata na teorię względności i okryło sławą jej twórcę. Inna różnica pomiędzy tymi dwiema teoriami dotyczy ruchu planet wokół Słońca. Różnica pomiędzy rezultatami wydedukowanymi z tych dwóch teorii jest mała. A jednak może być ona zaobserwowana w przypadku Merkurego — planety najbliższej Słońca. Gdziekolwiek i kiedykolwiek taka różnica pomiędzy dwiema teoriami istnieje i kiedykolwiek obserwacja może ogłosić wyrok, ten (mówiąc ostrożnie) wypada na korzyść teorii Einsteina. Ważność teorii Einsteina polega na tym, że opisuje ona lepiej, piękniej i w sposób zgodniejszy z doświadczeniem naszą rzeczywistość materialną aniżeli dawna teoria Newtona. Pole grawitacyjne w teorii Einsteina scharakteryzowane jest przez 10 funkcji zmieniających się w przestrzeni i w czasie. Odgrywają one rolę podobną do roli sześciu funkcji w teorii Maxwella, o których wspomnieliśmy poprzednio. Równania grawitacyjne Einsteina mówią nam, jak tych 10 funkcji zmienia się w czasie i w przestrzeni.

Pamiętamy, że w teorii elektromagnetycznej mamy mieszanekę pojęć polowych i korpuskularnych. Tam pole wytworzone jest przez elektrony w ruchu. Podobnie w teorii grawitacyjnej Einsteina pole grawitacyjne wytworzone jest przez ciała materialne (gwiazdy, mgławice) i ich ruchy. Tak więc porównując teorię Maxwella i teorię Einsteina mamy następującą analogię:

pole elektromagnetyczne \longleftrightarrow pole grawitacyjne
 ładunki elektryczne \longleftrightarrow masy grawitacyjne
 ruch naładowanych cząstek \longleftrightarrow ruch mas grawitacyjnych

Nasza analogia nie jest zupełna i w pewnym sensie nawet błędna. Musimy tutaj wspomnieć o jednym nowym rysie równań grawitacyjnych Einsteina. Występowanie energii w jakiegokolwiek formie związane jest zawsze z istnieniem pola grawitacyjnego, a pole grawitacyjne związane jest nie tylko z ruchem mas grawitacyjnych, ale także z polem elektromagnetycznym, ponieważ to pole reprezentuje energię. A więc źródłami pola grawitacyjnego są nie tylko poruszające się masy, lecz również poruszające się ładunki i pole elektromagnetyczne. Czyste pole grawitacyjne może istnieć bez pola elektromagnetycznego. Ale pole elektromagnetyczne nie może istnieć bez pola grawitacyjnego, gdyż posiadając energię wytworzyć ono musi pole grawitacyjne.

Fizyka i geometria

Stańmy teraz na stanowisku z roku 1920, gdy budowa zasadnicza teorii względności była skończona. Z tego punktu widzenia rzuca się w oczy — poza analogiami, o których wspomnieliśmy — jedną zasadniczą różnicą pomiędzy polem grawitacyjnym a elektromagnetycznym. Pole grawitacyjne jest polem geometrycznym; pole elektromagnetyczne jest polem fizycznym. Zrozumienie, że pole grawitacyjne jest polem geometrycznym, to jedna z największych i najbardziej rewolucyjnych idei fizykalnych. Źródła tej rewolucji leżą w wielkich pracach Łobaczewskiego. Nie możemy zrozumieć ważności osiągnięć teorii Einsteina, gdy nie zdamy sobie sprawy z tego zasadniczego punktu. Znamy własności przestrzeni euklidesowej jeszcze z czasów szkoły średniej. Poprzez punkt leżący zewnątrz linii prostej możemy przeciągnąć jedną i tylko jedną prostą równoległą do niej. Ale od XIX wieku, tj. od prac Łobaczewskiego, Bolyai'a, Gaussa, Riemanna wiemy, że geometria euklidesowa jest tylko jedną z wielu możliwych geometrii. Najprostszym przykładem geometrii nieeuklidesowej byłaby geometria opisująca doświadczenia istot dwuwymiarowych żyjących na powierzchni kuli. Tego rodzaju istoty stwierdziłyby, że droga prosto naprzód (tzn. wzdłuż wielkiego koła) prowadzi do punktu, z którego wyszły; że stosunek obwodu koła do jego średnicy jest mniejszy niż π . Tłem dla naszych zjawisk fizycznych jest nasz świat czterowymiarowy. W tym nie ma nic tajemniczego. Każde zjawisko, np. śmierć Juliusza Cezara, scharakteryzowane jest przez miejsce i czas, w którym się to zjawisko odbyło. Miejsce zjawiska charakteryzują trzy liczby, a wraz z czasem cztery. Zespół wszystkich zjawisk w naszym świecie materialnym tworzy nasz świat czterowymiarowy. O tym, jak taki świat opisać matematycznie, wiedzieliśmy już od roku 1908, gdy wielki matematyk Minkowski dał piękną czterowymiarową formę matematyczną szczególnej teorii Einsteina.

Jednak ogólna teoria względności posuwa się o ważny krok dalej. Pytamy, czy nasz czterowymiarowy świat jest płaski tak jak płaszczyna w dwóch wymiarach, czy też jest zakrzywiony jak zakrzywiona powierzchnia w dwóch wymiarach? Trudność takiego pytania polega na tym, że podczas gdy łatwo możemy sobie wyobrazić powierzchnię dwuwymiarową płaską lub zakrzywioną, to bardzo trudno wyobrazić sobie zakrzywioną przestrzeń czterowymiarową. Ale rozwój nauki wskazuje wyraźnie, że nasza rzeczywistość materialna nie jest prosta. Nie jest prosta w tym sensie, że nie da się opisać prostymi elementarnymi środkami matematycznymi. Ale tam, gdzie zatrzymuje się nasza intuicja, nie zatrzymuje się matematyka. Nawet przed czasami Einsteina matematyka opisująca wielowymiarowe zakrzywione przestrzenie była znana, chociaż rozwinęła się w pełni dopiero pod wpływem teorii względności. Powiemy tutaj tylko, że czterowymiarowa przestrzeń scharakteryzowana jest przez 10 funkcji. Że skoro już znamy te funkcje, to znamy też geometrię takiej przestrzeni. Wiemy, czy taka przestrzeń jest, czy też nie jest zakrzywiona; wiemy, jak jej geometria zmienia się z punktu do punktu.

W moim pokoju mogę określić położenie końca mojego ołówka podając jego odległości od podłogi i dwóch prostopadłych ścian. Ogólnie mówiąc, położenie punktu wyznaczone jest w danym układzie współrzędnych przez trzy liczby.



„Myślące” maszyny

Bogdan z Krakowa.

Czy istnieje maszyna (homeostat), z którą człowiek nie byłby w stanie wygrać partii szachowej? Ponadto uprzejmie proszę o zamieszczenie w najbliższych numerach Problemów artykułu oświetlającego dokładnie obecny stan zagadnienia „myślących” maszyn.

Maszyna, z którą człowiek nie mógłby wygrać partii szachów, nie istnieje i istnieć nie może. Wynika to stąd, że wyrażając się poglądowo, można powiedzieć: każda maszyna posiada tylko umiejętności włożone w nią przez konstruktora — człowieka, od którego nie może być mądrzejsza. Próby zastosowania maszyn elektronicznych do gry w szachy, o ile nam wiadomo, spotkały się z niepowodzeniem.

W mięcie nazwy ulic i numery domów — to dwie współrzędne wyznaczające dostatecznie dokładnie położenie ich mieszkańców na części powierzchni naszej Ziemi (przynajmniej wtedy, gdy są w domu). Podobnie w naszym czterowymiarowym świecie zdarzeń musimy mieć układ odniesienia taki, aby móc podać te cztery współrzędne (trzy przestrzenne i jedna czasowa), które wyznaczają zjawiska. Ale poza tym musimy mieć 10 funkcji, które powiedzą nam, czy świat przez nas opisywany w danym, ale dowolnym układzie współrzędnych, jest płaski czy nie płaski, albo — jak często mówimy — czy ma charakter euklidesowy czy go nie ma. Dopiero teraz sformułować możemy wielką ideę Einsteina. Owych 10 funkcji, które charakteryzują geometrię naszego czterowymiarowego świata — to te same 10 funkcji, które charakteryzują pole grawitacyjne. Świat bez mas, bez elektronów, bez pól elektromagnetycznych jest niemożliwy. Byłby on pusty i płaski. Ale wraz z masami, wraz z ładunkami, wraz z polem elektromagnetycznym zjawia się pole grawitacyjne. Gdy zjawia się pole grawitacyjne, nasz świat przestaje być płaski. Jego geometria jest geometrią Riemanna, a nie Euklidesa.

A więc tych samych 10 funkcji charakteryzuje według Einsteina metrykę i pole grawitacyjne. Słowo „metryka” wskazuje na związek pomiędzy tymi 10 funkcjami i geometrią naszego świata. Słowo „pole grawitacyjne” wskazuje, że tych samych 10 funkcji opisuje zjawiska grawitacyjne naszego świata. Fakt, że wolno nam użyć albo słowa pole „metryczne”, albo pole „grawitacyjne”, wskazuje, że fizyczne pole grawitacyjne ma swój odpowiednik geometryczny. Geometria naszego świata i pole grawitacyjne są uformowane przez poruszające się masy, ładunki, przez pole elektromagnetyczne. Stąd związek:

fizyka \longleftrightarrow geometria

Istnieje on tylko dla pól grawitacyjnych. Powtarzamy: pole grawitacyjne jest także polem geometrycznym; pole elektromagnetyczne jest tylko polem fizycznym. Około roku 1920 ogólna teoria względności przedstawiała dziwną mieszaninę geometrii i fizyki. Aby zrozumieć późniejsze wysiłki Einsteina, musimy też zrozumieć, dlaczego nie zadowalały go teorie polowe znane podówczas. A więc w równaniach Maxwella mamy:

dane — ładunki i ich ruchy

nieznane — pole elektromagnetyczne

W Einsteina teorii względności mamy:

dane — masy i ich ruchy

nieznane — pole grawitacyjne albo metryczne.

W teorii względności dane i nieznane tworzą dziwną mieszaninę. Masa i energia nie mają geometrycznego odpowiednika. Ale pole ma!

Dwa grzechy

Ogólna teoria względności zrodziła się, ponieważ klasyczna teoria grawitacji była niezadowolająca. Nowa teoria Einsteina zrodziła się, bo ogólna teoria względności była niezadowolająca. Jej słabym punktem była sztuczna mieszanina pojęć fizycznych i geometrycznych. Ale inny słaby punkt jest może jeszcze ważniejszy. Zarówno teoria elektromagnetyczna jak i grawitacyjna są teoriami dualistycznymi. W obydwu tych teoriach mamy źródła pola (ładunki, cząstki) i samo pole. A więc w obydwu tych teoriach spotykamy się z mieszaniną dwóch pojęć: cząstek materialnych i pól. Byłoby bardziej zadowolającym filozoficznie, gdybyśmy mogli opisać naszą rzeczywistość opierając się na jednym z tych dwóch pojęć. Sukcesy i triumfy teorii były zbyt wielkie, by wolno nam było odrzucić pojęcie pola. Einstein postawił sobie zadanie zbudowania czystej teorii pola. W takiej teorii mielibyśmy tylko pojęcia polowe i równania pola. Nasuwa się zarzut: czy możemy zadowolić się tylko równaniami pola? Wiemy, że materia jest tak rzeczywista, jak kamień, na który stąpamy. Zwolennik unitarnej teorii pola odpowiedziałby, że istnienie tego, co nazywamy materią, powinno wypływać z teorii pola. To, co my nazywamy materią — to są porcje pola o niezwykłej mocy. Ruch materii oznacza, że owe części pola o niezwykłej mocy zmieniają się w czasie. A więc elektron w spoczynku powinien być reprezentowany w unitarnej teorii elektromagnetycznej przez małą część przestrzeni, wewnątrz której pole jest bardzo silne i zewnątrz której zanika ono silnie. Taka część przestrzeni z silnym, ale skończonym polem zawiera skoncentrowaną energię, a więc materię. Dobra teoria pola opisuje i interpretuje materię jako porcję silnego pola. Osiągnęlibyśmy duży postęp, gdyby zarówno teoria Maxwella jak i ogólna teoria względności zmieniły się w czystą teorię pola. Taka teoria posługiwałaby się tylko pojęciem pola elektromagnetycznego, scharakteryzowanego przez 6 funkcji, i pola grawitacyjnego, scharakteryzowanego przez 10 funkcji. Ale prawa rządzące tymi polami musiałyby ulec zmianie. Te nowe równania musiałyby być takie, aby dopuściły rozwiązania, które mogłyby reprezentować materię. Niestety dawne równania nie posiadały tej własności. A gdyby się nam nawet udało sformułować czystą teorię pola, teoria taka nie byłaby wolna od innego grzechu. Widzieliśmy w dawnych teoriach, że pole grawitacyjne jest polem geometrycznym, ale pole elektromagnetyczne było czystym polem fizycznym. Ten podział jest znowu sztuczny i według Einsteina następujące rysy powinny cechować zadowolającą teorię:

1. Powinna być czystą teorią pola.
2. Pola elektromagnetyczne i grawitacyjne powinny być w niej traktowane w ten sam sposób, tzn. obydwa pola powinny charakteryzować geometrię naszego wszechświata.



Ucieczka galaktyk

Mgr inż. Ignacy ZAJĄC — Kraków

W swym liście porusza Pan sprawę „ucieczki mgławic pozagalaktycznych” a w szczególności pyta Pan, czy nie można owych przesunąć linii widmowych mgławic w stronę fal długich wyjaśnić inaczej, nie zaś tylko za pomocą zasady Dopplera, np. przez powolne zmniejszanie się częstości drgań świetlnych w ciągu miliony lat trwającej wędrówki światła do Ziemi. Otóż hipotezy takie były istotnie wysuwane, nie udało się jednak tej zmiany długości fali (a więc i utraty energii fotonów) powiązać w sposób przekonujący z znanymi dotychczas zjawiskami i prawami fizyki — poza zasadą Dopplera. Obecnie przyjmuje się najczęściej, że mgławice istotnie oddalają się od siebie, że dotyczy to wszakże tylko pewnej części nieskończonego wszechświata — części, w której właśnie żyjemy — nie polega zaś na jakimś „rozszerzaniu się przestrzeni”, jak to przypuszczali niektórzy fizycy i astronomowie idealisci.

W. K. Problemy, 7(88)/1953

Oczywiście autor odpowiedzi arbitralnie odrzuca model rozszerzającego się Wszechświata, który to model w momencie ukazania się listu zdobywał sobie coraz większą liczbę zwolenników, jednak w niektórych krajach był on silnie atakowany [Red.].