

Przedmowa

Relatywistyczna teoria grawitacji – czyli ogólna teoria względności Einsteina – już wkrótce będzie miała sto lat. Jej podstawą jest jedna z najpiękniejszych i najbardziej rewolucyjnych koncepcji współczesnej nauki, polegająca na utożsamieniu grawitacji z geometrią czterowymiarowej, zakrzywionej czasoprzestrzeni. Ogólna teoria względności to, obok teorii kwantów, największe odkrycie fizyki XX wieku.

Ogólna teoria względności została dokładnie przetestowana w skali Układu Słonecznego. Teoria ta leży u podstaw naszej wiedzy o Wszechświecie w największej skali i ma zasadnicze znaczenie dla wyjaśnienia takich ekstremalnych zjawisk astrofizycznych, jak grawitacyjne zapażanie, czarne dziury, źródła promieniowania rentgenowskiego, gwiazdy neutronowe, aktywne jądra galaktyk, fale grawitacyjne i Wielki Wybuch. Wiele koncepcji współczesnej fizyki cząstek elementarnych wywodzi się z teorii grawitacji Einsteina, a jej znajomość jest warunkiem koniecznym zrozumienia różnych teorii unifikacji wszystkich oddziaływań elementarnych, takich jak teoria strun.

Poznanie teorii Einsteina, tak podstawowej, tak dobrze potwierdzonej, tak ważnej dla wielu dziedzin fizyki i budzącej powszechne zainteresowanie, stanowi oczywiście część programu studiów każdego fizyka. Przedstawienie ogólnej teorii względności studentom niższych lat wymaga jednak rozwiązania pewnego podstawowego problemu. Zgodnie z logicznym porządkiem, wykładając teorię względności (podobnie jak większość innych przedmiotów), należałoby zacząć od przygotowania niezbędnych narzędzi matematycznych, uzasadnić podstawowe równania teorii, znaleźć ich rozwiązania i zastosować je w fizycznie interesujących sytuacjach. Wymóg elegancji skłania, by zacząć od geometrii różniczkowej, a następnie wprowadzić równanie Einsteina i zająć się jego rozwiązywaniem. To jednak długa droga, zbyt długa, by pozwoliła przedstawić współczesne zastosowania teorii, jakie można wyłożyć studentom niższych lat.

W *Grawitacji* ogólna teoria względności została zaprezentowana w innym porządku. Strukturę wykładu przyjętą w książce obszernie omawiam w dodatku D, natomiast strategia całego wykładu wygląda następująco: **najpierw** przedstawiamy najprostsze fizycznie interesujące rozwiązania równania Einsteina (bez wyprowadzenia), by omówić obserwowalne konsekwencje istnienia takich czasoprzestrzeni, które badamy, rozważając trajektorie cząstek materialnych

i promieni świetlnych. To pozwala czytelnikom bardzo szybko zapoznać się z interesującymi zjawiskami fizycznymi. Ta część teorii jest najbardziej zbliżona do mechaniki klasycznej i wymaga tylko kilku nowych pojęć matematycznych. Dopiero **później** wprowadzamy równanie Einsteina i rozwiązujemy je, by wyjaśnić pochodzenie zbadanych geometrii.

Wykład ogólnej teorii względności dla studentów trzeciego i czwartego roku fizyki, oparty właśnie na takich zasadach, jest prowadzony na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara już od ponad 25 lat. Przyjęta strategia sprawdza się w działaniu.

Podziękowania

Byłbym rozczarowany, gdyby moi koledzy, specjaliści od grawitacji, znaleźli tu coś nowego. Oznaczałoby to bowiem, że nie przestudiowali dokładnie klasycznych monografii Landaua i Lifszica (1962), Misnera, Thorne'a i Wheelera (1970), Taylora i Wheelera (1963), Walda (1984) oraz Weinberga (1972), na których w znacznej mierze opiera się mój wykład. W tekście nie cytuję tych prac przy każdej okazji, niemniej książka ta wiele im zawdzięcza.

Jestem ogromnie zobowiązany Rogerowi Blandfordowi, Tedowi Jacobsonowi, Channonowi Price'owi, Kipowi Thorne'owi i Bobowi Waldowi, którzy przeczytali wstępną wersję całej książki, udzielili mi cennych rad na temat jej struktury oraz przekazali szczegółowe uwagi. Książka ta wiele zyskała dzięki sugestiom i krytyce osób, które przez wiele lat wykladały ogólną teorię względności na podstawie wstępnych wersji tego tekstu. Oto ich lista: Vernon Barger, Omer Blaes, Doug Eardley, Jerome Gauntlett, Gary Horowitz, Clifford Johnson, Shawn Kolitch, Rob Myers, Thomas Moore, Stan Peale, Channon Price i Kristin Schleich – wszystkim im jestem bardzo wdzięczny. Wiele moich koleżanek i kolegów – Lars Bildstein, Omer Blaes, Peter D'Eath, Doug Eardley, Wendy Freedman, Daniel Holz, Gary Horowitz, Scott Hughes, Robert Kirshner, Lee Lindblom, Richard Price, Pater Saulson, Bernard Schutz, David Spergel, Joseph Taylor, Michael Turner, Bill Unruh i Clifford Will – przekazało mi konstruktywne uwagi na temat różnych rozdziałów, za co im bardzo dziękuję. Eric Adelberger, Neil Ashby, Matt Colless, Francis Everitt, Andrea Ghez, John Hall, Jim Moran, Michael Perryman, Wolfgang Schleich, Tuck Stebbins, Max Tegmark, Dave Tytler i Jim Williams pomogli mi przygotować ramki i rysunki. Dużo dały mi dyskusje na temat poszczególnych problemów; wśród moich rozmówców byli: Dave Arnett, Peter Bender, Dieter Brill, J. Richard Gott, Jeanne Dickey, Andrew Fabian, Jerome Gray, Gary Gibbons, Wick Haxton, Gordon Kane, Angela Olinto i Roger Penrose. Lista ta jest tak długa, że z pewnością kogoś pominąłem – przepraszam

i mam nadzieję, iż będę miał okazję to skorygować przy następnym wydaniu.

Podając źródła poszczególnych rysunków, jednocześnie dziękuję wszystkim, którzy pomogli w ich przygotowaniu.

Liczni studenci – było ich zbyt wielu, by wszystkich wymienić – zwracali mi uwagę na błędy, literówki i niedostatecznie zrozumiałe argumenty. Szczególnie chciałbym tu podziękować Joe Alibrandiemu, Marii Cranor, Ianowi Eisenmanowi, Billowi Paxtonowi i Taro Sato.

Jestem wdzięczny Esther Singer i Recie Bernhardt, które przepisywały na maszynie notatki do wykładów, wykorzystane następnie podczas pisania książki. Szczególnie dziękuję Thei Howard, która opracowywała elektroniczną wersję tekstu w różnych fazach pracy i przygotowała na komputerze niemal wszystkie rysunki.

Jestem bardzo zobowiązany Leonardowi Parkerowi, który napisał program w systemie Mathematica, służący do obliczania tensora krzywizny. Program ten znajduje się na stronie internetowej książki. Lee Lindblom obliczył modele gwiazd, które są przedstawione w rozdziale 24, a Matt Hansen starannie przeczytał maszynopis w późniejszych fazach pracy nad tekstem, poprawił wiele błędów i udzielił mi cennych rad.

Chciałbym również podziękować zespołom pracowników wydawnictwa Addison-Wesley, na którego czele stał Adam Black; zespołem redaktorów merytorycznych kierował Leslie Galen, a ilustratorów Georg Morris. Jestem im wdzięczny za dobrą współpracę, elastyczność i cierpliwość.

Książkę tę dedykuję mojej żonie, Mary Jo, z wyrazami wdzięczności za szczodre wsparcie na wiele różnych sposobów, elastyczność w obliczu zbliżających się terminów i niewyczerpaną tolerancję na zbyt optymistyczne oceny dotyczące czasu zakończenia prac.

James Hartle
czerwiec 2002 roku