



INDICE

Premessa	7
Lezione 1	
Introduzione	9
Relatività e scuola secondaria	9
Tempo solare e tempo siderale	11
Non uniformità della rotazione terrestre	12
La storiella di Zanzibar	13
Gli orologi al quarzo	14
Il tempo delle effemeridi e il tempo atomico	15
Effetti relativistici in astronomia	16
Discussione	16
Problemi e discussione	17
Lezione 2	
Gli orologi atomici	25
Virtù degli orologi atomici	26
Orologi come strumenti fisici	28
Il tempo assoluto	28
La matematizzazione del tempo	29
Lo spazio assoluto	31
Le unità di lunghezza	32
Spazio e geometria euclidea	33
Un indizio trascurato	34
La deflessione della luce	34
Nota didattica	35
Problemi	36
Risposte	36
Lezione 3	
Sistemi di riferimento	39
Riferimenti in moto relativo	40
Esempi di riferimenti	41
Mandiamo in pensione gli “osservatori”	41
Il principio d’inerzia	43
Il principio di relatività	44
Composizione e indipendenza dei movimenti	45
Discussione	47
Ruolo del laboratorio	48
Le frontiere della ricerca	49
Problemi e discussione	50
Lezione 4	
Come e perché il moto dei proiettili	55
L’accelerazione è sempre costante!	55
Cambiamo riferimento	56
Il moto dei proiettili e la relatività	57
Galileo e il PR	58
Il PR vale solo per la meccanica?	59
Che cosa ha detto Einstein?	60

A che punto si può parlare del PR?	61
Ma Einstein come ci arriva?	62
Basi sperimentali del PR	63
Il Global Positioning System	64
Il paradosso del condensatore	66
Problemi	66
Risposte	67
Lezione 5	
Il principio di equivalenza	71
Si può chiedere perché?	71
Illustrazioni sperimentali	72
Riferimenti in caduta libera	72
Il problema del palloncino	73
Verifiche storiche del PE	74
Problemi	74
Risposte	75
Lezione 6	
Le verifiche moderne del PE	77
Gli esperimenti di Eötvös	77
Gli esperimenti di Dicke e di Braginskij	79
I laser sulla Luna	80
La “quinta forza”	82
PE debole e PE forte	82
Il nuovo paradigma	84
Problemi	87
Risposte	87
Lezione 7	
La deflessione gravitazionale “in grande”	91
Lenti gravitazionali	92
Le verifiche “classiche” della RG	93
Nota didattica	95
Problemi	96
Risposte	96
Lezione 8	
L’esperimento di Hafele e Keating	99
Discussione dell’esperimento	99
Ma il ritardo è genuino?	100
La marcia di un orologio non dipende dal suo moto	100
Ma gli orologi non sono in riferimenti inerziali!	101
Il tempo assoluto non esiste	101
L’orologio a luce	102
Il tempo proprio	103
Tempo proprio e geometria dello spazio-tempo	103
Diagrammi spazio-temporali	104
Parentesi sulle trasformazioni di Lorentz	105
Tempo proprio in un moto qualunque	105
Il tempo proprio come “lunghezza” nello spazio-tempo	107
Il paradosso dei gemelli	108
Da Newton ad Einstein: breve commento	109

Problemi	109
Discussione dei problemi	110
Lezione 9	
Spiegazione dell'esperimento H-K	115
Vita media dei muoni in un anello di accumulazione	116
È davvero difficile la geometria dello spazio-tempo?	118
Muoni dai raggi cosmici	120
L'esperimento di Briatore e Leschiutta	121
La realtà è diversa dalla sua rappresentazione	123
Esperimento B-L e redshift gravitazionale	124
Lo spazio-tempo è curvo	125
Problemi	126
Risposte	126
Lezione 10	
Redshift e GPS	129
Forze di marea e curvatura dello spazio-tempo	130
Le forze di marea sono la causa delle maree	130
Le maree reali sono complicate...	132
Maree e curvatura	132
Come misurare la curvatura	134
La deviazione delle geodetiche	134
Deviazione delle geodetiche nello spazio-tempo	136
Curvatura dello spazio-tempo attorno alla Terra	137
Curvatura e B-L	138
Problemi	140
Risposte	140
Riassumendo e guardando avanti	145
Lezione 11	
Premessa	147
I principi della dinamica relativistica	147
Il terzo principio	148
La simultaneità è relativa	149
Come salvare la conservazione della quantità di moto	150
La legge dell'angolo retto	151
... non vale in relatività	152
Quantità di moto e velocità limite	154
Problemi	154
Risposte	155
Lezione 12	
L'impulso relativistico	157
L'impulso relativistico e il secondo principio	158
L'energia	159
Proprietà dell'energia relativistica	159
Considerazioni didattiche	162
Dimostrazione della (12-3)	163
Problemi	164
Risposte	165

Lezione 13

L'inerzia dell'energia	171
Un esperimento con i proiettili	171
Un esperimento con la radiazione	172
La massa non si conserva negli urti anelastici	174
Qualche obiezione	175
Significato di $E = Mc^2$	175
La pressione di radiazione	176
Problemi	177
Risposte	178

Lezione 14

La cosiddetta "massa relativistica": prima parte	183
La formula più citata e meno capita di tutta la fisica	183
La cosiddetta "massa relativistica": seconda parte	184
La massa relativistica: un errore didattico	184
Un esempio: il decadimento del K^0	185
Che cosa vuol dire "conservazione della massa"?	185
La massa non è additiva	186
Esempio di una reazione chimica	187
La massa relativistica nel decadimento del K^0	188
La "trasformazione di massa in energia"	189
Problemi	189
Risposte	190

Lezione 15

L'Universo: dati di osservazione	193
La scala delle distanze: la parallasse	193
La distanza ricavata dalla luminosità	194
Variabili regolari e novæ	195
Le galassie lontane	195
La massa delle galassie e la densità di materia	195
La massa mancante	197
La legge di Hubble	197
La costante di Hubble	198
Unità di misura e valore di H	199
Relatività dell'effetto di espansione	199
Problemi	200
Risposte	201

Lezione 16

I modelli cosmologici	205
Il principio cosmologico	205
Il problema del tempo	206
Il modello di universo a curvatura costante	207
Digressione sugli spazi a curvatura costante	207
Le coordinate comoventi	208
Cinematica e dinamica cosmologica	209
Il redshift cosmologico	210
Redshift ed espansione	211
La legge di Hubble come approssimazione	211
Significato cosmologico di H ; il problema dell'estrapolazione	212
Due obiezioni	213

Problemi	214
Risposte	214
Lezione 17	
La dinamica cosmologica	219
Le equazioni di evoluzione	220
Il problema della singolarità iniziale	221
Evoluzione della densità di materia	221
La radiazione elettromagnetica cosmica	222
La scoperta della radiazione di fondo	222
Universo aperto o chiuso? Il futuro dell'Universo	223
Cose non dette e problemi aperti	224
Problemi	225
Risposte	225
Conclusione	227
Appendice 1: Dialogo sulla massa relativistica	229
Appendice 2: Costanti e grandezze utili	237
Appendice 3: Una sperimentazione di relatività	241

La figura in copertina (E.F.) rappresenta il diagramma spazio-tempo dell'esperimento di Hafele-Keating.

