

Indhold

| | |
|---|-----------|
| Forudsætninger og forslag til kapitelvalg | v |
| Introduktion | vii |
| 1 Indledning | 1 |
| Del I: Fundamentet | |
| 2 Et ur i bevægelse går langsomt | 7 |
| 2.1 Tidsforlængelse, lysuret | 7 |
| 3 Samtidighed | 15 |
| 3.1 Synkronisering af ure | 15 |
| 3.2 Einsteins tog-eksperiment – mangel på absolut samtidighed . . . | 17 |
| 4 Et objekt i bevægelse er forkortet | 23 |
| 4.1 Længdemåling af objekt i bevægelse | 23 |
| 5 Den ultimative hastighed | 27 |
| 5.1 Lysets hastighed | 27 |
| 5.2 Massive partiklers bevægelse | 28 |
| 6 Lorentz-transformationerne | 31 |
| 6.1 Hvorfor ikke Galilei-transformationerne? | 31 |
| 6.2 Krav til de nye transformationer | 32 |
| 6.3 Udledning af Lorentz-transformationerne | 33 |
| 6.4 Rumtidsintervallet, den fire-dimensionelle ‘afstand’ | 37 |
| 7 Doppler-effekt | 41 |
| 7.1 Den ikke-relativistiske Doppler-effekt | 41 |
| 7.2 Den relativistiske Doppler-effekt | 43 |
| 7.3 Ikke-parallele hastigheder | 44 |
| 8 Afgørende eksperimenter og observationer | 47 |
| 8.1 Michelson-Morley eksperimentet | 47 |
| 8.2 Kennedy-Thorndike eksperimentet | 51 |
| 8.3 Ives-Stilwell eksperimentet | 52 |
| 8.4 Emissionsteorien og de Sitter | 53 |
| 8.5 Myonens levetid i hvile | 54 |

| | | |
|-------------------------------|--|------------|
| 9 | Symmetri og Lorentz-transformationer | 59 |
| 9.1 | Generel, lineær transformation | 59 |
| 9.2 | Bestemmelse af koefficienter ved symmetribetragtninger | 59 |
| 9.3 | Bestemmelse af koefficienter ved lysglimt | 63 |
| 10 | Addition af hastigheder og Lorentz-faktorers transformationer | 65 |
| 10.1 | Addition af parallelle hastigheder | 65 |
| 10.2 | Aberration | 73 |
| 10.3 | Thomas-præcession* | 76 |
| 10.4 | Fizeaus eksperiment med lys i vand | 79 |
| 10.5 | Transformation af Lorentz-faktorer | 84 |
| 11 | Kausalitet og lyskeglen | 87 |
| 11.1 | Lyskeglen | 87 |
| 11.2 | Fremtid, fortid og andetsteds | 88 |
| 11.3 | Rumligt og tidsligt separerede begivenheder | 91 |
| 11.4 | Lyskegle koordinater* | 91 |
| 12 | Energi og impuls i relativitetsteorien. | 95 |
| 12.1 | Lys og fotoner | 95 |
| 12.2 | Einsteins kasse | 96 |
| 12.3 | Cockcroft og Waltons eksperiment | 98 |
| 12.4 | Tyngdepunktssætningen | 99 |
| 12.5 | Einsteins kasse uden sider | 100 |
| 12.6 | Relativistisk masse, energi og impuls | 102 |
| 12.7 | Masse, energi og impuls igen | 106 |
| 13 | Lorentz-transformation af energi og impuls | 109 |
| 13.1 | Den relativistiske impuls | 109 |
| 13.2 | Den relativistiske energi | 111 |
| 13.3 | Lorentz-transformationen for energi og impuls | 112 |
| 13.4 | Doppler-effekt igen | 113 |
| Del II: Udvidelser | | |
| 14 | Ækvivalensprincippet og ure i tyngdefelter | 117 |
| 14.1 | To ure i en raket | 119 |
| 14.2 | Frit faldende ure | 122 |
| 14.3 | Energibevarelse | 124 |
| 14.4 | Jordens centrum er yngre end overfladen | 126 |
| 14.5 | Eksperimentelle afprøvninger af ækvivalensprincippet | 129 |
| 15 | Egentiden for et kastet objekt | 133 |
| 16 | Acceleration* | 137 |
| 16.1 | Transformation af acceleration | 137 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 16.2 | Hastighed som funktion af tid | 138 |
| 16.3 | Sted som funktion af tid | 139 |
| 17 | Sorte huller* | 145 |
| 17.1 | Begivenhedshorisont i et tyngdefelt | 145 |
| 17.2 | Hawking-stråling fra sorte huller | 147 |
| 18 | Egentid, acceleration, hastighed og sted* | 153 |
| 18.1 | Egentid, koordinattid og egen-acceleration | 154 |
| 18.2 | Sted og hastighed som funktion af egentid og egen-acceleration | 155 |
| 18.3 | Egentid og sted | 156 |
| 19 | Rumtid og hyperbolske funktioner* | 157 |
| 19.1 | Trigonometriske funktioner | 157 |
| 19.2 | Hyperbolske funktioner | 158 |
| 19.3 | Rapiditet | 163 |
| 19.4 | To radioaktive partikler | 166 |
| 20 | Tvillingeparadokset | 169 |
| 20.1 | Tvillingeparadokset med instantan hastighedsændring | 170 |
| 20.2 | Tvillingeparadokset med vilkårlig accelerationsfase | 174 |
| 20.3 | Tvillingeparadokset fra den accelererede tvillings synspunkt | 176 |
| 20.4 | Yderligere komplikationer i tvillingeparadokset | 179 |
| 21 | Raketligningen* | 181 |
| 21.1 | Urelativistisk raketligning | 181 |
| 21.2 | Foton-raket | 181 |
| 21.3 | Relativistisk raketligning | 182 |
| 22 | k-calculus | 187 |
| 22.1 | Lyssignalers ping-pong | 187 |
| 22.2 | Lorentz-transformationer | 191 |
| 23 | Tachyoner* | 193 |
| 23.1 | Overlyshastighed | 193 |
| 23.2 | 'Tachyon-telefonen' | 194 |
| 24 | Fire-vektorer* | 197 |
| 24.1 | Definitioner | 197 |
| 24.2 | Enhedsvektorer og komponenter | 198 |
| 24.3 | Skalarproduktet | 198 |
| 24.4 | Fire-hastighed | 200 |
| 24.5 | Fire-impuls | 202 |
| 24.6 | Fire-acceleration | 206 |
| 24.7 | Fire-kraft, Minkowski-kraften | 207 |
| 24.8 | Tre-kraftens afhængighed af hastigheden | 207 |
| 24.9 | Den elektromagnetiske felt-tensor** | 209 |

Indhold

| | | |
|--|---|------------|
| 25 | Lorentz-transformationer af elektriske og magnetiske felter* | 213 |
| 25.1 | Magnetisme som et relativistisk fænomen | 214 |
| 25.2 | Lorentz-transformation af elektriske og magnetiske felter | 216 |
| 25.3 | Elektrodynamiske invarianter | 222 |
| 25.4 | Parallele elektriske og magnetiske felter | 225 |
| 25.5 | En elektrons bevægelse, dens elektromagnetiske felt og elektromagnetisk stråling | 227 |
| 26 | Kollisioner behandlet med fire-vektorer | 233 |
| 26.1 | Compton-spredning | 233 |
| 26.2 | Observation af Higgs-partiklen | 235 |
| 27 | Anskueliggørelse af relativitet | 239 |
| 27.1 | Det 'kosmiske speedometer' | 239 |
| 27.2 | ' <i>Alt</i> bevæger sig <i>altid</i> med lysets hastighed' | 243 |
| 28 | Gravitationsbølger** | 245 |
| 28.1 | Gravitationsfelterne \vec{g} og \vec{h} | 247 |
| 29 | Det Globale Positionerings-System, GPS | 253 |
| 29.1 | Basale elementer | 253 |
| 29.2 | Sagnac-effekt | 254 |
| 29.3 | Relativistiske korrektioner | 257 |
| 30 | Alternativer til Einsteins specielle relativitetsteori* | 261 |
| Del III: Paradokser | | |
| 31 | Stangspringer-paradokset | 265 |
| 32 | Skøjtøløber-paradokset | 271 |
| 33 | Pladen-i-hullet paradokset* | 277 |
| 34 | Bells raket-reb paradoks* | 283 |
| 35 | Rindler-kilen** | 289 |
| Appendix: Matematiske værktøjer | | 297 |
| A | Pythagoras' sætning | 297 |
| B | Rækkeudviklinger | 298 |
| Litteratur | | 301 |
| Indeks | | 315 |