

ЗМІСТ

МЕХАНІКА

РОЗДІЛ 1 **Одиниці вимірювання, фізичні величини і вектори 1**

- 1-1 Вступ 1
- 1-2 Природа фізики 1
- 1-3 Ідеалізовані моделі 3
- 1-4 Еталони та одиниці вимірювання 3
- 1-5 Узгодження за розмірностями та перетворення одиниць вимірювання 6
- 1-6 Похибки і значущі цифри 7
- 1-7 Оцінки, порядки величини 9
- 1-8 Вектори і додавання векторів 10
- 1-9 Складові векторів 13
- 1-10 Одиничні вектори 17
- 1-11 Добутки векторів 18
- Підсумки/Ключові терміни 23
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 24

РОЗДІЛ 2 **Прямолінійний рух 31**

- 2-1 Вступ 31
- 2-2 Переміщення, час і середня швидкість 31
- 2-3 Миттєва швидкість 34
- 2-4 Середнє і миттєве прискорення 37
- 2-5 Рух зі сталим прискоренням 41
- *2-6 Вільне падіння тіл 46
- 2-7 Обчислення швидкості і координат інтегрування 49
- Підсумки/Ключові терміни 51
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 52

РОЗДІЛ 3 **Рух у двох чи трьох вимірах 61**

- 3-1 Вступ 61
- 3-2 Радіус-вектор і вектори швидкості 61
- 3-3 Вектор прискорення 64
- 3-4 Балістичний рух 68
- 3-5 Рух по колу 76
- 3-6 Відносна швидкість 78
- Підсумки/Ключові терміни 82
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 84

РОЗДІЛ 4 **Закони руху Ньютона 92**

- 4-1 Вступ 92
- 4-2 Сила і взаємодії 93
- 4-3 Перший закон Ньютона 95
- 4-4 Другий закон Ньютона 99
- 4-5 Маса і вага 104
- 4-6 Третій закон Ньютона 107
- 4-7 Застосування законів Ньютона 110
- 4-8 Ілюстрації діаграм вільного падіння тіла 113
- Підсумки/Ключові терміни 114
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 114

РОЗДІЛ 5 **Застосування законів Ньютона 120**

- 5-1 Вступ 120
- 5-2 Застосування першого закону Ньютона рівновага матеріальної точки 120
- 5-3 Застосування другого закону Ньютона: динаміка матеріальної точки 125
- 5-4 Сили тертя 132
- 5-5 Динаміка руху по колу 139
- *5-6 Фундаментальні сили природи 145
- 5-7 Балістичний рух з опором повітря: особливий випадок: обчислення на комп'ютері 146
- Підсумки/Ключові терміни 149
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 149

РОЗДІЛ 6 **Робота і кінетична енергія 164**

- 6-1 Вступ 164
- 6-2 Робота 164
- 6-3 Робота і кінетична енергія 168
- 6-4 Робота і енергія для змінних сил 174
- 6-5 Потужність 179
- 6-6 Потужність автомобіля: вивчення випадку на співвідношення енергії 181
- Підсумки/Ключові терміни 184
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 185

РОЗДІЛ 7 Потенціальна енергія і збереження енергії 194

- 7-1 Вступ 194
- 7-2 Гравітаційна потенціальна енергія 194
- 7-3 Пружна потенціальна енергія 204
- 7-4 Консервативні і неконсервативні сили 209
- 7-5 Сила і потенціальна енергія 213
- 7-6 Діаграми енергії 216
- Підсумки/Ключові терміни 218
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 218

РОЗДІЛ 8 Імпульс тіла, імпульс сили і зіткнення 227

- 8-1 Вступ 227
- 8-2 Імпульс тіла та імпульс сили 227
- 8-3 Збереження імпульсу 232
- 8-4 Непружні зіткнення 238
- 8-5 Пружні зіткнення 241
- 8-6 Центр мас 246
- *8-7 Реактивний рух 250
- 8-8 Нейтрино: приклад із сучасної фізики 253
- Підсумки/Ключові терміни 256
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 257

CHAPTER 9 Обертання твердих тіл 268

- 9-1 Вступ 268
- 9-2 Кутова швидкість і прискорення 268
- 9-3 Обертання зі сталим кутовим прискоренням 272
- 9-4 Зв'язок між лінійними і кутовими кінематичними величинами 274
- 9-5 Енергія обертального руху 276
- 9-6 Теорема про паралельні осі 281
- *9-7 Обчислення моменту інерції 282
- Підсумки/Ключові терміни 285
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 286

РОЗДІЛ 10 Динаміка обертального руху 294

- 10-1 Вступ 294
- 10-2 Обертальний момент 294
- 10-3 Обертальний момент і кутове прискорення твердого тіла 297

- 10-4 Обертання твердого тіла кавкого рухомої осі 301
- 10-5 Робота і енергія під час обертального руху 307
- 10-6 Момент імпульсу 309
- 10-7 Закон збереження моменту імпульсу 311
- 10-8 Гіроскопи і прецесія 314
- Підсумки/Ключові терміни 317
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 318

РОЗДІЛ 11 Рівновага і пружність 329

- 11-1 Вступ 329
- 11-2 Умови рівноваги 329
- 11-3 Центр тяжіння 330
- 11-4 Розв'язування задач на рівновагу твердого тіла 333
- 11-5 Напруження, деформація і модулі пружності 337
- 11-6 Об'ємне напруження і об'ємна деформація 341
- 11-7 Напруження і деформація зсуву 343
- 11-8 Пружність і пластичність 344
- Підсумки/Ключові терміни 345
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 346

РОЗДІЛ 12 Гравітація 358

- 12-1 Вступ 358
- 12-2 Закон тяжіння Ньютона 358
- 12-3 Вага 362
- 12-4 Гравітаційна потенціальна енергія 364
- 12-5 Рух супутників 367
- 12-6 Рух планет 370
- *12-7 Сферичний розподіл мас 373
- *12-8 Позірна вага і обертання Землі 377
- 12-9 Чорні діри: проблеми сучасної фізики 379
- Підсумки/Ключові терміни 383
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 384

РОЗДІЛ 13 Періодичний рух 392

- 13-1 Вступ 392
- 13-2 Причини виникнення коливань 392
- 13-3 Простий гармонічний рух 394
- 13-4 Енергія при простому гармонічному русі 400

- 13-5 Застосування простого гармонічного руху 404
 13-6 Математичний маятник 407
 13-7 Фізичний маятник 409
 13-8 Згасаючі коливання 411
 13-9 Вимушені коливання, резонанс і хаос 413
 Підсумки/Ключові терміни 416
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 418

РОЗДІЛ 14 Механіка плинину 427

- 14-1 Вступ 427
 14-2 Густина 427
 14-3 Тиск у плинні 428
 14-4 Плавучість 432
 14-5 Поверхневий натяг 434
 14-6 Течія плинину 438
 14-7 Рівняння Бернуллі 440
 14-8 Турбулентність 444
 *14-9 В'язкість 446
 Підсумки/Ключові терміни 448
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 449

РОЗДІЛ 15 Температура і теплота 460

- 15-1 Вступ 460
 15-2 Температура і теплова рівновага 460
 15-3 Термометри і температурні шкали 462

ТЕРМОДИНАМІКА

- 15-4 Газові термометри і шкала Кельвіна 463
 15-5 Теплове розширення 465
 15-6 Кількість теплоти 470
 15-7 Калориметрія і зміни фаз 473
 15-8 Механізми перенесення теплоти 478
 15-9 Інтегральні схеми: аналіз проблеми відведення тепла 485
 Підсумки/Ключові терміни 487
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 489

РОЗДІЛ 16 Теплові властивості речовини 499

- 16-1 Вступ 499
 16-2 Рівняння стану 499
 16-3 Молекулярні властивості речовини 505
 16-4 Кінетично-молекулярна модель ідеального газу 507
 16-5 Теплоємність 513
 *16-6 Швидкість молекул 517
 16-7 Фази речовини 520
 Підсумки/Ключові терміни 523
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 524

РОЗДІЛ 17 Перший закон термодинаміки 533

- 17-1 Вступ 533
 17-2 Термодинамічні системи 533
 17-3 Робота виконана при зміні об'єму 535
 17-4 Способи зміни стану системи. Термодинамічні процеси 537
 17-5 Внутрішня енергія та перший закон термодинаміки 539
 17-6 Види термодинамічних процесів 543
 17-7 Внутрішня енергія ідеального газу 545
 17-8 Теплоємності ідеального газу 546
 17-9 Адіабатичні процеси в ідеальному газі 549
 Підсумки/Ключові терміни 551
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 552

РОЗДІЛ 18 Другий закон термодинаміки 559

- 18-1 Вступ 559
 18-2 Напрями термодинамічних процесів 559
 18-3 Теплові двигуни 560
 18-4 Двигуни внутрішнього згоряння 563
 18-5 Холодильні машини 565
 18-6 Другий закон термодинаміки 567
 18-7 Цикл Карно 569
 *18-8 Температурна шкала Кельвіна 574
 *18-9 Ентропія 574
 *18-10 Мікроскопічне трактування ентропії 579
 18-11 Джерела енергії: дослідження питання з точки зору термодинаміки 582
 Підсумки/Ключові терміни 585
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 586

ХВИЛІ/АКУСТИКА**РОЗДІЛ 19** **Механічні хвилі 593**

- 19-1 Вступ 593
- 19-2 Типи механічних хвиль 593
- 19-3 Періодичні хвилі 595
- 19-4 Математичний опис хвилі 596
- 19-5 Швидкість поперечної хвилі 602
- 19-6 Швидкість поздовжньої хвилі 606
- 19-7 Звукові хвилі в газах 609
- 19-8 Енергія хвильового руху 610
- Підсумки/Ключові терміни 613
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 614

РОЗДІЛ 20 **Інтерференція хвиль і власні коливання 620**

- 20-1 Вступ 620
- 20-2 Граничні умови для струни і принцип суперпозиції 620
- 20-3 Стоячі хвилі на струні 622
- 20-4 Власні коливання на струні 627
- 20-5 Поздовжні стоячі хвилі і власні коливання 631
- 20-6 Інтерференція хвиль 635
- 20-7 Резонанс 637
- Підсумки/Ключові терміни 640
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 641

РОЗДІЛ 21 **Звук та слух 646**

- 21-1 Вступ 646
- 21-2 Звукові хвилі 646
- 21-3 Інтенсивність звуку 650
- 21-4 Биття 654
- 21-5 Ефект Доплера 656
- *21-6 Ударні хвилі 661
- Підсумки/Ключові терміни 664
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 664

ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**РОЗДІЛ 22** **Електричний заряд і електричне поле 669**

- 22-1 Вступ 669
- 22-2 Електричний заряд 669
- 22-3 Електричний заряд і будова матерії 671
- 22-4 Провідники, ізолятори й індуковані заряди 672
- 22-5 Закон Кулона 674
- 22-6 Електричне поле та електричні сили 679
- 22-7 Розрахунок електричного поля 683
- 22-8 Лінії електричного поля 689
- 22-9 Електричні диполі 690
- Підсумки/Ключові терміни 694
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 695

РОЗДІЛ 23 **Закон Гаусса 704**

- 23-1 Вступ 704
- 23-2 Заряд і електричний потік 704
- 23-3 Розрахунок електричного потоку 707
- 23-4 Закон Гаусса 711
- 23-5 Застосування закону Гаусса 714
- 23-6 Заряди на провідниках 719
- Підсумки/Ключові терміни 723
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 724

РОЗДІЛ 24 **Електричний потенціал 731**

- 24-1 Вступ 731
- 24-2 Електрична потенціальна енергія 731
- 24-3 Електричний потенціал 737
- 24-4 Розрахунок електричного потенціалу 743
- 24-5 Еквіпотенціальні поверхні 746
- 24-6 Градієнт потенціалу 749
- 24-7 Електронно-променева трубка 751
- 24-8 Розрахунок потенціалів заряджених провідників: комп'ютерне дослідження одного прикладу 754
- Підсумки/Ключові терміни 759
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 761

РОЗДІЛ 25 **Ємність і діелектрики 771**

- 25-1 Вступ 771
- 25-2 Конденсатори і ємність 772
- 25-3 Паралельне і послідовне з'єднання конденсаторів 776
- 25-4 Накопичення енергії в конденсаторах і енергія електричного поля 779
- 25-5 Діелектрики 782
- *25-6 Молекулярна модель індукованого заряду 787
- *25-7 Закон Гаусса в діелектриках 789
- Підсумки/Ключові терміни 790
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 791

РОЗДІЛ 26 **Струм, опір і електрорушійна сила 799**

- 26-1 Вступ 799
- 26-2 Струм 799
- 26-3 Питомий опір 803
- 26-4 Опір 805
- 26-5 Електрорушійна сила і електричні кола 809
- *26-6 Енергія і потужність в електричних колах 815
- *26-7 Теорія провідності металів 819
- *26-8 Фізіологічна дія струму 821
- Підсумки/Ключові терміни 823
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 824

РОЗДІЛ 27 **Кола постійного струму 832**

- 27-1 Вступ 832
- 27-2 Послідовне і паралельне з'єднання резисторів 832
- 27-3 Правила Кірхгофа 837
- 27-4 Електричні вимірювальні прилади 842
- 27-5 Резистивно-ємнісні кола 846
- 27-6 Системи розподілення енергії: дослідження на прикладі аналізу схем 850
- Підсумки/Ключові терміни 853
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 854

РОЗДІЛ 28 **Магнетне поле і магнетні сили 865**

- 28-1 Вступ 865
- 28-2 Магнетизм 865
- 28-3 Магнетне поле 867

- 28-4 Лінії магнетного поля і магнетний потік 870
- 28-5 Рух заряджених частинок у магнетному полі 873
- 28-6 Застосування руху заряджених частинок 877
- 28-7 Дія магнетної сили на провідник зі струмом 880
- 28-8 Сила і момент сили, які діють на контур зі струмом 883
- *28-9 Електродвигун постійного струму 888
- *28-10 Ефект Гюлла 890
- Підсумки/Ключові терміни 892
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 893

РОЗДІЛ 29 **Джерела магнетного поля 903**

- 29-1 Вступ 903
- 29-2 Магнетне поле рухомого заряду 903
- 29-3 Магнетне поле елемента струму 906
- 29-4 Магнетне поле прямого провідника зі струмом 908
- 29-5 Сили взаємодії паралельних провідників 911
- 29-6 Магнетне поле колової рамки зі струмом 913
- 29-7 Закон Ампера 915
- 29-8 Застосування закону Ампера 918
- *29-9 Магнетні речовини 922
- 29-10 Струм зміщення 927
- Підсумки/Ключові терміни 930
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 932

РОЗДІЛ 30 **Електромагнетна індукція 941**

- 30-1 Вступ 941
- 30-2 Експерименти з індукцією 941
- 30-3 Закон Фарадея 943
- 30-4 Правило Ленца 950
- 30-5 ЕРС руху 951
- 30-6 Індуквані електричні поля 954
- *30-7 Вихрові струми 956
- 30-8 Рівняння Максвелла 957
- *30-9 Надпровідність: вивчення на прикладі магнетних властивостей 959
- Підсумки/Ключові терміни 962
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 963

РОЗДІЛ 31 Індуктивність 971

- 31-1 Вступ 971
- 31-2 Взаємна індуктивність 971
- 31-3 Самоіндукція та індуктори 974
- 31-4 Енергія магнетного поля 977
- 31-5 R - L -коло 979
- 31-6 L - C -контур 982
- 31-7 L - R - C -кола з послідовним з'єднанням елементів 987
- Підсумки/Ключові терміни 989
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 990

РОЗДІЛ 32 Змінний струм 997

- 32-1 Вступ 997
- 32-2 Фазори і змінні струми 997
- 32-3 Активний і реактивний опори 999
- 32-4 Послідовне L - R - C -коло 1004
- 32-5 Потужність у колах змінного струму 1008
- 32-6 Резонанс у колах змінного струму 1011
- 32-7 Трансформатори 1014
- Підсумки/Ключові терміни 1017
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1019

РОЗДІЛ 33 Електромагнетні хвилі 1025

- 33-1 Вступ 1025
- 33-2 Рівняння Максвелла і електромагнетні хвилі 1025
- 33-3 Плоскі електромагнетні хвилі і швидкість світла 1028
- 33-4 Синусоїдальні магнетні хвилі 1032
- 33-5 Енергія та імпульс електромагнетних хвиль 1035
- *33-6 Електромагнетні хвилі у речовині 1040
- 33-7 Стоячі електромагнетні хвилі 1042
- 33-8 Електромагнетний спектр 1044
- *33-9 Випромінювання антени 1045
- Підсумки/Ключові терміни 1047
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1049

О П Т И К А**РОЗДІЛ 34 Природа і поширення світла 1053**

- 34-1 Вступ 1053
- 34-2 Природа світла 1053
- 34-3 Відбиття і заломлення 1055
- 34-4 Повне внутрішнє відбиття 1060
- *34-5 Дисперсія 1063
- 34-6 Поляризація 1064
- *34-7 Розсіяння світла 1072
- 34-8 Принцип Гюйгенса 1073
- Підсумки/Ключові терміни 1076
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1078

РОЗДІЛ 35 Геометрична оптика 1085

- 35-1 Вступ 1085
- 35-2 Відбиття і заломлення на плоскій поверхні 1085
- 35-3 Відбиття сферичною поверхнею 1088
- 35-4 Графічні методи побудови зображень для дзеркал 1095
- 35-5 Заломлення сферичною поверхнею 1097
- 35-6 Тонкі лінзи 1101
- 35-7 Графічні методи побудови зображень для лінз 1105
- Підсумки/Ключові терміни 1110
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1111

РОЗДІЛ 36 Оптичні прилади 1118

- 36-1 Вступ 1118
- 36-2 Фотоапарати та проектори 1118
- 36-3 Око 1123
- 36-4 Лупа 1126
- 36-5 Мікроскоп 1127
- 36-6 Телескопи 1129
- *36-7 Аберації лінз 1131
- Підсумки/Ключові терміни 1133
- Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1134

РОЗДІЛ 37 **Інтерференція 1138**

- 37-1 Вступ 1138
 37-2 Інтерференція та когерентні джерела 1138
 37-3 Інтерференція світла від двох джерел 1142
 37-4 Інтенсивність інтерференційних картин 1145
 37-5 Інтерференція в тонких плівках 1149
 37-6 Інтерферометр Майкельсона 1154
 *37-7 Фотон: з точки зору квантової фізики
 Підсумки/Ключові терміни 1158
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1159

CHAPTER 38 **Дифракція 1165**

- 38-1 Вступ 1165
 38-2 Дифракція Френеля та Фраунгофера 1165
 38-3 Дифракція на одній щілині 1167
 38-4 Інтенсивність дифракційної картини від однієї щілини 1170
 38-5 Дифракція на багатьох щілинах 1173
 38-6 Дифракційна ґратка 1176
 38-7 Дифракція x -променів 1179
 38-8 Круглі отвори та роздільна здатність 1182
 38-9 Голографія 1185
 Підсумки/Ключові терміни 1187
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1188

СУЧАСНА ФІЗИКА**РОЗДІЛ 39** **Теорія відносності 1195**

- 39-1 Вступ 1195
 39-2 Інваріантність законів фізики 1195
 39-3 Відносність одночасності 1198
 39-4 Відносність часових інтервалів 1200
 39-5 Відносність довжини 1204
 39-6 Перетворення Лоренца 1208
 *39-7 Просторово-часові діаграми 1212
 *39-8 Ефект Доплера для електромагнетних хвиль 1213
 39-9 Релятивістський імпульс 1215
 39-10 Релятивістська робота й енергія 1217

39-11 Механіка Ньютона і теорія відносності 1220

Підсумки/Ключові терміни 1222

Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1224

РОЗДІЛ 40 **Фотони, електрони та атоми 1231**

- 40-1 Вступ 1231
 40-2 Випромінювання й поглинання світла 1231
 40-3 Фотоелектричний ефект 1233
 40-4 Лінійчасті спектри і рівні енергії атомів 1238
 40-5 Атом з ядром 1238
 40-6 Модель Бора 1246
 40-7 Лазер 1251
 40-8 Утворення й розсіяння x -променів 1254
 40-9 Неперервні спектри 1258
 40-10 Корпускулярно-хвильовий дуалізм 1261
 Підсумки/Ключові терміни 1263
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1264

РОЗДІЛ 41 **Хвильова природа частинок 1271**

- 41-1 Вступ 1271
 41-2 Хвилі де Бройля 1271
 41-3 Дифракція електронів 1274
 41-4 Ймовірність і невизначеність 1277
 41-5 Електронний мікроскоп 1281
 41-6 Хвильові функції 1284
 Підсумки/Ключові терміни 1288
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1288

РОЗДІЛ 42 **Квантова механіка 1294**

- 42-1 Вступ 1294
 42-2 Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками 1294
 42-3 Рівняння Шредингера 1298
 42-4 Потенціальні ями 1301
 42-5 Потенціальні бар'єри і тунелювання 1305
 42-6 Гармонічний осцилятор 1307
 42-7 Задачі з тривимірним простором 1312

Підсумки/Ключові терміни 1313
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1313

РОЗДІЛ 43 Структура атом 1320

43-1 Вступ 1320
 43-2 Атом водню 1320
 43-3 Ефект Зеемана 1327
 43-4 Спін електрона 1331
 43-5 Багатоелектронні атоми і принцип заборони 1335
 43-6 Спектри x -променів 1341
 Підсумки/Ключові терміни 1344
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1345

РОЗДІЛ 44 Молекули і конденсована речовина 1349

44-1 Вступ 1349
 44-2 Типи молекулярних зв'язків 1349
 44-3 Молекулярні спектри 1352
 44-4 Структура твердих тіл 1356
 44-5 Енергетичні зони 1360
 44-6 Модель вільних електронів для металів 1362
 44-7 Напівпровідники 1366
 44-8 Напівпровідникові прилади 1370
 44-9 Надпровідність 1375
 Підсумки/Ключові терміни 1376
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1377

РОЗДІЛ 45 Ядерна фізика 1383

45-1 Вступ 1383
 45-2 Властивості ядер 1383
 45-3 Ядерний зв'язок і структура ядра 1387
 45-4 Стабільність ядра і радіоактивність 1393
 45-5 Активності і періоди піврозпаду 1399
 45-6 Біологічна дія випромінювання 1402
 45-7 Ядерні реакції 1405
 45-8 Ядерний поділ 1408
 45-9 Ядерний синтез 1412
 Підсумки/Ключові терміни 1415
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1415

РОЗДІЛ 46 Фізика елементарних частинок і космологія 1421

46-1 Вступ 1421
 46-2 Історія відкриття фундаментальних частинок 1421
 46-3 Прискорювачі і детектори частинок 1426
 46-4 Частинки і взаємодії 1433
 46-5 Кварки та вісімковий шлях 1438
 46-6 Стандартна модель і за її межами 1442
 46-7 Розширюваний Всесвіт 1444
 46-8 Початок часу 1449
 Підсумки/Ключові терміни 1457
 Питання для обговорення/Вправи/Задачі 1457

Додатки 1461

А Міжнародна система одиниць 1461
 Б Корисні математичні формули 1463
 В Грецька абетка 1464
 Г Періодична таблиця елементів 1465
 Д Співвідношення між одиницями фізичних величин 1466
 Е Числові сталі 1467

Відповіді на задачі з непарними номерами 1469

Про авторів

Г'ю Янг працює професором фізики в університеті Карнегі-Мелон у Пітсбурзі, штат Пенсільванія. Навчався у Карнегі-Мелон, де здобув науковий ступінь у галузі теорії фундаментальних взаємодій під керівництвом Річарда Цуковскі. В 1956 р. розпочав працю в Карнегі-Мелон, також провів два роки як запрошений професор у Каліфорнійському університеті в Берклі.

Кар'єра професора Янга присвячена цілковито навчанню студентів на старших курсах. Він написав кілька підручників, а в 1973 р. став співавтором Френсіса Сірса і Марка Земанскі у розробці їхньої відомої книжки. Після їхньої смерті взяв на себе повну відповідальність за нові видання книжки, останнє з яких восьме “Фізика. Університетський курс”.

Професор Янг полюбить лижі, скалолазання і туризм. Кілька років він служив помічником органіста в соборі Св. Павла у Пітсбурзі й виконував численні органні сольні концерти для жителів Пітсбурга. Разом із дружиною Еліс часто подорожує влітку, особливо полюбить Європу і пустельну дику місцевість у штаті Юта, де багато каньйонів.

Роджер Фрідман працює викладачем фізики в Каліфорнійському університеті в Санта-Барбарі. Він пройшов старші курси в Каліфорнійському університеті, в його філіях у Сан-Дієго та Лос-Анджелесі, й виконав дослідження на здобуття наукового ступеня в галузі ядерної фізики у Стенфордському університеті під керівництвом професора Дірка Валечка. Доктор Фрідман прийшов на роботу до університету в Санта-Барбарі в 1981 р. після трьох років праці викладачем і дослідником в університеті Вашингтона.

В університеті в Санта-Барбарі викладає на факультеті фізики і в коледжі творчого навчання (відділення університету, де навчаються особливо обдаровані і активні студенти). Опублікував низку праць із ядерної фізики, фізики елементарних частинок і лазерної фізики. Останні роки допомагав розвивати засоби для викладання основ фізики і астрономії на основі комп'ютерів.

Доктор Фрідман має ліцензію пілота високої кваліфікації й на дозвіллі часто літає разом зі своєю дружиною Кароліною.

Т. Сендін працює професором фізики в А&Т університеті штату Північна Кароліна. Отримав ступінь бакалавра фізики в університеті Санта-Клари, а наукові ступені магістра і доктора філософії в університеті Пурду. Здобув нагороду за досягнення у викладанні від університету Пурду й університету Північної Кароліни. Опублікував наукові статті з фізики твердого тіла за низьких температур, ефекту Месбауера, анізотропії феромагнетиків та викладання фізики, також є автором “Основ сучасної фізики” (видавництво Addison-Wesley).

Льюїс Форд працює професором фізики у Техаському університеті А&М. Ступінь бакалавра отримав в університеті Ріц у 1968 р., ступінь доктора філософії — в Техаському університеті в Остіні у 1972 р. Після року постдокторантури у Гарвардському університеті в 1973 р. прийшов на роботу на фізичний факультет Техаського університету А&М і відтоді там працює.

Професор Форд провадить дослідження у галузі теоретичної атомної фізики, спеціалізуючись на зіткненнях атомів. У Техаському університеті АМ навчав студентів загальних і старших курсів, але переважно викладає вступний курс до фізики.





1

Одиниці вимірювання, фізичні величини і вектори

Космічна станція "Кассіні", запущена у жовтні 1997 року, вийде на орбіту планети Сатурн в 2004 році. Упродовж наступних чотирьох років вона зблизька спостерігатиме за Сатурном, його кільцями, його супутниками. Для успішного втілення цього амбіційного завдання науковці з NASA (Національного управління з аеронавтики та космосу США) повинні знати положення космічної станції та про її рух у трьох напрямках на будь-який момент часу.



Кожного разу місія човникового космічного апарата завершується коротким періодом прямолінійного руху, коли він наближається до остаточної зупинки на злітно-посадковій смозі. Космічний човник не більший за типовий авіалайнер, і приземляється на швидкості понад 350 км/год. Навіть із гальмівним парашутом, швидкісному орбітальному апаратові знадобиться до 3 км для того щоби зупинитися.

2

Прямолінійний рух



3

Рух у двох чи трьох вимірах

Система Глобального Позиціювання (Global Positioning System, GPS) зробила революцію у навігації (визначення місця, у якому ви перебуваєте, у якому напрямку треба рухатися, щоб добратися до місця призначення, і за скільки часу ви туди доберетеся). Ручний модуль GPS, такий як оцей, може визначити власне положення з точністю до кількох метрів, аналізуючи сигнали від кількох супутників GPS на орбіті.

4

Закони руху Ньютона



Для того, щоб вдало відбити м'яч і здобути право обігти всі бази, бейсболісту потрібне інтуїтивне розуміння законів Ньютона. Він має замахнутися биткою так, щоб вдарити по м'ячу з достатньою за величиною та тривалістю силою, і саме у потрібному напрямку. Якщо відбивач зробить все правильно, то м'яч здобуде прискорення і по траєкторії, вигнутій догори, вилетить з поля аж на трибуни.

5

Застосування законів Ньютона



Птах ширяє, використовуючи перший і другий закон Ньютона. Крила штовхають вниз повітря, котре протікає повз птаха, а повітря протидіє, штовхаючи крила догори із силою, яку називають *підйнятною силою*, рівною за величиною і з протилежним напрямком. Під час рівного планування аеродинамічні сили на птаха точно врівноважують сили тяжіння, спрямовані вниз, і таким чином сумарна зовнішня сила, що діє на птаха, дорівнює нулю.

6

Робота і кінетична енергія



Щоб підготувати стрілу до польоту, лучник виконує роботу, тобто докладєє силу на певній дистанції, аби відвести стрілу назад і зігнути лук, натягнути тятиву. Лук виконує роботу над стрілою, коли її відпустять, надаючи стрілі кінетичної енергії, енергії руху. Ця енергія використовується для виконання роботи над мішенню, доки стріла проникатиме у “яблучко”.

7

Потенційна енергія і збереження енергії



В міру падіння води вниз водоспадом гравітаційна потенційна енергія перетворюється на кінетичну енергію (вода набуває швидкості) і на теплову енергію (це проявляється у нагріванні води). Докладні вимірювання показують, що в цьому процесі енергія не втрачається — натомість вона змінює форму.



Between July 16 and July 22, 1994, 23 kilometer-sized fragments of a comet collided with the planet Jupiter. This artist's conception shows the chain of fragments streaming toward the giant planet, as viewed from Jupiter's moon Io. Though the energy released in each impact was equivalent to more than 10^{14} tons of TNT, the fragments had so little momentum compared to Jupiter that there was no noticeable effect on the planet's orbit.

8

КІЛЬКІСТЬ руху,
ІМПУЛЬС
ТА ЗІТКНЕННЯ

9

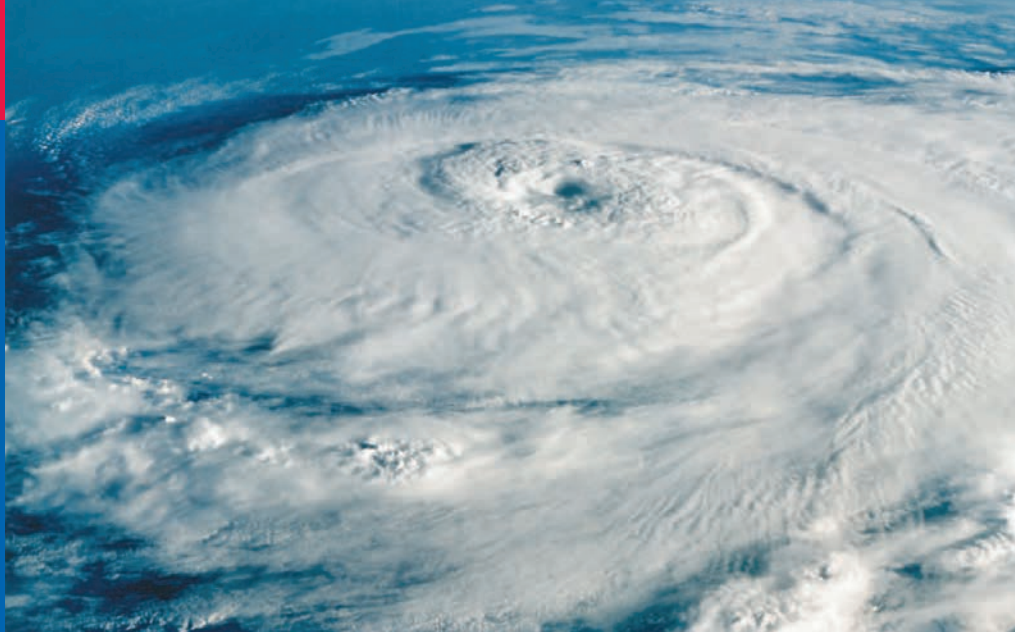
Обертання ТВЕРДИХ ТІЛ



Незалежно від того, де знаходиться ваше місце на атракціоні для катання, який обертається в парку відпочинку, ви рухаєтесь з однаковою кутовою швидкістю і кутовим прискоренням. Однак ваша *лінійна* швидкість і *лінійне* прискорення залежать від вашої відстані до осі обертання. В загальному випадку, чим далі ви перебуваєте від осі обертання, тим більші ваші лінійна швидкість і лінійне прискорення і гучніші розваги.

10

Динаміка обертального руху



Вируючі маси повітря в урагані кружляють і водночас рухаються всередину до зони низького тиску в центрі. В процесі руху повітря досередини його швидкість зростає за законом збереження моменту імпульсу. Як наслідок найбільш інтенсивні та руйнівні вітри спостерігаються безпосередньо біля «ока», безвітряної ділянки в центрі урагану.

12

Гравітація



Велика галактика M31 в сузір'ї Андромеди в поперечному перерізі простягається більше, ніж на 10^{18} км (100 000 світлових років). Вона знаходиться на відстані приблизно 2.9×10^6 світлових років від Землі. Вся матерія в цій галактиці-зорі, туманності, міжзоряний пил та інша речовина не видима на цьому зображенні утримується на орбіті навколо центра галактики завдяки взаємному гравітаційному притяганню.

13

Періодичний рух



Електрична зубна щітка може бути повсякденним прикладом періодичного руху, тобто руху, який повторюється. Щітка, коливаючись, здійснює за 1с 31 000 рухів вгору–вниз, усуваючи при цьому шкідливий наліт на зубах, з яким не може впоратись звичайна ручна зубна щітка. За допомогою такої щітки можна зменшити ймовірність зустрічі ваших зубів з іншим рухомим об'єктом – свердлом дантиста.



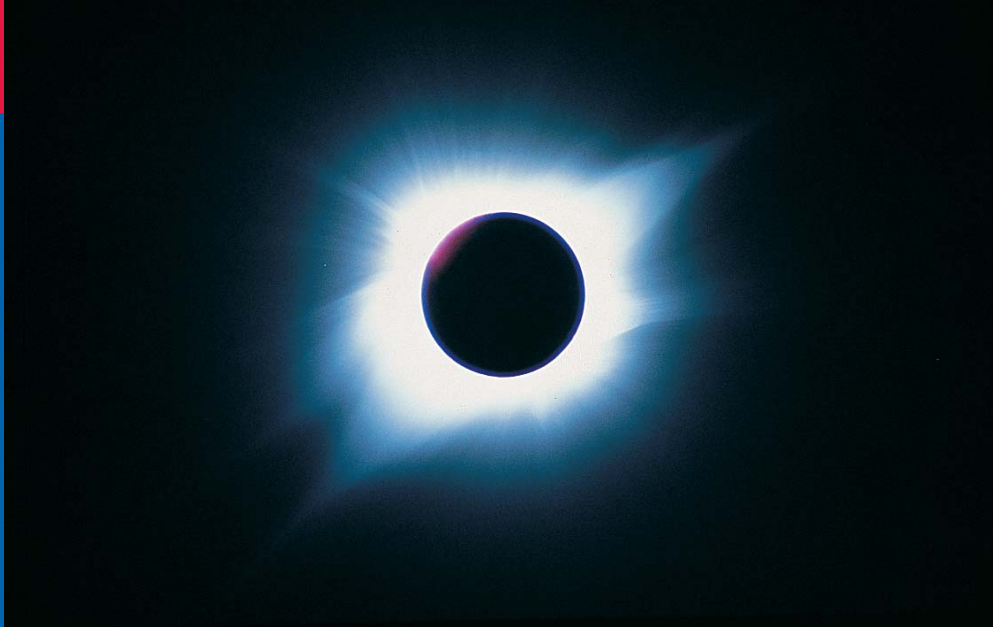
14

Механіка плину

Пляж є чудовим місцем спостережень з механіки рідин і газів у дії. Вода рухається під впливом гравітації і тиску довкілля; течія води змінюється від ламінарної до турбулентної при розбиванні хвиль, а поверхневий натяг спричиняє утворення краплин води з розбитої хвилі.

15

Температура і теплота



Мабуть, найбільш високотемпературною речовиною, яку можна побачити, є зовнішня атмосфера Сонця, чи корона. При температурі близько $2\,000\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($3\,600\,000\text{ }^{\circ}\text{F}$) полум'я корони справді неземне. Проте оскільки корона дуже тонка, її світло досить тьмяне. Ви можете побачити корону лише під час повного сонячного затемнення, коли диск Сонця закрито Місяцем.



16

Теплові властивості речовини

Польоти на повітряних кулях стали можливими завдяки тому, що газ має здатність розширюватись із зростанням температури. Коли газ розширюється настільки, що середня густина кулі, включаючи її оболонку, гондолу та екіпаж, стає така як густина навколишнього повітря, куля злітає. Перший успішний політ повітряної кулі здійснено у 1783 р., більш, ніж на сто років швидше від польоту першого літака.



17

Перший закон термодинаміки

Зображений на малюнку паровоз працює, використовуючи перший закон термодинаміки. При спалюванні у його двигуні дерева або вугілля утворюється теплота, частина якої витрачається на підвищення температури води у двигуні (при цьому вода закипає та перетворюється на пару). Решта енергії використовується для розширення пари, яка виконує роботу та рухає паровоз.



18

Другий закон термодинаміки

Чи може теплота самовільно виділитися з яєчні, при її охолодженні і перейти до сковороди? Енергія у такому процесі зберігатиметься, отже, він дозволений першим законом термодинаміки. Проте все ж процес неможливий, оскільки суперечить *другому* закону термодинаміки: тепло не може самовільно переходити від холоднішого тіла до гарячішого.



19

Механічні ХВИЛІ

Під час землетрусу звістка про цю подію у вигляді сейсмічних хвиль поширюється через тіло Землі. Дослідження таких хвиль дозволяють геофізикам вивчати внутрішню будову Землі, а також передбачати місцезнаходження ймовірної сейсмічної активності.

20

Інтерференція ХВИЛЬ і ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ



Коли ці циркулярні хвилі на поверхні ставка накладаються, то додаються у найпростіший можливий спосіб: те, наскільки сильно вода збурюється у будь-якій точці, є просто сумою збурень від кожної окремої хвилі. Той самий принцип суперпозиції застосовують до хвиль багатьох різних видів, включаючи хвилі на струні і звукові хвилі у трубці.

21

Звук та слух



Людське вухо є неймовірно чутливим інструментом, здатним реєструвати настільки слабкі звуки, що вони зміщують барабанну перетинку лише на мікроскопічну відстань. Але цю чутливість можна зруйнувати надмірно гучними звуками. Надпотужний вплив гучних шумів може знищити волосяні клітини внутрішнього вуха, блокуючи проходження сигналів слуховим нервом від вуха до мозку людини. Захист слуху важливий для кожного працюючого у високошумному середовищі.



22

Електричний заряд і електричне поле

Більшість сил, які діють на водного лижника, є електричними. Електричні взаємодії між сусідніми молекулами створюють силу, з якою вода діє на лижі, тертя в канаті і опір повітря відносно тіла лижника. Вони також утримують вкупі тіло лижника! Єдиною повністю неелектричною силою, яка діє на нього, є сила тяжіння.

23

Закон Гаусса



Закон Гаусса є одним із способів опису поведінки електричних зарядів і полів. Одним із наслідків цього закону є те, що статичні заряди в провіднику розташовані на його поверхні, а не всередині. Саме тому ця дитина набуває електричного заряду, доторкаючись до зарядженої металевої сфери. Заряджені волосинки на голові відштовхуються і стирчать.

23

Закон Гаусса



Закон Гаусса є одним із способів опису поведінки електричних зарядів і полів. Одним із наслідків цього закону є те, що статичні заряди в провіднику розташовані на його поверхні, а не всередині. Саме тому ця дитина набуває електричного заряду, доторкаючись до зарядженої металевої сфери. Заряджені волосинки на голові відштовхуються і стирчать.

24

Електричний потенціал



Блискавка вивільнює величезну кількість електричної потенціальної енергії. Швидкість заряду, який перетікає між хмарою і землею, може сягати 10^5 кулонів за секунду. Електрична потенціальна енергія на один кулон - тобто, електричний потенціал, який вивільнюється у цьому процесі може сягати 10^7 вольт, або 10^7 джоулів на кулон.



25

Ємність і діелектрики

Сенсор в автомобільній захисній повітряній подушці — це конденсатор: дві близько розташовані одна від одної малі металеві пластини з зарядами $+Q$ і $-Q$. Якщо автомобіль раптово зупиняється, задня легка пластина рухається до масивнішої передньої. При цьому ємність пари пластин (відношення Q до різниці потенціалів між пластинами) змінюється. Певна електрична схема реєструє цю зміну і вистрілює повітряною подушкою.



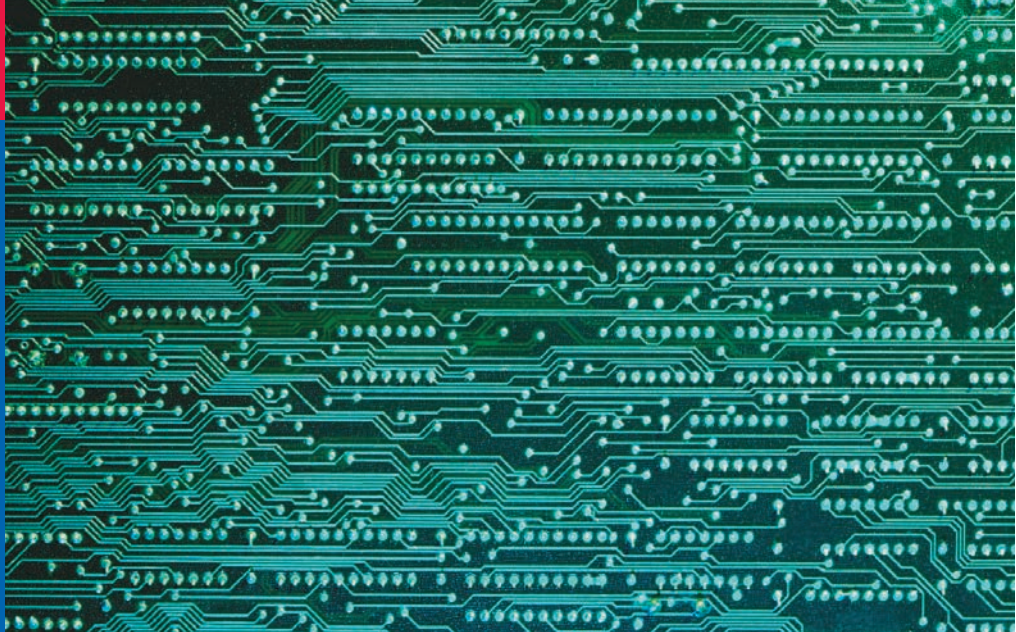
26

Струм, опір і електрорушійна сила

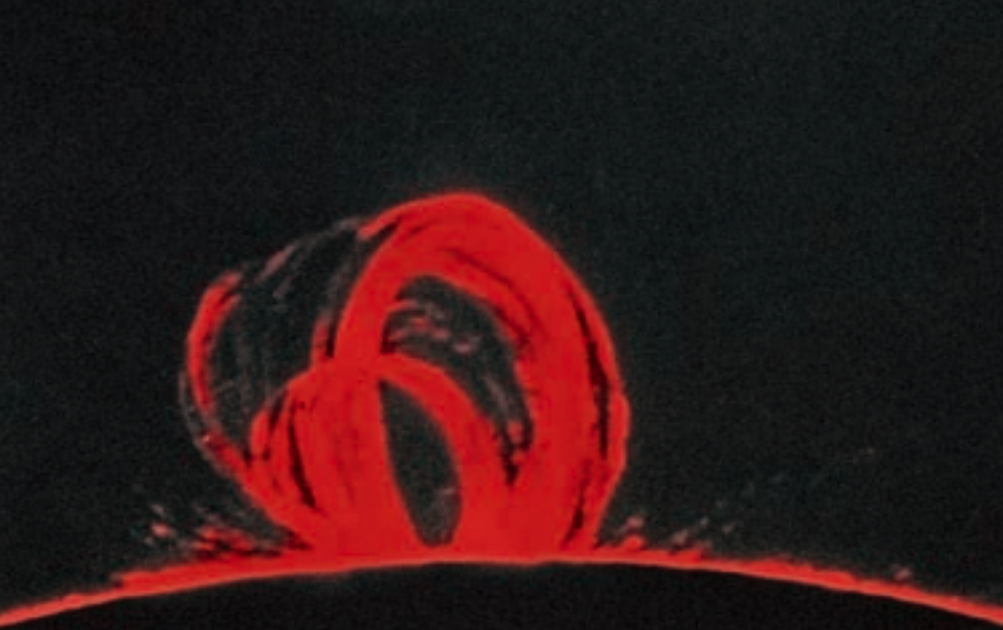
«Пазфайндер-плюс» — безпілотний літак з сонячними (геліотермічними) двигунами. Сонячні батареї на його 36-метрових крилах, забезпечують двигуни більше ніж 12-ма кіловатами електроенергії, що достатньо для підймання літака на 24 тис. метрів і цілоденного продовження польоту. У майбутньому, сонячний літак з бортовим накопичувачем енергії перебуватиме в повітрі тижнями з метою дослідження довкілля або для зв'язку.

27

Кола постійного струму



Складні кола є основою усіх сучасних електронних приладів. Провідні доріжки у цих друкованих схемах є тонкими плівками (показані блакитно-зеленим), осадженими на ізолюючій платі. Роботу будь-якого з цих кіл, незалежно від рівня складності, можна зрозуміти, застосовуючи правила Кірхгофа – центральну тему цього розділу.



Магнетне поле Сонця у тисячі разів сильніше за земне. Часом лінії цього поля утворюють петлі, які простягаються над сонячною поверхнею майже на 100000 км. Сили магнетного поля діють на іони газів у гарячій атмосфері Сонця, зумовлюючи спіральний рух іонів навколо ліній поля і створюючи величезні арки розжареного газу - сонячні протуберанці.

28

Магнетне поле і магнетні сили



29

Джерела магнітного поля

Медична діагностична техніка, названа магнітно-резонансною візуалізацією (MRI), вимагає, щоб пацієнт перебував у сильному магнітному полі. У перших MRI приладах для створення цього поля використовували соленоїд. У новіших приладах застосовують дві великі котушки, розміщені над і під пацієнтом, або в ногах і голові. Така "відкрита" конструкція забезпечує пацієнту набагато менші клаустрофобні відчуття.



30

Електромагнетна індукція

Номер кредитної картки, термін дії і прізвище власника картки кодують у магнетному записі на звороті смужки. Коли картку протягують через пристрій зчитування, рухома смужка занурює схеми зчитувача у змінне магнетне поле, яке індукує у схемах струми. Ці струми передають інформацію зі стрічки в банк власника кредитної картки.



31

ІНДУКТИВНІСТЬ

Цей електромобіль заряджається від лінії 220 В. Але між зарядним кабелем і електропроводкою автомобіля немає фізичного контакту. Натомість використовується взаємоіндукція. Змінний струм у зарядному кабелі створює змінне у часі магнетне поле, яке індукує струм у електропроводці автомобіля. Цей індукований струм перезаряджає автомобільні акумулятори.



32

Змінний струм

Щоб настроїти радіо у цьому антикварному автомобілі, ви повертаєте ручку, що регулює змінну ємність. Це, своєю чергою, змінює резонансну частоту цього радіо, яка залежить від ємності, а також індуктивності і опору. Коли резонансна частота збігається з частотою необхідної радіостанції, тоді від цієї станції приходять сильні і чіткі сигнали.



33

Електромагнетні хвилі

The cellular phone has revolutionized personal communications for millions of people around the world. Like any mobile radio, a cellular phone transmits and receives electromagnetic waves. Typical cellular phones transmit at frequencies between 824.04 and 848.97 megahertz (MHz) and receive at frequencies between 869.04 and 893.07 MHz.



Коли біле світло проходить через скляну призму, то виникає веселка кольорів. Ісаак Ньютон був першим, хто показав, що призми не забарвлюють біле світло, а лише примушують світло різних кольорів відхилитися під різними кутами. Це явище називається дисперсією, і є властивістю скла та інших прозорих середовищ.

34

Природа і поширення світла



35

Геометрична оптика

Промені світла відхиляються, коли входять або виходять зі склянки з водою. У результаті така склянка відіграє роль циліндричної лінзи, яка створює зображення цього кота. В усіх видах лінз для утворення зображень використовують цей принцип. Зображення також може утворюватися внаслідок відбиття світла від викривлених відповідним чином дзеркал.

36

Оптичні прилади



Виявляється, що один із найбільших оптичних приладів у світі знаходиться на вершині 4300 м погаслого вулкана Мауна Кеа, на Гавайях, і зображення неба тут є виключно чистим. На відміну від попереднього покоління телескопів, які використовували лінзи, цей телескоп, щоб донести світло від віддалених об'єктів до фокуса, застосовує викривлені дзеркала.

37

Інтерференція



У штаті Нью Мексико розташований надзвичайно великий комплекс, який складається з 27 радіотелескопів. Внаслідок того що телескопи розміщені на дещо різних відстанях від спостережуваних об'єктів, то між отриманими від різних телескопів сигналами існують різниці фаз. Ці різниці створюють інтерференційну картину, декодування якої дозволяє визначити структуру досліджуваних об'єктів.



38

Дифракція

Дифракція – це огинання хвиль навколо перешкоди або під час проходження через отвір, явище, яке допомагає Вам слухати викладача в той час, коли він повернутий обличчям від слухача. Звукові хвилі мовлення мають велику довжину хвилі (приблизно 1м) і можуть легко огинати голову лектора. На відміну від них світлові хвилі мають дуже короткі довжини хвиль і дуже слабо піддаються дифракції. Відповідно, Ви не можете бачити, як вони огинають його голову.

39

Теорія ВІДНОСНОСТІ

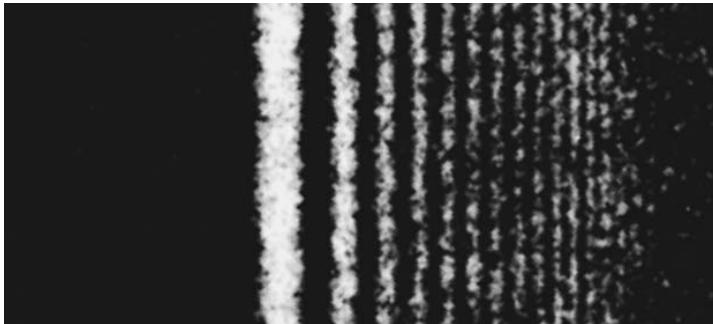
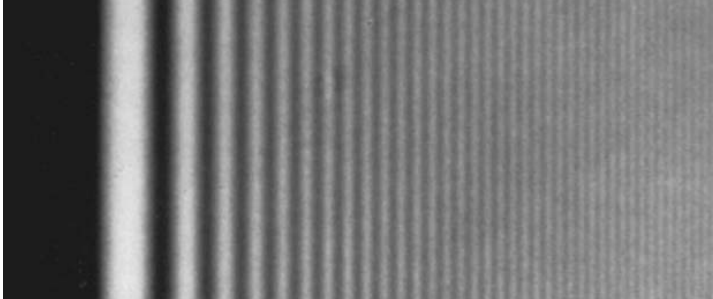
Ця світна куля – квазар – перебуває на відстані близько 2 мільярдів світлових років від Землі. Внизу праворуч від квазара бачимо яскравий викид (показано в квадратику) довжиною приблизно 200000 світлових років. Цей викид (його ще називають струменем або джетом) є згустком речовини квазара, яка була викинута з нього зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Для опису цього руху потрібно використовувати спеціальну теорію відносності.



40

Фотони, електрони та атоми

Незважаючи на те, зображена на рисунку хмара газу, випромінююча яскраве світло, знаходиться від нас на відстані 5000 світлових років, ми можемо впевнено сказати, що вона в основному складається з водню. Підставою для нашої впевненості служить специфічний червоний колір газу, характерний для випромінювання одного лише нагрітого водню. Своїми намаганнями зрозуміти спектр водню, фізики 20 століття докорінно змінили наші уявлення про те, що являє собою світло і що являють собою атоми.



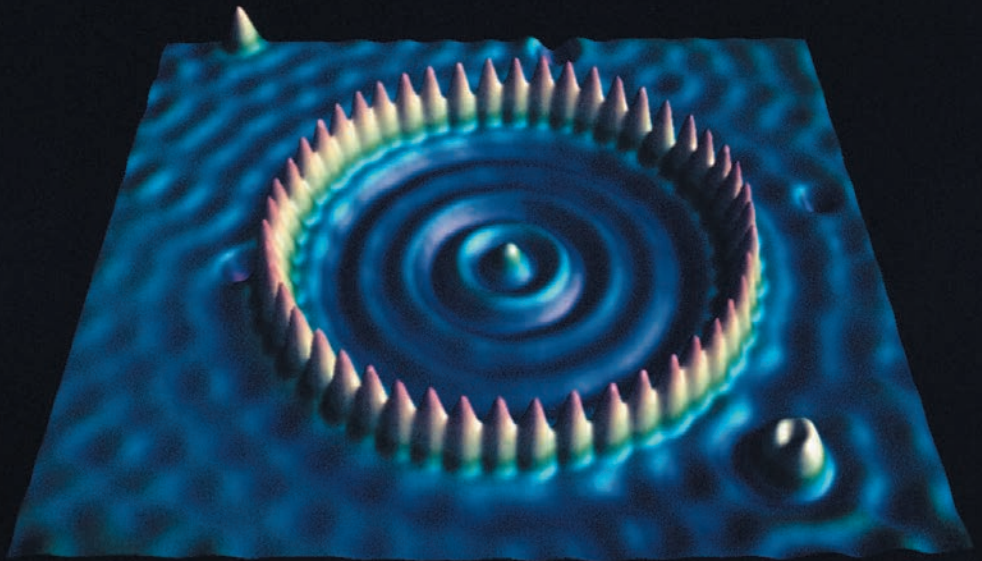
Здавалось би, що на обох зображеннях показана дифракційна картина, яка утворюється при освітленні різкого краю екрану (дивись рис.38-2). Дійсно, верхнє зображення отримане саме таким чином. Однак нижнє зображення було утворене пучком електронів, направленим на різкий край екрану. Цей експеримент, як і багато інших, показують, що електрони та інші частинки зазнають дифракції, тобто, поведуться подібно до хвиль.

41

Хвильова природа частинок

42

Квантова механіка



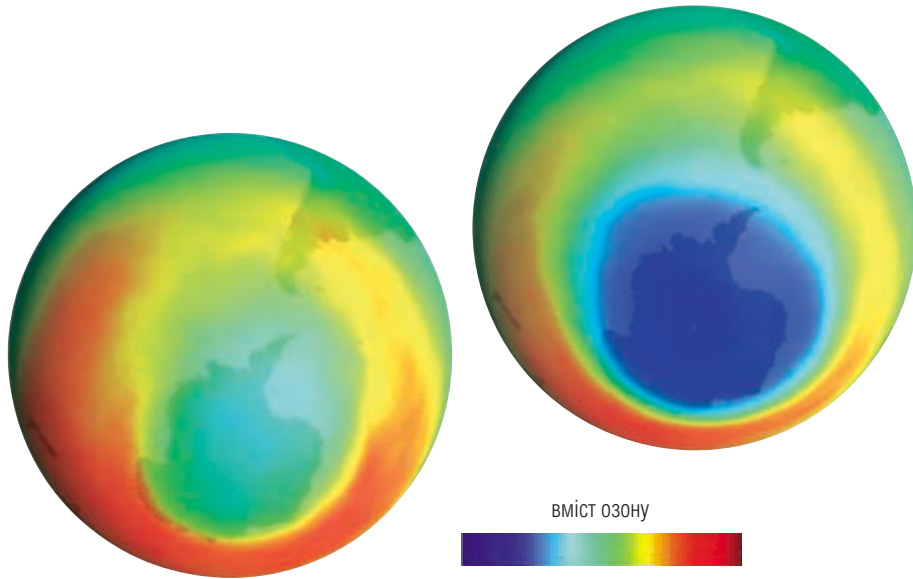
Зображення поверхні мідної монети, створене скануючим тунельним мікроскопом (СТМ), є графічною ілюстрацією хвильової природи електронів. Висота кожної точки зображення вказує на густину електронів в цій точці. Сорок вісім атомів заліза (показані жовтими піками) були розтавлені по колу на поверхні. Електрони в центрі кола утворюють чіткий візерунок стоячої хвилі.

43

Атомна структура



Чому морська вода така солонa ? Іншими словами, чому сіль так добре розчиняється у воді ? Відповідь на поставлені питання визначається електронною структурою атомів натрію та хлору, з яких складаються молекули солі. Натрій може легко втрачати один зі своїх електронів, утворюючи йон Na^+ , в той час, як хлор з подібною легкістю утворює йон Cl^- , приєднуючи додатковий електрон. Утворені йони притягаються полярними кінцями молекул води, що і створює необхідні умови для існування йонного розчину.



Молекули озону (O_3) поглинають ультрафіолетове випромінювання, тоді як молекули кисню (O_2) такої властивості не мають. Ультрафіолетове випромінювання Сонця надзвичайно шкідливе для живих істот, тому велику стурбованість викликає втрата озону в атмосфері Землі, спричинена створеними людиною хімічними речовинами. Наведені зображення демонструють зменшення вмісту озону в атмосфері над Антарктикою в період між 1979 (ліворуч) і 1998 (праворуч) роками.

44

Молекули і
конденсована
речовина



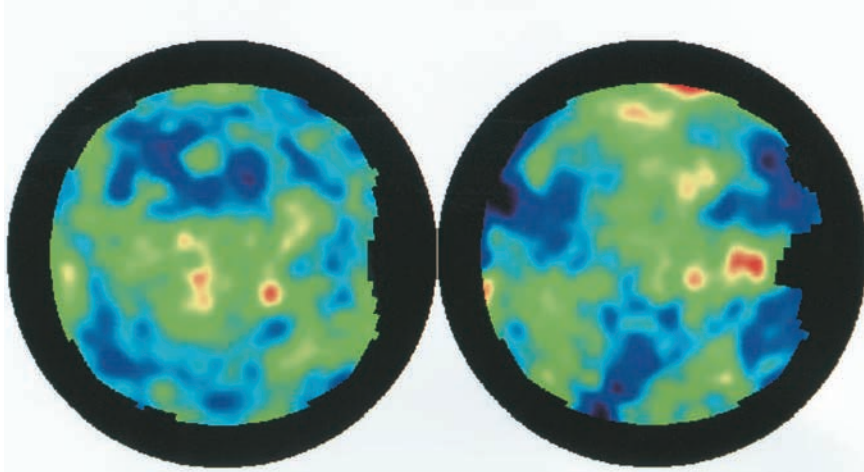
45

Ядерна фізика

За допомогою методів радіоактивного датування за ізотопами вчені встановили, що вік цієї насінини культивованого гарбуза, однієї з кількох, знайдених в печері на території Мексики, складає 8000 - 10000 років. Це відкриття є свідченням того, що сільське господарство на території Америки почало розвиватись не пізніше, ніж в Європі і Азії. Це лише один з прикладів того, яким цінним інструментом для археології виступає ядерна фізика.

46

Фізика елементарних частинок і КОСМОЛОГІЯ



Північна півсфера Галактики

Південна півсфера Галактики

-100 мкК



+100 мкК

З чого все почалося? Відповідь може дати ця карта неба в штучних кольорах, яка отримана у діапазоні мікрохвильового випромінювання. Випромінювання сталося через 300 000 років після Великого вибуху, коли ще не було ні зірок, ні галактик. Області показані синім кольором були трохи холоднішими і густішими, ніж їх оточення. Вважається, що галактики, включаючи нашу галактику Чумацький шлях, сформувалися всередині цих областей.