



Universidad Nacional de Río Negro

Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2017

- **Unidad** 04 – Cosmología
- **Clase** UO4C02 – 15
- **Fecha** 21 Nov 2017
- **Cont** Universo en expansión
- **Cátedra** Asorey
- **Web**
github.com/asoreyh/unrn-ipac
www.facebook.com/fisicareconocida/



Contenidos: un viaje en el tiempo

HOW DID OUR UNIVERSE BEGIN?

Some 13.8 billion years ago our entire visible universe was contained in an unimaginably hot, dense point, a billion times the size of a nuclear particle. Since then it has expanded—a lot—fighting gravity all the way.

Inflation
In less than a nanosecond a repulsive energy field inflates space exponentially until it's a soup of subatomic particles called quarks.

Age: 10^{-3} milliseconds
Size: Infinitesimal to golf ball

Early building blocks
The universe expands, cools. Quarks clump into protons and neutrons; then strings of hydrogen atoms form. Perhaps dark matter forms.

Age: .01 milliseconds
Size: 1-millionth present size

First nuclei
As the universe continues to cool, the lightest nuclei of hydrogen and helium arise. A thick fog of particles blocks all light.

.01 to 200 seconds
Size: 1-billionth present size

First atoms, first light
As electrons begin orbiting nuclei, creating atoms, the glow from their infalling orbits is unveiled. This light is as far back as our instruments can see.

.0009 years
Size: .0009 present size

The "dark ages"
For 300 million years this combination of density and temperature is the only light. Clumps of dark matter that will become galaxies glow brightest.

.0009 to 300 million years
Size: .01 present size

Gravity wins: first stars
Dense gas clouds collapse under their own gravity. Clumps of dark matter that didn't fragment form galaxies and stars. Star fusion lights up the stars.

.01 to 300 years
Size: .01 present size

Antigravity wins
After being slowed for billions of years, gravity, cosmic expansion accelerates again. The culprit: dark energy. Its nature: unclear.

10 billion years
Size: .77 present size

Today
The universe continues to expand, becoming ever less dense. As a result, fewer new stars and galaxies are forming.

13.8 billion years
Size: Present size

**Unidades 3 y 4
Cosmología**

COSMIC QUESTIONS

In the 20th century the universe became a story—a scientific one. It had always been seen as static and eternal. Then astronomers observed other galaxies flying away from ours, and Einstein's general relativity theory implied space itself was expanding—which meant the universe had once been denser. What had seemed eternal now had a beginning and an end. But what beginning? What end? Those questions are still open.

WHAT IS OUR UNIVERSE MADE OF?

Stars, dust, and gas—the stuff we can discern—make up less than 5 percent of the universe. Their gravity can't account for how galaxies hold together. Scientists figure about 23 percent of the universe is a mysterious dark matter—perhaps exotic particles formed right after inflation. The rest is dark energy, an unknown energy field or property of space that counters gravity, providing an explanation for observations that the expansion of space is accelerating.

The Universe

71.5%	Dark energy
24%	Dark matter
4%	Gas
0.5%	Planets and stars

WHAT IS THE SHAPE OF OUR UNIVERSE?

Einstein discovered that a star's gravity curves space around it. But is the whole universe curved? Might space close up on itself like a sphere or curve the other way, opening out like a saddle? By studying cosmic background radiation, scientists have found that the universe is poised between the two: just dense enough with just enough gravity to be almost perfectly flat, at least the part we can see. What lies beyond we can't know.

Observable Universe
The universe began 13.8 billion years ago. Because it has been expanding ever since, the farthest observing edge is now 47 billion light-years.

The Unknown Beyond
What we can't see, possible shapes are:

- Sphere
- Saddle
- Flat

**Unidad 2
Astrofísica
Cálido y frío**

DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has quantum energy fluctuations. Inflation theory says our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea of others just like ours—or nothing like ours. These other cosmos will very likely remain forever inaccessible to observation, their possibilities limited only by our imagination.

**Unidad 1
Partículas 1
todo es relativo**

HOW WILL IT END?

Which will win in the end, gravity or antigravity? Is the density of matter enough for gravity to halt or even reverse cosmic expansion, leading to a big crunch? It seems unlikely—especially given the power of dark energy, a kind of antigravity. Perhaps the acceleration in expansion caused by dark energy will trigger a big rip that shreds everything, from galaxies to atoms. If not, the universe may expand for hundreds of billions of years, long after all stars have died.

Big crunch
Big rip
Infinite expansion
Galaxies ripped apart by rapid expansion

**Unidad 1
Partículas 1
todo es relativo**

**Unidad 2
Astrofísica
Cálido y frío**

**Unidad 3 y 4
Cosmología**

**Unidad 5
Física de la Tierra**

**Unidad 6
Geología**

**Unidad 7
Ecosistemas**

**Unidad 8
Biodiversidad**

**Unidad 9
Medioambiente**

**Unidad 10
Sustentabilidad**

**Unidad 11
Energía**

**Unidad 12
Recursos naturales**

**Unidad 13
Desastres naturales**

**Unidad 14
Tecnología**

**Unidad 15
Innovación**

**Unidad 16
Futuro**

**Unidad 17
Resumen**

**Unidad 18
Glosario**

**Unidad 19
Referencias**

**Unidad 20
Agradecimientos**

**Unidad 21
Autoevaluación**

**Unidad 22
Práctica final**

**Unidad 23
Soluciones**

**Unidad 24
Soluciones**

**Unidad 25
Soluciones**

**Unidad 26
Soluciones**

**Unidad 27
Soluciones**

**Unidad 28
Soluciones**

**Unidad 29
Soluciones**

**Unidad 30
Soluciones**

**Unidad 31
Soluciones**

**Unidad 32
Soluciones**

**Unidad 33
Soluciones**

**Unidad 34
Soluciones**

**Unidad 35
Soluciones**

**Unidad 36
Soluciones**

**Unidad 37
Soluciones**

**Unidad 38
Soluciones**

**Unidad 39
Soluciones**

**Unidad 40
Soluciones**

**Unidad 41
Soluciones**

**Unidad 42
Soluciones**

**Unidad 43
Soluciones**

**Unidad 44
Soluciones**

**Unidad 45
Soluciones**

**Unidad 46
Soluciones**

**Unidad 47
Soluciones**

**Unidad 48
Soluciones**

**Unidad 49
Soluciones**

**Unidad 50
Soluciones**

**Unidad 51
Soluciones**

**Unidad 52
Soluciones**

**Unidad 53
Soluciones**

**Unidad 54
Soluciones**

**Unidad 55
Soluciones**

**Unidad 56
Soluciones**

**Unidad 57
Soluciones**

**Unidad 58
Soluciones**

**Unidad 59
Soluciones**

**Unidad 60
Soluciones**

**Unidad 61
Soluciones**

**Unidad 62
Soluciones**

**Unidad 63
Soluciones**

**Unidad 64
Soluciones**

**Unidad 65
Soluciones**

**Unidad 66
Soluciones**

**Unidad 67
Soluciones**

**Unidad 68
Soluciones**

**Unidad 69
Soluciones**

**Unidad 70
Soluciones**

**Unidad 71
Soluciones**

**Unidad 72
Soluciones**

**Unidad 73
Soluciones**

**Unidad 74
Soluciones**

**Unidad 75
Soluciones**

**Unidad 76
Soluciones**

**Unidad 77
Soluciones**

**Unidad 78
Soluciones**

**Unidad 79
Soluciones**

**Unidad 80
Soluciones**

**Unidad 81
Soluciones**

**Unidad 82
Soluciones**

**Unidad 83
Soluciones**

**Unidad 84
Soluciones**

**Unidad 85
Soluciones**

**Unidad 86
Soluciones**

**Unidad 87
Soluciones**

**Unidad 88
Soluciones**

**Unidad 89
Soluciones**

**Unidad 90
Soluciones**

**Unidad 91
Soluciones**

**Unidad 92
Soluciones**

**Unidad 93
Soluciones**

**Unidad 94
Soluciones**

**Unidad 95
Soluciones**

**Unidad 96
Soluciones**

**Unidad 97
Soluciones**

**Unidad 98
Soluciones**

**Unidad 99
Soluciones**

**Unidad 100
Soluciones**

**Unidad 101
Soluciones**

**Unidad 102
Soluciones**

**Unidad 103
Soluciones**

**Unidad 104
Soluciones**

**Unidad 105
Soluciones**

**Unidad 106
Soluciones**

**Unidad 107
Soluciones**

**Unidad 108
Soluciones**

**Unidad 109
Soluciones**

**Unidad 110
Soluciones**

**Unidad 111
Soluciones**

**Unidad 112
Soluciones**

**Unidad 113
Soluciones**

**Unidad 114
Soluciones**

**Unidad 115
Soluciones**

**Unidad 116
Soluciones**

**Unidad 117
Soluciones**

**Unidad 118
Soluciones**

**Unidad 119
Soluciones**

**Unidad 120
Soluciones**

**Unidad 121
Soluciones**

**Unidad 122
Soluciones**

**Unidad 123
Soluciones**

**Unidad 124
Soluciones**

**Unidad 125
Soluciones**

**Unidad 126
Soluciones**

**Unidad 127
Soluciones**

**Unidad 128
Soluciones**

**Unidad 129
Soluciones**

**Unidad 130
Soluciones**

**Unidad 131
Soluciones**

**Unidad 132
Soluciones**

**Unidad 133
Soluciones**

**Unidad 134
Soluciones**

**Unidad 135
Soluciones**

**Unidad 136
Soluciones**

**Unidad 137
Soluciones**

**Unidad 138
Soluciones**

**Unidad 139
Soluciones**

**Unidad 140
Soluciones**

**Unidad 141
Soluciones**

**Unidad 142
Soluciones**

**Unidad 143
Soluciones**

**Unidad 144
Soluciones**

**Unidad 145
Soluciones**

**Unidad 146
Soluciones**

**Unidad 147
Soluciones**

**Unidad 148
Soluciones**

**Unidad 149
Soluciones**

**Unidad 150
Soluciones**

**Unidad 151
Soluciones**

**Unidad 152
Soluciones**

**Unidad 153
Soluciones**

**Unidad 154
Soluciones**

**Unidad 155
Soluciones**

**Unidad 156
Soluciones**

**Unidad 157
Soluciones**

**Unidad 158
Soluciones**

**Unidad 159
Soluciones**

**Unidad 160
Soluciones**

**Unidad 161
Soluciones**

**Unidad 162
Soluciones**

**Unidad 163
Soluciones**

**Unidad 164
Soluciones**

**Unidad 165
Soluciones**

**Unidad 166
Soluciones**

**Unidad 167
Soluciones**

**Unidad 168
Soluciones**

**Unidad 169
Soluciones**

**Unidad 170
Soluciones**

**Unidad 171
Soluciones**

**Unidad 172
Soluciones**

**Unidad 173
Soluciones**

**Unidad 174
Soluciones**

**Unidad 175
Soluciones**

**Unidad 176
Soluciones**

**Unidad 177
Soluciones**

**Unidad 178
Soluciones**

**Unidad 179
Soluciones**

**Unidad 180
Soluciones**

**Unidad 181
Soluciones**

**Unidad 182
Soluciones**

**Unidad 183
Soluciones**

**Unidad 184
Soluciones**

**Unidad 185
Soluciones**

**Unidad 186
Soluciones**

**Unidad 187
Soluciones**

**Unidad 188
Soluciones**

**Unidad 189
Soluciones**

**Unidad 190
Soluciones**

**Unidad 191
Soluciones**

**Unidad 192
Soluciones**

**Unidad 193
Soluciones**

**Unidad 194
Soluciones**

**Unidad 195
Soluciones**

**Unidad 196
Soluciones**

**Unidad 197
Soluciones**

**Unidad 198
Soluciones**

**Unidad 199
Soluciones**

**Unidad 200
Soluciones**

**Unidad 201
Soluciones**

**Unidad 202
Soluciones**

**Unidad 203
Soluciones**

**Unidad 204
Soluciones**

**Unidad 205
Soluciones**

**Unidad 206
Soluciones**

**Unidad 207
Soluciones**

**Unidad 208
Soluciones**

**Unidad 209
Soluciones**

**Unidad 210
Soluciones**

**Unidad 211
Soluciones**

**Unidad 212
Soluciones**

**Unidad 213
Soluciones**

**Unidad 214
Soluciones**

**Unidad 215
Soluciones**

**Unidad 216
Soluciones**

**Unidad 217
Soluciones**

**Unidad 218
Soluciones**

**Unidad 219
Soluciones**

**Unidad 220
Soluciones**

**Unidad 221
Soluciones**

**Unidad 222
Soluciones**

**Unidad 223
Soluciones**

**Unidad 224
Soluciones**

**Unidad 225
Soluciones**

**Unidad 226
Soluciones**

**Unidad 227
Soluciones**

**Unidad 228
Soluciones**

**Unidad 229
Soluciones**

**Unidad 230
Soluciones**

**Unidad 231
Soluciones**

**Unidad 232
Soluciones**

**Unidad 233
Soluciones**

**Unidad 234
Soluciones**

**Unidad 235
Soluciones**

**Unidad 236
Soluciones**

**Unidad 237
Soluciones**

**Unidad 238
Soluciones**

**Unidad 239
Soluciones**

**Unidad 240
Soluciones**

**Unidad 241
Soluciones**

**Unidad 242
Soluciones**

**Unidad 243
Soluciones**

**Unidad 244
Soluciones**

**Unidad 245
Soluciones**

**Unidad 246
Soluciones**

**Unidad 247
Soluciones**

**Unidad 248
Soluciones**

**Unidad 249
Soluciones**

**Unidad 250
Soluciones**

**Unidad 251
Soluciones**

**Unidad 252
Soluciones**

**Unidad 253
Soluciones**

**Unidad 254
Soluciones**

**Unidad 255
Soluciones**

**Unidad 256
Soluciones**

**Unidad 257
Soluciones**

**Unidad 258
Soluciones**

**Unidad 259
Soluciones**

**Unidad 260
Soluciones**

**Unidad 261
Soluciones**

**Unidad 262
Soluciones**

**Unidad 263
Soluciones**

**Unidad 264
Soluciones**

**Unidad 265
Soluciones**

**Unidad 266
Soluciones**

**Unidad 267
Soluciones**

**Unidad 268
Soluciones**

**Unidad 269
Soluciones**

**Unidad 270
Soluciones**

**Unidad 271
Soluciones**

**Unidad 272
Soluciones**

**Unidad 273
Soluciones**

**Unidad 274
Soluciones**

**Unidad 275
Soluciones**

**Unidad 276
Soluciones**

**Unidad 277
Soluciones**

**Unidad 278
Soluciones**

**Unidad 279
Soluciones**

**Unidad 280
Soluciones**

**Unidad 281
Soluciones**

**Unidad 282
Soluciones**

**Unidad 283
Soluciones**

**Unidad 284
Soluciones**

**Unidad 285
Soluciones**

**Unidad 286
Soluciones**

**Unidad 287
Soluciones**

**Unidad 288
Soluciones**

**Unidad 289
Soluciones**

**Unidad 290
Soluciones**

**Unidad 291
Soluciones**

**Unidad 292
Soluciones**

**Unidad 293
Soluciones**

**Unidad 294
Soluciones**

**Unidad 295
Soluciones**

**Unidad 296
Soluciones**

**Unidad 297
Soluciones**

**Unidad 298
Soluciones**

**Unidad 299
Soluciones**

**Unidad 300
Soluciones**

**Unidad 301
Soluciones**

**Unidad 302
Soluciones**

**Unidad 303
Soluciones**

**Unidad 304
Soluciones**

**Unidad 305
Soluciones**

**Unidad 306
Soluciones**

**Unidad 307
Soluciones**

**Unidad 308
Soluciones**

**Unidad 309
Soluciones**

**Unidad 310
Soluciones**

**Unidad 311
Soluciones**

**Unidad 312
Soluciones**

**Unidad 313
Soluciones**

**Unidad 314
Soluciones**

**Unidad 315
Soluciones**

**Unidad 316
Soluciones**

**Unidad 317
Soluciones**

**Unidad 318
Soluciones**

**Unidad 319
Soluciones**

**Unidad 320
Soluciones**

**Unidad 321
Soluciones**

**Unidad 322
Soluciones**

**Unidad 323
Soluciones**

**Unidad 324
Soluciones**

**Unidad 325
Soluciones**

**Unidad 326
Soluciones**

**Unidad 327
Soluciones**

**Unidad 328
Soluciones**

**Unidad 329
Soluciones**

**Unidad 330
Soluciones**

**Unidad 331
Soluciones**

**Unidad 332
Soluciones**

**Unidad 333
Soluciones**

**Unidad 334
Soluciones**

**Unidad 335
Soluciones**

**Unidad 336
Soluciones**

**Unidad 337
Soluciones**

**Unidad 338
Soluciones**

**Unidad 339
Soluciones**

**Unidad 340
Soluciones**

**Unidad 341
Soluciones**

**Unidad 342
Soluciones**

**Unidad 343
Soluciones**

**Unidad 344
Soluciones**

**Unidad 345
Soluciones**

**Unidad 346
Soluciones**

**Unidad 347
Soluciones**

**Unidad 348
Soluciones**

**Unidad 349
Soluciones**

**Unidad 350
Soluciones**

**Unidad 351
Soluciones**

**Unidad 352
Soluciones**

**Unidad 353
Soluciones**

**Unidad 354
Soluciones**

**Unidad 355
Soluciones**

**Unidad 356
Soluciones**

**Unidad 357
Soluciones**

**Unidad 358
Soluciones**

**Unidad 359
Soluciones**

**Unidad 360
Soluciones**

**Unidad 361
Soluciones**

**Unidad 362
Soluciones**

**Unidad 363
Soluciones**

**Unidad 364
Soluciones**

**Unidad 365
Soluciones**

**Unidad 366
Soluciones**

**Unidad 367
Soluciones**

**Unidad 368
Soluciones**

**Unidad 369
Soluciones**

**Unidad 370
Soluciones**

**Unidad 371
Soluciones**

**Unidad 372
Soluciones**

**Unidad 373
Soluciones**

**Unidad 374
Soluciones**

**Unidad 375
Soluciones**

**Unidad 376
Soluciones**

**Unidad 377
Soluciones**

**Unidad 378
Soluciones**

**Unidad 379
Soluciones**

**Unidad 380
Soluciones**

**Unidad 381
Soluciones**

**Unidad 382
Soluciones**

**Unidad 383
Soluciones**

**Unidad 384
Soluciones**

**Unidad 385
Soluciones**

**Unidad 386
Soluciones**

**Unidad 387
Soluciones**

**Unidad 388
Soluciones**

**Unidad 389
Soluciones**

**Unidad 390
Soluciones**

**Unidad 391
Soluciones**

**Unidad 392
Soluciones**

**Unidad 393
Soluciones**

**Unidad 394
Soluciones**

**Unidad 395
Soluciones**

**Unidad 396
Soluciones**

**Unidad 397
Soluciones**

**Unidad 398
Soluciones**

**Unidad 399
Soluciones**

**Unidad 400
Soluciones**

**Unidad 401
Soluciones**

**Unidad 402
Soluciones**

**Unidad 403
Soluciones**

**Unidad 404
Soluciones**

**Unidad 405
Soluciones**

**Unidad 406
Soluciones**

**Unidad 407
Soluciones**

**Unidad 408
Soluciones**

**Unidad 409
Soluciones**

**Unidad 410
Soluciones**

**Unidad 411
Soluciones**

**Unidad 412
Soluciones**

**Unidad 413
Soluciones**

**Unidad 414
Soluciones**

**Unidad 415
Soluciones**

**Unidad 416
Soluciones**

**Unidad 417
Soluciones**

**Unidad 418
Soluciones**

**Unidad 419
Soluciones**

**Unidad 420
Soluciones**

**Unidad 421
Soluciones**

**Unidad 422
Soluciones**

**Unidad 423
Soluciones**

**Unidad 424
Soluciones**

**Unidad 425
Soluciones**

**Unidad 426
Soluciones**

**Unidad 427
Soluciones**

**Unidad 428
Soluciones**

**Unidad 429
Soluciones**

**Unidad 430
Soluciones**

**Unidad 431
Soluciones**

**Unidad 432
Soluciones**

**Unidad 433
Soluciones**

**Unidad 434
Soluciones**

**Unidad 435
Soluciones**

**Unidad 436
Soluciones**

**Unidad 437
Soluciones**

**Unidad 438
Soluciones**

**Unidad 439
Soluciones**

**Unidad 440
Soluciones**

**Unidad 441
Soluciones**

**Unidad 442
Soluciones**

**Unidad 443
Soluciones**

**Unidad 444
Soluciones**

**Unidad 445
Soluciones**

**Unidad 446
Soluciones**

**Unidad 447
Soluciones**

**Unidad 448
Soluciones**

**Unidad 449
Soluciones**

**Unidad 450
Soluciones**

**Unidad 451
Soluciones**

**Unidad 452
Soluciones**

**Unidad 453
Soluciones**

**Unidad 454
Soluciones**

**Unidad 455
Soluciones**

**Unidad 456
Soluciones**

**Unidad 457
Soluciones**

**Unidad 458
Soluciones**

**Unidad 459
Soluciones**

**Unidad 460
Soluciones**

**Unidad 461
Soluciones**

**Unidad 462
Soluciones**

**Unidad 463
Soluciones**

**Unidad 464
Soluciones**

**Unidad 465
Soluciones**

**Unidad 466
Soluciones**

**Unidad 467
Soluciones**

**Unidad 468
Soluciones**

**Unidad 469
Soluciones**

**Unidad 470
Soluciones**

**Unidad 471
Soluciones**

**Unidad 472
Soluciones**

**Unidad 473
Soluciones**

**Unidad 474
Soluciones**

**Unidad 475
Soluciones**

**Unidad 476
Soluciones**

**Unidad 477
Soluciones**

**Unidad 478
Soluciones**

**Unidad 479
Soluciones**

**Unidad 480
Soluciones**

**Unidad 481
Soluciones**

**Unidad 482
Soluciones**

**Unidad 483
Soluciones**

**Unidad 484
Soluciones**

**Unidad 485
Soluciones**

**Unidad 486
Soluciones**

**Unidad 487
Soluciones**

**Unidad 488
Soluciones**

**Unidad 489
Soluciones**

**Unidad 490
Soluciones**

**Unidad 491
Soluciones**

**Unidad 492
Soluciones**

**Unidad 493
Soluciones**

**Unidad 494
Soluciones**

**Unidad 495
Soluciones**

**Unidad 496
Soluciones**

**Unidad 497
Soluciones**

**Unidad 498
Soluciones**

**Unidad 499
Soluciones**

**Unidad 500
Soluciones**

**Unidad 501
Soluciones**

**Unidad 502
Soluciones**

**Unidad 503
Soluciones**

**Unidad 504
Soluciones**

**Unidad 505
Soluciones**

**Unidad 506
Soluciones**

**Unidad 507
Soluciones**

**Unidad 508
Soluciones**

**Unidad 509
Soluciones**

**Unidad 510
Soluciones**

**Unidad 511
Soluciones**

**Unidad 512
Soluciones**

**Unidad 513
Soluciones**

**Unidad 514
Soluciones**

Unidad

U3: no es lo que se ve, sino lo que se palpa

4 encuentros: del 10/Oct al 31/Oct

- Relatividad General
 - Introducción y conceptos básicos,
 - Modelo de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker
 - El error de Einstein
- Modelos del Universo
 - Formación de estructuras
 - Midiendo distancias
 - Corrimiento al rojo
 - El universo en expansión



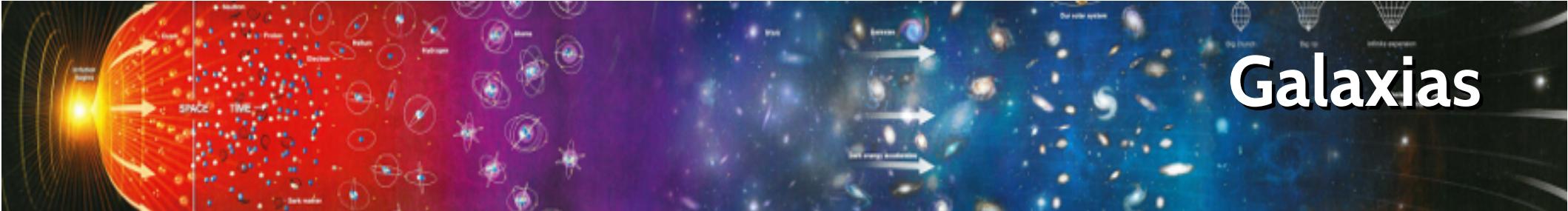
Qué es la Vida? E. Schrödinger

- La vida no viola las leyes de la termondinámica, aumentan su complejidad a costa de aumentar la entropía general en los procesos que hacen parte de esta
- La química de la herencia debe basarse en secuencias aperiódicas con la necesidad de una secuencia informativa que debe ser transmitida



Temas de monografía para trabajo final algunas ideas, lista no excluyente

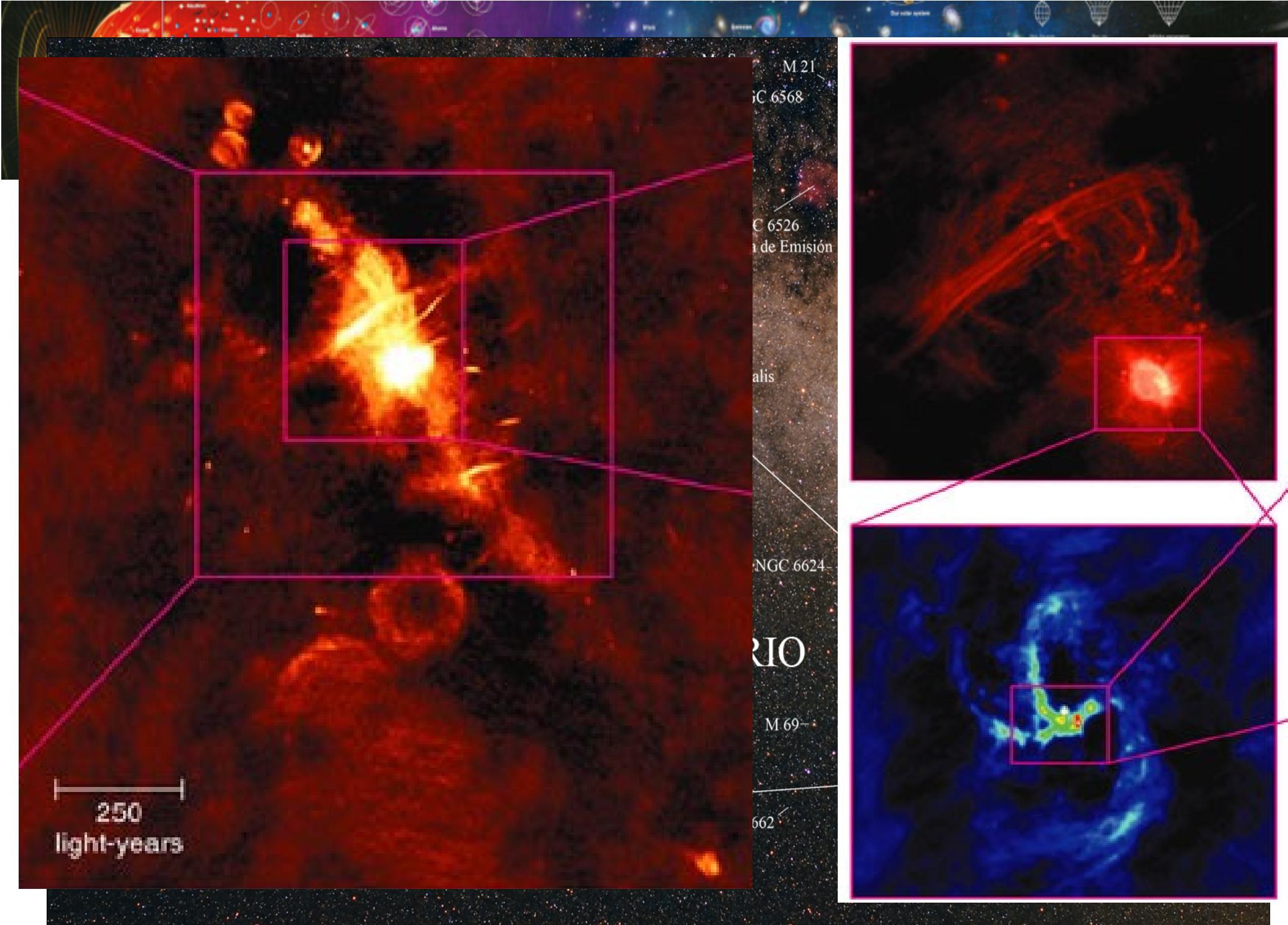
- Cosmogonía de los pueblos originarios (elegir alguno)
- Cosmogonía y Constelaciones
- Evolución estelar (vida y obra de las estrellas)
- Objetos compactos (enanas blancas, estrellas de neutrones, agujeros negros)
- Ensayo sobre posibilidades de vida en Europa (luna de Júpiter)
- Vida basada en Amoníaco como disolvente
- El GalaxyZoo: principales resultados
- Otras Tierras: exoplanetas similares a la Tierra
- El impacto de Galileo Galilei en la concepción moderna de la Astronomía
- Spirit, Opportunity y Curiosity: explorando la superficie de Marte
- La sonda Cassini-Huygens: Saturno y Titán
- El Big Bang

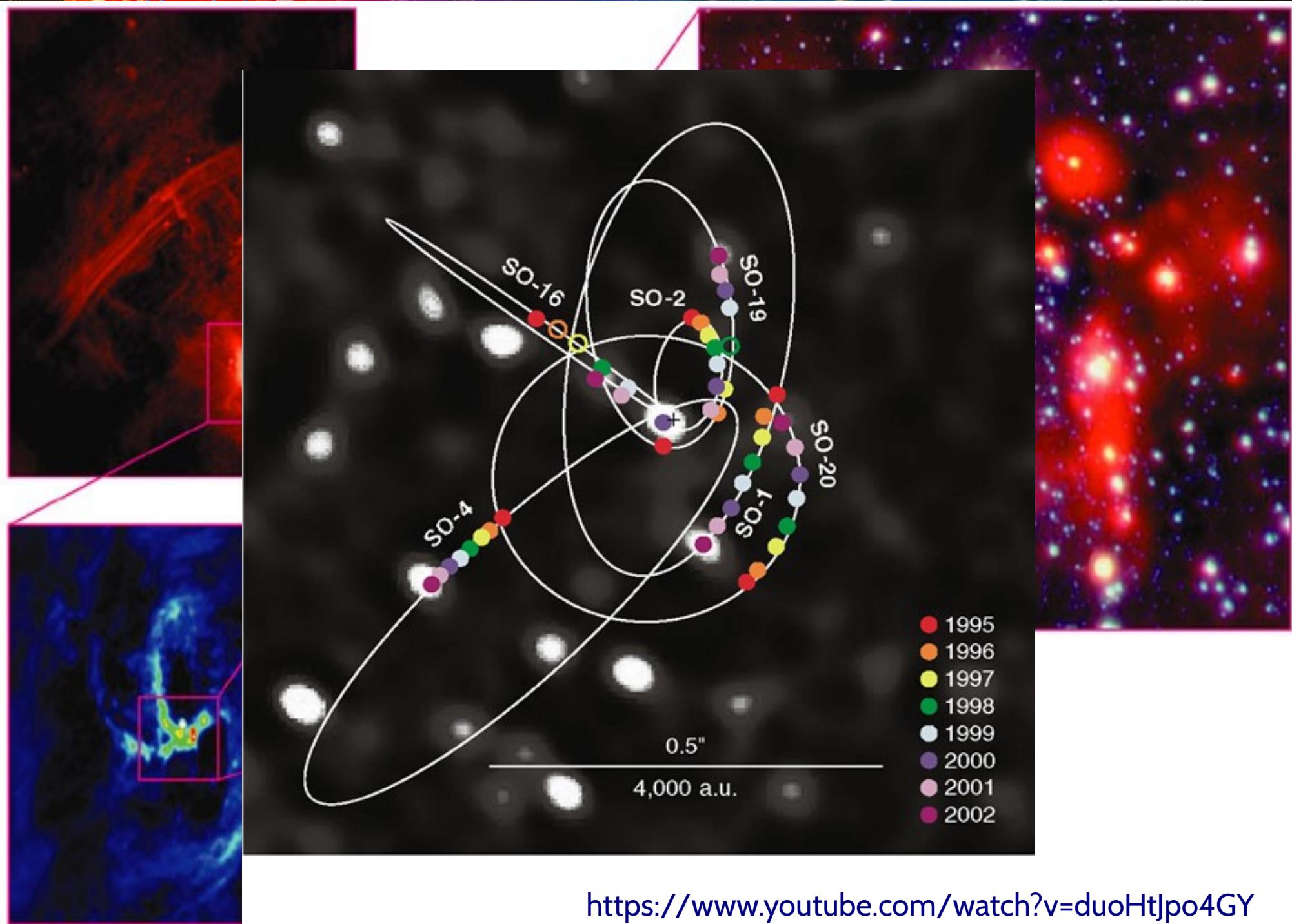


Galaxias

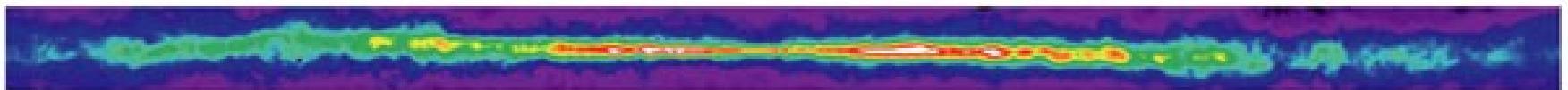
- Una **galaxia** es un sistema autogravitatorio que se compone de:
 - Estrellas
 - Remanentes estelares
 - Un medio interestelar formado por gas y polvo...
 - ... y materia oscura
- **Tamaños:**
 - Enanas (~1000 estrellas, 1000 pc)
 - Gigantes (100000 pc, 10^{14} estrellas)
- Y están separadas por distancias ~Megaparsec







<https://www.youtube.com/watch?v=duoHtJpo4GY>



a 21-cm radio emission from atomic hydrogen gas.



b Radio emission from carbon monoxide reveals molecular clouds.



c Infrared (60–100 μm) emission from interstellar dust.



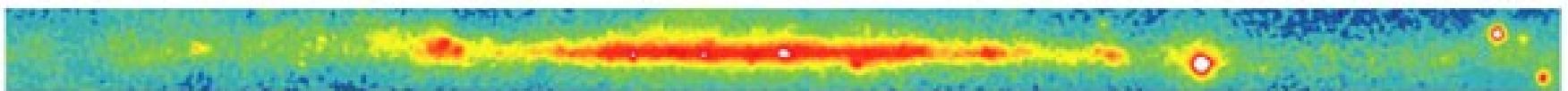
d Infrared (1–4 μm) emission from stars that penetrates most interstellar material.



e Visible light emitted by stars is scattered and absorbed by dust.

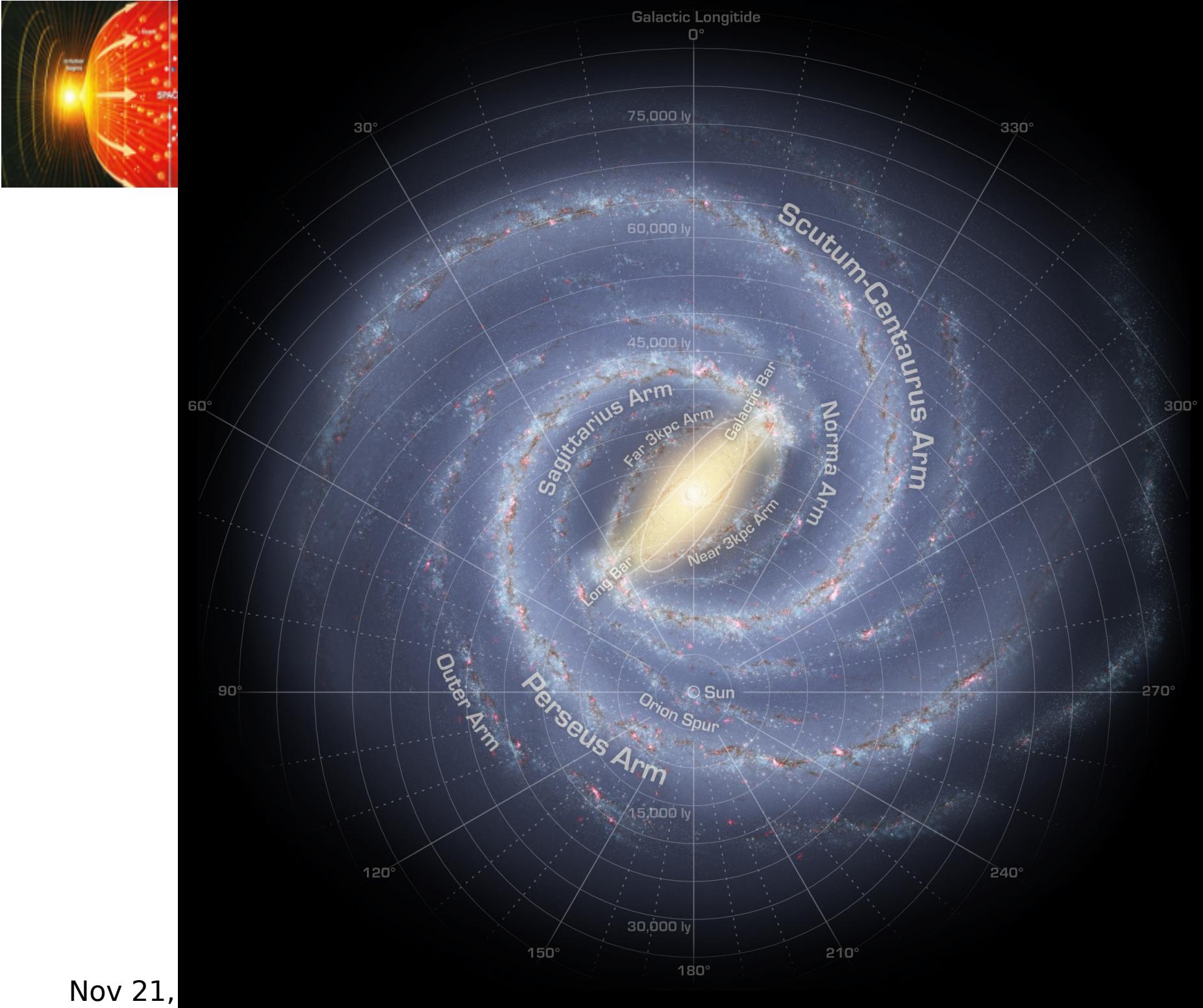


f X-ray emission from hot gas bubbles (diffuse blobs) and X-ray binaries (pointlike sources).



g Gamma-ray emission from collisions of cosmic rays with atomic nuclei in interstellar clouds.

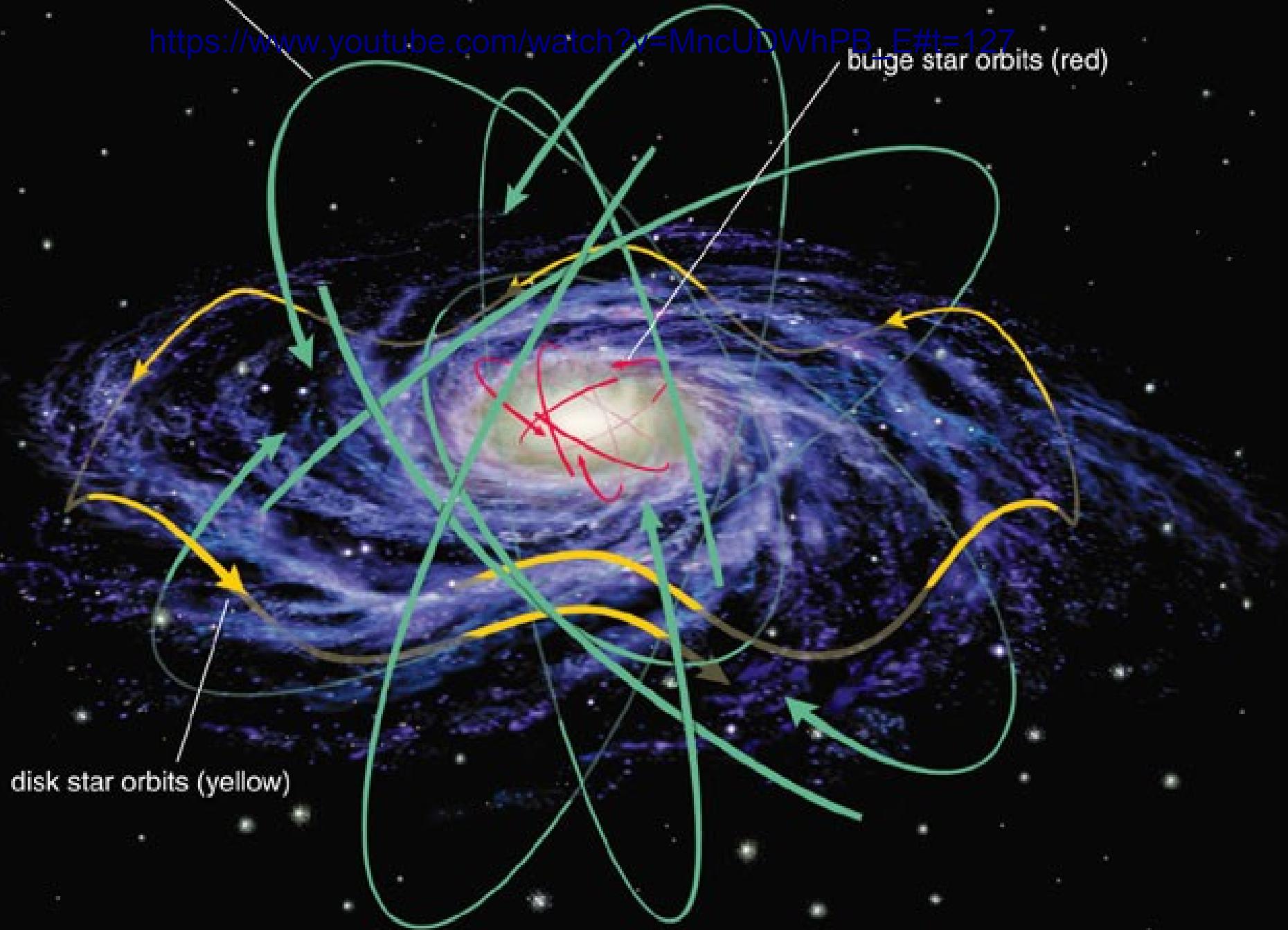
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Infrared-visible_light_comparison_of_VISTA's_giga_pixel_view_of_the_centre_of_the_Milky_Way.ogv



halo star orbits (green)

https://www.youtube.com/watch?v=MncUDWhPB_E#t=127

bulge star orbits (red)



Supercúmulo de Virgo

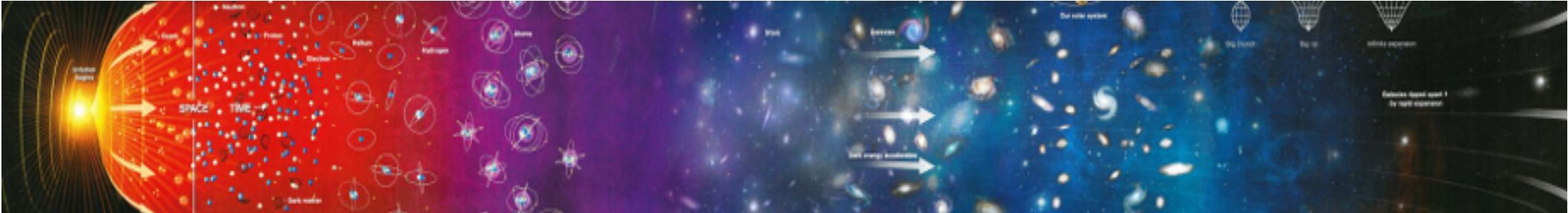
- Concentración de galaxias que incluyen al Cúmulo de Virgo y al Grupo Local
- Hay millones de supercúmulos como este en el Universo
- 100 grupos de galaxias en 33 Mpc
- $\sim 10^{15} M_S$ y $\sim 3 \times 10^{12} L_S$. Se desplaza a ~ 600 km/s hacia el Cúmulo de Norma (Abel3627 → Gran Atractor)





- Entonces....

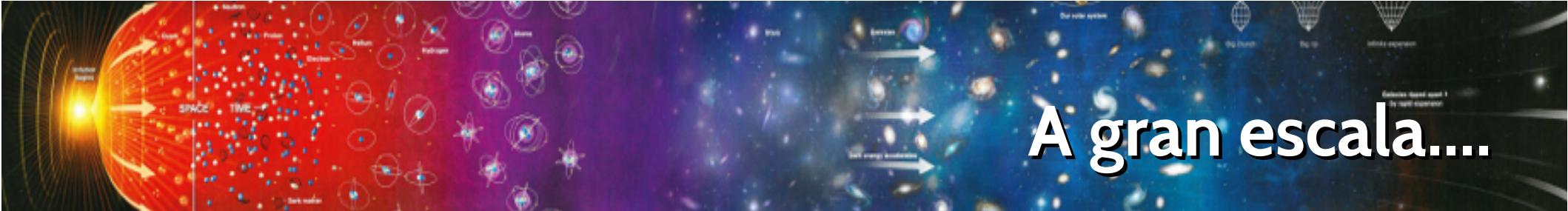
¿Cuál es la fuerza más fuerte de la Naturaleza?



- Entonces....

**¿Cuál es la fuerza más fuerte de la
Naturaleza?**

Gravedad



A gran escala....

- ... la expansión del Universo compensa la gravedad
- ¿Qué pasará a escalas más pequeñas?
- Las inhomogeneidades grumos se agrupan y crecen
- Se necesita más tiempo para formar grumos más grandes

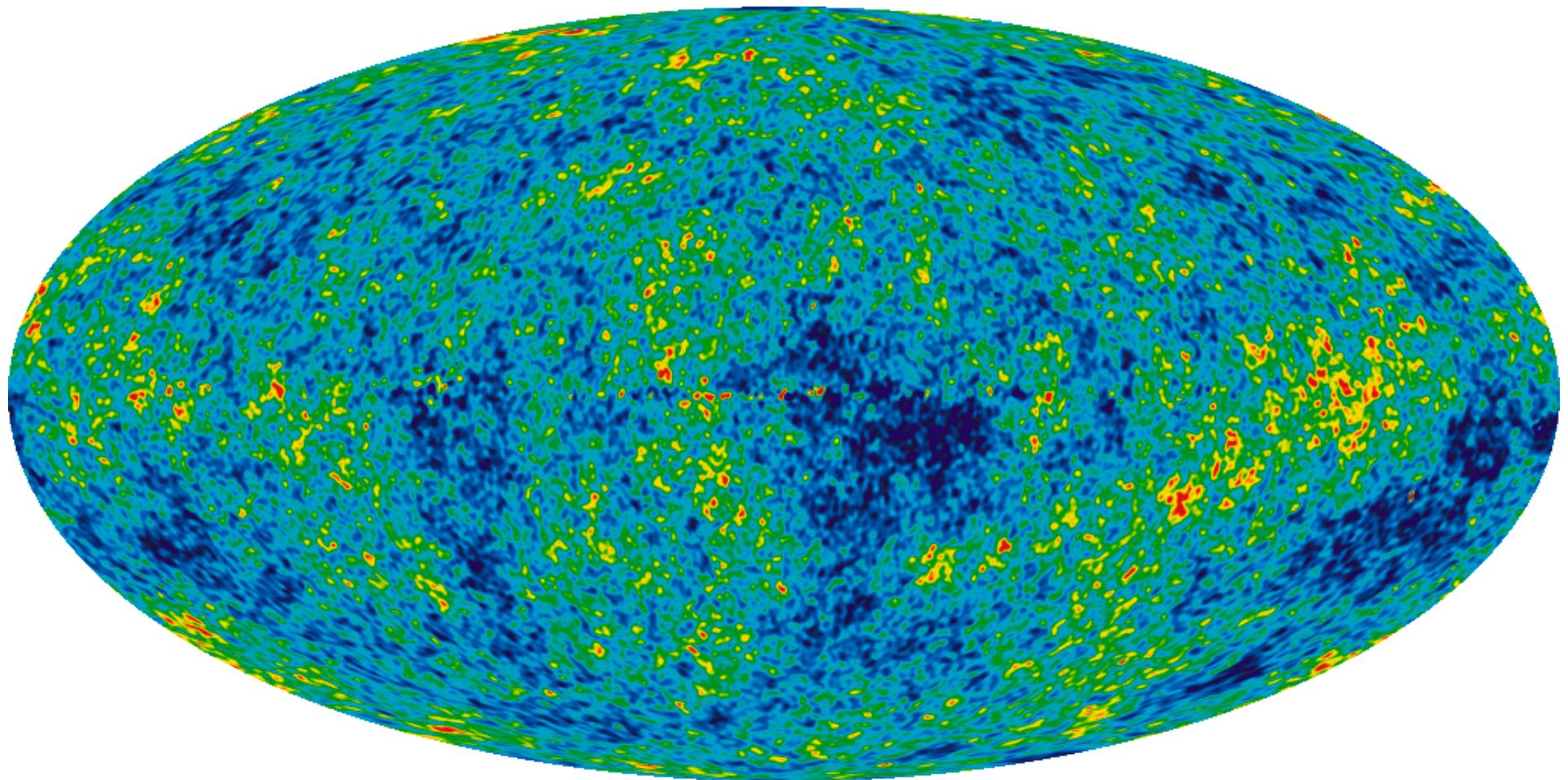


Polenta con grumos

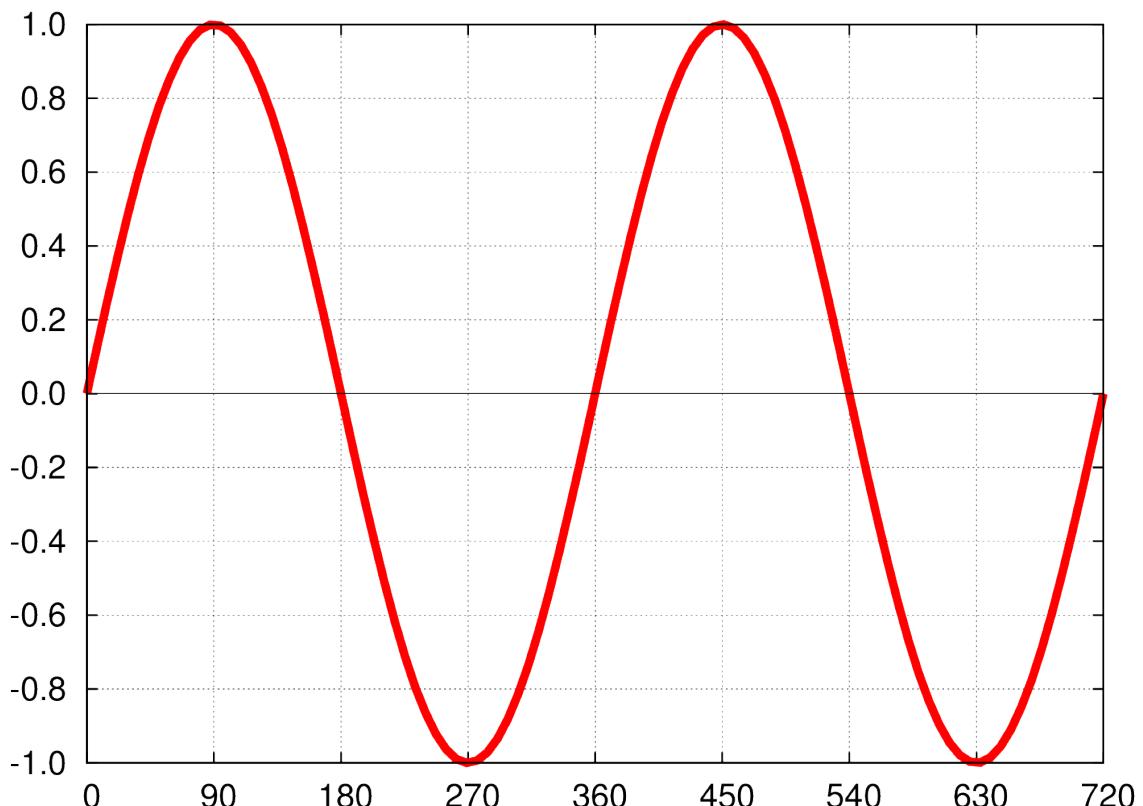




A las escalas más grandes...

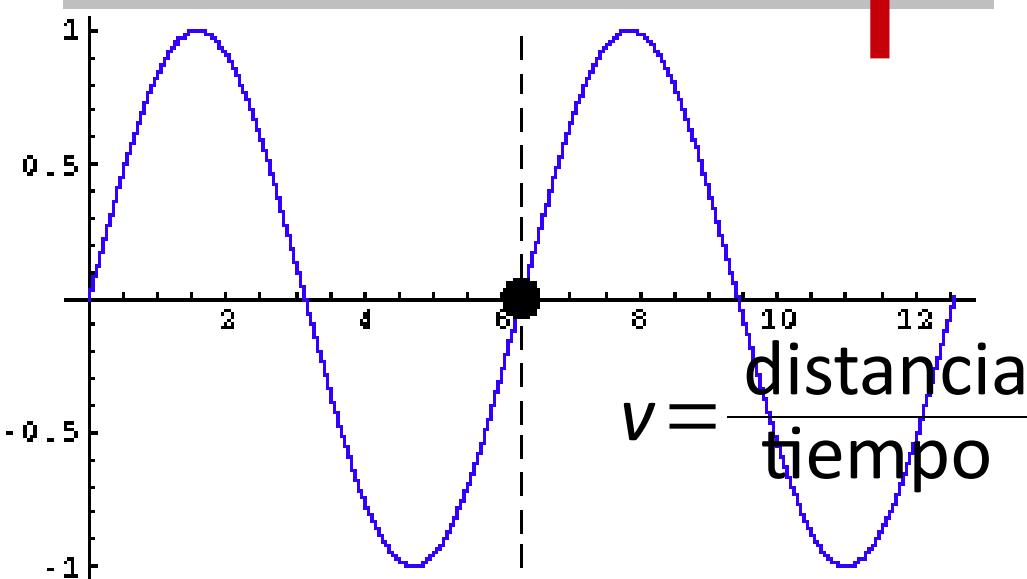
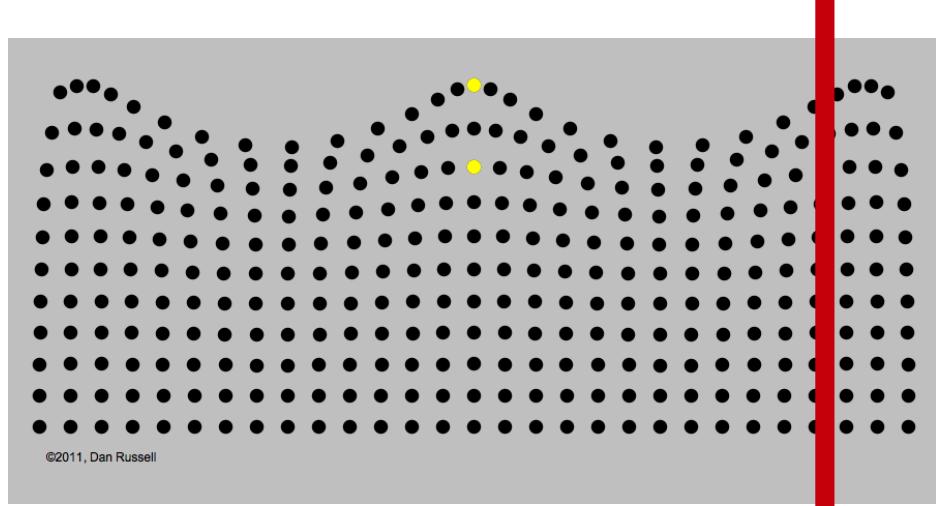


Propiedades de una onda



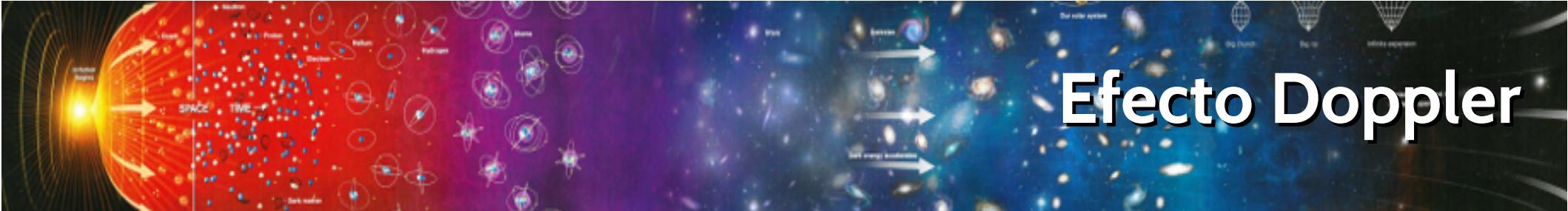
- λ : longitud de onda
 - f: frecuencia
 - $c = \lambda \times f$
 - Ondas EM (luz):
 - $E = hf = hc/\lambda$
- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- $h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Velocidad de propagación



$$v = \frac{\lambda}{T} = f \lambda$$

- Recordemos:
 - Período es el tiempo para completar un ciclo
 - Longitud de onda es el espacio para completar un ciclo
- En un ciclo, la onda se propaga una distancia λ
- Para ello, necesita un tiempo T



Efecto Doppler

“Es el cambio aparente en la frecuencia de una onda causado por el movimiento relativo entre la fuente de las ondas y el observador”

Dr. Sheldon Cooper



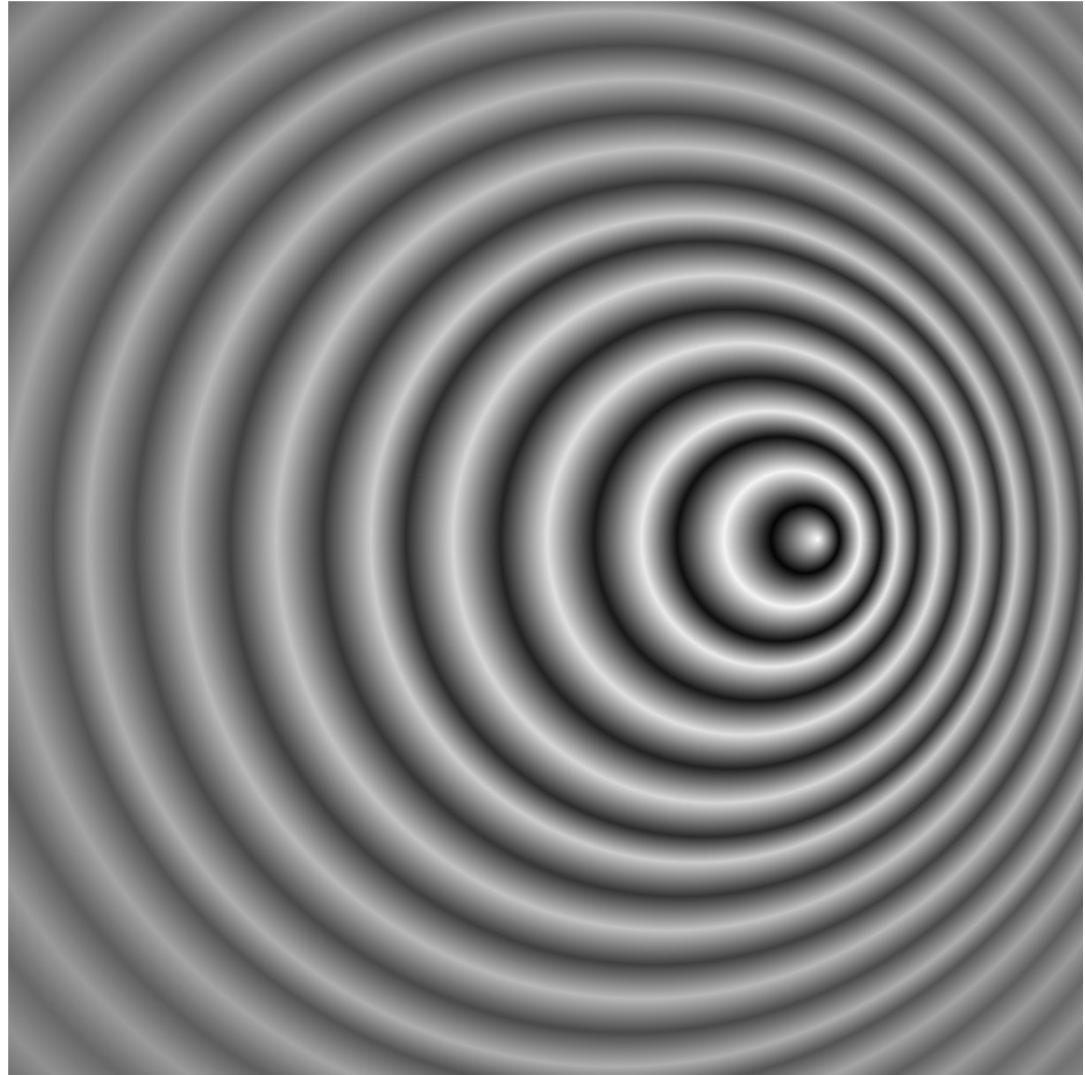
Efecto doppler





Efecto Doppler en la luz

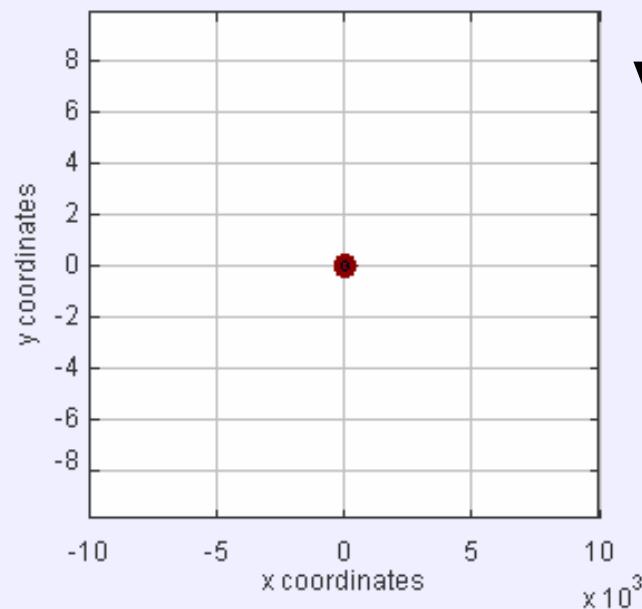
- Pensar en el lanzamiento de pelotas a frecuencia constante
- El efecto doppler es un fenómeno ondulatorio



Efecto Doppler

$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Di

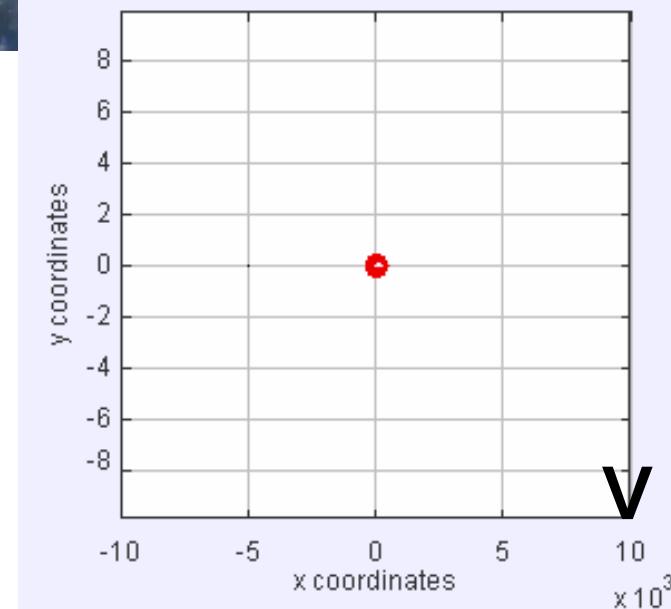
Doppler Effect



$$v = 0$$

$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Di

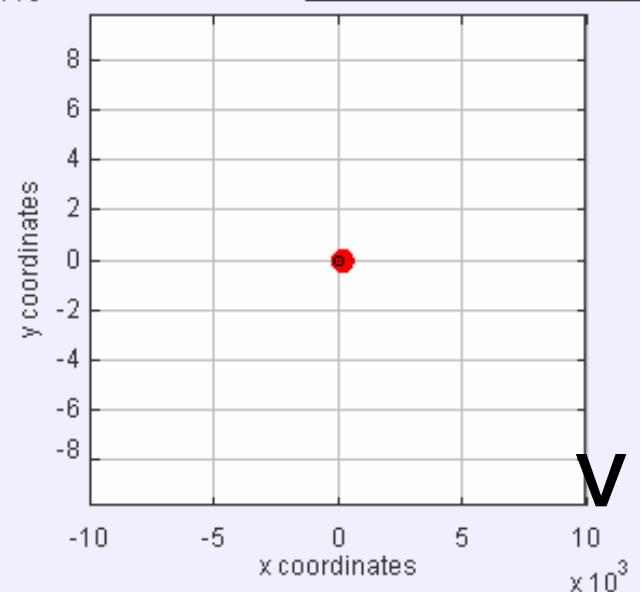
Doppler Effect



$$v = 0,7 v_s$$

$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Di

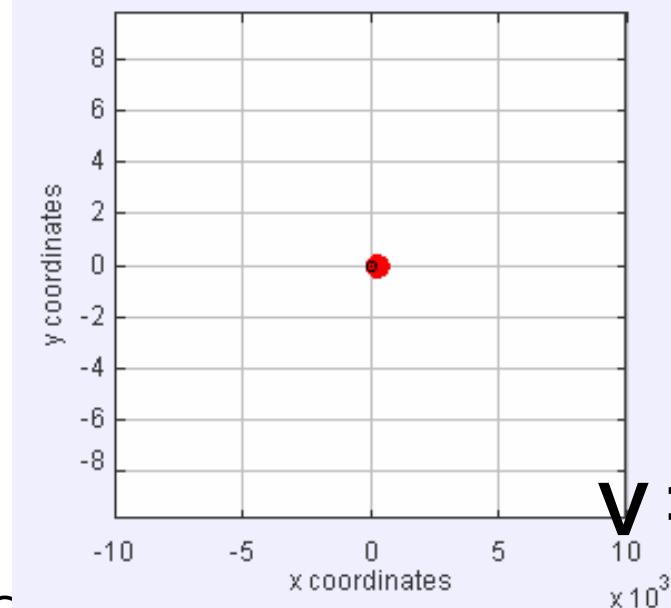
Breaking the sound barrier



$$v = 1 v_s$$

$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Di

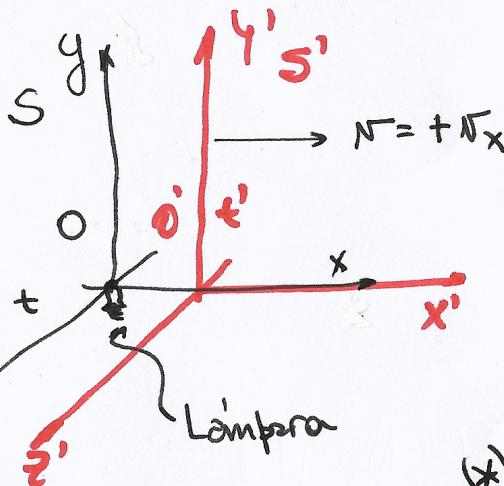
Supersonic



$$v = 1,4 v_s$$

Doppler relativista

Sean dos observadores en sistemas S y S' :



Vínculos:

$$at=t'=0; \theta=0'$$

En ese momento, la lámpara emite un pulso de luz con N ondas



En el frame S , el observador O recibe pulso cuando $t=t_0=0$ y

(*) Finaliza a $t=t_f$. Luego, la frecuencia emitida es

$$f_0 = N/t_f - t_0 \Rightarrow f_0 = N/t_f$$

Definimos los eventos: 1: el frente del pulso alcanza O' (visto desde O) x_1, t_1
2: el final del pulso alcanza O' (visto desde O). x_2, t_2

Evento 1: visto en S , ocurre a $t_1=0; x_1=0$

Evento 2: visto en S , el pulso alcanza el observador O' , jopum $v < c$

\Rightarrow El frente del pulso está en $x_{fp} = ct$; $x_{O'} = vt$

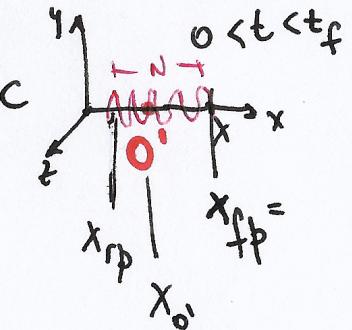
y lo retaguardia del pulso en $x_{rp} = 0$ a $t=t_f$ (ver *)

Cuando $t=t_2 \Rightarrow x_{rp} = x_{O'} \Rightarrow x_{rp} = c(t_2 - t_f)$

y podemos $x_{O'} = vt_2$

Luego el evento 2 ocurre cuando $x_{O'} = x_{rp}$

la retaguardia
es el tiempo desde que estaba en
el origen hasta que alcanzó al Obs. O'



$$\Rightarrow x_0' = x_{rp} \Rightarrow Nt_2 = c(t_2 - t_f) \Rightarrow t_2 = \frac{ct_f}{(c-N)}$$

Doppler relativista

$$\Rightarrow \text{Evento 1: } x_1=0, t_1=0 ; \text{ Evento 2: } x_2=Nt_2, t_2=\frac{ct_f}{(c-N)}$$

Las T.L. $x'=N(x_2-Nt)$ y $t'=\gamma(t-Nx/c^2)$

$$\Rightarrow \text{Evento 1: } x_1'=0 \quad (x_1=0, t_1=0) \quad y \quad t_1'=0.$$

$$\text{Evento 2: } x_2'=\gamma(Nt_2-Nt)=0 \quad y \quad t_2'=\gamma\left(t_2-\frac{N^2}{c^2}t_2\right)=t_2\gamma(1-\beta^2)=\frac{t_2\gamma}{\gamma^2}=\frac{t_2}{\gamma}$$

$$\Rightarrow x_2'=0 \quad y \quad t_2'=t_2/\gamma$$

Luego, recordando $t_2=\frac{ct_f}{(c-N)}$ $\Rightarrow t_2'=\frac{ct_f}{(c-N)\gamma}=\frac{ct_f}{\gamma(1-\beta)\gamma}=\frac{ct_f}{(1-\beta)}\sqrt{\frac{1-\beta^2}{1+\beta}}=t_f\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$

$$\Rightarrow t_2' = t_f \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

¿Qué frecuencia observa O' ? Ve tener N ondas en un tiempo $\Delta t'=t_2'-t_1'=t_2'$ o

$$f_0' = N/\Delta t' = \frac{N}{t_f} \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \Rightarrow f_0' = f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

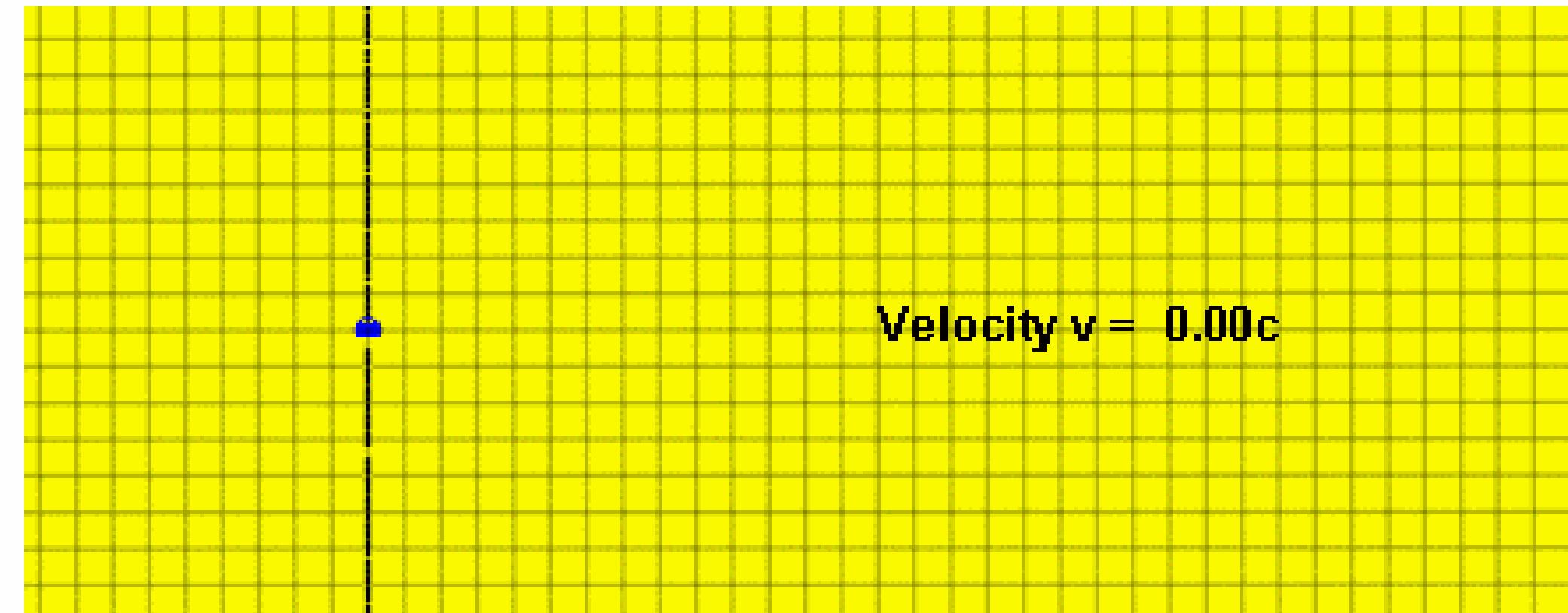
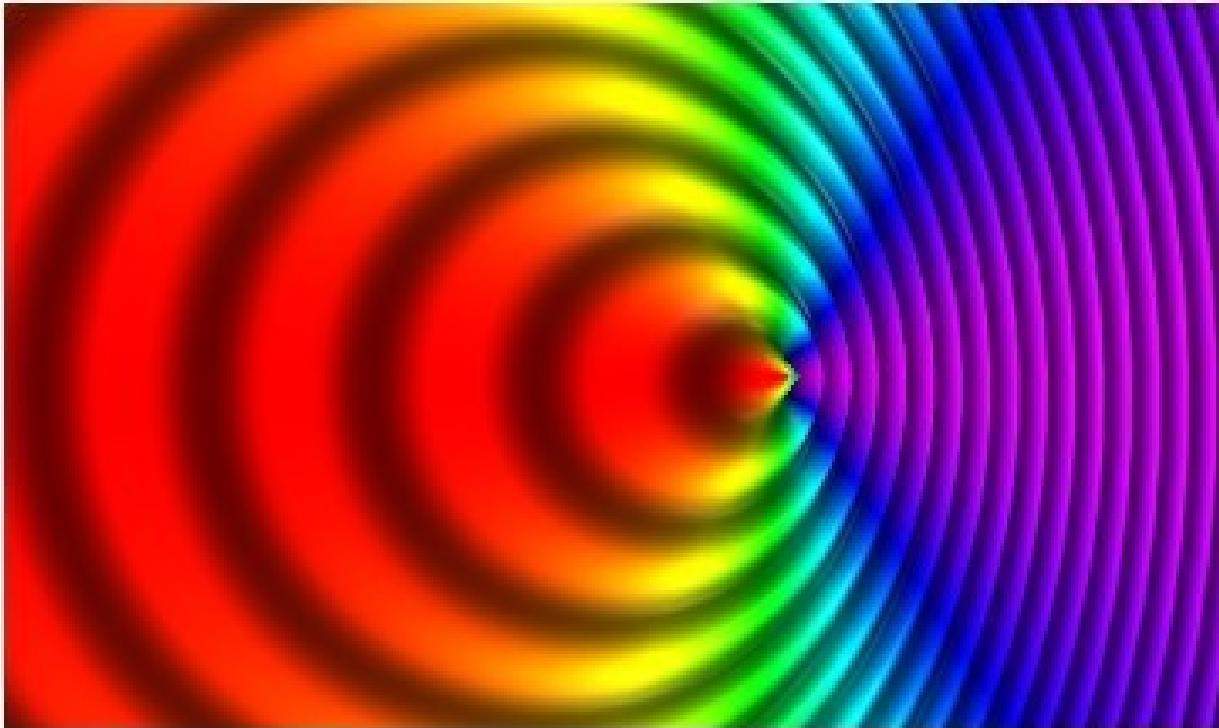
$$\frac{1-\beta}{1+\beta} < 1 \Rightarrow f_0' < f_0$$

Comienzo al rojo
Si se alejan

Si se acercan $\Rightarrow \beta \rightarrow -\beta$ (ya que $N=-Nx$) \Rightarrow

$$f_0' = f_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

Comienza el azul
(freno y obs. se acercan).

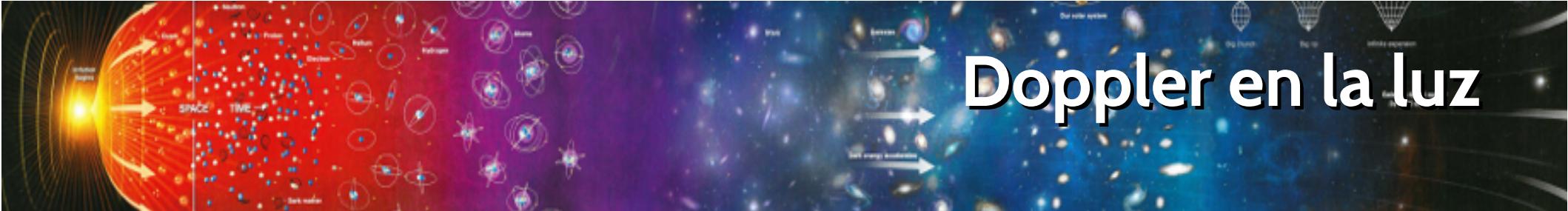




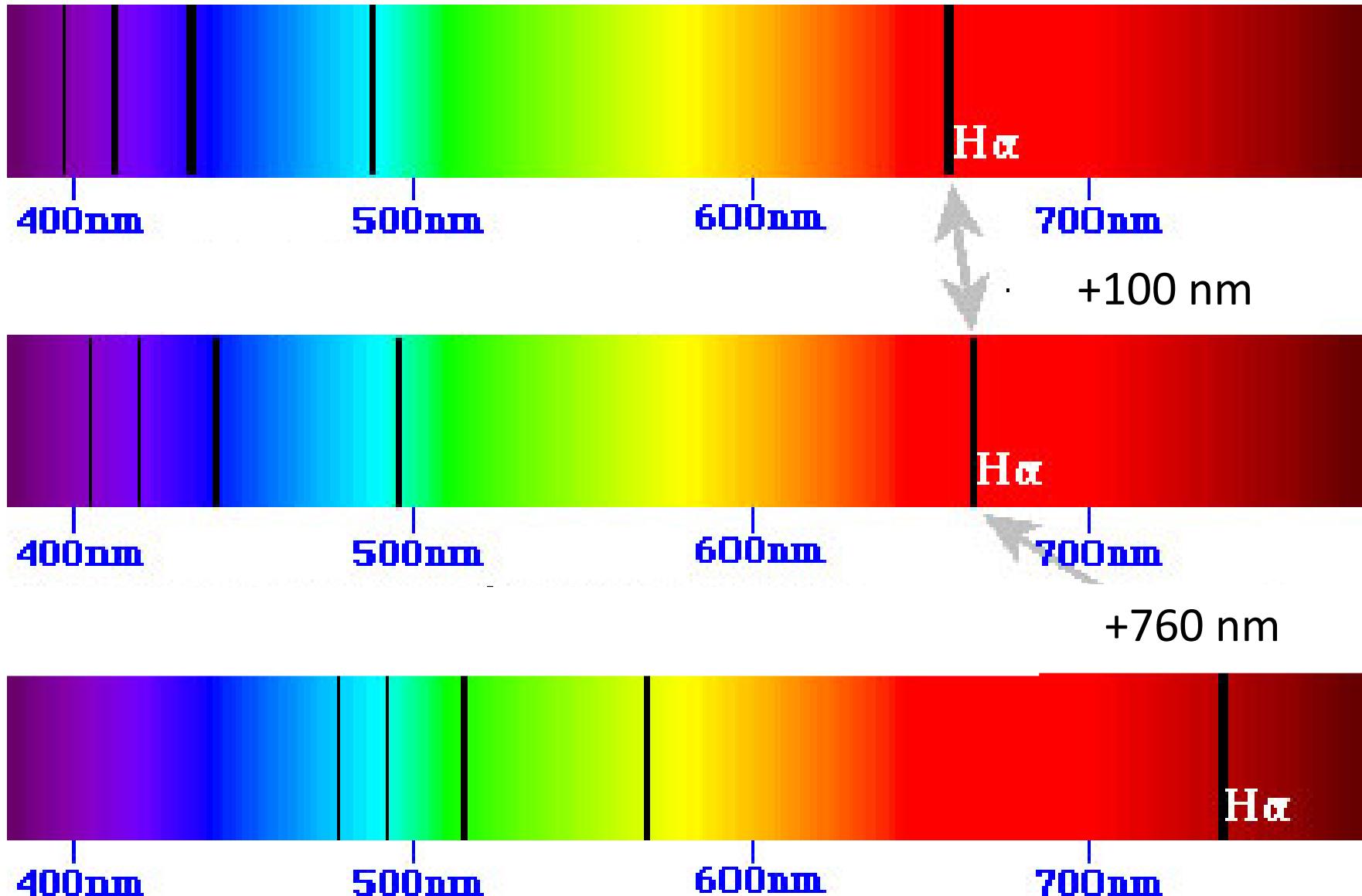
Mirando al Sol con un buen prisma



Breathe, breathe in the air. Don't be afraid to face.
Ticking away the moments that make up a dull day.
Money, get away. Get a good job with good pay to
us, and them. And after all we're only ordinary men.
The lunatic is on the grass. Remembering games we
all that you touch. All that you see. All that you



Doppler en la luz



Corrimiento al rojo

$$\frac{f_o}{f_e} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} < 1 \rightarrow f_o < f_e, \text{ y } f\lambda = c \Rightarrow f_o = \frac{c}{\lambda_o}, \text{ y lo mismo para } \lambda_e$$

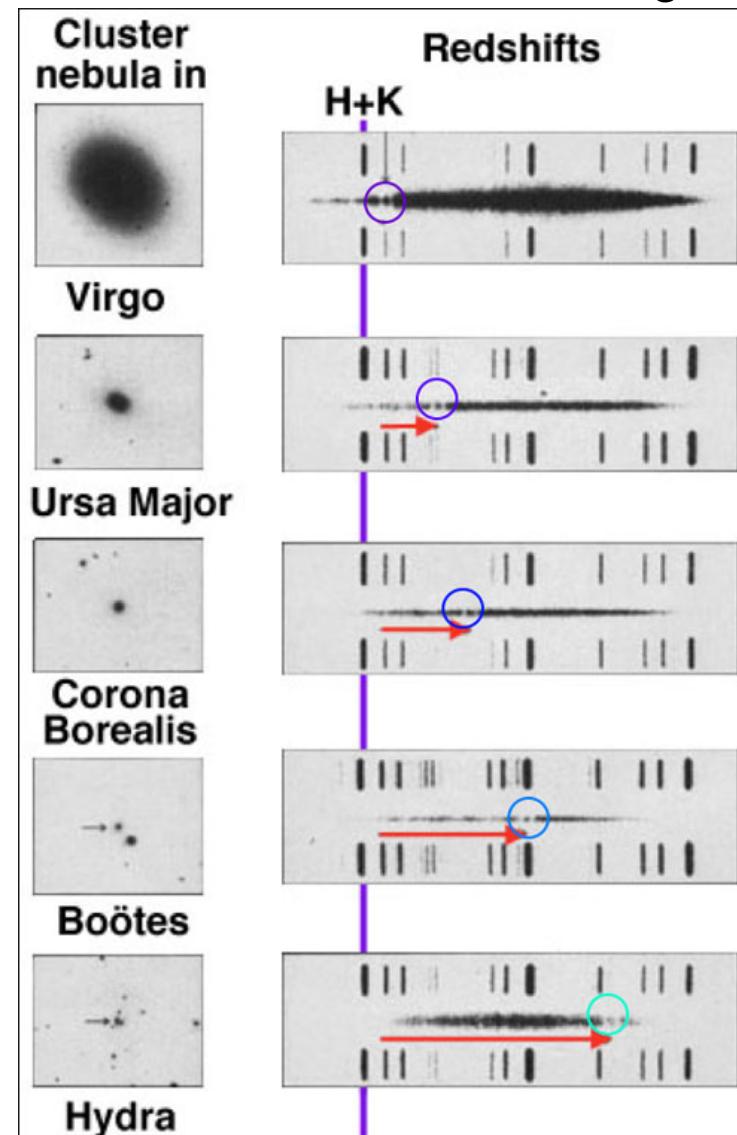
$$\frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} > 1 \rightarrow \lambda_o > \lambda_e$$

$$\text{Def. } z \equiv \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e} \Rightarrow 1+z = \frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

z es el corrimiento al rojo.

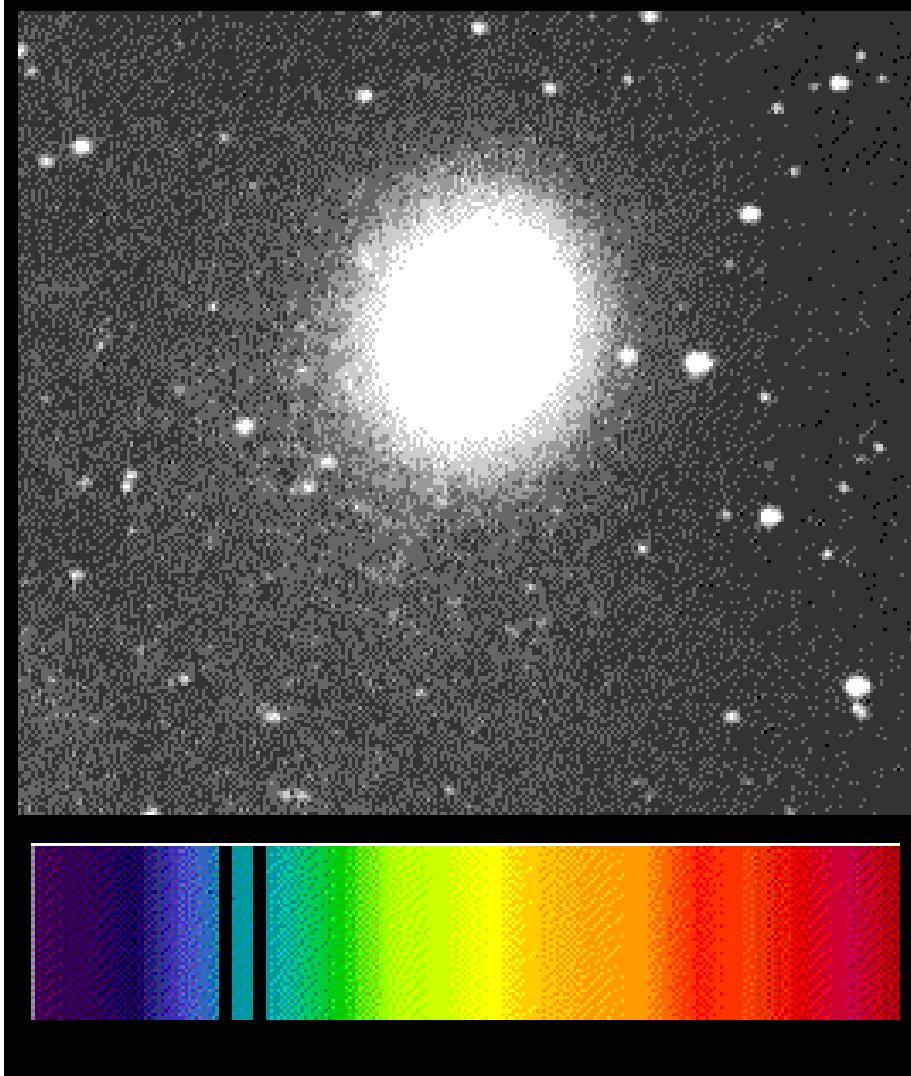
Se puede probar que si $v \ll c$

$$z \approx \beta$$

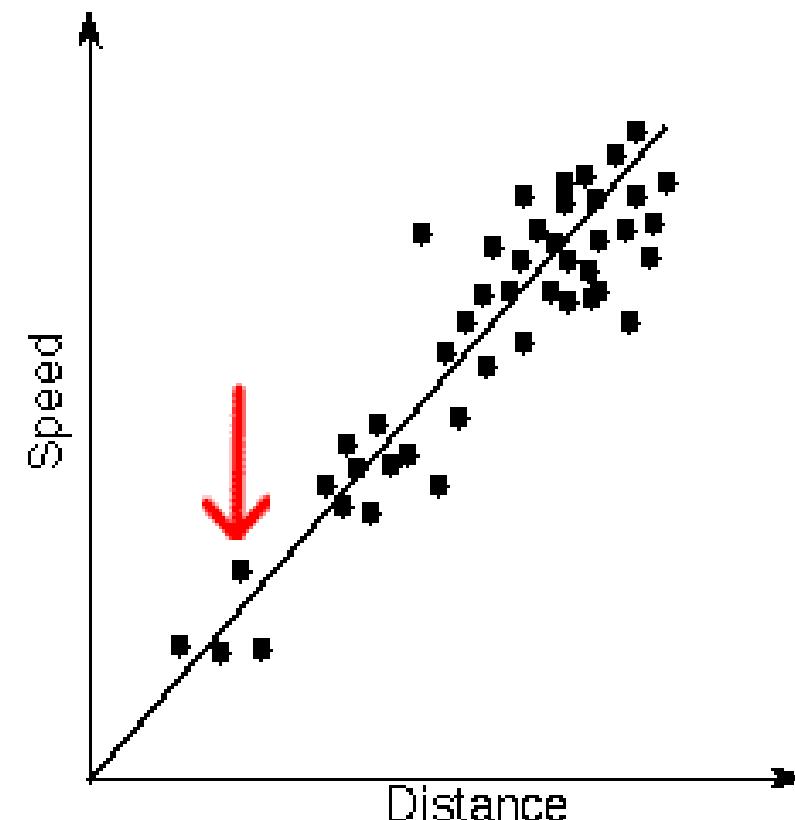




El Universo se expande



Hubble Law
recession speed = $H_0 \times$ distance



$$V = H_0 \times d$$

Nov 21, 2017

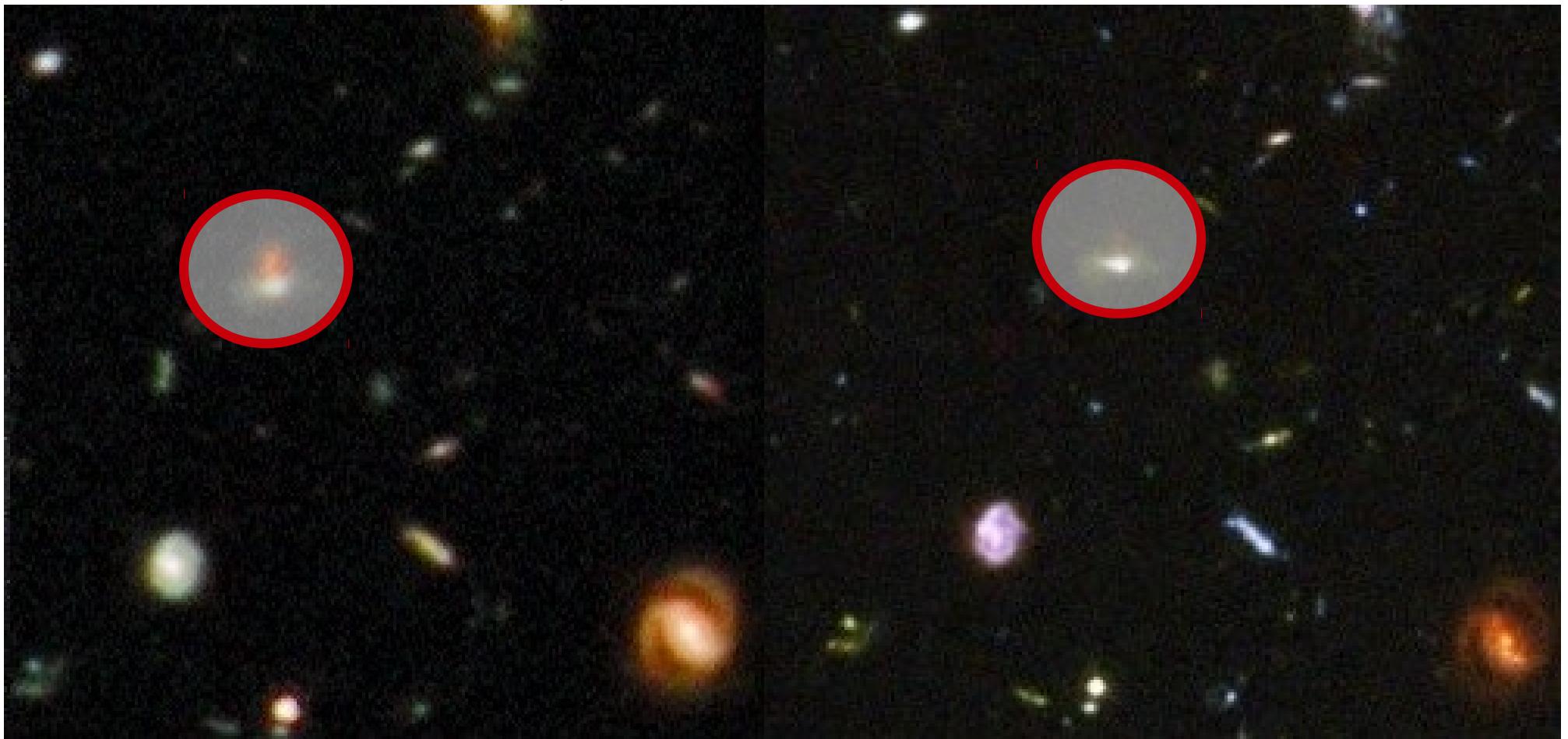
$$H_0 = 67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

H. Asorey - IPAC 2017 - 15

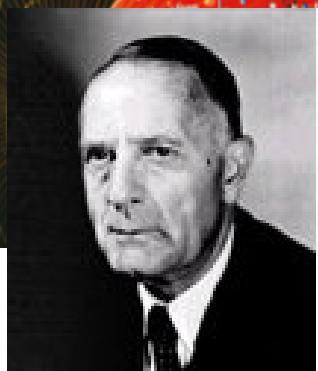


¿y más allá del “rojo”? Encuentre las diferencias

HST, infrarrojo

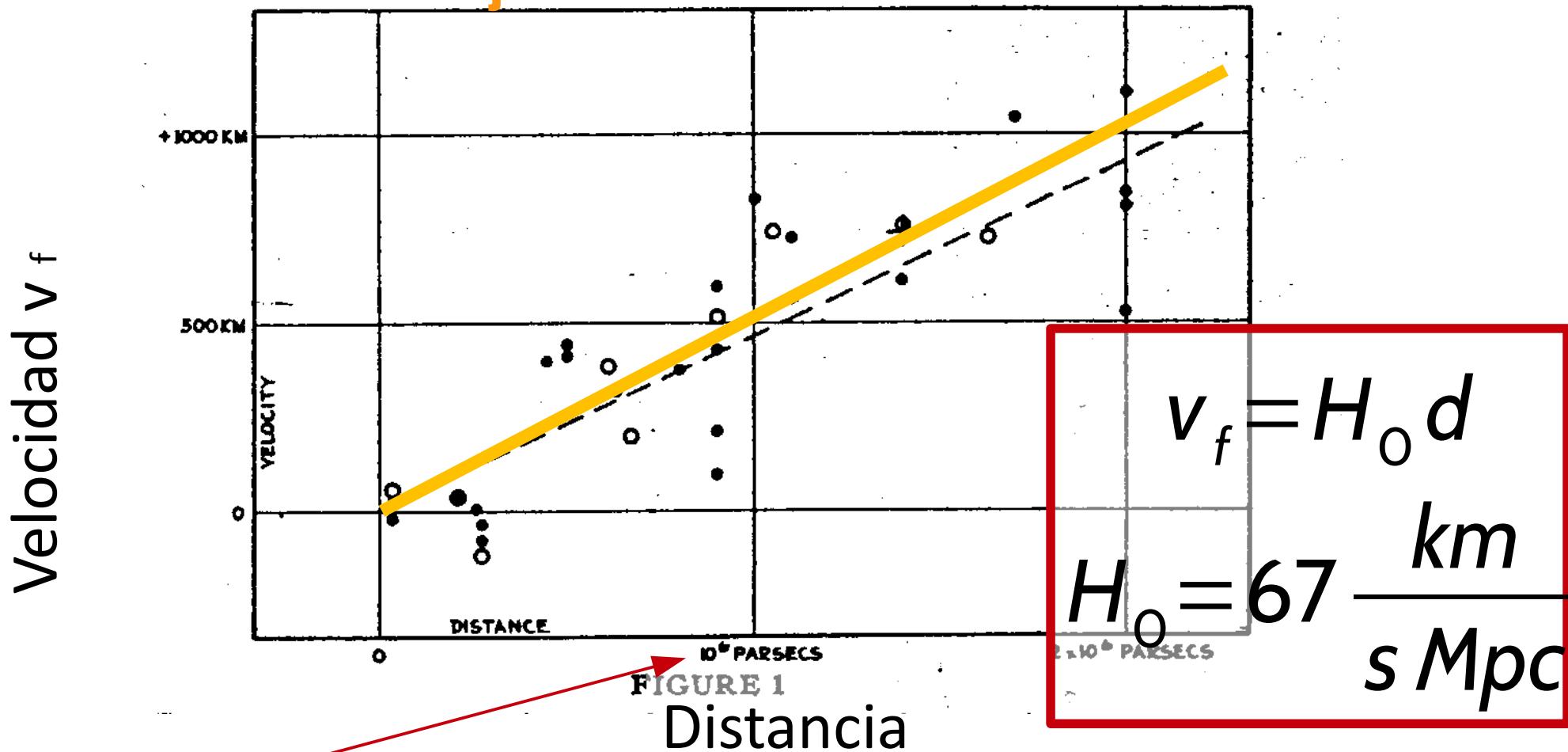


HST, visible

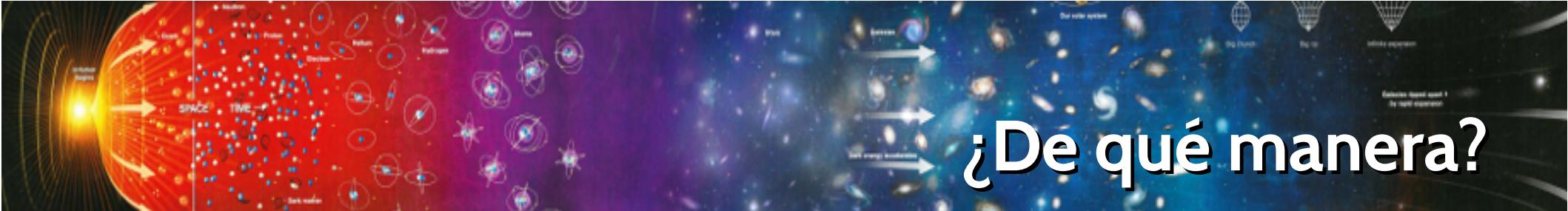


Ley de Hubble: el Universo se expande

Un objeto situado a 1 Mpc de la Tierra
se aleja a una velocidad de 67 km/s



$$10^6 \text{ parsecs} = 1 \text{ Mpc (megaparsec)} = 3.085 \times 10^{22} \text{ m}$$



¿De qué manera?





Una torta de chips de chocolate



- La velocidad depende de la distancia entre los chips
- Cada uno piensa que es el “centro del Universo”
- Pero ninguno lo es

Horizontes en el Universo

- Radio de Hubble: distancia a la cual la velocidad de expansión es igual a c

$$r_H(t) = \frac{c}{H}(t)$$

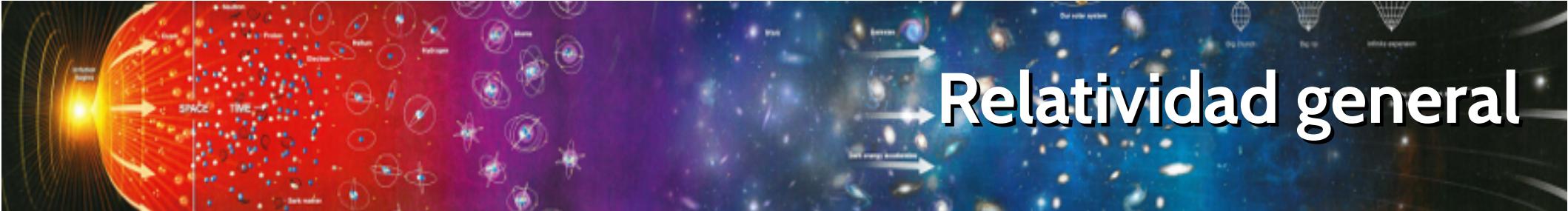
- Horizonte cosmológico: la distancia que se propagó la luz desde el inicio del Universo. Como el universo se expande, esto no es “simplemente” 13.8×10^9 años luz

Hoy es $14.4 \text{ Gpc} = 46.9 \text{ Gal}$



Pero si el Universo está en expansión....

- ... siempre lo estuvo?
- Estado estacionario
 - Creación continua de materia (hidrógeno)
$$1 \frac{M_{\odot}}{Mpc^3}$$
 - Universo homogéneo e isótropo
- generación inicial
 - Principio cosmológico: las propiedades del Universo son las mismas para todos los observadores
 - Altas temperaturas y densidades
 - Expansión y enfriamiento

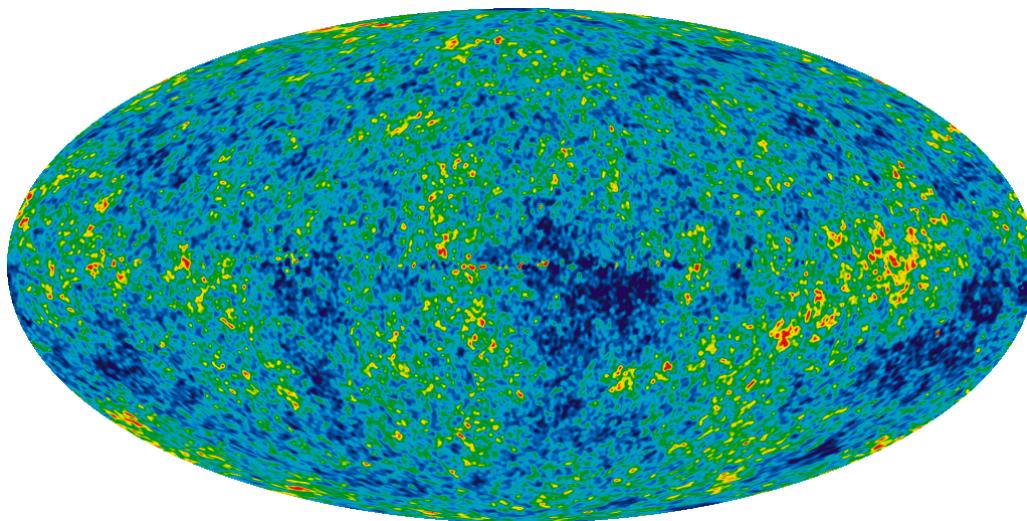
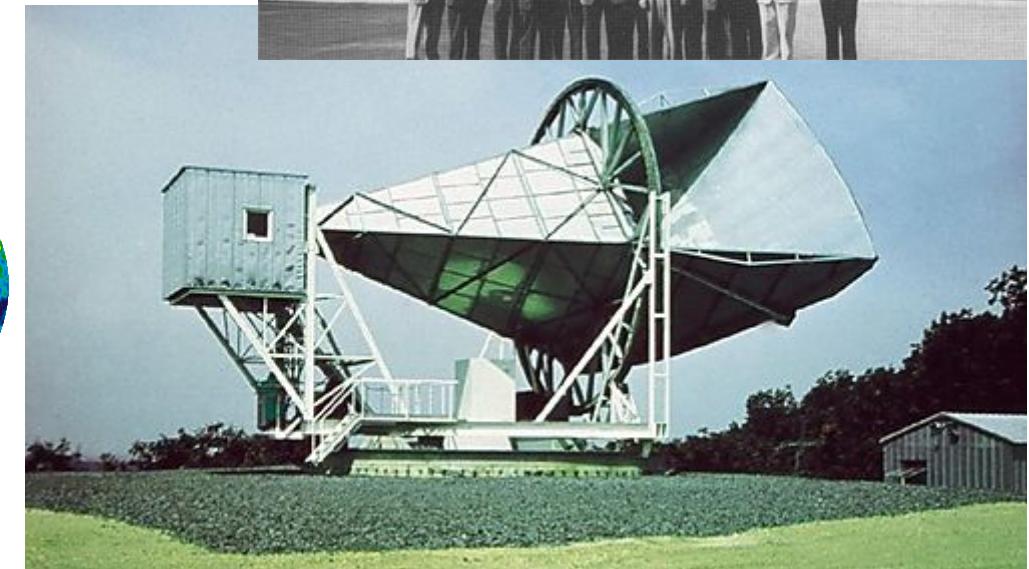


Relatividad general



The Big Bang Theory

- Alpher & (Bethe) & Gamow → Paper alfabético
- Penzias & Wilson (1965)
- $\lambda=7.35$ cm
- ¿Energía? ¿Temperatura?





Materia y energía en la expansión

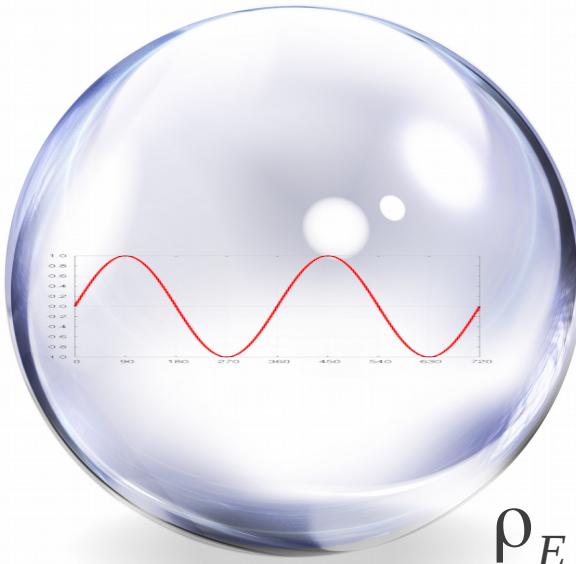
$$E=mc^2$$



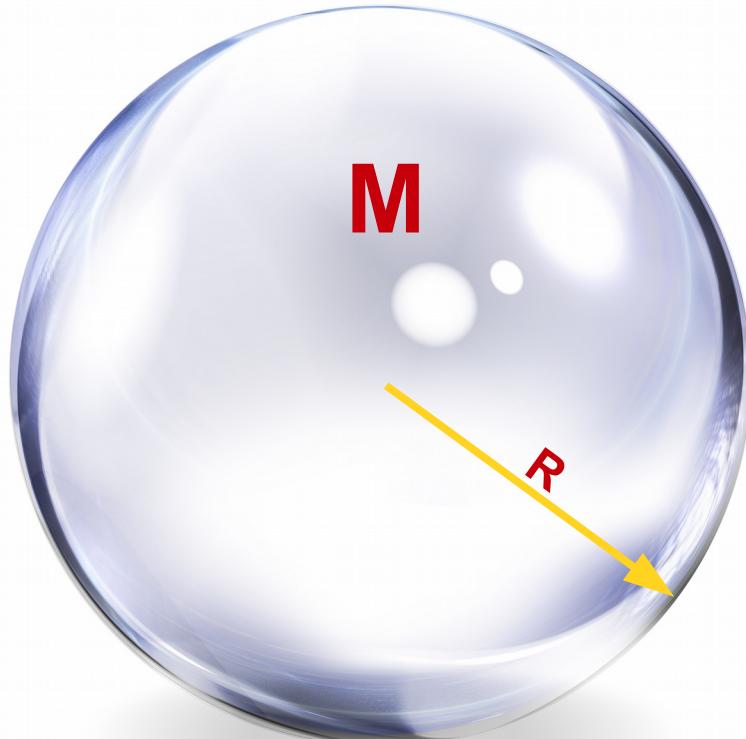
$$E=\frac{hc}{\lambda}$$



$$\rho_E \sim (1/R^4)$$



$$\rho_M \sim 1/R^3$$



$$\frac{\rho_c}{m_p} = 6 \text{ protones/m}^3$$

- Densidad crítica:
Densidad para la cual la gravedad detendrá la expansión del Universo
- ¿Cómo podemos calcularla?

$$\rho_c = \frac{3 H_0^2}{8 \pi G}$$

$$\Omega_i \equiv \frac{\rho_i}{\rho_c}$$

Densidad crítica

La velocidad de expansión para un objetos es

$$N = H_0 d$$

Será una estrella de radio R . Luego la superficie se aleja del centro con velocidad $N = H_0 R$

¿Podrá escaparse de la atracción del centro del interior?

$$r_E = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Si la estrella tiene densidad ρ y volumen $V \Rightarrow \rho = M/V \Rightarrow$

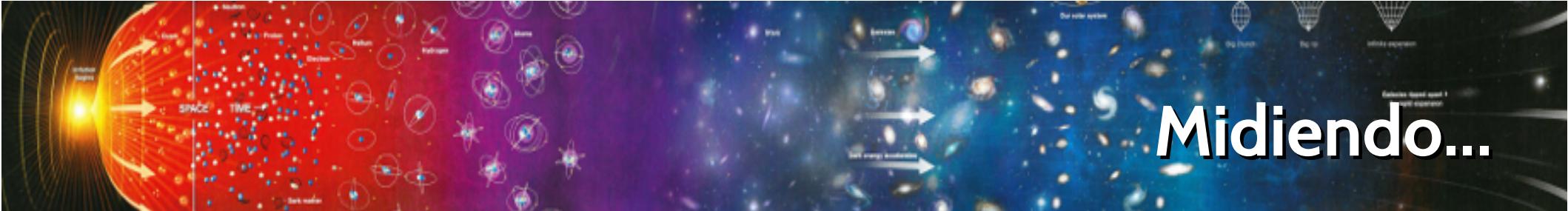
$$M = \rho \frac{4}{3}\pi R^3 \Rightarrow N_E^2 = \frac{2G}{R} \rho \frac{4}{3}\pi R^3 \Rightarrow \rho = \frac{3N_E^2}{8\pi G R^2}$$

Reemplazando $N_E^2 = H_0^2 R^2 \Rightarrow$

$$\rho_c = \frac{3H_0^2 R^2}{8\pi G R^2} \Rightarrow$$

$$\boxed{\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}}$$

Densidad critica



Midiendo...

- Defino: $\Omega = \rho / \rho_c$
- Ahora mido el contenido de materia del Universo
- Obtengo:

$$\Omega = 1.01 \pm 0.01$$



¡Entendimos el Universo!





Alto, ¿cómo lo medimos...?

- La distribución de materia y energía del Universo, ¿es uniforme?
- ¿Cuánta materia y cuanta energía?
- ¿Qué otros factores debemos tener en cuenta?