

WEBVTT

00:00:10.999 --> 00:00:12.033

반갑습니다.

00:00:12.133 --> 00:00:14.821

물리학1 기초개념학습,
남벽우입니다.

00:00:14.921 --> 00:00:21.736

오늘은 아홉 번째 주제, 특수상대성이론에
대해서 학습하도록 할게요.

00:00:21.836 --> 00:00:25.469

특수상대성이론, 이거
어디서 들어봤지?

00:00:25.569 --> 00:00:29.331

이름은 굉장히 익숙한
거야, 뭘지는 모르지만.

00:00:29.431 --> 00:00:33.895

일명 어떤 혹자는 타임머신
이론이라고도 부르죠?

00:00:33.995 --> 00:00:40.696

바로 아인슈타인의 특수상대성이론이라고
부르는 내용입니다.

00:00:40.796 --> 00:00:43.784

내용 자체가 좀 흥미진진합니다.

00:00:43.884 --> 00:00:47.248

조금 고민을 하게 만들긴
하지만 있는 그대로,

00:00:47.348 --> 00:00:50.869

아인슈타인의 생각 그대로를
받아들이려고 노력하시면

00:00:50.969 --> 00:00:56.529

생각보다 쉽게 흥미 있게 재미있게
자유로운 상상을 펼치면서

00:00:56.629 --> 00:00:59.368

여러분 것으로 이
특수상대성이론에 대한 내용을

00:00:59.468 --> 00:01:02.521

만들어낼 수 있지 않을까,
라는 생각을 합니다.

00:01:02.621 --> 00:01:06.922

오늘 강의를 통해서 여러분이 만드시
익혀야 될 핵심 용어들입니다.

00:01:07.022 --> 00:01:11.034

광속불변, 말 그대로 광속불변.

00:01:11.134 --> 00:01:12.580

그런데 여기에 숨은 의미가 있어요.

00:01:12.680 --> 00:01:14.817

그걸 또 우리가 이따
확인해볼 거고요.

00:01:14.917 --> 00:01:17.770

과연 특수상대성이론이라는 건 뭐냐,

00:01:17.870 --> 00:01:22.453

왜 특수 자가 붙어있느냐, 라는
이야기는 여기서는 안 할 거야.

00:01:22.553 --> 00:01:24.328

간단하게만 짚고 넘어갈 건데요.

00:01:24.428 --> 00:01:29.092

상대성이론에 특수상대성이론과
일반상대성이론이 있거든요.

00:01:29.192 --> 00:01:33.059

그래서 일반상대성이론은
여러분이 물리학2에서 배우요.

00:01:33.159 --> 00:01:36.803

물리학1에서는
특수상대성이론만 배우는데

00:01:36.903 --> 00:01:41.317

이 특수 자가 붙은 이유도 가볍게
언급해드리도록 하겠고요.

00:01:41.417 --> 00:01:45.173

바로 동시성의 상대성이란
도대체 뭐냐,

00:01:45.273 --> 00:01:49.102

그리고 고유시간,
시간팽창이라는 건 뭐고

00:01:49.202 --> 00:01:52.285

고유길이, 길이수축이라는 건 뭐냐를

00:01:52.385 --> 00:01:55.427

우리가 확인을 해나가
보도록 하겠습니다.

00:01:55.527 --> 00:01:59.251

그러면 내용에 대한
출발을 하기에 앞서서

00:01:59.351 --> 00:02:06.627

아인슈타인이 어릴 때 했던 상상
하나를 소개해드리도록 할게요.

00:02:06.727 --> 00:02:11.285

아인슈타인은 어릴 때 시계를
보면서 이런 상상을 했답니다.

00:02:11.385 --> 00:02:12.608

지금 시계가 있어요.

00:02:12.708 --> 00:02:24.168
시계를 봤더니 시계가 지금 이렇게
4시 10초를 가리키고 있습니다.

00:02:24.268 --> 00:02:28.454
4시 10초, 이거 어떻게 알아?

00:02:28.554 --> 00:02:30.119
그렇죠, 보고 압니다.

00:02:30.219 --> 00:02:40.279
우리가 시간을 안다는 건 빛을
이용해서 시계를 봐야 알 수 있어요.

00:02:40.379 --> 00:02:41.241
불을 꺼놔.

00:02:41.341 --> 00:02:45.473
그러면 지금 몇 시인지
알 길이 있어, 없어? 없어.

00:02:45.573 --> 00:02:48.883
그러면 빛이 있어야 시간을
볼 수 있습니다.

00:02:48.983 --> 00:02:55.796
그러면 어떤 과정에 의해서 우리가
시간을 볼 수 있는 걸까요?

00:02:55.896 --> 00:03:02.367
빛이 가서 시계에 부딪혀서
반사돼서 그 반사된 빛이

00:03:02.467 --> 00:03:07.119
내 눈에 들어오면
시간을 보는 겁니다.

00:03:07.219 --> 00:03:09.024
그러면 지금 10초예요.

00:03:09.124 --> 00:03:11.184
그러면 10초라는 건
뭘 의미하는 거야?

00:03:11.284 --> 00:03:17.101
빛이 가서 시계에 부딪혀서 10초라는
빛이 내 눈에 들어왔기 때문에

00:03:17.201 --> 00:03:20.816
지금 4시 10초다,
라는 걸 안 거죠.

00:03:20.916 --> 00:03:23.526
그러면 10초 빛 다음에는
무슨 빛이 들어와요?

00:03:23.626 --> 00:03:27.930
11초 빛이 들어오고 12초 빛이
들어오고 13초 빛이 들어오고

00:03:28.030 --> 00:03:32.002

14초 빛이 들어오고 15초
빛이 눈에 들어옵니다.

00:03:32.102 --> 00:03:34.326

그러면 순차적으로
빛이 들어오기 때문에

00:03:34.426 --> 00:03:37.182

아, 시간이 가고 있구나,
라는 걸 알게 되는 거죠.

00:03:37.282 --> 00:03:38.881

그런데 여기서 보세요.

00:03:38.981 --> 00:03:46.746

10초 빛, 11초 빛, 12초 빛, 13초
빛, 14초 빛, 15초 빛이 눈에 들어오는데

00:03:46.846 --> 00:03:59.412

15초 빛이 눈에 들어오기 직전에
내가 이 15초 빛이 날아오는 속도랑

00:03:59.512 --> 00:04:03.002

똑같은 속도로 달려.

00:04:04.294 --> 00:04:06.517

15초 빛이 눈에 들어오려고 하는데

00:04:06.617 --> 00:04:09.179

15초 빛과 내가 똑같이 달려.

00:04:09.279 --> 00:04:11.406

그러면 15초 빛이 내
눈에 들어와, 안 들어와?

00:04:11.506 --> 00:04:12.496

안 들어오겠죠.

00:04:12.596 --> 00:04:14.661

그러면 나는 15초가 되는
거야, 안 되는 거야?

00:04:14.761 --> 00:04:17.003

안 되는 거죠.

00:04:17.103 --> 00:04:18.342

그러면 어떻게 되는 거야?

00:04:18.442 --> 00:04:21.893

시간이 멈추는 거죠.

00:04:22.531 --> 00:04:24.985

아인슈타인이 어릴 때
이런 상상을 했대요.

00:04:25.122 --> 00:04:29.803

정말 기특한 놈이죠?
대단한 놈이죠?

00:04:29.903 --> 00:04:31.563

그럴싸해.

00:04:31.663 --> 00:04:35.148

그러면 빛의 속도로
달리는 건 좀 힘드니까

00:04:35.248 --> 00:04:37.235
빛보다 좀 느리게 달리면 어떨까.

00:04:37.335 --> 00:04:38.066
그러면 봅시다.

00:04:38.166 --> 00:04:43.391
10초 빛, 11초 빛, 12초 빛, 13초
빛, 14초 빛, 15초 빛이 눈에 들어오는데

00:04:43.491 --> 00:04:45.676
가만히 있으면 15초 빛이
그냥 눈에 들어와요.

00:04:45.776 --> 00:04:48.511
그런데 15초 빛이
눈에 들어오려고 할 때

00:04:48.611 --> 00:04:51.948
내가 15초 빛이 날아오는
방향으로 움직여.

00:04:52.048 --> 00:04:54.500
그러면 가만히 있으면
그냥 15초지만

00:04:54.600 --> 00:04:58.878
뒤로 움직이면서 15초를
받으면 어때요?

00:04:58.978 --> 00:05:02.693
15초가 늦게 도달하겠죠.

00:05:02.793 --> 00:05:04.805
그러면 움직이면 어떻게
된다는 소리야?

00:05:04.905 --> 00:05:07.609
시간이 느리게 간다는 소리죠.

00:05:07.709 --> 00:05:12.197
가만히 서 있으면 10초, 11초,
12초, 13초, 14초, 15초가 될 게

00:05:12.297 --> 00:05:20.282
막 움직이면 10초, 11초, 12초,
13초 이렇게 되는 거 아니야.

00:05:20.382 --> 00:05:22.566
결국 움직이게 되면

00:05:22.666 --> 00:05:29.332
시간이 천천히 흐를 수 있지 않을까,
라는 생각도 할 수 있게 되죠.

00:05:29.432 --> 00:05:30.784
그럴싸해.

00:05:32.758 --> 00:05:36.098
아인슈타인이 어려서부터 이
고민을 많이 했습니다.

00:05:36.198 --> 00:05:37.377
어떻게 되는 걸까.

00:05:37.477 --> 00:05:39.842
도대체 시간이라는 건 뭘까.

00:05:39.942 --> 00:05:42.507
정말로 빛의 속도로
달리면 시간이 멈추고

00:05:42.607 --> 00:05:45.365
빛보다는 좀 느리게
달리지만 움직이면

00:05:45.465 --> 00:05:49.769
시간이 정말 느리게 갈 수
있을까를 열심히 고민했구요.

00:05:49.869 --> 00:05:56.196
그 내용을 성인이 돼서 정리한
내용이 바로 특수상대성이론입니다.

00:05:56.296 --> 00:06:01.196
미리 결과를 말씀드리고 가면
특수상대성이론의 결론이 뭐냐,

00:06:01.296 --> 00:06:05.409
빛의 속도로 가면 정말로
느지 않는다는 거고요.

00:06:05.509 --> 00:06:11.801
움직이면 가만히 있을 때보다
천천히 느는다는 결론이에요.

00:06:11.901 --> 00:06:16.075
실제로 이걸 증명된
사실이기도 합니다.

00:06:16.175 --> 00:06:18.358
그러면 이제 어떻게 해야 될까요?

00:06:18.458 --> 00:06:19.340
움직여야죠.

00:06:19.440 --> 00:06:20.836
열심히 움직여야죠.

00:06:20.936 --> 00:06:22.396
그러면 어떻게 되는 거야?

00:06:22.496 --> 00:06:27.035
가만히 있을 때보다 천천히 느어요.

00:06:27.135 --> 00:06:31.268

그런데 그냥 이렇게
움직이면 안 돼.

00:06:31.368 --> 00:06:33.022
이런 속도로는 천천히 안 높고요.

00:06:33.122 --> 00:06:37.809
빛의 속도에 가깝게 움직일 수
있어야 천천히 높을 수 있습니다.

00:06:37.909 --> 00:06:41.184
그래서 일상생활에서는 이게
잘 표현되진 않아요.

00:06:41.284 --> 00:06:47.458
그럼에도 불구하고 부지런하면
가만히 있는 거보다는

00:06:47.558 --> 00:06:50.707
천천히 높을 수 있겠죠,
생체학적으로도.

00:06:50.807 --> 00:06:55.802
그걸 이제 물리학적으로는 정확하게
표현해낼 수 있다는 겁니다.

00:06:55.902 --> 00:07:02.768
그러면 이제 본격적인 이야기를
시작해 나가보도록 할게요.

00:07:02.868 --> 00:07:06.910
본격적인 이야기를 하기 앞서서 또
빛에 대한 이야기를 해보도록 할게요.

00:07:07.010 --> 00:07:12.731
도대체 이 빛의 정체는 뭘까,
빛이란 도대체 뭘까를

00:07:12.831 --> 00:07:17.124
아주 오래전 옛날부터 과학자들이
정말 고민을 많이 해왔어요.

00:07:17.224 --> 00:07:20.764
우리 주위에 굉장히 흔하게
존재하고 있긴 한데

00:07:20.864 --> 00:07:25.498
이 빛은 도대체 뭘까, 어떤 걸까.

00:07:25.598 --> 00:07:29.229
이거에 대한 고민에 답을 한
사람이 몇 명이 있었죠.

00:07:29.329 --> 00:07:31.185
그중에 허황된 답변도 있었어요.

00:07:31.285 --> 00:07:37.888
예수님이 태어나기 전에 그리스도교가 굉장히
과학적인 세계를 지배했던 곳이잖아요.

00:07:37.988 --> 00:07:42.351

그리스 시대에 살았던 과학자들은
이런 상상을 했습니다.

00:07:42.451 --> 00:07:46.186
빛은 우리 눈이 만드는 거야.

00:07:46.286 --> 00:07:52.535
그래서 눈을 뜨고 있으면 보이고
눈을 감으면 안 보여.

00:07:52.635 --> 00:07:53.969
그럴싸해.

00:07:54.069 --> 00:07:59.792
그래서 빛은 우리 눈이 만드는 거다,
라고 발표했던 사람들도 있었어요.

00:07:59.892 --> 00:08:02.285
그리고 흑자는 이런
사람들도 있었어요.

00:08:02.385 --> 00:08:07.139
빛은 아침에 깨어나서
저녁에 죽는 거야.

00:08:07.239 --> 00:08:10.453
빛은 양초에서 만들어지는 거야.

00:08:10.553 --> 00:08:14.195
아주 틀린 말은 아닌데
태어나서 죽는다,

00:08:14.295 --> 00:08:17.718
생명이 있다고 생각한
사람들도 있었어요.

00:08:17.818 --> 00:08:23.288
그러다가 본격적인 빛의 연구를
하기 시작한 게 언제냐,

00:08:23.388 --> 00:08:28.322
바로 갈릴레오 갈릴레이와
뉴턴으로 들어가면서부터입니다.

00:08:28.422 --> 00:08:32.444
그때가 언제냐, 1500년대,
1600년대입니다.

00:08:32.544 --> 00:08:40.018
이 1600년대부터 본격적인 빛의
연구가 시작됐다고도 볼 수 있습니다.

00:08:40.118 --> 00:08:42.278
그때 당시에 바로 누가 있었느냐,

00:08:42.378 --> 00:08:46.736
1600년대 하면 생각나는 아주
대표적인 과학자가 있습니다.

00:08:46.836 --> 00:08:48.857
너무나도 유명한 과학자.

00:08:48.957 --> 00:08:51.053

이 사람은 여러분이
모를 리가 없어요.

00:08:51.153 --> 00:08:56.095

바로 누구냐, 뉴턴이라는
과학자입니다.

00:08:56.195 --> 00:08:58.691

처음 듣는 건 아니지?

00:08:58.791 --> 00:09:01.533

뉴턴이라는 과학자가
뭐라고 이야기했느냐,

00:09:01.633 --> 00:09:06.257

빛은 입자야, 라고 이야기합니다.

00:09:06.357 --> 00:09:09.586

알갱이야, 라고 이야기를 합니다.

00:09:09.686 --> 00:09:11.962

그래서 뉴턴은 이런
주장이었던 거야.

00:09:12.062 --> 00:09:18.316

빨간색 빛이 있으면 이 빨간색 빛은 빨간색
빛 알갱이다, 라고 생각을 했고요.

00:09:18.416 --> 00:09:21.613

그래서 우리가 물체를 봤을
때 빨간색으로 보이면

00:09:21.713 --> 00:09:27.381

그 물체로부터 빨간색 빛 알갱이가
나와서 내 눈에 들어왔기 때문에

00:09:27.481 --> 00:09:30.273

빨간색으로 보인다고
생각을 했습니다.

00:09:30.373 --> 00:09:33.714

그래서 파란색 물체는 파란색
빛 알갱이 내보내고

00:09:33.814 --> 00:09:38.512

노란색 물체는 노란색 빛 알갱이를
내보낸다고 생각한 사람이

00:09:38.612 --> 00:09:39.969

바로 뉴턴이에요.

00:09:40.069 --> 00:09:43.652

그래서 이 뉴턴은 빛에 대한 연구를
굉장히 많이 했던 사람이고요.

00:09:43.752 --> 00:09:47.738

그래서 빛을 학문적으로 이야기하는

00:09:47.838 --> 00:09:51.983

optics, 광학을 최초로
이야기한 사람도 뉴턴이기도 합니다.

00:09:52.083 --> 00:10:00.266
우리가 흔히 이야기하는 무지개색
빨주노초파남보를 표현한 사람도 뉴턴이에요.

00:10:01.265 --> 00:10:02.600
대단하지?

00:10:02.700 --> 00:10:04.937
빨주노초파남보를 뉴턴이 만든 거야.

00:10:05.037 --> 00:10:09.849
무지개는 빨주노초파남보로 이루어졌어,
라고 이야기한 사람이 뉴턴이야.

00:10:09.949 --> 00:10:13.110
실제로 무지개는 빨주노초파남보로만
이루어져 있나요?

00:10:13.210 --> 00:10:16.436
아니죠, 엄청나게 다양한
색깔들이 펼쳐져 있는데

00:10:16.536 --> 00:10:20.534
그중에 대표적인 색깔이
7개 빨주노초파남보인 거지

00:10:20.634 --> 00:10:25.554
실제로 무지개가 모두 빨주노초파남보로만
되어있는 건 아니잖아.

00:10:25.654 --> 00:10:32.027
그런데 그거를 그렇게 대표 색깔로 규정한
사람이 뉴턴이라는 사람이었습니다.

00:10:32.127 --> 00:10:34.928
그런데 그때 당시에
어떤 사람도 있었느냐,

00:10:35.028 --> 00:10:40.652
바로 허위헌스라는 사람이 있었는데

00:10:40.752 --> 00:10:44.339
이 허위헌스라는 사람은
뭘 주장했느냐,

00:10:44.439 --> 00:10:49.698
바로 빛은 입자가 아니라
파동이야, 라고 주장을 합니다.

00:10:49.798 --> 00:10:51.632
이건 무슨 말이나,

00:10:51.732 --> 00:10:55.724
빛이 빨간색이면 빨간색 빛
알갱이가 눈에 들어오는 게 아니라

00:10:55.824 --> 00:11:00.266
빨간색 빛에 맞는 떨림이

눈에 들어오는 거야.

00:11:00.366 --> 00:11:03.605

그래서 빛의 색깔이 다양하면
그 색깔이 다양한 건

00:11:03.705 --> 00:11:09.442

입자로서가 다른 게 아니라 알갱이로서
다른 게 아니라 떨림이 다른 거야.

00:11:09.542 --> 00:11:14.499

빨간색은 빨간색 떨림이 있고 그
빨간색 떨림이 눈을 자극하면

00:11:14.599 --> 00:11:17.657

뇌가 빨간색으로 인식하는 거야.

00:11:17.757 --> 00:11:21.738

파란색 떨림이 있고 그 파란색
빛의 떨림이 눈에 들어오면

00:11:21.838 --> 00:11:29.086

뇌는 파란색 떨림을 보고 그 떨림을
인지해서 파란색으로 보는 거야.

00:11:29.186 --> 00:11:31.787

이렇게 이야기를 하게 됐던 거였죠.

00:11:31.887 --> 00:11:36.734

그래서 이 허위헌스라는 사람은 뉴턴을
너무나도 싫어했던 사람이야.

00:11:36.834 --> 00:11:40.383

그래서 뉴턴이 뭐만 말하면
다 반대이론을 펼쳤어요.

00:11:40.483 --> 00:11:48.272

우리가 잘 알고 있는 뉴턴의 만유인력,
중력도 허위헌스는 반대했어요.

00:11:48.372 --> 00:11:51.680

틀렸어, 그거 아니야, 라고
이야기했던 사람이기도 합니다.

00:11:51.780 --> 00:11:56.220

굉장한 뉴턴의 라이벌 의식을 갖고
있었던 사람으로 알려져 있죠.

00:11:56.320 --> 00:12:00.577

이때 당시에 치열하게
뉴턴은 빛은 알갱이야.

00:12:00.677 --> 00:12:04.311

허위헌스는 빛은 떨림이야,
라고 주장을 했습니다.

00:12:04.411 --> 00:12:06.449

빨간색 빛 알갱이와 빨간색 떨림,

00:12:06.549 --> 00:12:08.248

파란색 빛 알갱이와 파란색 떨림.

00:12:08.348 --> 00:12:18.160

여러분은 누가 맞다고 누구를
스승으로 모시겠습니까?

00:12:18.260 --> 00:12:23.139

이때 당시는 누구의 세상이었느냐,
뉴턴의 세상이었어요.

00:12:23.239 --> 00:12:25.752

당연히 누가 이겼겠어요?

00:12:25.852 --> 00:12:27.203

뉴턴이 이겼습니다.

00:12:27.303 --> 00:12:31.744

그래서 이때 당시에 과학자들은 다
뉴턴이 빛은 알갱이야, 입자야.

00:12:31.844 --> 00:12:34.414

이렇게 이야기했으니까
그래, 뉴턴이 이야기했으니까

00:12:34.514 --> 00:12:37.088

빛은 입자야, 라고
다 생각을 했었죠.

00:12:37.188 --> 00:12:44.175

그러다가 1800년대 딱 들어오면서
1802~1803년 이때

00:12:44.275 --> 00:12:52.878

영이라는 과학자가 등장해서
이중슬릿 실험이라는 걸 합니다.

00:12:52.978 --> 00:12:58.468

이 허위헌스나 영이라는 사람은 우리가
물리학2 책에 등장하는 사람이야.

00:12:58.568 --> 00:13:02.100

그래서 이 사람들이 도대체 어떤
일을 했는지를 알고 싶으시면

00:13:02.200 --> 00:13:05.095

물리학2를 공부하시면 돼요.

00:13:05.195 --> 00:13:07.755

우리 수준에서는 그냥 가볍게
짚고 넘어가면 됩니다.

00:13:07.855 --> 00:13:12.481

이 영이라는 사람이 이중슬릿 실험이라는
걸 통해서 뭘 증명하느냐,

00:13:12.581 --> 00:13:17.838

빛이 파동이다, 떨림이다,
라는 걸 증명해버립니다.

00:13:17.938 --> 00:13:19.610

실험으로 증명해요.

00:13:19.710 --> 00:13:24.063
실험으로 증명했기 때문에 이거는
부정할 수가 없게 된 거야.

00:13:24.163 --> 00:13:27.864
그래서 1800년대 초반에
아주 세상이 발각 뒤집어졌죠.

00:13:27.964 --> 00:13:31.530
왜? 그 위대한 뉴턴이 틀렸다는 게

00:13:31.630 --> 00:13:36.333
영이라는 과학자에 의해서 증명이
되어버렸기 때문입니다.

00:13:36.433 --> 00:13:39.768
도대체 이중슬릿 실험이라는
건 어떤 실험이었기에

00:13:39.868 --> 00:13:43.569
빛이 파동이라는 걸 증명한 건가요?

00:13:43.669 --> 00:13:46.079
물리학2에 나온다고요.

00:13:46.179 --> 00:13:48.246
여기서는 안 다룬다고요.

00:13:48.346 --> 00:13:52.038
어쨌든 영이라는 과학자에
의해서 1800년대 초반에

00:13:52.138 --> 00:13:55.683
빛이 파동이라는 게
증명이 되어버렸고요.

00:13:55.783 --> 00:13:58.950
뉴턴이 틀렸다는 게 증명이 됩니다.

00:13:59.050 --> 00:14:04.031
그러면서 또 어떻게 되느냐,
1800년대 중반 1860 몇 년에

00:14:04.131 --> 00:14:12.961
맥스웰이라는 사람이 등장해서
빛이 실제로 떨림이 전달되는

00:14:13.061 --> 00:14:16.505
전자기파, 파동이다.

00:14:16.605 --> 00:14:22.002
떨림이 전달되는 거다, 라는 걸
또 한 번 증명하게 됩니다.

00:14:22.102 --> 00:14:25.699
맥스웰이라는 과학자가 수학적으로
이건 또 증명하게 돼요.

00:14:25.799 --> 00:14:28.285
그래서 이때부터는 부정할
수가 없게 됐어요.

00:14:28.385 --> 00:14:33.995

빛은 무조건 떨림이
거야, 파동인 거야.

00:14:34.095 --> 00:14:38.388

그래서 그냥 떨림이 아니고 맥스라는
사람은 전자기파라는 떨림이다.

00:14:38.488 --> 00:14:40.365

그래서 빛이 꽃 전자기파야.

00:14:40.465 --> 00:14:44.622

전자기파와 빛은 같은 표현이에요.

00:14:44.722 --> 00:14:46.102

이건 참고로 알아두시고요.

00:14:46.202 --> 00:14:50.721

어쨌든 이로 인해서 빛이
파동이라는 게 명명백백해졌고요.

00:14:50.821 --> 00:14:55.132

그다음 또 1800년대
말쯤에 누가 등장하냐면,

00:14:55.232 --> 00:14:57.705

그때 당시에 너무나도
유명한 과학자,

00:14:57.805 --> 00:15:02.019

우리가 한 번쯤은 들어봤을 과학자
헤르츠라는 과학자가 등장합니다.

00:15:02.119 --> 00:15:04.664

헤르츠, 어디서 들어봤지?

00:15:04.764 --> 00:15:05.704

라디오 주파수.

00:15:05.804 --> 00:15:08.299

95.9 메가헤르츠 할 때 헤르츠.

00:15:08.399 --> 00:15:14.835

그 헤르츠라는 걸 만들어낸 과학자가
빛은 떨림이다, 전자기파다, 라는 걸

00:15:14.935 --> 00:15:16.943

다시 한번 입증하게 되죠.

00:15:17.043 --> 00:15:20.767

그러면서 과학자들은 결국
영과 맥스웰에 의해서

00:15:20.867 --> 00:15:26.811

1800년대 초반부터 빛이 파동이라는
게 너무나도 분명해졌기 때문에

00:15:26.911 --> 00:15:32.624

빛이 파동인 것을 확인하기
위한 여러 작업을 진행합니다.

00:15:32.724 --> 00:15:36.118

그중에 과학자들의
관심사는 뭐였느냐,

00:15:36.218 --> 00:15:40.650

과동이기 위해서는 반드시
뭐가 있어야 되느냐면

00:15:40.750 --> 00:15:50.052

떨림이 진행하려면 떨림을
진행시켜주는 물질이 있어야 돼요.

00:15:50.152 --> 00:15:51.171

우리는 그 물질.

00:15:51.271 --> 00:15:56.744

과동이 진행되어갈 수 있게 해주는
물질을 뭐라고 부르느냐,

00:15:56.844 --> 00:16:00.512

매질이라고 부릅니다.

00:16:00.612 --> 00:16:09.182

그래서 과학자들은 빛의 떨림을
전달시켜줄 수 있는 매질.

00:16:09.282 --> 00:16:13.829

물질이 존재한다고 생각을
할 수밖에 없었고요, 왜?

00:16:13.929 --> 00:16:20.022

빛이 과동이고 과동이면 반드시 떨림이
전달될 수 있는 물질이 있어야 되니까

00:16:20.122 --> 00:16:23.098

그 물질을 뭐라고 이름을 붙였느냐,

00:16:23.198 --> 00:16:28.379

에테르라고 이름을 붙였습니다.

00:16:28.479 --> 00:16:31.942

그래서 이 과학자들은
1800년대 초반 이후부터는

00:16:32.042 --> 00:16:34.761

어떤 연구에 초점을 맞추느냐,

00:16:34.861 --> 00:16:41.234

도대체 이 빛을 전달시켜줄 수 있는,
빛이 진행되게 해줄 수 있는

00:16:41.334 --> 00:16:47.762

이 에테르라는 물질은 어떤
물질일까를 밝혀나가기 위해서

00:16:47.862 --> 00:16:50.998

정말로 많은 노력을 기울입니다.

00:16:51.098 --> 00:16:55.840

그 노력에 어떤

과학자가 등장하느냐,

00:16:55.940 --> 00:17:06.485

바로 우리 교과서에도 실려있는 마이켈슨과
몰리라는 과학자가 등장합니다.

00:17:06.585 --> 00:17:09.404

이게 1800년대 말 이야기예요.

00:17:09.504 --> 00:17:16.901

이 마이켈슨과 몰리라는 과학자는

00:17:17.001 --> 00:17:20.585

어떤 방법으로 에테르를
증명하려고 했느냐,

00:17:20.685 --> 00:17:30.020

이 마이켈슨, 몰리는
빛의 속도 측정실험을 통해서

00:17:30.120 --> 00:17:35.927

에테르가 어떤 특성을 갖고 있는지를
밝혀내려고 했던 과학자였습니다.

00:17:36.027 --> 00:17:39.116

이런 상상을 한번 해봅시다.

00:17:39.216 --> 00:17:40.760

바람이 이렇게 불어와요.

00:17:40.860 --> 00:17:45.619

바람이 불어오는 쪽으로 내가
아, 라는 소리를 지릅니다.

00:17:45.719 --> 00:17:48.077

바람이 이렇게 불어오고 있어요.

00:17:48.177 --> 00:17:51.949

바람이 이렇게 불어가는 방향으로
아, 라는 소리를 지릅니다.

00:17:52.049 --> 00:17:55.757

바람이 불어오는 쪽으로 아,
라는 소리를 질렀을 때

00:17:55.857 --> 00:17:58.127

그 아, 라는 소리가
퍼지는 속도가 빠를까요,

00:17:58.227 --> 00:18:01.746

바람이 불어가는 방향 쪽으로
아, 라는 소리를 질렀을 때

00:18:01.846 --> 00:18:05.145

그 불어가는 방향으로 진행되는
소리의 속도가 빠를까요?

00:18:05.245 --> 00:18:09.709

당연히 바람이 불어가는 방향으로
아, 라는 소리의 속도가

00:18:09.809 --> 00:18:13.484

바람이 불어오는 방향으로 아,
라고 지른 소리의 속도보다

00:18:13.584 --> 00:18:15.392

더 빠를 수밖에 없습니다.

00:18:15.492 --> 00:18:23.199

이런 관점에서 마이켈슨과 몰리는
빛의 속도 측정 실험을 해서

00:18:23.299 --> 00:18:27.254

에테르가 어떠한 특성을
갖고있는지를 밝히려고 했던 거죠.

00:18:27.354 --> 00:18:31.274

온도가 높은 곳, 온도가 낮은 곳,
압력이 큰 곳, 압력이 낮은 곳.

00:18:31.374 --> 00:18:33.266

이런 것들을 막 찾아다니는 겁니다.

00:18:33.366 --> 00:18:35.084

온 지구를 찾아다니는 거죠.

00:18:35.184 --> 00:18:40.143

온 지구를 찾아다니면 이 지구를
둘러싸고 있는 에테르.

00:18:40.243 --> 00:18:42.237

빛이 사방팔방으로 진행하고 있으니까

00:18:42.337 --> 00:18:45.702

우리 주변에 다 에테르라는 물질이
가득 차 있다고 생각할 수밖에 없고

00:18:45.802 --> 00:18:49.082

이 에테르라는 물질이 가만히 있을
리가 없다고 생각을 한 거죠.

00:18:49.182 --> 00:18:51.069

어딘가에서는 움직이고 있을 거고

00:18:51.169 --> 00:18:55.581

어딘가에서는 특정한 성질을 갖고
있을 거다, 라고 생각을 했고요.

00:18:55.681 --> 00:19:01.248

그래서 사방팔방을 돌아다니면서 빛의
속도 측정 실험을 막 합니다.

00:19:01.348 --> 00:19:04.826

바람이 세게 부는 곳,
바람이 약하게 부는 곳,

00:19:04.926 --> 00:19:06.918

압력이 큰 곳, 압력이 약한 곳.

00:19:07.018 --> 00:19:09.152

이런 곳을 찾아다니면서.

00:19:09.252 --> 00:19:16.336
그런데 너무 특이한 현상을 마이켈슨과
몰리가 밝혀내게 됩니다.

00:19:16.436 --> 00:19:18.087
어떤 걸 밝혀내게 되느냐,

00:19:18.187 --> 00:19:21.249
분명히 우리 주위에 에테르라는
물질이 존재하고 있고

00:19:21.349 --> 00:19:24.770
이 에테르라는 물질이
가만히 있을 수도 있지만

00:19:24.870 --> 00:19:26.470
가만히 없을 수도 있으니까.

00:19:26.570 --> 00:19:30.312
움직이고 있다고 표현할 수 있으니까,
지구는 자전하고 공전하고 있으니까.

00:19:30.412 --> 00:19:33.571
또 이 우주 공간에도 태양 빛이
지구로 전달되어오고 있으니까

00:19:33.671 --> 00:19:36.602
이 우주 공간도 에테르로
가득 차 있을 거니까.

00:19:36.702 --> 00:19:41.153
결과적으로 지구가 자전하고 움직이고
바람도 불고 이러기 때문에

00:19:41.253 --> 00:19:44.035
그러한 움직임에 의해서
에테르도 움직이고 있고

00:19:44.135 --> 00:19:48.878
에테르도 움직이고 있으니까 결국
빛의 속도도 측정할 때마다

00:19:48.978 --> 00:19:52.573
다르게 나올 수 있을 거다,
라고 생각을 한 거죠.

00:19:52.673 --> 00:19:54.812
그래서 바람이 세게 부는 곳,
바람이 약하게 부는 곳,

00:19:54.912 --> 00:19:59.196
압력이 큰 곳, 압력이 약한 곳,
온도가 높은 곳, 온도가 낮은 곳에서

00:19:59.296 --> 00:20:00.879
빛의 속도 측정 실험을 하면

00:20:00.979 --> 00:20:05.796
에테르가 어떠한 특성을 갖고
있는지를 밝혀내려고 실험을 했는데

00:20:05.896 --> 00:20:12.384

마이켈슨과 물리가 내린
결론이 뭐냐 하면요.

00:20:19.474 --> 00:20:24.602

광속이 빛의 속도가
일정하다는 결론이었어요.

00:20:24.702 --> 00:20:27.433

마이켈슨과 물리는 정말
고민을 많이 했어요.

00:20:27.533 --> 00:20:31.944

분명히 빛의 속도는 달라야 되는데.

00:20:32.044 --> 00:20:36.121

에테르의 흐름에 의해서 다르게
측정이 되어야 되는데

00:20:36.221 --> 00:20:40.058

이상하게 빛의 속도는
어디서 측정을 해도

00:20:40.158 --> 00:20:43.486

동일한 결론이 나오더라,
라는 거였습니다.

00:20:43.586 --> 00:20:50.181

그래서 실제로 마이켈슨과 물리의
논문 끄트머리에 뭐라고 써져있느냐,

00:20:50.281 --> 00:20:53.566

영어로 써져있었겠지만
한글로 해석하면

00:20:53.666 --> 00:20:57.535

이상하게 빛의 속도는 일정해.

00:20:57.635 --> 00:20:58.895

이게 결론이었습니다.

00:20:58.995 --> 00:21:02.027

이상하게 빛의 속도가 일정해.

00:21:02.127 --> 00:21:06.060

빛의 속도는 분명히 달라야
되는데 일정하다는 거야.

00:21:06.160 --> 00:21:12.699

이거를 받아들여서 설명한
과학자가 바로 누구예요?

00:21:12.799 --> 00:21:22.822

1900년대 초반에 등장한 그
유명한 아인슈타인입니다.

00:21:23.655 --> 00:21:27.158

아인슈타인이 등장해서 어떤 관점에서

00:21:27.258 --> 00:21:30.643

이 빛의 속도가 일정하다는

걸 설명하게 되느냐,

00:21:30.743 --> 00:21:36.027

빛은 파동으로서의 성질만
있는 게 아니라

00:21:36.127 --> 00:21:42.046

빛은 입자로서의 성질도 가지고
있다는 걸 밝혀내면서

00:21:42.146 --> 00:21:48.902

빛의 속도가 일정해야만 하는
이유도 설명하게 됩니다.

00:21:49.002 --> 00:21:53.735

그래서 아인슈타인은 어떤 관점에서
빛의 속도가 일정해야만 했는지는

00:21:53.835 --> 00:21:55.807

나중에 말씀을 드리도록 하겠고요.

00:21:55.907 --> 00:22:02.335

여기서는 아인슈타인이 결과적으로는
마이켈슨, 물리의 결론이었던

00:22:02.435 --> 00:22:07.708

광속불변을 설명하게 된다는 겁니다.

00:22:07.808 --> 00:22:14.774

그래서 이 아인슈타인 덕분에 마이켈슨과
물리는 빛의 속도 측정 실험으로

00:22:14.874 --> 00:22:18.420

노벨물리학상을 수상해요.

00:22:18.520 --> 00:22:22.283

실제로 마이켈슨과 물리가 노벨물리학상을
수상할 수 있었던 이유는

00:22:22.383 --> 00:22:24.450

실제로도 아인슈타인 덕분이예요.

00:22:24.550 --> 00:22:28.010

아인슈타인이 빛의 속도가
일정한 이유를 설명하면서

00:22:28.110 --> 00:22:33.257

덕분에 마이켈슨, 물리가 빛의 속도가
일정하다는 걸 밝혀냈던 상황을

00:22:33.357 --> 00:22:37.462

노벨물리학상으로 보상을
할 수 있게 해줬던 거죠.

00:22:37.562 --> 00:22:42.312

여기서 우리가 갖게 되는 교훈,
얻게 되는 교훈은 바로 뭐냐,

00:22:42.412 --> 00:22:47.698

실험하면 실험의 결과를
조작하지 말라.

00:22:47.798 --> 00:22:49.769

여러분, 보통 주작이라고
이야기하죠?

00:22:49.869 --> 00:22:56.562

여러분 친구들 데리고 제가 실험
수행 평가를 하면 조작을 해요.

00:22:56.662 --> 00:22:59.692

데이터, 결론에 맞춰서
조작한단 말이야.

00:22:59.792 --> 00:23:01.413

조작하면 안 돼.

00:23:01.513 --> 00:23:04.853

있는 그대로를 가지고
분석을 해야 되는 거죠.

00:23:04.953 --> 00:23:08.528

마이켈슨, 물리가 만약에
원하는 실험 결과로

00:23:08.628 --> 00:23:11.138

빛의 속도가 다르다는 걸 조작했다면

00:23:11.238 --> 00:23:15.773

마이켈슨과 물리는 노벨물리학상을
수상할 수 없었겠죠.

00:23:15.873 --> 00:23:20.717

있는 그대로를 발표했었기 때문에
이상하게 일정해, 웬지는 모르지만.

00:23:20.817 --> 00:23:23.468

이렇게 발표했었기 때문에
아인슈타인 덕분에

00:23:23.568 --> 00:23:29.131

노벨물리학상도 수상을
할 수 있게 됐었던 거죠.

00:23:29.231 --> 00:23:32.127

그러면 여기서 이 이야기로
시작해보도록 하겠습니다.

00:23:32.227 --> 00:23:38.700

아인슈타인은 이 광속
불변이라는 이론을 받아서

00:23:38.800 --> 00:23:41.786

어떤 이론을 발표하게 되느냐,

00:23:41.886 --> 00:23:51.433

바로 그 유명한 특수상대성이론을
발표하게 됩니다.

00:23:51.533 --> 00:23:56.860

이 특수상대성이론에 기본조건이
두 가지가 있거든요.

00:23:56.960 --> 00:24:00.577

그 기본조건 두 가지의
첫 번째, 두 번째.

00:24:00.677 --> 00:24:07.048
바로 첫 번째가 광속불변입니다.

00:24:07.148 --> 00:24:11.690
빛의 속도는 진공에서라는
가정이 있어요.

00:24:11.790 --> 00:24:15.260
진공 또는 공기라고
생각해도 상관은 없습니다.

00:24:15.360 --> 00:24:22.948
진공에서 빛의 속도는 어떠한
경우에도 변하지 않는다, 일정하다.

00:24:23.048 --> 00:24:27.170
그래서 이 빛의 속도가 약
얼마냐, 2억 9900 얼마인데

00:24:27.270 --> 00:24:28.757
우리는 이렇게 생각하면 돼요.

00:24:28.857 --> 00:24:32.115
3억m/s다.

00:24:32.949 --> 00:24:37.041
이거를 그대로 30만km/s다,
라고도 표현을 하죠.

00:24:37.141 --> 00:24:42.801
1초에 3억m를 가는 빠르기로
빛이 날아다니고 있다는 겁니다.

00:24:42.901 --> 00:24:45.439
그런데 여기서 중요하게 기억해야
될 건 바로 이거예요.

00:24:45.539 --> 00:24:50.308
광속불변의 의미입니다.

00:24:50.408 --> 00:24:55.743
광속불변이라는 말은 뭐냐, 우리가
일상생활에서 물체가 있을 때

00:24:55.843 --> 00:24:58.458
물체를 던져요.

00:24:58.558 --> 00:25:03.035
그러면 물체가 쪽
날아가는 속도가 있죠?

00:25:03.135 --> 00:25:05.135
그러면 내가 여기서 물체를 던져요.

00:25:05.235 --> 00:25:12.393
물체를 던지고 날아가고 있을 때

내가 뒤로 물러나면서

00:25:12.493 --> 00:25:14.274
저 물체를 본다고 생각해봅시다.

00:25:14.374 --> 00:25:17.251
내가 애를 던지고 뒤로 물러나.

00:25:17.351 --> 00:25:20.744
뒤로 물러나면서 물체가
날아가는 속도를 보면

00:25:20.844 --> 00:25:23.116
실제 물체가 날아가는 속도보다

00:25:23.216 --> 00:25:28.327
뒤로 물러나면서 재가 날아가는
속도를 보면 언제 보일까요?

00:25:28.427 --> 00:25:32.760
실제 날아가는 속도보다는
빨리 날아가는 거로 보이죠.

00:25:32.860 --> 00:25:40.182
또 물체를 던지고 날아가고 있을 때
내가 이 물체를 따라가면서 봐.

00:25:40.282 --> 00:25:44.989
이 물체를 던지고 물체가 날아가갈
때 내가 이것 따라가면서 보면

00:25:45.089 --> 00:25:49.354
이 물체의 속도는 실제의
속도보다 느리게 보이죠.

00:25:49.454 --> 00:25:51.502
너무 당연하죠.

00:25:51.602 --> 00:25:59.840
그런데 빛은 어떠한 경우에도 똑같은
속도로만 보인다는 겁니다.

00:25:59.940 --> 00:26:04.131
빛을 내가 빵 쏘고
빛을 따라가면서 봐도

00:26:04.231 --> 00:26:06.498
빛의 속도는 3억m/s로 보이고요.

00:26:06.598 --> 00:26:10.321
빛을 빵 쏘고 그 빛이
쭉 날아가고 있을 때

00:26:10.421 --> 00:26:16.518
날아가는 속도를 뒤로 물러나면서 봐도
3억m/s로만 보인다는 겁니다.

00:26:16.618 --> 00:26:22.567
또 하나, 우리가
일상생활에서 물체를 던질 때

00:26:22.667 --> 00:26:28.042
제자리에서 물체를 던지는 것보다
달려가면서 물체를 던지는 게

00:26:28.142 --> 00:26:31.473
속도를 더 빠르게
만들어낼 수 있죠.

00:26:31.573 --> 00:26:33.146
그러면 생각해봅시다.

00:26:33.246 --> 00:26:37.470
제자리에서 빛을 쬐었을 때 빛이
나가는 속도가 빠를까요,

00:26:37.570 --> 00:26:41.597
막 달려가면서 빛을 쬐 때 빛이
날아가는 속도가 더 빠를까요?

00:26:41.697 --> 00:26:43.737
상식적으로 생각하면
어떻게 돼야 돼?

00:26:43.837 --> 00:26:48.683
달려가면서 빛을 쬐야 달려가는
속도가 빛의 속도에 더해져서

00:26:48.783 --> 00:26:50.868
더 빠른 속도로 날아갈 거 같죠?

00:26:50.968 --> 00:26:54.534
그런데 빛은 그렇지 않다는 겁니다.

00:26:54.634 --> 00:27:00.126
빛은 어떠한 경우에도, 어떠한
관찰자가 무슨 짓을 하면서 봐도

00:27:00.226 --> 00:27:05.110
무조건 빛의 속도는
3억m/s로만 보인다.

00:27:05.210 --> 00:27:10.893
이게 바로 아인슈타인이
주장한 광속불변입니다.

00:27:10.993 --> 00:27:16.190
막 날아가는 걸 달려가면서
봐도 3억m/s.

00:27:16.290 --> 00:27:20.183
제자리에서 쏘나 달려가면서
쏘나 3억m/s.

00:27:20.283 --> 00:27:23.626
날아가는 걸 뒤로 물러나면서
봐도 3억m/s.

00:27:23.726 --> 00:27:29.264
어떠한 관찰자가 무슨 짓을 하면서
봐도 진공에서 날아가는 빛의 속도는

00:27:29.364 --> 00:27:31.918
3억m/s로만 보인다.

00:27:32.018 --> 00:27:37.543
공기 중에서 날아가는 빛의 속도는
3억m/s로만 보인다는 게

00:27:37.643 --> 00:27:42.128
바로 광속불변이에요.

00:27:42.228 --> 00:27:43.269
어려운 거 아니죠?

00:27:43.369 --> 00:27:45.999
외우면 끝나는 거죠?

00:27:46.099 --> 00:27:52.562
이 빛이라는 애는 참 신기하지만
실제로 그렇습니다.

00:27:52.662 --> 00:27:58.219
그래서 빛은 아직도 오묘한
연구 대상이에요.

00:27:58.319 --> 00:28:02.731
아인슈타인의 특수상대성이론의
두 번째 조건은 바로 뭐냐,

00:28:02.831 --> 00:28:10.280
상대성 원리입니다.

00:28:10.380 --> 00:28:12.656
이건 무슨 말이나, 별거 아니야.

00:28:12.756 --> 00:28:17.761
굉장히 간단한 내용이에요.

00:28:17.861 --> 00:28:24.398
쉽게 이야기하면 정지상태와
등속도 상태는 구분할 수 없다.

00:28:24.498 --> 00:28:28.249
이게 같은 상태다, 라는
게 상대성 원리입니다.

00:28:28.349 --> 00:28:32.849
이게 무슨 말이나, 버스가 있어요.

00:28:32.949 --> 00:28:34.329
내가 버스에 타고 있어.

00:28:34.429 --> 00:28:40.081
이 버스에 탄 상태로 이
버스가 등속으로 움직여가.

00:28:40.181 --> 00:28:45.972
그러면 이 버스 안에 타고 있는
나는 이 버스가 움직이고 있는지

00:28:46.072 --> 00:28:53.548
정지해있는지 등속으로 움직이고

있는지 구분할 수 없다는 겁니다.

00:28:53.648 --> 00:28:54.762
실제로도 그렇죠?

00:28:54.862 --> 00:28:58.007
우리가 버스를 타고 밖을
명패리고 보고 있으면

00:28:58.107 --> 00:29:02.532
이 버스가 움직이는 건지 배경이 뒤로
가는 건지 모를 때가 있잖아요,

00:29:02.632 --> 00:29:03.788
헛갈릴 때가 있잖아요.

00:29:03.888 --> 00:29:06.033
그런 상황이라고 생각하시면 됩니다.

00:29:06.133 --> 00:29:09.562
정지와 등속도는 구분할 수 없다.

00:29:09.662 --> 00:29:10.744
이런 것도 됩니다.

00:29:10.844 --> 00:29:14.266
내가 등속으로 가면서 애를 던져.

00:29:14.366 --> 00:29:19.631
등속으로 가면서 내가 위로
물체를 던지면 이렇게 되죠?

00:29:19.772 --> 00:29:24.119
여러분이 보면 애가
이렇게 움직였지만

00:29:24.219 --> 00:29:28.442
내가 보면 애는 그냥
올라갔다 내려왔어요.

00:29:28.542 --> 00:29:32.248
결국 내가 가만히 있는 상태에서
애가 올라갔다 내려오는 거나

00:29:32.348 --> 00:29:35.217
내가 등속으로 움직이면서
애가 올라갔다 내려오는 거나

00:29:35.317 --> 00:29:37.623
똑같은 상태로 보인다는 거죠.

00:29:37.723 --> 00:29:41.934
결국 정지와 등속도는 구분할
수 없다는 겁니다.

00:29:42.034 --> 00:29:44.094
나타나는 현상을 구분할 수 없다.

00:29:44.194 --> 00:29:47.896
이게 바로 상대성 원리에요.

00:29:47.996 --> 00:29:54.923
이 조건으로 아인슈타인은 어떤
이야기로 출발을 하느냐,

00:29:55.023 --> 00:30:04.062
바로 동시성의 상대성이라는
이야기로 출발합니다.

00:30:04.162 --> 00:30:09.619
이 동시성의 상대성이라는
이야기는 어떤 거냐면,

00:30:09.719 --> 00:30:14.542
여기 지금 이렇게 열차가
있어요, 버스가 있어요.

00:30:14.642 --> 00:30:22.862
이 버스 정확히 가운데에 빛을
양쪽으로 발사시키는 광원이 있고요.

00:30:22.962 --> 00:30:30.507
그리고 양쪽 벽에는 이 빛을 받는
센서가 있다고 생각해보겠습니다.

00:30:30.607 --> 00:30:35.808
이때 이 광원은 양쪽으로 빛을
동시에 빵하고 발사합니다.

00:30:35.908 --> 00:30:37.907
양쪽으로 빵하고 발사하고요.

00:30:38.007 --> 00:30:42.199
지금 이 거리랑 이
거리는 동일합니다.

00:30:42.299 --> 00:30:47.670
그러면 여기 가운데 안에
타고 있는 사람이 봤을 때

00:30:47.770 --> 00:30:51.596
양쪽으로 빛이 동시에
빵하고 발사됐고

00:30:51.696 --> 00:30:55.347
같은 속도로 같은
거리를 날아갈 거니까

00:30:55.447 --> 00:31:00.787
양쪽 센서의 빛은
동시에 도달하겠죠.

00:31:00.887 --> 00:31:02.927
너무 당연하죠?

00:31:03.027 --> 00:31:06.471
문제는 이 상황입니다.

00:31:06.571 --> 00:31:17.886
이런 상황인데 이 버스가 이쪽 방향으로
굉장히 빠른 속도로 달려갑니다.

00:31:17.986 --> 00:31:25.978

그리고 이 상황을 버스 밖에
있는 사람도 함께 지켜봅니다.

00:31:26.078 --> 00:31:29.042

버스 안에 타고 있는 사람이 보면

00:31:29.142 --> 00:31:33.681

이 버스는 움직이지 않는
것과 동일한 상태입니다.

00:31:33.781 --> 00:31:34.981

등속으로 움직이니까.

00:31:35.081 --> 00:31:38.462

버스 안에 있는 사람이 보면
버스의 천장, 버스의 손잡이,

00:31:38.562 --> 00:31:41.500

버스 벽에 있는 낙서,
버스의 의자 손잡이.

00:31:41.600 --> 00:31:43.871

다 자기랑 같이 움직여가고 있어요.

00:31:43.971 --> 00:31:48.313

자기랑 다 같이 움직여가니까 이
버스 안에 타고 있는 사람은

00:31:48.413 --> 00:31:50.409

버스가 움직이는 거야,
안 움직이는 거야?

00:31:50.509 --> 00:31:52.194

안 움직이는 거로 보인다고요.

00:31:52.294 --> 00:31:58.247

결국 버스 안에 있는 사람은 버스가
그냥 정지해있는 거로 보이죠.

00:31:58.347 --> 00:32:03.934

그 상태에서 가운데서 빛이 양쪽으로
동시에 빵하고 발사됐어요.

00:32:04.034 --> 00:32:10.004

빵하고 발사됐으니까 당연히
이 사람은 빛이 양쪽 벽에

00:32:10.104 --> 00:32:14.505

동시에 도달한다고 표현을 합니다.

00:32:14.605 --> 00:32:16.457

이 사람 입장에서는
버스가 안 움직이는데

00:32:16.557 --> 00:32:19.558

가운데에서 양쪽에 빛이
동시에 빵하고 발사됐고

00:32:19.658 --> 00:32:23.475

양쪽으로 발사된 빛은 똑같은 속도로

똑같은 거리를 날아갈 거니까

00:32:23.575 --> 00:32:26.047
양쪽에 동시에 도달하게 되죠.

00:32:26.147 --> 00:32:31.124
이 상황을 밖에 있는
사람이 보는 겁니다.

00:32:31.224 --> 00:32:31.952
보세요.

00:32:32.052 --> 00:32:36.322
밖에 있는 사람이 보면 빛이
빠하고 양쪽으로 발사돼서

00:32:36.422 --> 00:32:39.212
양쪽 벽으로 날아가고 있는데

00:32:39.312 --> 00:32:47.170
그 사이에 버스가 쏙하고
이렇게 옮겨오게 됩니다.

00:32:48.381 --> 00:32:52.533
그러면 뒤쪽 센서는
당겨와 지게 되고요.

00:32:52.633 --> 00:32:56.849
앞쪽 센서는 오른쪽으로
떨어진 상태가 되죠.

00:32:56.949 --> 00:32:58.727
보세요.

00:32:58.827 --> 00:33:03.338
빛이 날아가는 속도는 안에 탄
사람이 봤을 때가 빠를까요,

00:33:03.438 --> 00:33:06.734
밖에 타고 있는 사람이
봤을 때가 빠를까요?

00:33:06.834 --> 00:33:13.265
어느 쪽으로 날아가는 빛의 속도가
이 사람은 빠르다고 보여질까.

00:33:17.773 --> 00:33:20.482
아까 이야기했잖아.

00:33:20.582 --> 00:33:23.614
광속불변.

00:33:24.169 --> 00:33:29.031
어떠한 관찰자가 무슨 짓을 하면서
어떻게 봐도 빛의 속도는 무조건

00:33:29.131 --> 00:33:33.404
3억m/s로만 보인다고요.

00:33:33.504 --> 00:33:36.214
이 사람이 봐도 빛의

속도는 3억m/s고요.

00:33:36.314 --> 00:33:43.318

애가 봐도 양쪽으로 발사돼서
날아가는 빛은 3억m/s입니다.

00:33:43.418 --> 00:33:46.925

그러니까 똑같은 속도로
쭉 날아가는데

00:33:47.025 --> 00:33:52.433

그 사이에 애가 봤을 때는 이
버스가 이만큼 당겨와 지니까

00:33:52.533 --> 00:33:56.430

밖에 있는 사람이 보면
어디에 빛이 먼저 부딪혀?

00:33:56.530 --> 00:33:59.269

뒤쪽에 빛이 먼저 부딪히고

00:33:59.369 --> 00:34:06.497

앞쪽에 빛이 나중에 부딪히는
거로 보이게 됩니다.

00:34:06.597 --> 00:34:09.006

일상생활에서는 어쩌냐,

00:34:09.106 --> 00:34:14.843

우리가 물체 두 개를 들고

00:34:14.943 --> 00:34:20.021

이 물체를 이렇게 움직이면서
양쪽으로 똑같은 속도로 던지잖아요?

00:34:20.121 --> 00:34:25.751

그러면 이쪽으로는 내가 옮기는 속도가
더해져서 빠르게 날아가고요.

00:34:25.851 --> 00:34:29.639

이쪽으로는 내가 이쪽으로
움직이는 속도가 빠져서

00:34:29.739 --> 00:34:32.341

느리게 날아가게 되죠.

00:34:32.441 --> 00:34:35.006

이쪽으로 움직이면서
이렇게 던지는 거랑

00:34:35.106 --> 00:34:37.374

이렇게 움직이면서
이렇게 던지는 거랑

00:34:37.474 --> 00:34:39.572

속도가 다르게 나타날
수밖에 없잖아.

00:34:39.672 --> 00:34:43.136

일상생활에서는 양쪽으로
똑같이 던져졌어도

00:34:43.236 --> 00:34:48.139

이 버스의 속도에 의해서
더해지고 빠져서

00:34:48.239 --> 00:34:51.036

뒤쪽으로는 느리게 날아가고
앞쪽으로는 빠르게 날아가서

00:34:51.136 --> 00:34:57.181

양쪽에 동시에 도달한다고 애나
애나 똑같이 이야기할 수 있어요.

00:34:57.281 --> 00:35:00.786

그런데 빛은 무슨
짓을 하면서 던져도

00:35:00.886 --> 00:35:02.876

다 똑같은 속도로만 날아가니까

00:35:02.976 --> 00:35:06.872

애가 보면 양쪽에 빛이 동시에 도달한다는
건 너무나도 당연한 거고요.

00:35:06.972 --> 00:35:09.067

애가 봤을 때는 버스가
안 움직이니까.

00:35:09.167 --> 00:35:13.789

그런데 애가 봤을 때도 빛의 속도는
양쪽으로 똑같은 속도로 날아가는데

00:35:13.889 --> 00:35:17.905

그 사이에 버스 양쪽
벽이 당겨와 지니까

00:35:18.005 --> 00:35:24.634

뒤쪽 벽에 빛이 먼저 도달하고 앞쪽
벽에 빛이 나중에 도달하게 되는 거죠.

00:35:24.734 --> 00:35:27.078

이거 굉장히 중요한 내용이야.

00:35:27.178 --> 00:35:28.671

그러면 결과적으로
어떻게 되는 거야?

00:35:28.771 --> 00:35:33.100

버스 안에 탄 사람은
양쪽으로 발사된 빛이

00:35:33.200 --> 00:35:37.519

양쪽 벽에 동시에 도달했어,
라고 이야기하는데

00:35:37.619 --> 00:35:41.953

버스 밖에 있는 사람은
아니야, 양쪽으로 출발한 빛은

00:35:42.053 --> 00:35:44.063

버스 뒤에 먼저 도달하고

00:35:44.163 --> 00:35:48.592

버스 앞에 나중에 도달했어,
라고 이야기하게 된다는 거죠.

00:35:48.692 --> 00:35:52.992

결국 한 사람은 동시라고
이야기했던 게 다른 사람에게는

00:35:53.092 --> 00:35:56.493

동시가 아니다, 라고 대답을
하게 된다는 거죠.

00:35:56.593 --> 00:35:58.343

이런 현상을 우리는
뭐라고 부르느냐,

00:35:58.443 --> 00:36:01.709

동시성의 상대성이라고 불러줘요.

00:36:01.809 --> 00:36:05.983

결국 아인슈타인은 이
현상을 상상하고

00:36:06.083 --> 00:36:09.764

그렇다면 이 사람에게
동시라는 사건이

00:36:09.864 --> 00:36:12.759

이 사람에게는 동시가 아닌 거는

00:36:12.859 --> 00:36:17.591

이 사람에게 의한 시간과 이
사람에게 의한 시간 간격의 차이가

00:36:17.691 --> 00:36:20.783

발생할 수밖에 없겠구나,
라는 생각을 한 거죠.

00:36:20.883 --> 00:36:25.374

그래서 결국 시간이라는 게 움직임에
따라서 다르게 나타날 수도 있겠구나.

00:36:25.474 --> 00:36:30.339

애는 양쪽에 시간 간격이 없는데 애는
양쪽 사건의 시간 간격이 있으니까

00:36:30.439 --> 00:36:35.860

같은 사건이 다르게
표현된다는 거죠.

00:36:35.960 --> 00:36:39.120

시간 간격이 다르다, 라고
이야기할 수 있다는 거죠.

00:36:39.220 --> 00:36:42.447

결국 시간이라는 건
절대적인 게 아니라

00:36:42.547 --> 00:36:47.600

뭔가 차이를 보일 수 있겠구나,

라는 상상을 하게 됐고요.

00:36:47.700 --> 00:36:55.187

그 내용을 본격적인
특수상대성이론에 대입하게 됩니다.

00:36:55.287 --> 00:37:01.275

그래서 칠판 정리하고 본격적인
특수상대성이론 이야기 시작하도록 할게요.

00:37:01.375 --> 00:37:03.995

아인슈타인은 특수상대성이론을
설명하기 위해서

00:37:04.095 --> 00:37:06.217

이런 방법을 취하고 있습니다.

00:37:06.317 --> 00:37:09.112

우주선에 지금 사람이 타고 있어요.

00:37:09.212 --> 00:37:13.528

그런데 이 우주선 안에는 이런
장치가 있다고 생각을 한 겁니다.

00:37:13.628 --> 00:37:19.732

아래쪽에서 빛이 뺏하고
발사돼서 위쪽에 빛이 반사돼서

00:37:19.832 --> 00:37:22.131

다시 아래쪽으로 돌아가는 거죠.

00:37:22.231 --> 00:37:29.381

그래서 빛이 텅, 텅하고 이렇게
움직이는 장치를 걸어놨습니다.

00:37:29.481 --> 00:37:36.376

그런데 보시면 이 사람은 이 우주선과
같은 속도로 움직이고 있습니다.

00:37:36.476 --> 00:37:37.884

우주선 안에 타고 있으니까.

00:37:37.984 --> 00:37:45.247

그러면 이 우주선 안에
타고 있는 영화가 보면

00:37:45.347 --> 00:37:47.868

우주선은 움직여, 안 움직여?
안 움직여.

00:37:47.968 --> 00:37:53.767

이 우주선의 천장, 바닥,
의자, 벽의 낙서, 창문이

00:37:53.867 --> 00:37:57.025

다 자기랑 같이 움직이니까
이 영화 입장에서는

00:37:57.125 --> 00:38:00.510

우주선은 안 움직이는 거야,
움직이지 않고 있는 거야.

00:38:00.610 --> 00:38:04.316

그 상태에서 빛이
아래쪽에서 빵 발사돼서

00:38:04.416 --> 00:38:06.836
위로 부딪혔다가 다시 내려왔으니까

00:38:06.936 --> 00:38:13.433
영희가 보면 빛은 그냥 올라갔다
내려온 것으로 보입니다.

00:38:13.533 --> 00:38:20.305
그런데 이 상황을 밖에
멍하니 이렇게 서 있는

00:38:20.405 --> 00:38:23.830
철수가 본다고 생각해봅시다.

00:38:23.930 --> 00:38:27.445
철수가 보면 우주선은 어떻게 되고 있어요?
날아가고 있어요.

00:38:27.545 --> 00:38:31.266
그리고 빛이 빵 발사돼서
천장에 부딪혔다가

00:38:31.366 --> 00:38:33.707
다시 빵하고 아래쪽으로 내려오니까

00:38:33.807 --> 00:38:37.493
철수가 보면 빛은 어떻게
움직인 거로 보이느냐,

00:38:37.593 --> 00:38:41.494
아래쪽에 빵 발사돼서
위쪽 천장에 부딪혔다가

00:38:41.594 --> 00:38:43.906
다시 아래쪽으로 내려오니까

00:38:44.006 --> 00:38:49.031
철수가 보면 빛이 이렇게
움직인 거로 보입니다.

00:38:49.131 --> 00:38:51.601
그 사이에 물론 영희는
여기서 여기로 왔죠.

00:38:51.701 --> 00:38:56.101
물론 영희가 보면 움직였지만, 빛은
영희 입장에서 어떻게만 움직였어?

00:38:56.201 --> 00:38:58.525
올라갔다 내려온 걸로 보이고요.

00:38:58.625 --> 00:39:04.044
철수 입장에서 빛은 올라갔다
내려온 것으로 보이게 됩니다.

00:39:05.893 --> 00:39:10.338

이때 영희가 봤을 때 측정한
빛의 속도가 빠를까요,

00:39:10.438 --> 00:39:13.523

철수가 봤을 때 측정한
빛의 속도가 빠를까요?

00:39:13.623 --> 00:39:16.837

영희가 봤을 때 빛은 그냥
올라갔다 내려왔고요.

00:39:16.937 --> 00:39:21.003

철수가 봤을 때 빛은 이렇게
갔다 이렇게 움직여왔어요.

00:39:21.103 --> 00:39:26.776

철수가 본 빛의 속도가 빨라,
영희가 본 빛의 속도가 빨라?

00:39:31.758 --> 00:39:34.511

광속불변.

00:39:34.611 --> 00:39:38.962

빛의 속도는 어떤 관찰자가
무슨 짓을 하면서 봐도

00:39:39.062 --> 00:39:41.003

빛의 속도로만 보인다.

00:39:41.103 --> 00:39:47.582

결국 영희가 봤을 때 빛의 속도와
철수가 봤을 때 빛의 속도는

00:39:47.682 --> 00:39:53.126

동일한 속도로 보이게 된다는 거죠.

00:39:53.226 --> 00:39:56.537

그러면 뭔가 이상한 부분이
생기지 않습니까?

00:39:56.637 --> 00:40:03.092

철수가 보는 빛의 속도와 영희가
보는 빛의 속도는 똑같아.

00:40:03.192 --> 00:40:06.335

그런데 영희가 보면 빛은
어떻게만 움직였어요?

00:40:06.435 --> 00:40:08.469

이렇게만 움직였어요.

00:40:08.569 --> 00:40:11.229

철수가 보면 빛은
어떻게 움직였어요?

00:40:11.329 --> 00:40:12.980

이렇게 움직였어요.

00:40:13.080 --> 00:40:16.537

누가 더 많은 거리를
움직인 거로 보여요?

00:40:16.637 --> 00:40:20.000
철수가 봤을 때 영희가 봤을 때보다

00:40:20.100 --> 00:40:23.288
더 많은 거리를 움직인
거로 보이게 됩니다.

00:40:23.388 --> 00:40:25.533
그러면 여기서 보도록 합시다.

00:40:25.633 --> 00:40:31.516
우리 일정한 속도로 움직이는 물체가
이동한 거리 어떻게 구하죠?

00:40:31.616 --> 00:40:41.356
등속인 경우의 거리는 속도
곱하기 시간으로 구합니다.

00:40:41.456 --> 00:40:45.576
이때 시간은 어떻게
나타낼 수 있어요?

00:40:45.676 --> 00:40:50.959
속도 분의 거리로
나타낼 수 있습니다.

00:40:51.059 --> 00:40:54.429
일정한 속도인 경우는 이렇게 시간
값을 나타낼 수 있는 거죠.

00:40:54.529 --> 00:40:56.975
그러면 보세요.

00:40:57.075 --> 00:41:04.191
빛이 움직이는 속도는 영희가 볼 때가
빨라요, 철수가 봤을 때가 빨라요?

00:41:04.291 --> 00:41:06.678
똑같아요.

00:41:06.778 --> 00:41:10.061
빛의 속도는 철수가 보나
영희가 보나 똑같아요.

00:41:10.161 --> 00:41:15.192
그런데 거리, 움직인
거리가 누가 더 길어요?

00:41:15.292 --> 00:41:21.503
철수가 본 움직인 거리가 영희가
본 움직인 거리보다 더 길어요.

00:41:21.603 --> 00:41:23.946
그러면 뭐가 다를까?

00:41:24.046 --> 00:41:25.620
시간이 다르죠.

00:41:25.720 --> 00:41:29.573
빛이 올라갔다 내려오는데

걸리는 시간이

00:41:29.673 --> 00:41:35.855
영희가 측정한 시간과 철수가 측정한
시간이 다르게 나오게 됩니다.

00:41:35.955 --> 00:41:40.897
그래서 너무나도 당연하게
영희가 측정하는 시간과

00:41:40.997 --> 00:41:45.871
철수가 측정하는 시간을
한번 비교해본다면

00:41:45.971 --> 00:41:48.854
누가 더 클 수밖에 없어요?

00:41:48.954 --> 00:41:54.241
똑같은 속도로 많은 거리를 이동한
거로 보이는 결과 시간이

00:41:54.341 --> 00:42:00.681
더 클 수밖에 없으니까 철수가
본 빛이 이동한 시간이

00:42:00.781 --> 00:42:05.495
영희가 본 빛이 이동한 시간보다
더 길 수밖에 없습니다.

00:42:05.595 --> 00:42:07.811
똑같이 빛은 올라갔다 내려왔어.

00:42:07.911 --> 00:42:10.939
영희는 여기서 여기로
오는 사이에 빛은

00:42:11.039 --> 00:42:13.641
이렇게 움직인 거로만
보이니까, 왜?

00:42:13.741 --> 00:42:15.872
이 우주선은 영희랑 같이 움직이니까

00:42:15.972 --> 00:42:18.207
영희가 봤을 때는 올라갔다
내려온 거로만 보이잖아.

00:42:18.307 --> 00:42:21.295
결국 빛이 올라갔다
내려오는 데 걸리는 시간이

00:42:21.395 --> 00:42:26.204
영희가 봤을 때보다 철수가 봤을
때가 더 오래 걸리게 된다는 거죠.

00:42:26.304 --> 00:42:32.954
예를 들어서 빛의
속도를 3이라고 하고

00:42:33.054 --> 00:42:37.978
영희가 봤을 때 빛이 움직인

거리는 6이라고 하고

00:42:38.078 --> 00:42:43.418

철수가 봤을 때 빛이 움직인
거리는 12라고 한다면

00:42:43.518 --> 00:42:55.960

영희가 봤을 때의 시간은
2초가 걸린 거로 보이고

00:42:56.060 --> 00:43:00.014

철수가 봤을 때는 4초가 걸린
거로 보이게 된다는 소리죠.

00:43:00.114 --> 00:43:02.686

빛은 올라갔다가 내려왔는데.

00:43:02.786 --> 00:43:05.681

여기서 출발해서 다시
여기에 도달하는데

00:43:05.781 --> 00:43:10.079

영희가 봤을 때는 2초 만에
다시 돌아온 거로 보이고

00:43:10.179 --> 00:43:14.700

철수가 봤을 때는 4초 만에 도달한
거로 보이게 된다는 겁니다.

00:43:14.800 --> 00:43:17.062

중요한 전제조건이 뭐였어?

00:43:17.162 --> 00:43:21.766

바로 빛의 속도는 누가 봐도
일정하다는 전제 조건이 있었어요.

00:43:21.866 --> 00:43:27.218

영희가 봤을 때 우주선은 정지해있는
거로 보이기 때문이다, 라는

00:43:27.318 --> 00:43:30.295

조건에 의해서 이런
결과가 나왔다는 거죠.

00:43:30.395 --> 00:43:34.594

그럼에도 불구하고 빛은
분명히 바닥에서 출발해서

00:43:34.694 --> 00:43:36.385

다시 바닥에 도달했죠.

00:43:36.485 --> 00:43:39.803

결국 바닥에서 도달해서
다시 바닥에 도달할 때까지

00:43:39.903 --> 00:43:42.017

영희가 봤을 때 2초가 걸린 거고

00:43:42.117 --> 00:43:45.363

철수가 봤을 때는
4초가 걸린 거죠.

00:43:47.819 --> 00:43:49.727
어떻게 이런 일이.

00:43:49.827 --> 00:43:53.680
빛은 분명히 바닥에서 출발해서
다시 바닥으로 도달했는데

00:43:53.780 --> 00:43:57.153
그때 걸린 시간을 영희는
2초가 걸렸다고 이야기하고

00:43:57.253 --> 00:44:01.048
철수는 4초가 걸렸다고
이야기를 하게 됩니다.

00:44:01.148 --> 00:44:05.946
같은 사건, 다른 시간으로
측정이 되는 거죠.

00:44:06.046 --> 00:44:07.533
말이 안 되죠.

00:44:07.633 --> 00:44:10.616
그런데 이거를 말이 되게
만들어야 되는 거죠.

00:44:10.716 --> 00:44:12.652
그게 바로 특수상대성이론입니다.

00:44:12.752 --> 00:44:18.244
이 말도 안 되는 상황을
말이 되게 만들기 위해서

00:44:18.344 --> 00:44:22.332
아인슈타인은 어떤 상황으로
이거를 설명하느냐,

00:44:22.432 --> 00:44:28.956
영희에게 시간이 췌각췌각이라는
2초가 흐를 때

00:44:29.056 --> 00:44:38.164
철수에게는 시간이 췌각췌각췌각췌각
4초가 흐르는 거다, 라고 표현하면

00:44:38.264 --> 00:44:41.887
말이 된다고 주장을
하게 됐던 거였습니다.

00:44:41.987 --> 00:44:48.483
이게 바로 특수상대성이론의
시간팽창입니다.

00:44:48.583 --> 00:44:49.944
철수가 봤을 때는 어떻게 됐어?

00:44:50.044 --> 00:44:57.293
췌각췌각췌각췌각이었던 게 영희가
봤을 때는 췌각췌각이라는 거죠.

00:44:57.393 --> 00:45:01.445

결국 시간 간격이
어떻게 됐다는 거야?

00:45:01.545 --> 00:45:03.081

늘어났다는 거야.

00:45:03.181 --> 00:45:11.175

이 시간 간격이 늘어났다, 팽창했다,
시간이 천천히 갔다는 표현을

00:45:11.275 --> 00:45:14.869

우리는 뭐라고 불러요?

00:45:14.969 --> 00:45:19.605

시간팽창이라고 불러요.

00:45:19.705 --> 00:45:25.425

철수에게 4초가 흐를 때 영희에게는
2초만 흐르는 겁니다.

00:45:25.525 --> 00:45:27.401

왜 영희에게는 2초가 흘렀을까?

00:45:27.501 --> 00:45:30.599

처음에 아인슈타인이
어려서 상상했던 거.

00:45:30.699 --> 00:45:38.041

움직이면 시간이 천천히 간다는
것을 보여준 결과가 되는 거죠.

00:45:40.081 --> 00:45:44.766

이런 일이 실제로 일어날 수 있겠구나,
라는 가정을 할 수 있게 됩니다.

00:45:44.866 --> 00:45:45.888

그렇다면 어떻게 되는 거야?

00:45:45.988 --> 00:45:48.366

철수에게 4초가 흐를 때
영희에게 2초가 흐르면

00:45:48.466 --> 00:45:50.705

누가 더 천천히 늙는 거니?

00:45:50.805 --> 00:45:53.256

영희가 천천히 늙는 거죠.

00:45:53.356 --> 00:45:55.565

결국 움직이면 천천히 늙는 거야,

00:45:55.665 --> 00:45:58.235

시간이 천천히 흐르는 거야.

00:45:58.335 --> 00:45:59.380

여기서 보여주는 거죠.

00:45:59.480 --> 00:46:03.692

이런 현상을 시간팽창이라고
불러준다고요.

00:46:03.792 --> 00:46:04.531
됐습니까?

00:46:04.631 --> 00:46:06.841
그래서 결과적으로
어떤 결과가 나와요?

00:46:06.941 --> 00:46:13.933
영희의 시간보다 철수의
시간이 느리게 간다.

00:46:14.033 --> 00:46:16.097
시간 값이 작다.

00:46:16.197 --> 00:46:19.132
시간이 팽창했으니까 시간이
느리게 가는 거죠.

00:46:19.232 --> 00:46:24.369
간격이 째깍째깍 흐르는 거라고요.

00:46:24.469 --> 00:46:27.116
시간이 팽창했다는 말이 시간
값이 크다는 건 아니야.

00:46:27.216 --> 00:46:30.631
시간이 팽창하면 시간 값은
작게 나올 수밖에 없죠.

00:46:30.731 --> 00:46:35.891
째깍째깍 이렇게 되니까.

00:46:35.991 --> 00:46:40.671
여기서 여러분이 하나
규정할 건 뭐냐면,

00:46:40.771 --> 00:46:46.430
영희가 봤을 때는 빛이 여기서
출발해서 여기에 도달한 거로 보이죠.

00:46:46.530 --> 00:46:52.519
그런데 철수가 봤을 때는 빛이 여기서
출발해서 여기에 도달한 거로 보입니다.

00:46:52.619 --> 00:46:55.360
여기서 우리가 하나
정의내릴 게 바로 뭐냐,

00:46:55.460 --> 00:46:59.306
고유시간이라는 거예요.

00:46:59.406 --> 00:47:06.833
고유시간이라는 건 뭐냐, 같은
지점에서 사건이 반복되는 간격을

00:47:06.933 --> 00:47:08.645
우리는 고유시간이라고 불러요.

00:47:08.745 --> 00:47:13.389
그러면 영희가 봤을 때는 빛이

출발하는 지점이 여기고요.

00:47:13.489 --> 00:47:15.724
빛이 도달하는 지점도 여기입니다.

00:47:15.824 --> 00:47:19.360
영희가 봤을 때 빛은
손바닥에서 출발해서

00:47:19.460 --> 00:47:21.123
손바닥으로 들어옵니다.

00:47:21.223 --> 00:47:24.471
빛은 손바닥에서 출발해서
손바닥으로 들어와요.

00:47:24.571 --> 00:47:30.147
결국 손바닥에서 출발해서 손바닥으로
다시 돌아올 때까지 걸린 시간.

00:47:30.247 --> 00:47:36.301
같은 사건이 같은 지점에서 반복되는
시간을 우리는 뭐라고 불러요?

00:47:36.401 --> 00:47:37.858
고유시간이라고 불러요.

00:47:37.958 --> 00:47:43.408
그에 비해서 철수가 보면 빛은
여기서 출발해서 여기에 도착하니까

00:47:43.508 --> 00:47:46.157
다른 지점으로 도착한 거로 보이죠.

00:47:46.257 --> 00:47:52.203
다른 지점으로 도착한 시간
간격은 고유시간이 아닙니다.

00:47:52.303 --> 00:47:57.785
그래서 이 상황에서의 고유시간은
누구의 시간이 고유시간이야?

00:47:57.885 --> 00:48:01.060
영희의 시간이 고유시간이 됩니다.

00:48:01.160 --> 00:48:06.304
그래서 고유시간은 무조건
다른 사람이 측정한 시간보다

00:48:06.404 --> 00:48:09.208
더 작을 수밖에 없어요.

00:48:09.308 --> 00:48:11.845
이것도 여러분이 기억을
해두시면 됩니다.

00:48:11.945 --> 00:48:15.971
이 상황에서는 고유시간이라는
건 영희의 시간이었고요.

00:48:16.071 --> 00:48:20.788

영희의 시간은 철수의 시간보다
느리게 갈 수밖에 없다,

00:48:20.888 --> 00:48:23.398
시간팽창에 의해서, 됐죠?

00:48:23.498 --> 00:48:26.781
이거 기억을 해두시길 바랍니다.

00:48:26.881 --> 00:48:29.245
이걸 수학적으로도
증명하는 방법이 있는데

00:48:29.345 --> 00:48:33.875
물리학1에서는 수학적인 증명
방법은 다루지 않습니다.

00:48:33.975 --> 00:48:37.299
그러면 또 이런 이야기를
해보도록 합시다.

00:48:37.399 --> 00:48:42.850
영희가 출발하는 이 지점에 이렇게
깃발 하나가 꽂아져있고요.

00:48:42.950 --> 00:48:49.565
그리고 영희가 여기를 통과하는 지점에
또 깃발 하나가 꽂아져있습니다.

00:48:49.665 --> 00:48:58.775
그러면 영희가 로켓을 타고 이 A라는
깃발에서 B라는 깃발까지 날아가는 거죠.

00:48:58.875 --> 00:49:03.004
A라는 깃발에서 출발해서
B라는 깃발을 통과할 때까지

00:49:03.104 --> 00:49:06.746
영희는 몇 초 만에
통과했다고 보는 거야?

00:49:06.846 --> 00:49:09.618
2초 만에 통과했다고 보는 거고요.

00:49:09.718 --> 00:49:13.987
철수는 4초 만에
통과했다고 보는 거죠.

00:49:14.087 --> 00:49:18.867
여기서 여기를 이동할 때까지
영희는 2초밖에 안 걸린 거고

00:49:18.967 --> 00:49:22.404
철수는 4초가 걸린 거라는 겁니다.

00:49:22.504 --> 00:49:25.039
그런데 이것도 말이 안
되는 상황이잖아.

00:49:25.139 --> 00:49:31.811
같은 간격을 A에서 B까지 갔는데 영희는

2초 만에 통과했다고 이야기하고

00:49:31.911 --> 00:49:34.630
철수는 4초 만에 통과했다고
이야기를 하니까

00:49:34.730 --> 00:49:40.317
이게 또 말이 되게 하려면
어떻게 해야 될까.

00:49:40.417 --> 00:49:44.086
그 이야기를 또 진행해
나가보도록 할게요.

00:49:44.186 --> 00:49:47.454
보면 어떤 상황이 연출된 거냐,

00:49:47.554 --> 00:49:57.292
예를 들어서 이 A와 B까지의
거리가 L이라고 해봅시다.

00:49:57.392 --> 00:50:03.351
그리고 로켓의 속도는 v 입니다.

00:50:03.451 --> 00:50:08.034
그러면 정상적으로 본다면
L은 어떻게 되어야 되죠?

00:50:08.134 --> 00:50:14.180
속도 v , 로켓이 날아가는 속도
 v 곱하기 시간이 됩니다.

00:50:14.280 --> 00:50:21.095
그러면 영희 입장에서는
로켓의 속도.

00:50:21.195 --> 00:50:25.317
로켓의 속도는 영희가
타고 있는 로켓의 속도나

00:50:25.417 --> 00:50:29.328
철수가 본 로켓의 속도는
다를 리가 없죠.

00:50:29.428 --> 00:50:35.526
로켓의 속도는 똑같은 상황에서 영희는
영희의 시간으로 보이게 되고요.

00:50:35.626 --> 00:50:39.267
철수가 측정하는 이 사이의 거리는

00:50:39.367 --> 00:50:44.648
로켓의 속도 곱하기 철수의
시간으로 보이게 됩니다.

00:50:44.748 --> 00:50:45.643
이게 무슨 말이야?

00:50:45.743 --> 00:50:46.811
생각을 해봐.

00:50:46.911 --> 00:50:54.631

예를 들어서 3m/s의
속도로 15m를 날아가요.

00:50:54.731 --> 00:50:56.681

3의 속도로 15m를 날아가.

00:50:56.781 --> 00:50:59.645

그러면 몇 초가 걸렸다고
이야기할 수 있어?

00:50:59.745 --> 00:51:01.154

5초 걸렸다고 이야기할 수 있죠.

00:51:01.254 --> 00:51:06.046

거꾸로 이야기하면 3의 속도로
5초를 날아간 거리가

00:51:06.146 --> 00:51:08.101

그 둘의 거리인 거죠.

00:51:08.201 --> 00:51:10.649

그 공식을 그대로
대입을 해준 겁니다.

00:51:10.749 --> 00:51:16.592

결국 A와 B 사이의 거리를 영희는

00:51:16.692 --> 00:51:22.596

로켓의 속도 곱하기 영희가 측정한
시간으로 측정한다는 소리고요.

00:51:22.696 --> 00:51:28.032

철수는 로켓의 속도 곱하기
철수가 측정한 시간으로

00:51:28.132 --> 00:51:30.870

이 둘의 거리를 측정한다는 거죠.

00:51:30.970 --> 00:51:33.356

결국 뭐가 달라지는 거야?

00:51:33.456 --> 00:51:38.023

철수가 측정하는 A,
B 사이의 거리랑

00:51:38.123 --> 00:51:44.016

영희가 측정하는 A, B 사이의
거리가 다르다는 겁니다.

00:51:44.116 --> 00:51:48.912

이 거리가 다르게 보이니까,
다르게 나타나니까

00:51:49.012 --> 00:51:54.750

결국 시간도 다르게 나타난 것이다,
라고 이야기할 수 있다는 거죠.

00:51:54.850 --> 00:51:58.957

그러면 우리 아까 이야기했듯이
영희의 시간은 2초라고 가정하고

00:51:59.057 --> 00:52:05.227
철수의 시간은 4초라고
가정했으니까 영희가 보는 거리는.

00:52:05.327 --> 00:52:10.187
이 깃발 A와 깃발 B 사이의
거리는 $2v$ 가 되는 거고요.

00:52:10.287 --> 00:52:16.161
철수가 보는 이 깃발과 이 깃발
사이의 거리는 $4v$ 가 되는 거죠.

00:52:16.261 --> 00:52:18.957
 v 의 속도로 2초 만에 도달을 하고

00:52:19.057 --> 00:52:22.623
 v 의 속도로 4초 만에 도달한
거리다, 라는 뜻입니다.

00:52:22.723 --> 00:52:26.362
결국은 누구의 거리가
더 짧게 나타나요?

00:52:26.462 --> 00:52:33.117
영희가 측정한 거리가 철수가 측정한
거리보다 더 짧게 나타난다는 것을 뜻하죠.

00:52:33.217 --> 00:52:36.941
그러면 어떻게 이런 일이
가능하다고 이야기할 것이냐를

00:52:37.041 --> 00:52:40.602
또 아인슈타인이 정리를
해야 되겠죠.

00:52:40.702 --> 00:52:43.932
그래서 아인슈타인은 이렇게
정의를 내립니다.

00:52:44.032 --> 00:52:45.084
어떻게 이야기하느냐,

00:52:45.184 --> 00:52:49.598
영희 입장에서는 자기가
움직인 거 아니에요.

00:52:49.698 --> 00:52:53.966
영희 입장에서는 로켓과
함께 자기는 가만히 있었고요.

00:52:54.066 --> 00:53:01.089
대신 깃발 A와 깃발 B가 영희
쪽으로 다가온 거로 보이는 거죠.

00:53:01.189 --> 00:53:07.050
철수 입장에서는 영희가
깃발 A와 깃발 B 사이를

00:53:07.150 --> 00:53:13.561
땅바닥에 꽂아져있는, 고정되어있는 A,

B 간격을 영희가 날아간 거지만

00:53:13.661 --> 00:53:19.467

영희 입장에서는 자기는 가만히
있고 땅바닥에 꽂아져있는

00:53:19.567 --> 00:53:24.120

A, B 깃발이 자기를
지나쳐갔다고 보는 겁니다.

00:53:24.220 --> 00:53:31.800

결국 영희 입장에서는 깃발 A와 B의
간격이 이동한 거로 보이는 거죠.

00:53:31.900 --> 00:53:34.520

결국 아인슈타인은 이렇게
정의를 내립니다.

00:53:34.620 --> 00:53:40.970

움직이는 공간의 길이는
짧아져 보인다.

00:53:41.070 --> 00:53:46.077

영희 입장에서 보면 A, B
공간이 움직이는 거로 보여요.

00:53:46.177 --> 00:53:49.990

자기 쪽으로 움직여오는
거로 보이는 거죠.

00:53:50.090 --> 00:53:55.297

철수 입장에서는 A, B 공간의
길이는 그냥 꽂아져있어요.

00:53:55.397 --> 00:53:56.854

멈춰있어요.

00:53:56.954 --> 00:53:59.841

그런데 영희 입장에서는 이게
움직여오는 거로 보인다고요.

00:53:59.941 --> 00:54:04.236

결국 이게 말이 되게 하기 위해서
아인슈타인은 어떻게 결론을 내렸느냐,

00:54:04.336 --> 00:54:07.940

움직이는 공간의 길이는
짧아져 보인다.

00:54:08.040 --> 00:54:13.349

영희 입장에서는 A, B 깃발의 공간의
길이가 움직여오는 거로 보이니까

00:54:13.449 --> 00:54:19.707

이 공간의 길이가 짧아져
보인 걸로 보인다고요.

00:54:19.807 --> 00:54:20.447

되시나요?

00:54:20.547 --> 00:54:24.265

그래서 이와 같은 현상을
뭐라고 부르기로 했느냐,

00:54:24.365 --> 00:54:28.840
길이수축이라고 부르기로 했습니다.

00:54:28.940 --> 00:54:30.867
길이수축이란 언제 일어난다고?

00:54:30.967 --> 00:54:36.162
움직이는 공간의 길이가
짧아져 보이는 현상을

00:54:36.262 --> 00:54:39.829
우리는 길이수축이라고 불러요.

00:54:39.929 --> 00:54:44.841
다시, 움직이는 공간의
길이가 짧아져 보인다.

00:54:44.941 --> 00:54:46.583
됐습니까?

00:54:46.683 --> 00:54:48.387
그러면 이런 질문 한번 해볼게요.

00:54:48.487 --> 00:54:50.904
지금 이 로켓이 움직이고 있죠?

00:54:51.004 --> 00:54:58.031
이 로켓의 길이를
I이라고 해봅시다.

00:54:59.491 --> 00:55:04.113
그러면 영희 입장에서 이 로켓은
움직여요, 안 움직여요?

00:55:04.213 --> 00:55:05.137
안 움직여요.

00:55:05.237 --> 00:55:07.589
영희 입장에서 이
로켓이 안 움직이니까

00:55:07.689 --> 00:55:13.597
영희 입장에서 보는 이 로켓의
길이는 그대로의 길이로 보입니다.

00:55:13.697 --> 00:55:15.292
그런데 철수가 보면 어때요?

00:55:15.392 --> 00:55:16.924
로켓이 움직이고 있어요.

00:55:17.024 --> 00:55:19.858
로켓의 공간이 움직이고 있어요.

00:55:19.958 --> 00:55:21.071
뭐라고 이야기했어?

00:55:21.171 --> 00:55:24.667

움직이는 공간의 길이는
짧아져 보인다고 했죠.

00:55:24.767 --> 00:55:28.321
그러니까 철수가 보면 이
로켓이 움직이고 있으니까

00:55:28.421 --> 00:55:31.236
로켓 공간의 길이는 어떻게
되어있는 거로 볼까요?

00:55:31.336 --> 00:55:34.333
짧아진 것으로 보이게 됩니다.

00:55:34.433 --> 00:55:46.682
그래서 정리해보면 이 땅바닥에
꽂아져있는 A, B의 길이를 보면

00:55:46.782 --> 00:55:54.798
철수가 본 A, B의 길이랑 영희가
본 A, B의 길이를 비교하면

00:55:54.898 --> 00:55:58.435
당연히 영희가 본 A, B의
길이가 짧아져 보이죠.

00:55:58.535 --> 00:56:01.572
왜? 영희의 입장에서는
A, B가 움직였으니까

00:56:01.672 --> 00:56:04.184
A, B의 공간의 길이가
짧아져 보이죠.

00:56:04.284 --> 00:56:13.464
그 대신 로켓의 길이는
철수가 보는 로켓의 길이랑

00:56:13.564 --> 00:56:18.090
영희가 보는 로켓의 길이를
본다면 어떻게 될까요?

00:56:18.190 --> 00:56:20.369
영희가 봤을 때는 로켓은
움직여, 안 움직여?

00:56:20.469 --> 00:56:23.137
안 움직이니까 원래
길이를 보이구요.

00:56:23.237 --> 00:56:27.949
철수가 보면 로켓이 움직이니까
로켓의 길이가 짧아져 보이죠.

00:56:28.049 --> 00:56:29.962
이렇게 된다고요.

00:56:30.062 --> 00:56:32.311
되시나요?

00:56:32.411 --> 00:56:36.089

이처럼 원래 길이가 있죠.

00:56:36.189 --> 00:56:40.023
원래 길이는 어떻게 재야만 원래
길이를 알 수 있는 거야?

00:56:40.123 --> 00:56:46.795
공간에 대해서 정지한 상태로 측정을
해야 원래 길이를 측정할 수 있습니다.

00:56:46.895 --> 00:56:52.835
A, B라는 공간에 대해서
정지해있는 놈은 철수예요.

00:56:52.935 --> 00:56:57.986
철수가 측정한 공간 A,
B의 길이가 진짜 길이죠.

00:56:58.086 --> 00:57:02.015
로켓의 길이는 누가 측정한
게 진짜 길이야?

00:57:02.115 --> 00:57:04.534
영희가 측정한 게
진짜 길이야, 왜?

00:57:04.634 --> 00:57:09.535
영희가 봤을 때 로켓은 움직여, 안 움직여?
안 움직이니까.

00:57:09.635 --> 00:57:12.300
공간에 대해서 안 움직이는
상태에서 측정한 길이를

00:57:12.400 --> 00:57:14.418
우리는 원래 길이라고
부를 수 있죠.

00:57:14.518 --> 00:57:15.683
그 원래 길이.

00:57:15.783 --> 00:57:21.435
공간에 대해서 안 움직이고 측정한
길이, 원래 길이를 뭐라고 부르느냐,

00:57:21.535 --> 00:57:26.523
고유길이라고 불러줍니다.

00:57:26.623 --> 00:57:31.825
그래서 A, B의 고유길이는
결국 철수가 측정한 것이고요.

00:57:31.925 --> 00:57:38.214
로켓의 고유길이는 영희가
측정한 겁니다.

00:57:38.314 --> 00:57:43.627
그래서 고유길이, 진짜 길이는
가장 긴 값인 거죠.

00:57:43.727 --> 00:57:50.214

이 진짜 길이를 움직이면서 보게
되면 짧아져 보이게 된다고요.

00:57:50.314 --> 00:57:52.242
그러면 이런 상상 할 수 있겠죠?

00:57:52.342 --> 00:57:58.730
영희가 봤을 때는 창밖을 바라보고
있으면 철수가 이렇게 움직이고 있죠?

00:57:58.830 --> 00:58:01.082
영희가 봤을 때 철수가
이렇게 움직이고 있으니까

00:58:01.182 --> 00:58:04.125
영희가 봤을 때는 철수가
움직이는 거로 보이니까

00:58:04.225 --> 00:58:07.087
철수의 공간의 길이가
짧아져 보여요.

00:58:07.187 --> 00:58:14.552
즉 철수가 훌쩍해
보이게 된다는 거죠.

00:58:14.652 --> 00:58:17.236
철수가 봤을 때는 영희가 움직이죠?

00:58:17.336 --> 00:58:21.241
그러면 창밖으로 보이는
영희가 움직이고 있으니까

00:58:21.341 --> 00:58:24.801
영희가 훌쩍해 보이게 되는 거죠.

00:58:24.901 --> 00:58:27.845
날씬해져 보이는 것도 쉽죠?

00:58:27.945 --> 00:58:31.633
어떻게 하면 날씬해져 보이는 거야?

00:58:31.733 --> 00:58:33.751
움직이면 날씬해져 보이는 거야.

00:58:33.851 --> 00:58:35.652
너희는 가만히 있고
난 움직이고 있죠?

00:58:35.752 --> 00:58:38.148
여러분이 보는 나는
날씬해 보이는 거야.

00:58:38.248 --> 00:58:41.194
왜? 나는 움직이고 있으니까.

00:58:41.294 --> 00:58:44.026
움직이는 공간의 길이는
짧아져 보인다.

00:58:44.126 --> 00:58:47.586

이게 바로 길이수축인 거야.

00:58:48.372 --> 00:58:50.820
그런데 여기서 또 하나 여러분을

00:58:50.920 --> 00:58:55.984
매우 혼란스럽게 만들 질문
하나 해보도록 하겠습니다.

00:58:56.084 --> 00:59:02.561
바로 뭐냐, 이번에는 이 상황에서
빛이 왕복운동 하는 장치가

00:59:02.661 --> 00:59:04.619
철수 옆에 붙어 있어요.

00:59:04.719 --> 00:59:10.931
그래서 빛이 이렇게 텅,
텅 왕복 운동을 합니다.

00:59:11.031 --> 00:59:15.829
그러면 철수가 보면 빛은 그냥 제자리에서
올라갔다 내려온 거로 보이죠.

00:59:15.929 --> 00:59:19.093
빛이 제자리에서 올라갔다
내려온 거로 보입니다.

00:59:19.193 --> 00:59:24.191
그에 비해서 영희가 보면 영희는 여기서
빛이 이렇게 올라갔다 내려오는 걸

00:59:24.291 --> 00:59:29.787
빛이 여기서 올라갔다 내려오는
걸 이렇게 가면서 보는 거 아니야.

00:59:29.887 --> 00:59:33.505
영희가 보면 빛이 올라갔다
내려오는 걸 가면서 본다고.

00:59:33.605 --> 00:59:38.657
그러면 영희가 보면 빛이 어떻게
움직인 거로 보일까요?

00:59:38.757 --> 00:59:42.627
이렇게 움직인 거로 보입니다.

00:59:42.727 --> 00:59:44.542
이러면 어떻게 되는 거야?

00:59:44.642 --> 00:59:48.641
아까 이야기했던 거랑
반대가 되어버리는 거죠.

00:59:48.741 --> 00:59:51.942
철수가 보면 빛은 이렇게만
움직인 거로 보이고

00:59:52.042 --> 00:59:55.737
영희가 보면 빛은 이렇게
움직인 거로 보이니까

00:59:55.837 --> 01:00:00.010

시간을 측정하면 누가 더 오래
걸린 거로 측정이 돼요?

01:00:00.110 --> 01:00:03.790

영희가 측정한 시간이
철수가 측정한 시간보다

01:00:03.890 --> 01:00:06.300

더 오래 걸린 거로 보인다는 거죠.

01:00:06.400 --> 01:00:09.113

철수가 보면 빛이 2초
만에 갔다 올 것이

01:00:09.213 --> 01:00:13.337

영희가 보면 빛이 4초 만에
갔다 오게 된다는 거죠.

01:00:13.437 --> 01:00:17.354

이 식의 고유시간은 누구 거야?
철수 거죠.

01:00:17.454 --> 01:00:21.148

왜? 철수가 봤을 때 같은
지점에서 사건이 반복되니까.

01:00:21.248 --> 01:00:28.793

영희가 보면 다른 지점에서
빛이 출발하고 도착을 하니까

01:00:28.893 --> 01:00:32.245

다른 위치니까 고유
시간이 안 되는 거죠.

01:00:32.345 --> 01:00:36.817

이렇게 되면 누가 더 시간이 천천히
가는 거로 보이게 되겠어요?

01:00:36.917 --> 01:00:42.504

철수의 시간이 영희의 시간보다
천천히 가는 거로 보이게 됩니다.

01:00:42.604 --> 01:00:44.402

이게 무슨 말이에요, 선생님?

01:00:44.502 --> 01:00:46.887

아까는 영희가 천천히 갔다면서요.

01:00:46.987 --> 01:00:48.473

이런 상황인 거야.

01:00:48.573 --> 01:00:50.983

철수가 보면 영희가 움직이죠?

01:00:51.083 --> 01:00:54.018

그러니까 영희의 시간이
천천히 가는 거야.

01:00:54.118 --> 01:00:58.012

영희가 보면 누가 움직이는 거야?

01:00:58.112 --> 01:00:59.235

철수가 움직이는 거야.

01:00:59.335 --> 01:01:05.561

철수가 움직이니까 영희가 보면 철수의 시간이 천천히 가는 거로 보이죠.

01:01:05.661 --> 01:01:08.591

철수가 보면 영희의 시간이 천천히 가는 거로 보이고요.

01:01:08.691 --> 01:01:11.647

영희가 보면 철수가 움직이는 거로 보이니까

01:01:11.747 --> 01:01:15.507

철수의 시간이 천천히 가는 거로 보인다는 겁니다.

01:01:15.607 --> 01:01:20.112

이게 특수상대성이론이야.

01:01:20.212 --> 01:01:22.067

상대적이다, 라는 거죠.

01:01:22.167 --> 01:01:27.586

그렇다면 도대체 누가 진짜 천천히 늙은 건가요?

01:01:27.686 --> 01:01:29.430

이거를 또 우리가 따져볼 필요가 있겠죠.

01:01:29.530 --> 01:01:32.973

누가 더 천천히 늙은 걸까?

01:01:33.073 --> 01:01:37.479

그거는 우리가 고등학교 물리학1에서는 다루지 않습니다.

01:01:37.579 --> 01:01:39.532

이거를 따지려면 어떻게 해야 돼?

01:01:39.632 --> 01:01:42.309

둘이 만나야 돼.

01:01:42.409 --> 01:01:45.702

지금 철수는 영희가 천천히 늙는다고 생각하고요.

01:01:45.802 --> 01:01:48.241

영희는 철수가 천천히 늙는다고 생각을 해.

01:01:48.341 --> 01:01:50.299

둘이 점점 멀어지고 있죠? 바이바이야.

01:01:50.399 --> 01:01:51.159

다시 안 만나.

01:01:51.259 --> 01:01:54.149

그러니까 계속 철수는 영희가
천천히 늙는다고 생각하고

01:01:54.249 --> 01:01:56.518

영희는 철수가 천천히
늙는다고 생각을 하는 거야.

01:01:56.618 --> 01:02:02.448

누가 천천히 늙었냐를
판단하려면 둘이 만나야 되고

01:02:02.548 --> 01:02:07.131

둘이 만나려면 영희가 저만큼
갔다가 다시 돌아와야 되죠.

01:02:07.231 --> 01:02:11.487

돌아와야 둘이 딱 만났을 때 네가
많이 늙었니, 내가 많이 늙었니.

01:02:11.587 --> 01:02:13.639

이거를 따질 수 있게 됩니다.

01:02:13.739 --> 01:02:19.487

그런데 고등학교 물리학1에서 다시
돌아와서 만나는 건 다루지 않아.

01:02:19.587 --> 01:02:21.690

그래서 이걸 여러분이
기억하지 않으셔도 돼요.

01:02:21.790 --> 01:02:26.185

결국 특수상대성이론에서 가장
중요하게 기억해야 될 건

01:02:26.285 --> 01:02:31.345

누가 움직이고 있느냐를 가지고
누가 천천히 늙느냐,

01:02:31.445 --> 01:02:37.700

어떤 길이가 짧아지냐, 이거만
판단하면 된다는 거죠.

01:02:37.800 --> 01:02:38.500

되셨나요?

01:02:38.600 --> 01:02:42.928

그래서 특수상대성이론에서는
항상 문구가 뭐가 달라붙느냐,

01:02:43.028 --> 01:02:47.333

누가 봤을 때 어때니,
이게 꼭 들어가 있습니다.

01:02:47.433 --> 01:02:49.219

누가 보면 어때니.

01:02:49.319 --> 01:02:52.541

그러면 이제 실제 문제에서

좀 더 해결하겠고요.

01:02:52.641 --> 01:02:59.236
그럼에도 불구하고 여러분은 누가 더
천천히 늙었을까가 궁금하지 않습니까?

01:02:59.336 --> 01:03:01.657
둘이 만나려면 어떻게
해야 된다고요?

01:03:01.757 --> 01:03:05.693
영희가 이만큼 갔다가
다시 돌아와야 되죠.

01:03:05.793 --> 01:03:12.616
돌아와서 만나야 누가 천천히
늙었는지를 비교할 수 있게 됩니다.

01:03:12.716 --> 01:03:13.475
어떻게 될까요?

01:03:13.575 --> 01:03:16.229
철수가 보면 분명히 영희의
시간이 천천히 흐르고요.

01:03:16.329 --> 01:03:19.359
영희가 보면 분명히 철수의
시간이 천천히 흐릅니다.

01:03:19.459 --> 01:03:21.721
철수가 보면 영희가 천천히 늙고요.

01:03:21.821 --> 01:03:24.566
영희가 보면 철수가
천천히 늙습니다.

01:03:24.666 --> 01:03:27.810
지금 진짜는 누가 천천히 늙었느냐,

01:03:27.910 --> 01:03:33.016
공간에 대해서 실제로 움직인 건
영희라고 이야기할 수 있어요.

01:03:33.116 --> 01:03:35.069
물론 영희가 보면 철수가
움직인 거지만.

01:03:35.169 --> 01:03:36.241
생각해봅시다.

01:03:36.341 --> 01:03:41.930
철수가 봤을 때는 A에서 B까지 영희가
이만큼의 거리를 갔다 옵니다.

01:03:42.030 --> 01:03:45.496
그런데 영희가 보면 이 공간의
길이가 어떻게 보인다고요?

01:03:45.596 --> 01:03:46.594
짧아져 보인다고요.

01:03:46.694 --> 01:03:49.308

영희 입장에서는 짧은
거리를 갔다 온 거야.

01:03:49.408 --> 01:03:53.111

철수 입장에서는 긴 거리를
영희가 갔다 온 거죠.

01:03:53.211 --> 01:03:56.808

그러니까 철수 입장에서 긴
거리를 갔다 오는 동안

01:03:56.908 --> 01:03:58.316

자기의 시간이 가는 거고요.

01:03:58.416 --> 01:04:03.591

영희의 입장에서는 짧은 거리를 갔다
오는 동안 자기의 시간이 가는 거죠.

01:04:03.691 --> 01:04:07.299

그러니까 좀 더 짧은 거리를
갔다 온 거로 생각하는 영희가

01:04:07.399 --> 01:04:11.844

시간이 더 짧게 걸렸다고
이야기할 수 있게 되고요.

01:04:11.944 --> 01:04:16.088

그래서 영희가 실제로는
더 천천히 늙었습니다.

01:04:16.188 --> 01:04:18.605

그런데 고등학교 수준에는
그건 다루지 않는다고요.

01:04:18.705 --> 01:04:20.441

다시 만나는 건 다루지 않는다고요.

01:04:20.541 --> 01:04:24.014

거듭 이야기하지만, 철수가
보면 영희가 천천히 늙고요.

01:04:24.114 --> 01:04:27.794

영희가 보면 철수가
천천히 늙습니다.

01:04:27.894 --> 01:04:31.159

그래서 다시 만나는 상황을
이야기하는 상황이

01:04:31.259 --> 01:04:33.204

쌍둥이 패러독스라는 게 있죠.

01:04:33.304 --> 01:04:36.312

쌍둥이 두 명이 태어났는데
한 명은 지구에 남기고

01:04:36.412 --> 01:04:40.468

한 명은 우주선에 태워서 멀리
보냈다가 다시 돌아왔을 때

01:04:40.568 --> 01:04:45.408
돌아왔더니 지구에 남아 있는
쌍둥이는 할아버지가 되어있고요.

01:04:45.508 --> 01:04:50.903
우주선을 타고 멀리
갔다 온 여행 쌍둥이는

01:04:51.003 --> 01:04:54.407
청년일 수 있다는 걸
이야기해주는 게

01:04:54.507 --> 01:04:59.044
쌍둥이 패러독스라는
그런 내용이 있습니다.

01:04:59.144 --> 01:05:05.474
이렇게 해서 우리는 지금 특수상대성이론에
대한 모든 내용을 마쳤어요.

01:05:05.574 --> 01:05:08.723
사실 특수상대성이론의
한 가지가 더 있어.

01:05:08.823 --> 01:05:13.712
바로 뭐냐, 질량 에너지 동등성
또는 등가성이라는 내용인데요.

01:05:13.812 --> 01:05:18.205
그거는 우리 다음
10장에서 다뤄지니까

01:05:18.305 --> 01:05:19.499
그때로 미루도록 하겠고요.

01:05:19.599 --> 01:05:22.495
이렇게 특수상대성이론을
마치도록 할게요.

01:05:22.595 --> 01:05:25.209
그러면 여기서 여담 한마디
하고 가겠습니다.

01:05:25.309 --> 01:05:31.615
왜 특수상대성이론에
특수 자가 붙어있을까.

01:05:31.715 --> 01:05:34.801
그리고 아인슈타인이
특수상대성이론을 발표하고 나서

01:05:34.901 --> 01:05:38.337
몇 년 후에 일반상대성이론
하는 걸 발표하고요.

01:05:38.437 --> 01:05:42.087
일반상대성이론은 우리가
물리학2에서 다뤄지거든요.

01:05:42.187 --> 01:05:45.287
도대체 특수상대성이론과

일반상대성이론은 뭘까.

01:05:45.387 --> 01:05:49.502
일반상대성이론은 일반적이니까
일반이라고 일반 자가 붙은 거고

01:05:49.602 --> 01:05:54.895
특수상대성이론은 특수한 상황이니까
특수상대성이론이라고 부른 거겠죠.

01:05:54.995 --> 01:06:03.099
여기서 특수 자가 붙은 이유는 중력이
작용하지 않는 상황이다, 라고

01:06:03.199 --> 01:06:05.361
가정하는 특수입니다.

01:06:05.461 --> 01:06:09.107
중력이 없다고 생각하는
상황에서의 특수예요.

01:06:09.207 --> 01:06:15.692
사실은 중력이 작용하면 빛은 이렇게
똑바로 날아갈 수 없거든요.

01:06:15.792 --> 01:06:17.938
빛은 휘어져서 날아가게 됩니다.

01:06:18.038 --> 01:06:20.239
그러면 빛이 휘어져서 날아가게 되면

01:06:20.339 --> 01:06:26.945
이 휘어져서 날아가는 것 때문에 시간이
또 다르게 흐르는 일이 발생해요.

01:06:27.045 --> 01:06:29.141
그 내용은 물리2에서.

01:06:29.241 --> 01:06:34.887
그래서 이 특수 자가 중력이 없는 상황의
특수다, 라는 가정이다, 라는 거

01:06:34.987 --> 01:06:36.317
상식적으로 알아두시고요.

01:06:36.417 --> 01:06:40.135
칠판 정리하고 다음 내용
이어가도록 할게요.

01:06:40.235 --> 01:06:41.687
문제 1번 보도록 하겠습니다.

01:06:41.787 --> 01:06:46.883
지금 어떤 상황이냐, 뮤온 입자가
이렇게 쪽 지표면으로 내려오는 거야.

01:06:46.983 --> 01:06:52.582
이 뮤온이라는 입자는 우주에
존재하는 입자라고 볼 수 있고요.

01:06:52.682 --> 01:06:54.872

질량을 가진 입자야.

01:06:54.999 --> 01:06:57.106

그 입자가 지표면까지
이렇게 들어옵니다.

01:06:57.206 --> 01:07:00.190

그런데 지구가 이렇게 있잖아요.

01:07:00.290 --> 01:07:03.876

지구는 이렇게 대기로
둘러싸여 있어요.

01:07:03.976 --> 01:07:06.203

지구가 이렇게 대기로
둘러싸여 있으니까

01:07:06.303 --> 01:07:11.294

이 뮤온이 여기서부터
출발해서 들어오는데

01:07:11.394 --> 01:07:16.781

대기와의 마찰 때문에 애가 지표면까지
들어오지 못해야 됩니다.

01:07:16.881 --> 01:07:21.987

애의 속도를 알고 얼마만큼의
마찰이 일어나느냐를 알면

01:07:22.087 --> 01:07:27.152

애가 어느 정도에서 소멸할지,
없어질지를 알아낼 수 있잖아요.

01:07:27.252 --> 01:07:29.593

그래서 과학자들이
열심히 연구해보니까

01:07:29.693 --> 01:07:32.130

이 뮤온의 속도가 어느 정도 되고

01:07:32.230 --> 01:07:38.174

그 뮤온의 속도로 지구 대기권으로
들어와서 마찰이 발생하게 되면

01:07:38.274 --> 01:07:41.263

한 이 정도에서는 사라져야 된다.

01:07:41.363 --> 01:07:43.318

여기서는 없어져야 된다.

01:07:43.418 --> 01:07:48.033

따라서 지표면에 존재하는
우리들은 이 뮤온 입자가

01:07:48.133 --> 01:07:53.736

지표면까지 들어오지 않는다고
생각을 해야 되는데

01:07:53.836 --> 01:07:55.408

실제로 이 뮤온 입자가

01:07:55.508 --> 01:08:04.106
끊임없이 지표면에 도달하고 있다는
실험이 등장하고 있어요.

01:08:04.206 --> 01:08:08.134
이론적으로 본다면 뮤온 입자는
분명히 이쯤에서 없어져야 되는데

01:08:08.234 --> 01:08:12.264
어떻게 지표면까지
들어올 수 있을까.

01:08:12.364 --> 01:08:17.039
이거를 바로 두 가지 관점에서
설명을 할 수 있습니다.

01:08:17.139 --> 01:08:22.516
바로 지구 관찰자 입장과
지구에서 바라보는 사람과

01:08:22.616 --> 01:08:23.898
뮤온 입장입니다.

01:08:23.998 --> 01:08:29.128
뮤온 관찰자 입장에서
어떻게 설명하게 되느냐,

01:08:29.228 --> 01:08:33.648
지구 관찰자 입장에서는
뮤온이 움직이고 있습니다.

01:08:33.748 --> 01:08:39.661
뮤온이 움직이고 있으니까 뮤온의
시간이 천천히 흘러요.

01:08:39.761 --> 01:08:42.933
뮤온의 시간이 천천히 흐른다는 걸

01:08:43.033 --> 01:08:47.333
쉽게 이야기하면 뮤온이
천천히 늙는다는 거죠.

01:08:47.433 --> 01:08:52.066
결국 지구 관찰자 입장에서는
4초가 흐를 게

01:08:52.166 --> 01:08:56.402
뮤온은 2초만 흐른다고
이야기할 수 있는 겁니다.

01:08:56.502 --> 01:09:00.584
그러니까 지구 관찰자 입장에서는
뮤온의 시간이 천천히 흐르니까

01:09:00.684 --> 01:09:04.753
천천히 늙어서 여기까지
도달할 수 있는 거죠.

01:09:04.853 --> 01:09:08.565
이론적으로는 2초만 살아야
되는데 지구 관찰자가 보면

01:09:08.665 --> 01:09:10.456
4초를 사는 거로 본다고요.

01:09:10.556 --> 01:09:13.192
뮤온 입장에서 분명히
2초를 산 건데

01:09:13.292 --> 01:09:17.240
지구 관찰자의 입장에서 4초를
산 거로 보이게 된다는 거죠.

01:09:17.340 --> 01:09:23.214
그래서 지구 관찰자가 뮤온을 지표면에서
관찰할 수 있는 이유는 바로 뭐냐,

01:09:23.314 --> 01:09:28.565
뮤온이 움직이고 있으니까 뮤온의
시간이 천천히 흘러서.

01:09:28.665 --> 01:09:38.051
시간 팽창이 일어나서 지표면에 도달할
수 있다고 설명할 수 있게 됩니다.

01:09:38.151 --> 01:09:42.039
그러면 뮤온 입장에서
어떻게 자기가

01:09:42.139 --> 01:09:46.572
지표면에 도달할 수 있다고
생각을 할까, 라는 겁니다.

01:09:46.672 --> 01:09:51.859
지구관찰자 입장에서 보면
대기권의 두께가 이만큼입니다.

01:09:53.093 --> 01:09:55.554
그런데 뮤온 입장에서
보면 어떨까요?

01:09:55.654 --> 01:10:00.464
뮤온은 자기가 움직이는 게 아니라

01:10:00.564 --> 01:10:05.416
지구와 이 대기가 자기 쪽으로
오고 있는 거로 보입니다.

01:10:05.516 --> 01:10:10.255
뮤온 입장에서 이 지구와 대기가
자기 쪽으로 움직이는 거로 보여요.

01:10:10.355 --> 01:10:16.400
그러니까 뮤온 입장에서 움직이는 이
공간의 길이가 어떻게 되어 보인다고?

01:10:16.500 --> 01:10:17.690
짧아져 보인다.

01:10:17.790 --> 01:10:23.163
그러니까 뮤온 입장에서 뮤온은
자기는 가만히 있고요.

01:10:23.263 --> 01:10:34.350
이 지구와 지구 대기가 자기 쪽으로
다가오는 거로 보이는 거야.

01:10:34.450 --> 01:10:37.302
그러니까 이 길이가 어떻게
된 거로 보여요?

01:10:37.402 --> 01:10:39.979
짧아져 보인 걸로 보인다고요.

01:10:40.079 --> 01:10:43.446
그러니까 원래 이론대로라면
이만한 길이인데

01:10:43.546 --> 01:10:46.644
자기가 이만한 길이를
자기를 지나쳐가니까

01:10:46.744 --> 01:10:49.667
결국 짧은 거리를
이동할 수 있으니까

01:10:49.767 --> 01:10:53.441
지표면까지도 도달할 수 있다는
결론이 나오게 되는 거죠.

01:10:53.541 --> 01:10:59.373
그래서 뮤온 관찰자 입장에서는 자기가
지표면에 도달할 수 있는 이유가

01:10:59.473 --> 01:11:07.017
지구 대기의 두께가
짧아졌기 때문입니다.

01:11:07.117 --> 01:11:09.312
그래서 뭐 때문에
도착하게 되는 거야?

01:11:09.412 --> 01:11:20.006
대기권의 길이수축 때문에 지표면에 도달할
수 있게 된다고 설명이 된다고요.

01:11:20.106 --> 01:11:21.231
되셨죠?

01:11:21.331 --> 01:11:24.369
그래서 지구 관찰자와
뮤온 관찰자 입장 둘 다

01:11:24.469 --> 01:11:28.645
지표면에 도달할 수 있는 이유를 이렇게
설명을 할 수 있게 되는 거죠.

01:11:28.745 --> 01:11:30.843
결국은 도달할 수 있게 되는 거죠.

01:11:30.943 --> 01:11:36.098
결국 특수상대성이론이
성립되어지는구나, 라는 것을

01:11:36.198 --> 01:11:41.985

우리가 확인할 수 있는 현상이
바로 묶은 입자의 운동입니다.

01:11:42.085 --> 01:11:44.413

중요하게 기억을 하고
계셔야 되고요.

01:11:44.513 --> 01:11:47.132

이번에는 문제 2번
보도록 하겠습니다.

01:11:47.232 --> 01:11:49.728

문제 2번은 지금 어떤 상황이나,

01:11:49.828 --> 01:11:55.992

지금 이 화살이 이 관보다 길어요.

01:11:56.092 --> 01:12:06.983

지금 이 화살의 길이가 이 관의
길이보다 긴 상황이라고 생각해봅시다.

01:12:07.083 --> 01:12:14.553

이거를 지표면에 서 있는
사람이 이렇게 보는 겁니다.

01:12:14.653 --> 01:12:20.596

그러면 이 사람이 봤을 때
이 화살이 이 원통 안에

01:12:20.696 --> 01:12:24.862

완벽하게 가려지는 것이
가능할까, 가능하지 않을까.

01:12:24.962 --> 01:12:31.654

보시면 이 화살이 이 통보다 길면
당연히 빠져나와야 정상입니다.

01:12:31.754 --> 01:12:41.490

그런데 애가 보면 빠르게 움직이는
화살이 완벽하게 통 안에

01:12:41.590 --> 01:12:45.881

순간적으로 숨는 상황이
발생할 수 있습니다.

01:12:45.981 --> 01:12:48.343

왜일까요?

01:12:48.443 --> 01:12:55.087

이 사람이 보면 통은 안 움직이지만,
이 길이가 어떻게 된 거예요?

01:12:55.187 --> 01:12:58.625

화살이 빠른 속도로
움직이고 있으니까

01:12:58.725 --> 01:13:01.366

화살의 길이가 짧아져 보입니다.

01:13:01.466 --> 01:13:07.550

원래 통은 이만큼이고
화살은 이만큼이면

01:13:07.703 --> 01:13:10.569
쭉 날아와서 빠져나와야 정상이지않아.

01:13:10.669 --> 01:13:16.501
그런데 화살이 움직이니까
화살의 길이가 짧아져 보여서

01:13:16.601 --> 01:13:24.312
통 안으로 쭉 숨어들어 가버리는
상황이 발생할 수 있다는 거죠.

01:13:24.412 --> 01:13:30.928
그래서 이 관찰자는 이 화살의
속력에 의해서 길이수축에 의해서

01:13:31.028 --> 01:13:34.406
통 안에 숨는 거로
볼 수 있습니다.

01:13:34.506 --> 01:13:39.930
순간적으로 앞뒤가 완벽하게 가려지는
상황이 나타날 수 있습니다.

01:13:40.030 --> 01:13:45.225
그에 비해서 여기, 화살에
사람이 타고 있었다면

01:13:45.325 --> 01:13:50.913
이 사람은 이 통 안에
앞, 뒤가 완벽하게

01:13:51.013 --> 01:13:53.625
가려지는 상황이 발생할 수
있을까요, 없을까요?

01:13:53.725 --> 01:13:54.661
없죠, 왜?

01:13:54.761 --> 01:13:58.508
이 사람 입장에서 보면 화살이
움직이는 거야, 안 움직이는 거야?

01:13:58.643 --> 01:14:00.086
화살과 함께 날아오는
있는 이 사람은

01:14:00.186 --> 01:14:01.922
화살이 움직이는 거야,
안 움직이는 거야?

01:14:02.022 --> 01:14:04.875
화살이 안 움직이고 통이
움직여오는 거로 보여요.

01:14:04.975 --> 01:14:08.450
그러니까 통의 길이가
어떻게 된 거로 보여요?

01:14:08.550 --> 01:14:13.562
짧아져 있는 걸로 보여요.

01:14:13.662 --> 01:14:21.275
그러니까 결국 통 안의 화살이
완벽하게 가려지는 건 불가능하죠.

01:14:22.274 --> 01:14:25.216
그래서 이 지표면 관찰자는
완벽하게 가려진다.

01:14:25.316 --> 01:14:27.281
가려질 수 있다고 이야기하고요.

01:14:27.381 --> 01:14:29.445
이 화살과 함께 타고 있는 사람은

01:14:29.545 --> 01:14:34.328
완벽하게 가려질 수 없다고
설명할 수 있게 되는 거죠.

01:14:34.428 --> 01:14:38.387
그래서 이런 게 특수상대성이론의
세계다, 라는 거고요.

01:14:38.487 --> 01:14:44.965
마지막 3번 내신 문제 확인하고 기출
문제 설명해 나가보도록 할게요.

01:14:45.065 --> 01:14:49.234
이건 지금 어떤 상황이나,
열차가 있어요.

01:14:49.334 --> 01:14:53.953
열차 앞, 뒤에 번개가
동시에 빵하고 쳤습니다.

01:14:54.053 --> 01:14:56.433
이 앞, 뒤에 번개가
동시에 쳤을 때

01:14:56.533 --> 01:15:03.395
이 열차 안에 타고 있는 사람과
열차 밖에 타고 있는 사람은

01:15:03.495 --> 01:15:06.855
어떻게 이 상황을 설명하게 될까.

01:15:06.955 --> 01:15:12.052
우리가 앞에서 동시성의 상대성을
이야기할 때는 바로 뭐였어?

01:15:12.152 --> 01:15:16.429
가운데에서 빛이 빵하고
발사된 거였어요.

01:15:16.529 --> 01:15:19.762
그런데 이번에는 빛이 어디서
빵하고 출발하는 거야?

01:15:19.862 --> 01:15:23.746

양쪽에서 빛이 빵하고
출발을 한 겁니다.

01:15:23.846 --> 01:15:31.655

이때 이 열차는 매우 빠른 속도로
이동하고 있다고 가정을 하겠고요.

01:15:31.755 --> 01:15:33.803

그러면 이제 출발하도록 하겠습니다.

01:15:33.903 --> 01:15:47.158

열차 안에 타고 있는 사람을
영희라고 이야기하고요.

01:15:47.258 --> 01:15:51.443

열차 바깥사람을 철수라고
이야기하겠습니다.

01:15:51.543 --> 01:16:03.693

영희가 봤을 때 앞, 뒤 번개가
동시였다고 하겠습니다.

01:16:03.793 --> 01:16:08.680

그러면 철수는 뭐라고 생각을
할까, 라는 겁니다.

01:16:08.780 --> 01:16:13.811

영희가 봤을 때 앞, 뒤 번개가 동시에
쳤다고 생각하는 건 바로 뭐냐,

01:16:13.911 --> 01:16:22.321

이 열차의 길이와 번개가
친 앞, 뒤의 길이가.

01:16:22.421 --> 01:16:27.134

번개가 친 지점의 앞, 뒤
길이가 같다는 거죠.

01:16:27.234 --> 01:16:30.531

영희는 열차 가운데에
지금 타고 있고요.

01:16:30.631 --> 01:16:37.027

열차 앞, 뒤 길이와 번개가 친
앞, 뒤 길이가 같다고 보기 때문에

01:16:37.127 --> 01:16:43.597

양쪽에서 번개가 동시에 영희에게
도달했다고 설명을 할 수 있습니다.

01:16:43.697 --> 01:16:48.207

그 상황을 철수가 보면 어떨까.

01:16:51.053 --> 01:16:52.889

생각해봅시다.

01:16:52.989 --> 01:16:56.356

영희는 자기가 움직이는
거야, 안 움직이는 거야?

01:16:56.456 --> 01:16:58.098
안 움직이는 거야.

01:16:58.198 --> 01:17:03.045
자기가 안 움직이고 밖의 공간이
움직인 거로 보입니다.

01:17:03.145 --> 01:17:09.631
밖의 공간이 움직여 보이니까 밖의 공간의
길이 짧아져 보인 걸로 보이죠.

01:17:09.731 --> 01:17:15.700
결국 무슨 말이나, 번개가 치는
바깥쪽 지점 이 양쪽 지점의 길이는

01:17:15.800 --> 01:17:19.662
영희가 봤을 때 짧아져
보인 길이입니다.

01:17:19.762 --> 01:17:21.568
이게 짧아져 보인 길이라고요.

01:17:21.668 --> 01:17:24.021
그래서 철수가 보면 어떻게 되느냐,

01:17:24.121 --> 01:17:32.742
이 번개가 치는 공간의 길이가 영희가
보는 공간의 길이보다 길죠.

01:17:34.835 --> 01:17:39.491
그리고 또 철수가 보면
영희가 움직이고 있죠?

01:17:39.591 --> 01:17:43.598
영희가 타고 있는 이
열차가 움직이고 있죠?

01:17:43.698 --> 01:17:47.018
그러니까 이 열차의 길이는
어떻게 되는 거로 보여?

01:17:47.118 --> 01:17:51.031
철수가 보면 짧아져
보이는 걸로 보여요.

01:17:51.131 --> 01:17:52.801
이렇게 되는 상황이라고.

01:17:52.901 --> 01:17:55.296
결과적으로 보면 영희가 봤을 때는

01:17:55.396 --> 01:18:01.279
열차의 길이와 번개가 친 양쪽 지점의
길이 똑같이 보였기 때문에

01:18:01.379 --> 01:18:05.285
양쪽 지점에서 번개가 동일하게
쳤다고 관찰한 거지만

01:18:05.385 --> 01:18:08.627
이거를 철수가 보면

영희가 봤을 때는

01:18:08.727 --> 01:18:12.762

이 공간의 길이는 길이가
짧아졌기 때문에

01:18:12.862 --> 01:18:14.088

이 길이로 보인 거죠, 왜?

01:18:14.188 --> 01:18:16.832

영희가 봤을 때는
땅이 움직인 거니까.

01:18:16.932 --> 01:18:18.795

밖의 공간이 움직이고 있으니까.

01:18:18.895 --> 01:18:22.919

그런데 실제로 철수가 보면 이
번개가 친 양쪽 지점의 길이는

01:18:23.019 --> 01:18:26.399

영희가 본 양쪽 지점의
길이보다 길 수밖에 없어요.

01:18:26.499 --> 01:18:31.937

철수가 보면 영희의 이 열차의 길이는
짧아져 보일 수밖에 없습니다.

01:18:32.037 --> 01:18:35.475

그러면 철수는 어디가 먼저
쳤다고 보게 되느냐,

01:18:35.575 --> 01:18:41.034

철수가 보는 양쪽
번개가 치는 지점.

01:18:41.134 --> 01:18:45.325

영희가 타고 있는 열차의
양쪽을 생각해봅시다.

01:18:45.425 --> 01:18:53.050

그러면 양쪽 번개 지점의 길이가 영희가
타고 있는 열차의 길이보다 더 길죠?

01:18:53.150 --> 01:18:55.620

이렇게 되어있는 상황이죠?

01:18:55.720 --> 01:19:00.175

이게 양쪽 지점의 길이, 이게
영희가 타고 있는 지점.

01:19:00.275 --> 01:19:02.280

양쪽 지점이 있고요.

01:19:02.380 --> 01:19:04.345

영희가 탄 열차가 다가옵니다.

01:19:04.445 --> 01:19:10.809

영희가 탄 열차가 다가오면
뒤쪽이 먼저 맞닿고

01:19:10.909 --> 01:19:13.291
앞쪽이 나중에 맞닿죠.

01:19:13.391 --> 01:19:18.335
결국 번개가 치는 양쪽 지점이
있는데 이 지점에서 사건이

01:19:18.435 --> 01:19:23.486
이 뒤쪽에서 먼저 동시에
맞닿는 사건이 발생하고

01:19:23.586 --> 01:19:26.455
앞쪽이 나중에 맞닿는
사건이 발생합니다.

01:19:26.555 --> 01:19:32.225
결국 철수 입장에서는 뒤쪽이
먼저 번개가 친 거로 보이고

01:19:32.325 --> 01:19:36.714
앞쪽이 나중에 번개가 치는
거로 보이게 된다고요.

01:19:36.814 --> 01:19:40.172
영희에게는 동시에
어떤 앞, 뒤 사건이

01:19:40.272 --> 01:19:42.376
철수에게는 뒤쪽이 먼저.

01:19:42.476 --> 01:19:53.351
철수 입장에서는 뒤가
먼저 그리고 앞이 나중에

01:19:53.451 --> 01:19:57.310
번개가 치는 거로
보이게 된다는 거죠.

01:19:57.928 --> 01:19:59.450
이해되십니까?

01:19:59.550 --> 01:20:05.624
그러면 이 상황을 이번에는
반대로 철수가 봤을 때

01:20:05.724 --> 01:20:11.059
앞, 뒤에 번개가 동시에
쳤다고 생각해봅시다.

01:20:11.159 --> 01:20:14.221
영희가 이렇게 타고 있었어요.

01:20:14.321 --> 01:20:17.317
철수가 이렇게 서 있는데
철수 입장에서는

01:20:17.417 --> 01:20:20.935
열차 앞, 뒤에 번개가
동시에 쳤다는 건

01:20:21.035 --> 01:20:25.544

철수가 본 열차의 길이와

01:20:25.644 --> 01:20:34.692
철수가 본 번개가 치는 두 지점의
길이가 같았다고 생각하는 거죠.

01:20:34.792 --> 01:20:40.660
그런데 이거를 영희가
보면 어떨까요?

01:20:40.790 --> 01:20:42.534
영희는 자기가 움직이는 게 아니죠?

01:20:42.634 --> 01:20:44.028
누가 움직이는 거야?

01:20:44.128 --> 01:20:45.918
바깥 공간이 움직이는 거야.

01:20:46.018 --> 01:20:50.614
철수가 보면 열차의 길이가 이만큼의
길어로 보였던 이유는 뭘까요?

01:20:50.714 --> 01:20:55.983
철수가 보면 영희가 타고
있는 열차가 움직이니까

01:20:56.083 --> 01:21:00.987
길이가 짧아져서 이 길이었던 거죠?

01:21:01.087 --> 01:21:03.151
그러면 영희가 보면
어떻게 되는 거야?

01:21:03.251 --> 01:21:06.493
실제 영희가 보는 열차의 길이는

01:21:06.593 --> 01:21:12.646
철수가 본 열차의 길이보다
길 수밖에 없습니다.

01:21:12.746 --> 01:21:17.586
그리고 번개가 치는 양쪽
지점은 어떻습니까?

01:21:17.686 --> 01:21:19.891
바깥 지점이죠?

01:21:20.012 --> 01:21:21.566
영희가 보면 어떻습니까?

01:21:21.666 --> 01:21:24.677
바깥 지점이 다가오는 거로 보이니까

01:21:24.777 --> 01:21:30.059
이 두 지점의 거리는
짧아져 보이게 됩니다.

01:21:30.159 --> 01:21:31.825
그러면 이제 어떻게
되는 상황일까요?

01:21:31.925 --> 01:21:36.126
영희가 봤을 때는 열차의 길이가
이만큼이고요, 길고요.

01:21:36.226 --> 01:21:40.657
번개가 치는 양쪽 지점의
길이가 짧게 보인다고요.

01:21:40.757 --> 01:21:43.364
그러면 열차를 타고
있는 영희 입장에서는

01:21:43.464 --> 01:21:49.367
자기가 가는 게 아니라
애가 오는 거로 보이죠.

01:21:49.467 --> 01:21:54.221
번개가 치게 될 양쪽 땅이
이렇게 오는 거로 보이죠.

01:21:54.321 --> 01:21:56.281
오다 보면 어떻게 됩니까?

01:21:56.381 --> 01:22:02.177
앞쪽이 먼저 맞닿고 뒤쪽이
나중에 맞닿는 거로 보이죠.

01:22:02.277 --> 01:22:06.842
앞쪽이 먼저 맞닿으니까
앞쪽에서 번개가 먼저 치고

01:22:06.942 --> 01:22:12.179
뒤쪽에서 번개가 나중에 치는 걸로 영희
입장에서는 보이게 된다는 겁니다.

01:22:12.279 --> 01:22:18.849
결국 철수가 봤을 때 번개가
양쪽에 동시에 쳤다면

01:22:18.949 --> 01:22:24.852
영희가 봤을 때는 앞쪽이
먼저 번개가 치고

01:22:24.952 --> 01:22:28.758
뒤쪽이 나중에 번개가 치는
거로 보이게 된다는 거죠.

01:22:28.858 --> 01:22:30.457
이게 상황이 다르죠?

01:22:30.557 --> 01:22:33.242
상황이 다르다는 걸 여러분이
판단할 수 있어야 됩니다.

01:22:33.342 --> 01:22:38.070
영희가 봤을 때 동시였을 때는 철수가
볼 때는 뒤쪽에 번개가 먼저 치고

01:22:38.170 --> 01:22:41.054
앞쪽에 번개가 나중에 치는

결로 보이는 데 비해서

01:22:41.154 --> 01:22:44.466

철수가 봤을 때 양쪽에 번개가
동시에 치는 걸로 보였다면

01:22:44.566 --> 01:22:47.203

영희가 봤을 때는 앞쪽에
번개가 먼저 치고

01:22:47.303 --> 01:22:50.535

뒤쪽에 번개가 나중에 친
걸로 보이게 된다는 겁니다.

01:22:50.635 --> 01:22:56.669

이런 관점을 우리는 바로 길이수축의
관점에서 설명을 할 수 있다는 거죠.

01:22:56.769 --> 01:23:01.915

물론 이 방법 말고 다른
방법으로도 설명할 수 있는데

01:23:02.015 --> 01:23:05.064

이 방법이 여러분에게는 조금 더
이해하기 쉬운 거 같아서

01:23:05.164 --> 01:23:07.481

이 방법으로 설명을 드려봤습니다.

01:23:07.581 --> 01:23:11.083

다음에 기회가 될 때 다른
방법도 소개해드리도록 할게요.

01:23:11.183 --> 01:23:13.260

그것도 어려운 방법은 아니에요.

01:23:13.360 --> 01:23:20.304

그러면 이제 실제로
여러분 선배들에게

01:23:20.404 --> 01:23:25.153

출제되었던 수능 문제 유형을 보면서

01:23:25.253 --> 01:23:27.249

우리 학교 시험에서는
어떻게 나올 거고

01:23:27.349 --> 01:23:30.770

여러분이 치르게 될 수능에서는
어떻게 나오게 될지를

01:23:30.870 --> 01:23:34.398

한번 짐작해보는 시간을
갖도록 하겠습니다.

01:23:34.498 --> 01:23:36.183

1번부터 보도록 하겠습니다.

01:23:36.283 --> 01:23:39.370

1번을 봤더니 지금
뭐라고 나와 있느냐,

01:23:39.470 --> 01:23:46.562

전구에서 A, B까지의
거리는 서로 같은데

01:23:46.662 --> 01:23:52.205

양쪽에서 빛이 빵하고 출발을 했다.

01:23:52.305 --> 01:23:53.576

이 내용인 거죠?

01:23:53.676 --> 01:23:58.723

바로 뭐야? 동시성의 상대성 문제구나,
라는 느낌을 가져야 되고요.

01:23:58.823 --> 01:24:00.559

ㄱ부터 보겠습니다.

01:24:00.659 --> 01:24:03.538

철수의 좌표계에서,
이게 무슨 말이냐,

01:24:03.638 --> 01:24:06.077

철수가 봤을 때라는 소리입니다.

01:24:06.177 --> 01:24:13.712

철수가 봤을 때 전구의 빛은 A와
B에 동시에 당연히 도달하죠, 왜?

01:24:13.812 --> 01:24:18.321

철수가 봤을 때는 이 전구가
정확히 가운데에 놓여있죠?

01:24:18.421 --> 01:24:22.315

가운데에서 양쪽으로
똑같은 속도로 출발해서

01:24:22.415 --> 01:24:28.635

똑같은 거리를 이동해갈 거니까 당연히 동시에
양쪽에 도달하는 거로 보이게 됩니다.

01:24:28.735 --> 01:24:32.581

그에 비해서 ㄴ, 영희 좌표계에서,
이건 무슨 말이라고요?

01:24:32.681 --> 01:24:35.523

영희가 봤을 때.

01:24:35.623 --> 01:24:40.649

밖에 있는 영희가 봤을 때 전구의
빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.

01:24:40.749 --> 01:24:41.334

볼게요.

01:24:41.434 --> 01:24:46.820

빛이 빵하고 발사돼서 날아가는 사이에
이 로켓이 지금 어떻게 되는 거야?

01:24:46.920 --> 01:24:48.644

이렇게 옮겨오게 되죠?

01:24:48.744 --> 01:24:53.450

결국 A가 당겨와 지고 B는
떨어진 상황이 됩니다.

01:24:53.550 --> 01:24:56.661

A가 당겨와 지고 B는
떨어진 상황이니까

01:24:56.761 --> 01:25:00.565

빠하고 출발해야 되는 빛이
뒤쪽에 먼저 부딪히고

01:25:00.665 --> 01:25:03.963

앞쪽에 나중에 부딪히게 되는 거죠.

01:25:04.063 --> 01:25:07.794

그래서 λ 보기는 틀렸습니다.

01:25:07.894 --> 01:25:10.833

A에 먼저 도달하는
것으로 보이게 되고요.

01:25:10.933 --> 01:25:14.595

A에서 B까지의 거리.

01:25:14.695 --> 01:25:16.139

이 거리를 묻는 거죠?

01:25:16.239 --> 01:25:22.166

A에서 B까지의 거리는 누가 봤을
때가 작니, 라고 물었어요.

01:25:22.266 --> 01:25:24.032

A에서 B까지의 거리.

01:25:24.132 --> 01:25:28.384

철수가 보면 A에서 B는
움직여, 안 움직여?

01:25:28.484 --> 01:25:30.840

철수가 보면 같이
움직이니까 안 움직여.

01:25:30.940 --> 01:25:35.229

그러니까 철수가 켜 길이가
진짜 길이죠, 고유길이죠.

01:25:35.329 --> 01:25:36.985

그런데 영희가 보면 어떻습니까?

01:25:37.085 --> 01:25:43.929

애네가 움직이니까 움직이는
공간의 길이는 짧아져 보인다.

01:25:44.029 --> 01:25:46.858

결국 영희가 본 A, B의 길이가

01:25:46.958 --> 01:25:52.009

철수가 본 A, B의 길이보다
짧아져 보이게 됩니다.

01:25:52.109 --> 01:25:55.988

그래서 ㄷ번 보기는 맞는 거죠.

01:26:00.222 --> 01:26:03.245

영희가 봤을 때가 더
짧게 보이게 됩니다.

01:26:03.345 --> 01:26:06.769

그래서 ㄱ, ㄷ이 정답입니다.

01:26:06.869 --> 01:26:09.786

두 번째 문제 보도록 하겠습니다.

01:26:09.886 --> 01:26:12.582

두 번째 문제도 아까
설명했던 내용인데요.

01:26:12.682 --> 01:26:14.226

문제에 뭐라고 나와 있어요?

01:26:14.326 --> 01:26:20.409

민수가 측정한 게 철수가 측정한
거보다 큰 것을 고르래요.

01:26:20.509 --> 01:26:24.140

일단 빛의 속력은 누가
측정한 게 더 빠를까?

01:26:24.240 --> 01:26:27.092

민수가 가만히 서서
측정한 게 빠를까요?

01:26:27.192 --> 01:26:32.970

철수가 빛과 함께 움직이면서
측정한 게 빠를까요?

01:26:33.070 --> 01:26:40.721

빛의 속력은 누가 봐도
동일하게 측정된다.

01:26:40.821 --> 01:26:42.877

이해하시죠?

01:26:42.977 --> 01:26:48.088

민수가 보면 빛은 이렇게
움직인 거로 보이지만

01:26:48.188 --> 01:26:52.247

철수가 보면 빛은 어떻게
움직인 거로 보여요?

01:26:52.347 --> 01:26:55.178

이렇게 움직인 거로 보이죠.

01:26:55.278 --> 01:26:56.966

속력은 어떤데?

01:26:57.066 --> 01:27:03.300

같은데 거리가, 철수가 본
거리, 민수가 본 거리는

01:27:03.400 --> 01:27:05.942

누가 더 시간이 오래 걸린
거로밖에 볼 수 없어?

01:27:06.042 --> 01:27:10.392

민수가 봤을 때의 시간이 더 오래
걸린 거로 볼 수밖에 없죠.

01:27:10.492 --> 01:27:13.750

결국 민수가 측정한
시간이 4초일 때

01:27:13.850 --> 01:27:18.160

철수가 측정한 시간은 2초가
된다는 것을 뜻하죠.

01:27:18.260 --> 01:27:21.765

그래서 빛의 왕복 시간은
누가 더 길어요?

01:27:21.865 --> 01:27:26.940

민수가 철수 거보다 더
큰 값을 갖게 됩니다.

01:27:27.040 --> 01:27:28.367

그래서 ㄴ 보기 맞고요.

01:27:28.467 --> 01:27:30.415

우주선의 길이.

01:27:30.515 --> 01:27:32.256

이 우주선의 길이를 묻고 있어요.

01:27:32.356 --> 01:27:36.174

이 우주선의 길이는 누가
봤을 때 더 길까.

01:27:36.274 --> 01:27:39.346

철수가 보면 우주선은 움직여, 안 움직여?
안 움직여.

01:27:39.446 --> 01:27:43.402

우주선이 안 움직이니까
원래 길이, 고유길어로 보이죠.

01:27:43.502 --> 01:27:45.723

그에 비해서 민수가
보면 어떻습니까?

01:27:45.823 --> 01:27:48.431

이 로켓이 우주선이
움직이고 있으니까

01:27:48.531 --> 01:27:52.333

이 움직이는 우주선의
길이가 짧아져 보입니다.

01:27:52.433 --> 01:27:56.448

따라서 우주선의 길이는
철수가 본 게 더 길니다.

01:27:56.548 --> 01:27:59.157
그래서 α 보기는 틀렸다.

01:27:59.257 --> 01:28:01.373
되지죠?

01:28:01.473 --> 01:28:04.217
이번에는 3번 문제
보도록 하겠습니다.

01:28:04.317 --> 01:28:13.442
문제가 굉장히 복잡해 보이고 막
나열되어있지만 결국 핵심은 뭐냐,

01:28:13.542 --> 01:28:21.608
바로 철수가 측정한 민수의
속력은 0.9이고

01:28:21.708 --> 01:28:23.219
이거 보세요, 여기가 중요합니다.

01:28:23.319 --> 01:28:26.401
민수가 볼 때.

01:28:26.501 --> 01:28:30.424
특수상대성이론 문제는 누가 볼 때
어떠니, 이게 꼭 나오고 있다고요.

01:28:30.524 --> 01:28:35.803
민수가 볼 때 영희는 점점
자신에게 가까워지고 있다.

01:28:35.903 --> 01:28:38.017
이게 뭘까요?

01:28:38.117 --> 01:28:43.622
민수가 볼 때 영희가 자신에게
가까이 다가오고 있대.

01:28:43.722 --> 01:28:44.853
이건 뭘 의미할까?

01:28:44.953 --> 01:28:47.257
민수가 보면 자기는
움직여, 안 움직여?

01:28:47.357 --> 01:28:51.056
안 움직이는데 영희가
이렇게 다가오고 있대.

01:28:51.156 --> 01:28:54.192
그러면 철수가 보면 어떨까요?

01:28:54.292 --> 01:28:57.115
결국 둘 사이의 거리는
좁아져야 된다는 소리고

01:28:57.215 --> 01:29:02.370
결국 영희의 속도가 민수의
속도보다 더 빠르다는 겁니다.

01:29:02.470 --> 01:29:06.275
예를 들어서 영희의 속도가 민수의
속도보다 더 빠른 거죠.

01:29:06.375 --> 01:29:10.981
그러니까 민수가 봤을 때 영희가
점점 다가오고 있는 거로 보이죠.

01:29:11.081 --> 01:29:12.876
그리고 문체에 또
뭐라고 나와 있어요?

01:29:12.976 --> 01:29:16.795
고유길이는 같다.

01:29:16.895 --> 01:29:22.935
그리고 또 하나 철수가 측정할 때

01:29:23.035 --> 01:29:26.964
영희와 민수의 우주선의
길이는 L1, L2이다.

01:29:27.064 --> 01:29:30.036
별써 뭔가 느껴지나요?

01:29:30.136 --> 01:29:32.950
철수가 볼 때 누가 빨라요?

01:29:33.050 --> 01:29:36.262
영희의 속도가 민수의
속도보다 빠르죠?

01:29:36.362 --> 01:29:39.768
이거 개념 설명할 때는
말씀드리진 않았지만

01:29:39.868 --> 01:29:44.983
속도가 빠를수록 당연히
길이수축이 많이 일어나고

01:29:45.083 --> 01:29:48.284
시간팽창도 많이 일어납니다.

01:29:48.384 --> 01:29:50.033
그러면 보도록 합시다.

01:29:50.133 --> 01:29:55.805
ㄱ, 민수가 측정할 때
레이저 광선의 속력은

01:29:55.905 --> 01:30:00.557
영희가 측정할 때 레이저
광선의 속력보다 빠르다.

01:30:00.657 --> 01:30:03.035
맞아? 그러면 누가 빨라?

01:30:03.135 --> 01:30:05.720
똑같죠. 왜?

01:30:05.820 --> 01:30:09.537

빛의 속력은 어떠한 관찰자가
무슨 짓을 하면서 봐도

01:30:09.637 --> 01:30:12.964
똑같은 속도로 측정이 된다고요.

01:30:13.064 --> 01:30:14.732
그래서 γ 보기는 틀렸고요.

01:30:14.832 --> 01:30:15.969
 γ 보도록 하겠습니다.

01:30:16.069 --> 01:30:19.710
철수가 볼 때 영희가
빨라, 민수가 빨라?

01:30:19.810 --> 01:30:20.807
영희가 빨라.

01:30:20.907 --> 01:30:22.977
영희가 빠르니까 어떻게 될까요?

01:30:23.077 --> 01:30:27.464
영희의 우주선의 길이가
더 짧아져 보입니다.

01:30:27.564 --> 01:30:30.026
따라서 이거는 어떻게 될까요?

01:30:30.126 --> 01:30:38.554
L1이 L2보다 더 짧아져
보이는 걸로 관찰이 됩니다.

01:30:40.801 --> 01:30:44.695
L1, L2는 철수가
봤을 때의 길이였으니까.

01:30:44.795 --> 01:30:50.726
철수가 봤을 때는 L1이
L2보다 더 짧아져 보이죠,

01:30:50.826 --> 01:30:51.994
길이수축이 더 많이 일어나니까.

01:30:52.094 --> 01:30:54.638
실제 길이는 어떻게? 같다고요.

01:30:54.738 --> 01:31:01.638
영희가 본 우주선의 길이랑 민수가
본 우주선의 길이는 똑같습니다.

01:31:01.738 --> 01:31:04.341
애가 쟀 자기가 타고
있는 우주선의 길이랑

01:31:04.441 --> 01:31:08.359
애가 쟀 자기가 타고 있는
우주선의 길이는 똑같죠.

01:31:08.459 --> 01:31:09.596
그게 고유길이니까.

01:31:09.696 --> 01:31:14.653
물론 영희가 본 민수의 우주선의 길이는 짧아져 보일 거고요.

01:31:14.753 --> 01:31:18.726
민수가 본 영희의 우주선의 길이는 짧아져 보이겠죠.

01:31:18.826 --> 01:31:20.073
그건 분명한 거죠?

01:31:20.173 --> 01:31:24.879
그런데 그걸 말씀드린 게 아니라 영희가 보는 자기가 탄 우주선의 길이,

01:31:24.979 --> 01:31:29.948
민수가 본 자기가 탄 우주선의 길이는 다 진짜 길이, 고유길이이고

01:31:30.048 --> 01:31:33.952
고유길이는 같다고 했으니까 그 경우는 같죠.

01:31:34.052 --> 01:31:37.366
그런데 문제에 γ 은 철수가 본 길이를 묻고 있고요.

01:31:37.466 --> 01:31:40.577
철수가 봤을 때는 애의 속력이 더 빠르니까

01:31:40.677 --> 01:31:45.772
길이수축이 더 많이 일어나서 γ 번 보기도 틀린 것으로 보이게 됩니다.

01:31:45.872 --> 01:31:48.572
그러면 정답은 이미 나왔네, 뭐야?

01:31:48.672 --> 01:31:51.427
 γ , 철수가 측정할 때, 이런 문구가 중요하다고요.

01:31:51.527 --> 01:31:57.351
철수가 볼 때 영희의 시간이 철수의 시간보다 느리게 간다.

01:31:57.451 --> 01:31:59.867
철수가 보면 누가 더 빨라요?

01:31:59.967 --> 01:32:01.202
영희가 더 빨라요.

01:32:01.302 --> 01:32:05.272
영희가 더 빠르면 시간 팽창이 영희가 더 많이 일어나요.

01:32:05.372 --> 01:32:08.183
영희가 더 천천히 늙어요.

01:32:08.283 --> 01:32:12.399

천천히 늙는다는 건 시간이
더 천천히 흐르는 거죠.

01:32:12.499 --> 01:32:17.737

천천히 흐르면 시간 값은
더 작을 수밖에 없죠.

01:32:17.837 --> 01:32:21.668

그래서 영희의 시간이 민수의
시간보다 더 느리게 간다.

01:32:21.768 --> 01:32:24.006

맞는 이야기죠?

01:32:24.945 --> 01:32:28.617

이제 마지막 문제 4번
보도록 하겠습니다.

01:32:28.717 --> 01:32:32.787

계속 말씀드리지만,
특수상대성이론 문제는

01:32:32.887 --> 01:32:38.721

누가 볼 때 어떠냐가 중요합니다.

01:32:38.821 --> 01:32:45.913

봤더니 지금 우주선 A에
대해 일정한 속력.

01:32:46.013 --> 01:32:49.700

그러면 우주선 A에서 보면 우주선
B가 움직이는 거로 보일 거고

01:32:49.800 --> 01:32:54.576

우주선 B에서 보면 우주선 A가
이쪽으로 움직이는 거로 보이겠죠.

01:32:54.676 --> 01:32:56.671

이때 지금 뭐라고 되어있느냐,

01:32:56.771 --> 01:33:01.767

민수가 봤을 때 여기 안에 빛이
뺑하고 이렇게 움직인 거고요.

01:33:01.867 --> 01:33:05.985

영희가 봤을 때도 여기 안에서
빛이 뺑하고 이렇게 움직였습니다.

01:33:06.085 --> 01:33:07.345

그러면 올라갔다 내려온 거죠?

01:33:07.445 --> 01:33:09.596

여기도 올라갔다 내려왔습니다.

01:33:09.696 --> 01:33:13.567

이때 뭐라고 되어있느냐,
민수가 측정할 때.

01:33:13.667 --> 01:33:15.006

이런 문구가 중요하다고요.

01:33:15.106 --> 01:33:20.854

민수가 측정할 때 되돌아오는
데 걸린 시간은 t_A 이고

01:33:20.954 --> 01:33:29.881

영희가 측정할 때 되돌아오는 데 걸린
시간은 t_B 이다, 라고 되어있습니다.

01:33:29.981 --> 01:33:31.396

그부터 보도록 하겠습니다.

01:33:31.496 --> 01:33:34.128

t_A 랑 t_B 는 같니,
라고 물었어요.

01:33:34.228 --> 01:33:34.942

보세요.

01:33:35.042 --> 01:33:37.919

민수가 볼 때는 자기는
움직여, 안 움직여?

01:33:38.019 --> 01:33:38.844

안 움직여.

01:33:38.944 --> 01:33:44.130

그 안 움직이는 상태에서 빛이
그냥 올라갔다 내려온 거죠.

01:33:44.230 --> 01:33:45.949

그냥 올라갔다 내려왔습니다.

01:33:46.049 --> 01:33:47.530

영희도 마찬가지로.

01:33:47.630 --> 01:33:52.444

영희가 봤을 때도 영희도 자기가 타고
있는 우주선은 움직여, 안 움직여?

01:33:52.544 --> 01:33:53.188

안 움직여.

01:33:53.288 --> 01:33:57.942

그러니까 빛의 속도로 이
거리를 올라갔다 내려왔죠.

01:33:58.042 --> 01:34:02.604

결국 민수 입장에서
보면 민수가 봤을 때는

01:34:02.704 --> 01:34:06.263

빛의 속력으로 이만큼
움직였다 온 거고요.

01:34:06.363 --> 01:34:11.367

영희 입장에서든 빛은 이만큼만
올라갔다 내려오는 겁니다.

01:34:11.467 --> 01:34:15.761

영희가 본 빛의 속력과 민수가
본 빛의 속력은 다 똑같고요.

01:34:15.861 --> 01:34:18.024
같은 거리를 이동한 거로 보이죠?

01:34:18.124 --> 01:34:20.628
민수는 민수대로 빛이
이만큼만 움직인 거고

01:34:20.728 --> 01:34:23.317
영희는 영희대로 빛이
이만큼만 움직인 거니까

01:34:23.417 --> 01:34:26.995
결국 민수가 측정한
빛이 움직인 시간과

01:34:27.095 --> 01:34:31.221
영희가 측정한 빛이 움직인 시간은
당연히 똑같은 수밖에 없습니다.

01:34:31.321 --> 01:34:35.742
이 경우는 애가 애를 본
시간을 물은 게 아니야.

01:34:35.842 --> 01:34:39.099
민수는 민수대로, 영희는 영희대로.

01:34:39.199 --> 01:34:43.897
당연히 그 왕복 시간을 보면 같은
속도로 같은 거리를 이동했으니까

01:34:43.997 --> 01:34:48.376
당연히 동일한 시간이
측정되는 거죠.

01:34:48.476 --> 01:34:50.456
물론 민수가 본 영희의 시간.

01:34:50.556 --> 01:34:52.559
영희가 본 민수의 시간을 본다면

01:34:52.659 --> 01:34:57.647
다른 값으로 우리가 비교해야
되겠죠, 이 t_A , t_B 랑은.

01:34:57.747 --> 01:34:58.579
되시죠?

01:34:58.679 --> 01:34:59.785
↳ 보겠습니다.

01:34:59.885 --> 01:35:01.260
이런 문구 중요하다고요.

01:35:01.360 --> 01:35:04.678
영희가 측정할 때.

01:35:04.778 --> 01:35:09.070
영희가 볼 때 민수의 시간은
영희의 시간보다 느리게 한다.

01:35:09.170 --> 01:35:10.073
맞죠, 왜?

01:35:10.173 --> 01:35:13.391
영희가 보면 누가 움직이니?
민수가 움직여요.

01:35:13.491 --> 01:35:15.786
영희가 보면 민수가 움직이니까

01:35:15.886 --> 01:35:19.855
민수의 시간이 느리게
가는 거로 보입니다.

01:35:19.955 --> 01:35:22.192
누가 볼 때 어머니가 중요하다고요.

01:35:22.292 --> 01:35:23.577
그래서 γ 보기 맞고요.

01:35:23.677 --> 01:35:24.698
 γ 보겠습니다.

01:35:24.798 --> 01:35:25.622
또 나왔죠?

01:35:25.722 --> 01:35:28.044
민수가 측정할 때.

01:35:28.144 --> 01:35:30.040
이번에는 민수가 볼 때입니다.

01:35:30.140 --> 01:35:35.170
민수가 볼 때 t_A 동안 떨어진
A와 B 사이의 거리.

01:35:35.270 --> 01:35:41.587
그리고 영희가 측정할 때 t_B 동안
떨어진 A와 B 사이의 거리.

01:35:41.687 --> 01:35:43.940
그런데 우리는 이미 뭐라는
건 알고 있어요, 지금?

01:35:44.040 --> 01:35:48.012
 t_A 랑 t_B 가 같다는
건 알고 있죠.

01:35:48.112 --> 01:35:53.632
그러면 영희가 보는 우주선의
속도는 얼마입니까?

01:35:53.732 --> 01:35:56.189
이쪽으로 $0.5c$ 고요.

01:35:56.289 --> 01:35:59.181
민수가 보는 영희의
속도는 얼마입니까?

01:35:59.281 --> 01:36:01.203
이쪽으로 $0.5c$ 입니다.

01:36:01.303 --> 01:36:08.518
그러면 영희가 보면 민수가 $0.5c$ 의
속도로 t_B 동안 멀어지고요.

01:36:08.618 --> 01:36:15.570
민수가 보면 영희가 0.5 의 속도로
 t_A 동안 멀어지는 거죠.

01:36:15.670 --> 01:36:22.121
지금 보시면 민수가 측정할 때
멀어진 시간은 $0.5c$ 곱하기

01:36:22.221 --> 01:36:27.021
민수가 보는 거니까 t_A 인 거고요.

01:36:27.121 --> 01:36:33.328
영희가 볼 때는 $0.5c$ 의 속도로.

01:36:33.428 --> 01:36:37.101
자기가 봤을 때는 자기는 가만히 있고
민수가 뒤로 움직이는 거로 보이잖아.

01:36:37.201 --> 01:36:44.664
 0.5 의 속도로 자기가 측정한
시간 t_B 로 이동한 거로 보이죠.

01:36:44.764 --> 01:36:47.515
이때 t_A , t_B 가 어떠니까?
같고요.

01:36:47.615 --> 01:36:52.494
영희가 본 민수의 속도나 민수가 본
영희의 속도는 둘 다 얼마니까?

01:36:52.594 --> 01:36:55.207
같으니까 결국 둘이 봤을 때

01:36:55.307 --> 01:36:59.401
서로 멀어졌다고 생각하는
거리는 똑같이 보이는 거죠.

01:36:59.501 --> 01:37:02.829
어떻게 생각해보면 당연한 거잖아.

01:37:02.929 --> 01:37:04.984
여기 친구랑 나랑
서로 멀어지고 있어.

01:37:05.084 --> 01:37:07.118
그러면 내가 재를
보나 재가 나를 보나

01:37:07.218 --> 01:37:11.420
서로 멀어진 거리는 똑같은
거리로 측정이 됐겠죠.

01:37:11.520 --> 01:37:16.087
그래서 c 번 보기는 틀렸다는
것을 확인할 수가 있습니다.

01:37:16.187 --> 01:37:21.277

문제를 해결하는 포인트는
바로 ρ 이었던 거죠.

01:37:21.377 --> 01:37:27.645

이렇게 해서 특수상대성이론에
대한 이야기를 진행해봤습니다.

01:37:27.785 --> 01:37:31.716

생각보다 어려웠나요?

01:37:31.816 --> 01:37:34.016

생각보다 흥미롭지 않았나요?

01:37:34.116 --> 01:37:37.126

저런 세계가 정말 펼쳐질 수
있겠구나, 라는 겁니다.

01:37:37.226 --> 01:37:42.072

이런 관점을 바탕으로
만든 영화가 있었죠.

01:37:42.172 --> 01:37:45.669

바로 인터스텔라라는 영화에서는

01:37:45.769 --> 01:37:48.902

물론 일반상대성이론에 대한
이야기까지도 포함하고 있지만

01:37:49.002 --> 01:37:54.608

특수상대성이론의 관점에서 왜
천천히 늙었을까, 라는 이야기를

01:37:54.708 --> 01:37:58.009

설명할 수가 있는
부분들이 있습니다.

01:37:58.109 --> 01:38:02.261

어쨌든 좀 흥미로운 내용, 여러분
것으로 만들었는지 궁금하고요.

01:38:02.361 --> 01:38:06.208

잘 이해가 안 되는 내용은
어떻게 해야 돼?

01:38:06.308 --> 01:38:11.275

수강 후기 또는 Q&A 게시판에
열심히 질문을 해주시면

01:38:11.375 --> 01:38:13.904

제가 충실하게 답변해드리도록
하겠습니다.

01:38:14.004 --> 01:38:14.966

수고하셨습니다.

01:38:15.066 --> 01:38:18.326

다음 강의에서 뵙도록 하겠습니다.