

WEBVTT

00:00:11.062 --> 00:00:11.876

반갑습니다.

00:00:11.976 --> 00:00:14.584

물리학1 기초개념학습 벽 샘입니다.

00:00:14.684 --> 00:00:21.074

오늘은 22번째 주제, 빛의 이중성에  
대한 내용 들어가도록 할게요.

00:00:21.174 --> 00:00:26.380

오늘 내용은 과학의  
역사적 흐름에 대해서

00:00:26.480 --> 00:00:28.165

여러분이 이해하고 있다면

00:00:28.265 --> 00:00:33.073

굉장히 흥미롭게 들을 수 있는 내용이지  
않을까, 라는 생각이 들어요.

00:00:33.173 --> 00:00:36.393

일단 오늘 강의를 통해서 여러분이  
반드시 알아야 될 핵심 용어들

00:00:36.493 --> 00:00:38.973

간단하게 살펴보도록 할게요.

00:00:39.073 --> 00:00:45.256

오늘의 주제에서 가장 중요한  
포인트는 광전효과라는 겁니다.

00:00:45.356 --> 00:00:48.450

도대체 이 광전효과라는 게 뭔가.

00:00:48.550 --> 00:00:53.135

그리고 이 광전효과를 설명하는  
과정 중에 등장하는 용어들입니다.

00:00:53.235 --> 00:01:01.413

바로 문턱진동수, 빛의 세기,  
광양자설, 전자의 최대운동 에너지.

00:01:01.513 --> 00:01:05.426

이런 표현들로 광전효과라는  
현상은 어떻게 설명되어지는지

00:01:05.526 --> 00:01:07.262

좀 확인을 해보도록 하겠고요.

00:01:07.362 --> 00:01:12.182

이 광전효과가 우리 주변에  
흔히 쓰이고 있는

00:01:12.282 --> 00:01:18.376

전자 회로 안의 부품,  
소자 중에 전하결합소자.

00:01:18.476 --> 00:01:20.886

일명 CCD라고 부르는  
애가 있어요.

00:01:20.986 --> 00:01:22.902

개는 어떠한 특성을 갖고 있는지.

00:01:23.002 --> 00:01:26.245

이 전하결합소자인 CCD를  
설명하기 위해서는

00:01:26.345 --> 00:01:30.026

그 안에 들어있는 아주  
중요한 부품이 또 하나 있어요.

00:01:30.126 --> 00:01:33.568

그 부품이 바로  
광 다이오드라는 아이거든요.

00:01:33.668 --> 00:01:39.184

우리 앞쪽에서 이 다이오드에 대해서  
간단하게 다뤄봤던 거 기억하시나요?

00:01:39.284 --> 00:01:42.959

그 내용을 기억하고 있다면  
이 광 다이오드에 대해서도

00:01:43.059 --> 00:01:46.423

여러분이 조금 더 이해하기 편하지  
않을까, 라는 생각이 듭니다.

00:01:46.523 --> 00:01:49.491

그러면 오늘의 강의를  
시작해보도록 하겠습니다.

00:01:49.591 --> 00:01:51.799

오늘의 강의를 시작하기에 앞서서

00:01:51.899 --> 00:01:55.964

여러분이 오늘의 주제에  
대한 핵심적인 실험 하나

00:01:56.064 --> 00:02:00.025

간단하게 살펴보고  
들어가도록 할게요.

00:02:00.125 --> 00:02:02.099

여러분에게 보여드릴 장치는

00:02:02.199 --> 00:02:06.699

여기 가운데에 광센서, 일명 광  
트랜지스터라고 부르는데요.

00:02:06.799 --> 00:02:10.972

광 다이오드가 포함되어있는  
광센서가 있습니다.

00:02:11.072 --> 00:02:18.449

이 광센서에 빛을  
비춰보도록 할게요.

00:02:18.549 --> 00:02:21.150

그러면 어떤 일이 일어나느냐,

00:02:21.250 --> 00:02:23.119

지금 바퀴가 돌아가는 거 보이나요?

00:02:23.219 --> 00:02:29.618

바퀴가 돌고 전구에 불이  
들어온 게 보이죠.

00:02:29.718 --> 00:02:37.975

보시면 빛이 가면 불이 들어오고  
활발하게 이 모터가 작동되고 있고요.

00:02:38.075 --> 00:02:43.806

빛을 치워주면 전구도 꺼지고  
바퀴도 회전을 멈춘다는 걸

00:02:43.906 --> 00:02:44.996

확인할 수 있어요.

00:02:45.096 --> 00:02:53.697

다시 이 센서에 빛을 비춰주게 되면 돌면서  
활발하게 빛을 발생시키게 되고요.

00:02:53.797 --> 00:02:59.286

다시 치워주면 빛이 나지도 않고 바퀴도  
돌지 않는다는 거 확인할 수 있죠.

00:02:59.386 --> 00:03:02.997

또 하나 여러분이 유심하게 볼 건  
여기다 지금 빛을 비추고 있어요.

00:03:03.097 --> 00:03:06.986

이 비추는 빛을 점점  
멀리해보도록 하겠습니다.

00:03:07.086 --> 00:03:17.373

비추는 빛을 점점 멀리하면 돌긴 도는데  
빛의 세기가 조금 약해지게 되고요.

00:03:17.473 --> 00:03:21.424

점점 가까이 가게 되면  
빛도 굉장히 밝아지고

00:03:21.524 --> 00:03:25.028

바퀴도 굉장히 활발하게 돈다는  
거 우리가 확인할 수 있어요.

00:03:25.128 --> 00:03:29.666

그런데 여기서 우리가  
주목해볼 건 뭐냐면,

00:03:29.766 --> 00:03:31.391

이건 백열등이거든요.

00:03:31.491 --> 00:03:36.609

이 백열등을 비췄을 때는 이  
센서가 굉장히 작동을 잘하면서

00:03:36.709 --> 00:03:39.333

전구에 빛을 내게 하고  
바퀴도 돌게 하는데

00:03:39.433 --> 00:03:43.127

사실 제 주변에는  
빛이 굉장히 많아요.

00:03:43.227 --> 00:03:45.359

형광등이라는 빛이 있거든요.

00:03:45.459 --> 00:03:47.615

그런데 이 형광등이라는  
빛에 의해서는

00:03:47.715 --> 00:03:51.790

애는 지금 작동되어지고 있지 않다는  
걸 우리가 확인할 수 있습니다.

00:03:51.890 --> 00:03:57.330

그러면 이러한 현상이 왜 일어나는지를  
이제부터 설명드리도록 할게요.

00:03:57.430 --> 00:04:04.318

우리 주변에는 이 광센서를 이용한  
장치가 굉장히 많습니다.

00:04:04.418 --> 00:04:07.588

가로등 밑에 사람이  
설 때 가로등이 켜지고

00:04:07.688 --> 00:04:10.822

사람이 없으면 가로등이 꺼지는.

00:04:10.922 --> 00:04:11.696

자동문.

00:04:11.796 --> 00:04:14.009

사람이 앞에 서면  
문이 저절로 열어주고

00:04:14.109 --> 00:04:15.754

사람이 지나가면 문을 닫아주는.

00:04:15.854 --> 00:04:19.102

애네들도 다 이 광센서를  
이용하고 있거든요.

00:04:19.202 --> 00:04:23.999

그래서 빛에 의해서 작동되고  
작동되지 않는 장치는

00:04:24.099 --> 00:04:28.751

대부분이 광센서를  
이용하고 있다는 겁니다.

00:04:28.851 --> 00:04:32.960

바로 이 광센서의 원리에 대해서 오늘  
우리가 본격적으로 배울 건데요.

00:04:33.060 --> 00:04:36.501

도대체 이 광센서는 어떠한

특성을 갖고 있길래,

00:04:36.601 --> 00:04:39.558

빛은 도대체 어떠한  
특성을 갖고 있길래

00:04:39.658 --> 00:04:45.295

이러한 현상을 보여줄 수 있을까에  
대한 내용으로 시작해보도록 할게요.

00:04:45.395 --> 00:04:48.605

그걸 판단하기 위해서 우리는  
뭐부터 알아야 되느냐,

00:04:48.705 --> 00:04:54.103

도대체 빛이란 뭘까를 여러분이  
판단할 수 있어야 됩니다.

00:04:54.203 --> 00:04:59.275

사실은 아주 오래전 옛날부터  
예수님이 태어나기 전부터

00:04:59.375 --> 00:05:04.906

이 빛이라는 게 도대체 뭘까라는  
걸 사람들이 굉장히 고민했어요.

00:05:05.006 --> 00:05:09.000

그래서 예수님이 태어나기  
전에는 어떠한 상상도 했냐면

00:05:09.100 --> 00:05:12.991

빛은 아침에 태어나서  
저녁 때 죽는다.

00:05:13.091 --> 00:05:14.664

이런 상상을 한 사람도 있어요.

00:05:14.764 --> 00:05:16.872

생각해보면 맞는 거  
같아요, 그렇지?

00:05:16.972 --> 00:05:21.218

아침이 되면 빛이 밝아지고  
낮이 되면 굉장히 활발해졌다가

00:05:21.364 --> 00:05:23.481

저녁이 되면 쭉 사라져버리니까.

00:05:23.581 --> 00:05:28.613

그래서 빛은 아침에 태어나서 저녁 때  
죽는다고 표현한 사람들도 있었어요.

00:05:28.713 --> 00:05:30.381

또 어떤 사람도 있었냐면,

00:05:30.481 --> 00:05:35.177

빛은 우리 눈이 만들어내는 거다,  
라고 생각한 사람들도 있었어요.

00:05:35.277 --> 00:05:39.090

그래서 눈을 뜨면 보이고 눈을

감으면 안 보이는 이유는

00:05:39.190 --> 00:05:45.075  
바로 우리 눈이 빛을 만들어내고 있기  
때문이다, 라고 생각한 사람들도 있었죠.

00:05:45.175 --> 00:05:47.286  
그래서 이 빛의 정체가  
도대체 뭘까.

00:05:47.386 --> 00:05:51.146  
굉장히 고민을 하다가 본격적으로

00:05:51.246 --> 00:06:01.161  
빛에 대한 과학적인 논쟁을 벌이기 시작한  
시기는 언제나, 바로 1600년대예요.

00:06:01.261 --> 00:06:07.386  
1600년대에 빛을 두 가지 관점으로  
바라보던 사람들이 있었습니다.

00:06:07.486 --> 00:06:14.516  
바로 뭐냐, 빛은 입자다, 알갱이다,  
라고 주장한 사람이 있었어요.

00:06:14.616 --> 00:06:16.777  
아니다, 빛은 입자가 아니라

00:06:16.877 --> 00:06:21.154  
소리와 같은 떨림이다, 라고  
주장한 사람들이 있었어요.

00:06:21.254 --> 00:06:23.098  
아주 단순하게 이야기하면 뭐냐,

00:06:23.198 --> 00:06:27.448  
빨주노초파남보가 있으면 빛이  
입자라고 주장한 사람들은

00:06:27.548 --> 00:06:33.102  
빛은 빨주노초파남보 각각에  
알갱이가 있는 거야.

00:06:33.202 --> 00:06:39.101  
그래서 우리가 어떤 빨간색 물체를  
빨간색으로 볼 수 있는 이유는

00:06:39.201 --> 00:06:44.660  
이 물체에서부터 빨간색 빛  
알갱이가 내 눈에 들어와서

00:06:44.760 --> 00:06:48.961  
빨간색이라고 보는 거야,  
라고 주장한 사람들이고요.

00:06:49.061 --> 00:06:52.025  
단순하게 이야기하면 빛을  
파동이라고 본 사람들은

00:06:52.125 --> 00:06:54.843  
아니야, 빛 알갱이가

있는 게 아니라

00:06:54.943 --> 00:06:58.067

빛은 소리와 같은  
떨림이 있는 거야.

00:06:58.167 --> 00:07:03.194

여기서 빨간색에 해당하는 떨림이  
내 눈에 들어오게 되면

00:07:03.294 --> 00:07:07.840

내 눈이 그거를 감지해서  
빨간색으로 보게 되는 거야.

00:07:07.940 --> 00:07:10.988

이거를 단순하게 소리에  
대입해보면 이렇게 되는 거죠.

00:07:11.088 --> 00:07:13.577

내가 가! 라는 소리를 지르면

00:07:13.677 --> 00:07:17.331

빛이 입자라고 주장한 사람들의  
관점으로는 이렇게 되는 겁니다.

00:07:17.431 --> 00:07:21.325

가! 라는 소리  
알갱이가 귀에 들어가서

00:07:21.425 --> 00:07:25.020

가! 라는 소리를 들었다,  
라고 판단하게 된다는 거고요.

00:07:25.120 --> 00:07:30.112

빛을 파동이라고 본 사람들은 가!  
라는 떨림이 가서

00:07:30.212 --> 00:07:34.604

귀에 들어와서 가! 라는 소리를  
들은 거다, 라고 봤다는 거죠.

00:07:34.704 --> 00:07:40.920

그와 같이 빛이 입자면 빨간색,  
파란색, 노란색 빛 알갱이가

00:07:41.020 --> 00:07:44.041

각각 존재한다고 주장했던 거고요.

00:07:44.141 --> 00:07:49.098

빛을 파동이라고 주장한 건 빛이  
빨간색의 떨림, 파란색의 떨림,

00:07:49.198 --> 00:07:54.262

노란색의 떨림이 제각각 존재하는  
거야, 라고 주장했었다는 거죠.

00:07:54.362 --> 00:07:59.788

여러분은 어떤 주장을  
따르고 싶으신가요?

00:07:59.888 --> 00:08:04.110

1600년대 당시에 빛이 입자다.

00:08:04.210 --> 00:08:07.508

빨간색 빛 알갱이가 따로  
파란색 빛 알갱이가 따로

00:08:07.608 --> 00:08:12.748

노란색 빛 알갱이가 따로  
빛 알갱이로 존재하는 거다, 라고

00:08:12.848 --> 00:08:16.348

주장한 대표적인 과학자가  
바로 누구였느냐,

00:08:16.448 --> 00:08:21.883

그 유명한 뉴턴이라는 과학자였어요.

00:08:21.983 --> 00:08:25.153

이 뉴턴이라는 사람은, 우리가  
잘 알고 있는 그 뉴턴이야.

00:08:25.253 --> 00:08:27.684

중력 만유인력 만들어낸 그 뉴턴.

00:08:27.784 --> 00:08:32.856

그 뉴턴은 광학,  
빛에 대한 연구에서도

00:08:32.956 --> 00:08:35.608

굉장한 업적을 만들어냈던  
사람이었거든요.

00:08:35.708 --> 00:08:40.097

그래서 우리가 무지갯빛이라고  
부르는 빨주노초파남보 있죠?

00:08:40.197 --> 00:08:45.641

이 빨주노초파남보로 무지갯빛을  
규정한 사람도 바로 뉴턴이에요.

00:08:45.741 --> 00:08:47.406

대단한 사람이죠.

00:08:47.506 --> 00:08:55.093

그런데 그때 당시에 뉴턴의 주장을  
사사건건 반대하던 과학자가 있었어요.

00:08:55.193 --> 00:09:00.862

그 과학자 이름이 바로 뭐였느냐,  
허위헌스라는 사람이었습니다.

00:09:00.962 --> 00:09:04.406

허위헌스는 아니야,  
뉴턴 너 틀렸어.

00:09:04.506 --> 00:09:07.421

빛은 알갱이로 존재하고  
있는 게 아니라,

00:09:07.521 --> 00:09:12.328

알갱이로 진행하고 있는 게 아니라

빛은 펄림으로 진행되는 거야.

00:09:12.428 --> 00:09:16.553

이렇게 주장했던 과학자  
허위헌스라는 과학자가 있었어요.

00:09:16.653 --> 00:09:21.913

이 허위헌스라는 과학자는 뉴턴에 대해서  
사사건건 반대했던 사람이었거든요.

00:09:22.013 --> 00:09:26.100

이 이야기는 우리 저  
앞쪽에서 특수상대성이론할 때

00:09:26.200 --> 00:09:30.476

잠깐 언급했던 이야기였는데  
혹시 기억나시나?

00:09:30.576 --> 00:09:32.449

기억 못 하면 상관없고요.

00:09:32.549 --> 00:09:34.980

어쨌든, 이때 당시에는  
누가 이겼을까?

00:09:35.080 --> 00:09:37.981

누구의 주장이 맞다고  
사람들은 생각했을까요?

00:09:38.081 --> 00:09:42.332

그렇죠, 너무나도 당연하게도  
뉴턴의 주장을 따르게 됩니다.

00:09:42.432 --> 00:09:50.944

뉴턴이 특별한 어떤 과학적 근거를 가지고  
빛이 입자다, 라고 주장한 건 아니었지만

00:09:51.044 --> 00:09:53.444

워낙 유명한 뉴턴이 이야기하니까

00:09:53.544 --> 00:09:58.284

당연히 그때 당시의 사람들은  
뉴턴이 빛은 입자래.

00:09:58.384 --> 00:10:02.211

그러니까 빛은 입자인 거야,  
라고 받아들였던 거였죠.

00:10:02.311 --> 00:10:07.760

그러다가 1800년대에  
어떤 과학자가 등장하냐면,

00:10:07.860 --> 00:10:10.924

영이라는 과학자가 등장합니다.

00:10:11.024 --> 00:10:15.598

이 토머스 영이라는 과학자가  
등장해서 어떤 실험을 하게 되느냐,

00:10:15.698 --> 00:10:21.811

우리가 앞선 21번째

주제에서 다뤘던

00:10:21.911 --> 00:10:32.322

빛의 이중슬릿실험이라는  
걸 진행하게 되죠.

00:10:32.422 --> 00:10:35.752

빛의 이중슬릿실험, 기억하시나요?

00:10:35.852 --> 00:10:42.673

두 개의 구멍에 빛을 넣어줬더니  
스크린에 땡땡땡 무늬가 나타나더라.

00:10:42.773 --> 00:10:45.927

빛이 있고 없고 있고  
없고가 나타나더라.

00:10:46.027 --> 00:10:49.644

빛이 있고 없고 있고  
없고가 나타나기 위해서는

00:10:49.744 --> 00:10:53.962

간섭이 발생해야 되고  
간섭이 발생하기 위해서는

00:10:54.062 --> 00:10:59.081

빛은 파동이어야 한다는  
것을 증명해준

00:10:59.181 --> 00:11:07.094

빛의 이중슬릿실험이 1800년대에  
발견하게 됩니다.

00:11:07.194 --> 00:11:12.848

그래서 영이라는 과학자에 의해서 빛은  
파동이다, 라는 게 입증된 거죠.

00:11:12.948 --> 00:11:17.531

왜? 빛의 이중슬릿실험은  
뭐로만 설명할 수 있어요?

00:11:17.631 --> 00:11:23.785

빛이 알갱이, 입자로는 도저히 이  
현상을 설명할 수가 없어요.

00:11:23.885 --> 00:11:31.383

그래서 빛은 파동이다, 라는 게  
1800년대에 증명이 됩니다.

00:11:31.483 --> 00:11:35.675

그러다가 1800년대 중반에  
또 누가 등장해요?

00:11:35.775 --> 00:11:41.746

우리가 앞서서 배웠던  
맥스웰이라는 과학자가 등장해서

00:11:41.846 --> 00:11:43.335

바로 뭘 또 증명하죠?

00:11:43.435 --> 00:11:47.112

빛은 파동인데 어떠한 파동이나,

00:11:47.212 --> 00:11:50.489  
바로 전자기파.

00:11:50.589 --> 00:11:55.887  
전기장과 자기장이 결합되어있는  
파동이야, 라는 걸

00:11:55.987 --> 00:11:59.888  
맥스웰이라는 사람이  
수학적으로도 증명하게 되죠.

00:11:59.988 --> 00:12:04.432  
그래서 이 1800년대 초반에  
영에 의해서 빛이 파동이다,

00:12:04.532 --> 00:12:07.918  
뉴턴이 틀렸다는 게 증명이 되고

00:12:08.018 --> 00:12:12.111  
그리고 1800년대 중반에  
맥스웰이라는 과학자가 등장해서

00:12:12.211 --> 00:12:16.573  
빛이 파동이다, 라는 것에  
아주 못을 박아버립니다.

00:12:16.673 --> 00:12:20.957  
그때 당시에 또 하나 논란이  
됐던 것 중의 하나가 뭐였었죠?

00:12:21.057 --> 00:12:26.493  
저 앞에 특수상대성이론에서  
다뤘던 내용인데.

00:12:26.593 --> 00:12:32.110  
빛이 파동이야, 파동이기 위해서는  
빛이 진행할 수 있는 물질.

00:12:32.210 --> 00:12:35.732  
매질이 존재해야 된다고  
생각했던 거였죠.

00:12:35.832 --> 00:12:38.793  
그래서 그 매질에게 이름을 붙였죠?  
뭐라고?

00:12:38.893 --> 00:12:41.221  
에테르라고 이름을 붙였던 거죠.

00:12:41.321 --> 00:12:49.406  
이 영이 1803년에 빛이  
파동이라는 걸 증명하거든요.

00:12:49.506 --> 00:12:53.904  
그래서 그 이후에는 과학자들이 빛이  
파동이다, 라고 생각을 했고요.

00:12:54.004 --> 00:12:57.442  
빛이 파동이기 위해서는

매질이 존재해야 되고

00:12:57.542 --> 00:13:00.538

그 매질에게 에테르라는  
이름을 붙여놓고

00:13:00.638 --> 00:13:05.404

에테르가 어떠한 물질인지를 밝히기  
위해서 열심히 연구를 했죠.

00:13:05.504 --> 00:13:08.793

그 열심히 연구하던 과정  
중에 누가 등장해?

00:13:08.893 --> 00:13:13.117

특수상대성이론에서 중요하게 다뤄졌던

00:13:13.217 --> 00:13:22.323

마이켈슨과 몰리라는  
과학자가 등장했었죠.

00:13:22.423 --> 00:13:25.280

그래서 뭘 발견하게 되죠?

00:13:25.380 --> 00:13:29.097

빛의 속도가 이상하게 일정해.

00:13:29.197 --> 00:13:36.512

에테르는 존재하지 않는 거 같아, 라는  
주장을 이 두 사람이 하게 됩니다.

00:13:36.612 --> 00:13:39.362

여기서는 중요한 사람은  
아니니까 뺄게요.

00:13:39.462 --> 00:13:42.537

그래서 그걸 누가 받아들이죠?

00:13:42.637 --> 00:13:46.699

1900년대에 바로  
누가 등장을 합니까?

00:13:46.799 --> 00:13:51.810

그 유명한 과학자 바로  
아인슈타인이 등장을 하죠.

00:13:51.910 --> 00:13:55.993

바로 아인슈타인이 등장을  
해서 뭘 주장하게 됩니까?

00:13:56.093 --> 00:14:00.874

빛이 입자다, 라는 걸  
다시 주장하게 됩니다.

00:14:00.974 --> 00:14:05.927

그 빛이 입자다, 라는  
주장의 근거가 바로 뭐냐,

00:14:06.027 --> 00:14:13.671

우리가 오늘 중요하게 다룰  
광전효과라는 거예요.

00:14:13.771 --> 00:14:17.736

아인슈타인은 이 광전효과라는  
현상을 이용해서

00:14:17.836 --> 00:14:23.445

빛이 입자라는 걸 다시  
증명하게 됩니다.

00:14:23.545 --> 00:14:28.212

지금 보시면 굉장히  
흥미진진한 상황이에요.

00:14:28.312 --> 00:14:31.262

1600년대 뉴턴이  
빛이 입자라고 했다가

00:14:31.362 --> 00:14:36.345

1800년대 초반에 영과  
1800년대 중반에 맥스웰에 의해서

00:14:36.445 --> 00:14:39.403

빛이 파동이라는 게 증명이 됐다가

00:14:39.503 --> 00:14:45.508

다시 1900년대 초반에  
아인슈타인이 광전효과라는 걸 통해서

00:14:45.608 --> 00:14:48.371

빛이 입자라는 걸 다시 증명해내죠.

00:14:48.471 --> 00:14:56.515

그래서 아인슈타인은 이 광전효과라는  
현상을 설명한 업적을 바탕으로

00:14:56.615 --> 00:14:59.159

노벨물리학상을 수상하게 되고요.

00:14:59.259 --> 00:15:02.644

스타가 되게 되는 거죠.

00:15:02.744 --> 00:15:03.662

생각을 해보세요.

00:15:03.762 --> 00:15:07.791

1800년대에서 1900년대까지  
100년 동안 과학자들은

00:15:07.891 --> 00:15:10.515

빛이 파동이라고 다 생각을  
하고 있었거든요.

00:15:10.615 --> 00:15:17.980

그런데 23~26 정도의  
새파랗게 젊은 과학자가 등장해서

00:15:18.080 --> 00:15:22.475

너희들 다 틀렸어,  
빛은 입자인 거야.

00:15:22.575 --> 00:15:25.695

이렇게 주장을 하니까  
얼마나 황당했겠어요.

00:15:25.795 --> 00:15:26.852  
믿고 싶지 않았겠죠.

00:15:26.952 --> 00:15:31.210  
그런데 아인슈타인이  
광전효과라는 현상으로

00:15:31.310 --> 00:15:36.104  
빛이 입자여야만 하는 이유를  
명명백백하게 설명을 하게 됩니다.

00:15:36.204 --> 00:15:38.677  
그런데 여기서 또 하나  
문제가 되는 게 있어요.

00:15:38.777 --> 00:15:44.260  
바로 뭐야? 분명히 영의  
이중슬릿실험에 의해서

00:15:44.360 --> 00:15:47.671  
빛은 파동이라는 게 증명이 됐어.

00:15:47.771 --> 00:15:52.129  
그런데 아인슈타인은  
다시 또 빛이 입자래.

00:15:52.229 --> 00:15:53.969  
그런데 아인슈타인은 너무 젊어.

00:15:54.069 --> 00:15:56.621  
그러니까 그때 당시에  
과학자들은 아인슈타인에게

00:15:56.721 --> 00:15:59.029  
여러 가지 공격을 했겠죠.

00:15:59.129 --> 00:16:01.988  
젊은 과학자가 등장해서  
너희들 다 틀렸어.

00:16:02.088 --> 00:16:04.011  
이러니까 얼마나 아니꼬웠겠어.

00:16:04.111 --> 00:16:09.182  
그래서 이 아인슈타인에게 어떤  
질문들을 던질 수밖에 없어요?

00:16:09.282 --> 00:16:11.501  
빛이 입자면 이거는  
어떻게 설명할 거야?

00:16:11.601 --> 00:16:13.988  
이렇게 또 질문을 던졌겠죠.

00:16:14.088 --> 00:16:18.910  
영의 이중슬릿실험은 분명히  
빛이 파동이라는 걸 증명하는데

00:16:19.010 --> 00:16:22.379

빛이 입자라면 이거는  
어떻게 설명할 거야?

00:16:22.479 --> 00:16:29.030

그랬더니 아인슈타인이 고민을  
한 끝에 어떤 결론을 만들어내죠?

00:16:29.130 --> 00:16:34.788

바로 빛은 두 가지 성질을  
모두 가지고 있어.

00:16:34.888 --> 00:16:41.569

그래서 빛의 이중성이라는  
걸 주장하게 됩니다.

00:16:41.669 --> 00:16:47.718

빛은 두 가지 성질이 모두 있어서  
파동이어야 할 때는 파동이고

00:16:47.818 --> 00:16:51.876

입자여야 할 때는 입자야,  
라는 주장을 펴게 되죠.

00:16:51.976 --> 00:16:55.638

그래서 우리가 중요하게  
오늘 다룰 광전효과는

00:16:55.738 --> 00:16:59.803

빛이 입자라는 현상으로만  
설명할 수 있는 거고

00:16:59.903 --> 00:17:04.467

바로 영의 빛의 이중슬릿실험은

00:17:04.567 --> 00:17:12.096

빛이 파동으로만 설명할 수 있는  
현상이다, 라고 주장을 하게 됩니다.

00:17:12.196 --> 00:17:17.766

빛의 이중성 이후에 또  
다른 흐름이 또 등장하거든요.

00:17:17.866 --> 00:17:22.263

그 역사적 흐름은 바로  
이어지는 23번째,

00:17:22.363 --> 00:17:26.369

물질의 이중성이라는 내용에서  
다루도록 하겠고요.

00:17:26.469 --> 00:17:30.332

오늘은 여기까지 우리가 자세하게  
다뤄보도록 하겠습니다.

00:17:30.432 --> 00:17:32.334

지금까지의 내용을 좀 정리해보면

00:17:32.434 --> 00:17:36.017

결과적으로 빛은 두 가지의 성질을  
다 가지고 있다는 거야.

00:17:36.117 --> 00:17:39.128

무슨 성질과 무슨 성질을  
가지고 있다는 거야?

00:17:39.228 --> 00:17:45.175

입자적인 성질과 파동의  
성질을 모두 가지고 있다.

00:17:45.275 --> 00:17:48.025

그래서 입자여야 할 때는 입자이고

00:17:48.125 --> 00:17:50.133

파동이어야 할 때는 파동이다.

00:17:50.233 --> 00:17:53.703

입자적인 성질은 뭐로  
설명할 수 있다고요?

00:17:53.803 --> 00:18:02.697

광전효과라는 거로 설명할  
수 있다는 거고요.

00:18:02.797 --> 00:18:04.888

파동성은 뭐로 설명할 수 있다?

00:18:04.988 --> 00:18:12.406

이중슬릿실험으로 설명할  
수 있다는 걸

00:18:12.506 --> 00:18:15.177

여러분이 기억을  
해두셨으면 좋겠어요.

00:18:15.277 --> 00:18:22.789

그러면 이제 본격적으로 광전효과란  
뭔지 설명해나가도록 하겠습니다.

00:18:22.889 --> 00:18:25.185

광전효과란 뭐냐, 광.

00:18:25.285 --> 00:18:26.903

이게 무슨 광 자일 거 같아요?

00:18:27.003 --> 00:18:28.248

빛 광 자예요.

00:18:28.348 --> 00:18:30.598

전 자는 무슨 전 자일 거 같아요?

00:18:30.698 --> 00:18:32.340

전기 전 자예요.

00:18:32.440 --> 00:18:35.027

그래서 단순히 이야기하면  
광전효과란 뭐냐,

00:18:35.127 --> 00:18:39.699

빛으로 전기를 만들어내는  
현상입니다.

00:18:39.799 --> 00:18:45.049

그래서 우리 강의 초반에  
보여드렸던 이 실험 기억하시죠?

00:18:45.149 --> 00:18:50.914

빛을 이 센서에 비췄더니  
전구에 불이 들어오고

00:18:51.014 --> 00:18:52.987

전기 모터가 작동합니다.

00:18:53.087 --> 00:18:58.446

결국 빛에 의해서 전기가  
만들어졌구나, 라는 걸

00:18:58.546 --> 00:19:00.001

우리가 판단할 수 있는 거죠.

00:19:00.101 --> 00:19:04.081

그래서 이 광전효과를 우리는  
어떤 현상이라고 부르느냐,

00:19:04.181 --> 00:19:26.424

금속표면에 빛을 비추면 금속에서  
전자가 튀어나오는 현상을

00:19:26.524 --> 00:19:29.710

우리는 광전효과라고 불러요.

00:19:29.810 --> 00:19:33.362

그런데 여기서 여러분이 너무나도  
중요하게 기억할 건 바로 뭐냐,

00:19:33.462 --> 00:19:39.365

빛을 비추면 금속에서  
전자가 튀어나오는데

00:19:39.465 --> 00:19:43.517

아무 빛에서나 전자가  
튀어나오지 않는다는 거죠.

00:19:43.617 --> 00:19:45.578

계속 말씀을 드리고 있듯이

00:19:45.678 --> 00:19:50.010

사실은 제 주변에는 엄청나게  
많은 빛이 존재하고 있어요.

00:19:50.110 --> 00:19:53.039

굉장히 밝은 형광등 빛이  
존재하고 있거든요.

00:19:53.139 --> 00:19:56.752

그런데 이 형광등 빛에 내가 이  
센서를 아주 가까이 대잖아요?

00:19:56.852 --> 00:19:58.426

그래도 애는 작동을 안 해요.

00:19:58.526 --> 00:20:02.864

그런데 이 백열등에는 바로

작동을 하게 되거든요.

00:20:02.964 --> 00:20:06.235

바로 아무 빛에서나 작동하지  
않는구나, 라는 걸

00:20:06.335 --> 00:20:07.467

우리가 판단할 수 있어요.

00:20:07.567 --> 00:20:11.311

그래서 금속표면에 빛을 비추며 전자가  
튀어나오는 현상이 일어나지만

00:20:11.411 --> 00:20:14.985

그 빛은 아무 빛에서는  
아니다, 라는 거

00:20:15.085 --> 00:20:16.612

여러분이 판단하셔야 되고요.

00:20:16.712 --> 00:20:20.574

이때 전자가 튀어나오는  
현상이라고 그랬죠?

00:20:20.674 --> 00:20:23.777

전자가 튀어나온다는 건  
전자가 이동한다는 거고

00:20:23.877 --> 00:20:27.030

전자가 이동한다는 건 전기적  
흐름이 있다는 거고

00:20:27.130 --> 00:20:30.041

전기적 흐름을 우리는  
뭐라고 불러요?

00:20:30.141 --> 00:20:31.575

전류라고 부르죠.

00:20:31.675 --> 00:20:35.241

결국 전자가 튀어나온다는 건  
바로 뭘 의미하는 거야?

00:20:35.341 --> 00:20:38.910

전류가 흐른다는 것을 뜻하는 거죠.

00:20:39.010 --> 00:20:42.876

결국 전류가 흐른다는 건  
전기적 흐름이 있기 때문에

00:20:42.976 --> 00:20:47.501

바로 이 다이오드, 전구에  
불이 들어오게 되고

00:20:47.601 --> 00:20:52.487

이 전기 모터가 작동을 할 수  
있게 됐었던 거였습니다.

00:20:52.587 --> 00:20:58.557

결국 빛에 의해서 금속으로부터  
전류가 만들어지는 현상.

00:20:58.657 --> 00:21:00.692  
이 전류를 우리는 뭐라고 부르느냐,

00:21:00.792 --> 00:21:05.114  
빛에 의한 전류다, 라고  
해서 광전류라고 불러요.

00:21:05.214 --> 00:21:12.860  
결국 다시 정리하면 뭐냐, 금속에  
빛을 비추면 광전류가 흐르는 현상을

00:21:12.960 --> 00:21:17.077  
우리는 광전효과라고 불러줍니다.

00:21:17.177 --> 00:21:19.728  
그렇다면 이 광전효과는

00:21:19.828 --> 00:21:26.801  
왜 아무 빛에서나 전기적 흐름을  
만들어내는 건 아닐까.

00:21:26.901 --> 00:21:31.844  
왜 특정한 빛에서만 전기적  
흐름을 만들어낼까.

00:21:31.944 --> 00:21:35.009  
그 이유를 설명해줘야 되겠죠.

00:21:35.109 --> 00:21:37.250  
이거는 이렇게 좀 설명을 합니다.

00:21:37.350 --> 00:21:39.856  
저는 이런 방법으로  
설명하는 걸 좋아해요.

00:21:39.956 --> 00:21:43.561  
금속에는 자유전자들이 존재해요.

00:21:43.661 --> 00:21:48.266  
이 자유전자들은 사실 금속  
안에 들어있는 거죠.

00:21:48.366 --> 00:21:51.919  
금속 표면 안에  
들어있는 전자입니다.

00:21:52.019 --> 00:21:54.592  
그런데 저는 이렇게 좀  
설명을 해보도록 할게요.

00:21:54.692 --> 00:22:00.799  
금속 표면에 전자가 이렇게  
박혀있다고 생각해볼게요.

00:22:00.899 --> 00:22:04.325  
사실은 금속 표면에 이렇게 전자가  
박혀있는 거 아닌 거 알지?

00:22:04.425 --> 00:22:07.976  
금속 안에 전자가 들어있는 거야.

00:22:08.076 --> 00:22:09.814

그런데 금속 안에  
전자가 들어있다는 건

00:22:09.914 --> 00:22:13.407

어쨌든 금속이 전자를  
가두고 있는 거잖아요?

00:22:13.507 --> 00:22:16.344

금속이 전자를 가두고 있는 걸

00:22:16.444 --> 00:22:19.949

저는 이렇게 박혀있는 거로  
표현을 하고 있습니다.

00:22:20.049 --> 00:22:23.735

어쨌든 금속이 전자를 가두고 있어.

00:22:23.835 --> 00:22:25.558

이 가두고 있다는 건

00:22:25.658 --> 00:22:31.035

금속이 전자를 붙들고 있는 에너지가  
존재한다는 것을 뜻하는 거죠?

00:22:31.135 --> 00:22:34.463

그래서 금속에 전자가 박혀있는,

00:22:34.563 --> 00:22:45.221

가둬져 있는 이 에너지를 뭐라고  
부르느냐, 일함수라고 불러줘요.

00:22:45.321 --> 00:22:47.237

여기서는 중요한 용어는 아니에요.

00:22:47.337 --> 00:22:52.820

어쨌든 금속이 전자를 가두고  
있는 에너지가 존재한다.

00:22:52.920 --> 00:22:58.664

그 가두고 있는 에너지를 우리는  
일함수라고 불러주게 됩니다.

00:22:58.764 --> 00:23:05.270

그런데 이 금속에 빛을 넣어줍니다.

00:23:05.370 --> 00:23:08.514

빛을 넣어준다는 건 뭘  
넣어준다는 걸까?

00:23:08.614 --> 00:23:11.507

빛에너지를 쏘준다는 거죠.

00:23:11.607 --> 00:23:21.366

금속에 빛에너지를 쏘주면 이  
빛에너지를 전자가 먹어요.

00:23:21.466 --> 00:23:31.746

먹었는데 이 먹은 에너지가 금속이  
전자를 가두고 있는 에너지보다 크면

00:23:31.846 --> 00:23:36.409  
전자가 뛰쳐나올 수 있는 거고요.

00:23:36.509 --> 00:23:43.766  
전자가 먹은 빛에너지가 이 금속이  
전자를 가두고 있는 에너지보다 작으면

00:23:43.866 --> 00:23:45.772  
전자는 뛰쳐나오지 못하는 겁니다.

00:23:45.872 --> 00:23:47.396  
아주 단순하게 이야기하면 뭐냐,

00:23:47.496 --> 00:23:52.068  
예를 들어서 일함수가  
70이라고 생각해볼게요.

00:23:52.168 --> 00:23:55.947  
즉 내가 금속이고 애가 전자야.

00:23:56.047 --> 00:24:02.488  
금속이 전자를 잡고 있는  
에너지가 70이야.

00:24:02.588 --> 00:24:09.687  
그런데 내가 여기다 빛을 쏩줍니다.

00:24:09.787 --> 00:24:14.166  
그런데 이 빛에너지가  
예를 들어서 60이야.

00:24:14.266 --> 00:24:19.210  
금속이 전자를 잡고 있는  
에너지는 70이고요.

00:24:19.310 --> 00:24:21.204  
빛에너지는 60이야.

00:24:21.304 --> 00:24:26.941  
60의 에너지를 쏘주면 이 전자가  
60의 에너지를 먹겠죠.

00:24:27.041 --> 00:24:31.196  
60의 에너지를 먹고 막  
활발해질 거 아니야?

00:24:31.296 --> 00:24:35.234  
활발해지는데 금속이 전자를  
잡고 있는 에너지는 얼마야?

00:24:35.334 --> 00:24:38.475  
70이고 애가 먹은  
에너지는 60이야.

00:24:38.575 --> 00:24:42.898  
애는 막 60으로 움직이는데  
잡고 있는 에너지는 70이니까

00:24:42.998 --> 00:24:47.588  
애가 금속을 벗어날 수

있을까요, 없을까요?

00:24:47.688 --> 00:24:50.959  
당연히 벗어날 수 없겠죠.

00:24:51.059 --> 00:24:53.123  
그러면 어떻게 하면 될까요?

00:24:53.223 --> 00:24:54.769  
이 쏘주는 빛에너지,

00:24:54.869 --> 00:25:02.266  
즉 전자가 먹는 에너지가 금속이  
전자를 잡고 있는 에너지보다 크면

00:25:02.366 --> 00:25:04.894  
전자는 뛰어나갈 수 있는 거죠.

00:25:04.994 --> 00:25:11.141  
연결고리를 끊고, 가두어져 있는 에너지를  
박차고 뛰어나가게 되는 겁니다.

00:25:11.241 --> 00:25:18.154  
예를 들어서 일함수가 70이고 쏘주는  
빛에너지가 100이라고 생각해보겠습니다.

00:25:18.254 --> 00:25:20.254  
그러면 전자는 얼마의  
에너지를 먹게 돼요?

00:25:20.354 --> 00:25:21.982  
100의 에너지를 먹습니다.

00:25:22.082 --> 00:25:29.967  
100의 에너지를 먹으면 이  
전자가 100으로 막 움직이죠?

00:25:30.067 --> 00:25:32.140  
그런데 잡고 있는 에너지는  
얼마밖에 안 돼?

00:25:32.240 --> 00:25:33.524  
70밖에 안 돼.

00:25:33.624 --> 00:25:34.908  
그러니까 어떻게 하겠어?

00:25:35.008 --> 00:25:44.308  
이 100의 에너지 중에 70으로는  
연결고리를 끊어주고 얼마의 에너지로?

00:25:44.408 --> 00:25:51.195  
남은 30의 에너지로 전자가 탁하고  
튀어 나갈 수 있게 되는 거죠.

00:25:51.295 --> 00:25:52.989  
이해되셨죠?

00:25:53.089 --> 00:25:59.160  
그래서 결과적으로 금속에서  
전자를 뛰쳐나오게 하려면

00:25:59.260 --> 00:26:03.901

어떤 조건이어야만 뛰쳐나올 수 있게 되는 거죠?

00:26:04.001 --> 00:26:09.565

짜주는 빛에너지가 금속이 전자를 잡고 있는 에너지.

00:26:09.665 --> 00:26:13.495

일함수보다 클 때 전자는 뛰쳐나올 수 있습니다.

00:26:13.595 --> 00:26:20.593

결국 전자가 뛰쳐나오기 위해서는 빛 에너지가 일함수보다 커야 되는 거죠.

00:26:20.693 --> 00:26:28.875

즉 일함수 이상의 빛 에너지가 있어야만

00:26:28.975 --> 00:26:33.555

광전효과가 발생한다고요.

00:26:33.655 --> 00:26:36.017

이때 너무나도 당연한 건 바로 뭐냐,

00:26:36.117 --> 00:26:46.496

튀어나오는 전자의 운동 에너지는 얼마라고 표현할 수 있게 될까요?

00:26:46.596 --> 00:26:47.905

다시 한번 표현할게요.

00:26:48.005 --> 00:26:52.452

금속이 전자를 잡고 있는 에너지 일함수가 70이야.

00:26:52.552 --> 00:26:54.586

짜주는 빛에너지는 100이야.

00:26:54.686 --> 00:26:57.901

빛에너지 100을 짜주면 전자는 얼마의 에너지를 먹어요?

00:26:58.001 --> 00:26:59.393

100의 에너지를 먹어요.

00:26:59.493 --> 00:27:07.076

100의 에너지를 먹고 70의 연결고리를 박차고 끊고 튀어 나가는데

00:27:07.176 --> 00:27:09.158

당연히 얼마로 뛰쳐나갈 수 있겠어?

00:27:09.258 --> 00:27:12.156

30으로 뛰쳐나갈 수 있겠죠.

00:27:12.256 --> 00:27:16.250

100을 먹고 70을 끊고 딱하고

30으로 뛰어나갈 거니까.

00:27:16.350 --> 00:27:18.135  
그 30의 숫자는 어떻게 구했어?

00:27:18.235 --> 00:27:21.690  
튀어 나가는 전자의 운동 에너지.

00:27:21.790 --> 00:27:28.328  
전자가 뛰어나가는 에너지, 튀어  
나가는 에너지, 운동 에너지는

00:27:28.428 --> 00:27:30.880  
당연히 어떻게 표현할 수 있겠어요?

00:27:30.980 --> 00:27:38.853  
빛에너지 빼기 일함수로  
표현할 수 있겠죠.

00:27:38.953 --> 00:27:40.944  
너무 당연하죠?

00:27:41.044 --> 00:27:44.030  
이렇게 표현할 수 있다는 겁니다.

00:27:44.130 --> 00:27:47.025  
그러면 도대체 빛에너지를

00:27:47.125 --> 00:27:52.784  
어떻게 수치적으로 표현할 수 있을까에  
대한 고민을 또 해야 되겠죠.

00:27:52.884 --> 00:27:57.767  
그 고민은 아인슈타인이  
어떻게 결과를 내려주느냐,

00:27:57.867 --> 00:28:02.464  
빛에너지는 플랑크 상수.

00:28:02.564 --> 00:28:03.861  
그냥 숫자예요.

00:28:03.961 --> 00:28:05.888  
우리 수준에서는 그냥  
숫자라고 생각하면 돼.

00:28:05.988 --> 00:28:12.576  
플랑크 상수라는 상숫값 곱하기  
진동수로 표현할 수 있다.

00:28:12.676 --> 00:28:15.380  
이렇게 설명을 하게 됩니다.

00:28:15.480 --> 00:28:22.660  
그래서 진동수가 큰 빛일수록 빛에너지가  
크다는 논의를 진행했고요.

00:28:22.760 --> 00:28:28.682  
그 빛에너지는 진동수 곱하기  
숫자 값으로 표현할 수 있다.

00:28:28.782 --> 00:28:37.581  
그래서 빛에너지가 진동수에 의해서  
값이 정해져있다, 라는 표현으로

00:28:37.681 --> 00:28:39.132  
아인슈타인은 어떤 용어를 쓰느냐,

00:28:39.232 --> 00:28:43.526  
광양자설이라는 말을  
표현하게 됩니다.

00:28:43.626 --> 00:28:45.957  
이 양자라는 게 뭐라고 그랬어?

00:28:46.057 --> 00:28:52.158  
앞선 강의에서 원자 속 전자의  
에너지 준위 이야기할 때도

00:28:52.258 --> 00:28:54.179  
양자라는 표현을 잠깐 썼었어요.

00:28:54.279 --> 00:28:58.069  
이 양자라는 건 바로 뭐였어요?

00:28:58.169 --> 00:29:02.243  
값이 정해진 놈이다, 라는 뜻이죠?

00:29:02.343 --> 00:29:12.307  
그래서 빛이, 빛에너지가 진동수에  
의해서 값이 정해져 있다.

00:29:12.407 --> 00:29:17.023  
이 표현을 광양자설이라고 불러줘요.

00:29:17.123 --> 00:29:21.506  
광양자설이라는 용어보다 더  
중요한 건 바로 뭐냐,

00:29:21.606 --> 00:29:29.308  
빛에너지를 진동수 곱하기 숫자  
 $h$ 로 표현할 수 있다는 겁니다.

00:29:29.408 --> 00:29:33.305  
그래서 우리는 바로 빛에너지를  
어떻게 표현할 수 있느냐,

00:29:33.405 --> 00:29:36.739  
 $hf$ 라고 표현할 수 있는 거야.

00:29:36.839 --> 00:29:37.897  
굉장히 중요합니다.

00:29:37.997 --> 00:29:41.615  
빛에너지는 플랑크  
상수, 그냥 숫자야.

00:29:41.715 --> 00:29:43.428  
 $h$  곱하기 진동수.

00:29:43.528 --> 00:29:48.073  
그래서 진동수가 큰 빛일수록

에너지가 크다고 표현할 수 있고

00:29:48.173 --> 00:29:51.030  
결국 빛에너지는 진동수에 의해서

00:29:51.130 --> 00:29:54.928  
결정되어있는 값이다, 라고  
표현할 수 있게 되는 거죠.

00:29:55.028 --> 00:30:01.808  
그래서 이러한 표현을 우리는  
광양자설이라고 설명하게 됩니다.

00:30:01.908 --> 00:30:03.359  
되셨나요?

00:30:05.440 --> 00:30:09.592  
그러면 일함수는 어떻게  
수치적으로 표현할까.

00:30:09.692 --> 00:30:12.637  
일함수는 어떤 식으로  
표현할 수 있냐면,

00:30:12.737 --> 00:30:16.584  
예를 들어서 일함수가  
70인 금속이 있어요.

00:30:16.684 --> 00:30:21.533  
이 일함수가 70인 금속에  
내가 빛에너지 69를 쏘줘.

00:30:21.633 --> 00:30:23.375  
그러면 전자는 뛰쳐나와,  
안 뛰쳐나와?

00:30:23.475 --> 00:30:24.454  
안 뛰쳐나오죠.

00:30:24.554 --> 00:30:26.380  
그러면 69.9를 쏘줘.

00:30:26.480 --> 00:30:28.845  
그러면 전자는 뛰쳐나와, 안 뛰쳐나와?  
안 뛰쳐나오죠.

00:30:28.945 --> 00:30:31.709  
그러면 69.99를 쏘줘.

00:30:31.809 --> 00:30:34.073  
그러면 뛰쳐나와, 안 뛰쳐나와?  
안 뛰쳐나오죠.

00:30:34.173 --> 00:30:38.303  
일함수 70인 금속에  
최소 얼마를 쏘주면?

00:30:38.403 --> 00:30:46.437  
70보다 아주 조금 더 쏘주면  
전자는 튀어나올 수 있겠죠.

00:30:46.537 --> 00:30:49.933

결국 일함수의 정의는  
어떻게 내릴 수 있느냐,

00:30:50.033 --> 00:30:54.017

바로 전자를 튀어나오게 할 수 있는

00:30:54.117 --> 00:31:00.388

최소의 빛에너지다, 라고  
표현할 수 있게 됩니다.

00:31:00.488 --> 00:31:04.392

일함수의 정의는 전자를  
튀어나오게 할 수 있는.

00:31:04.492 --> 00:31:10.852

즉 금속이 전자를 잡고 있는  
연결고리를 끊어줄 수 있는

00:31:10.952 --> 00:31:16.120

최소 빛에너지를 일함수라고  
부를 수 있어요.

00:31:16.220 --> 00:31:20.595

그래서 일함수를 우리는 어떻게  
수치적으로 표현할 수 있느냐,

00:31:20.695 --> 00:31:26.415

바로 빛에너지 공식을 이용해서  
일함수를 표현할 수 있다는 거죠.

00:31:26.515 --> 00:31:28.100

최소 빛에너지이니깐.

00:31:28.200 --> 00:31:32.885

그래서 우리는 일함수를  
 $hf_0$ 라고 부를 수 있어요.

00:31:32.985 --> 00:31:37.368

전자를 튀어나오게 할 수 있는  
최초 빛에너지의 진동수.

00:31:37.468 --> 00:31:39.595

이 진동수를 우리는  
뭐라고 부르느냐,

00:31:39.695 --> 00:31:43.115

전자를 튀어나오게 할 수  
있는 최소 진동수.

00:31:43.215 --> 00:31:49.798

즉 일함수에 해당하는 빛의  
진동수를 뭐라고 부르기로 했느냐,

00:31:49.898 --> 00:31:55.679

문턱진동수라고 부르기로 했어요.

00:31:55.779 --> 00:31:57.003

굉장히 중요한 용어예요.

00:31:57.103 --> 00:31:59.442

반드시 기억하셔야 됩니다.

00:31:59.542 --> 00:32:06.513

결국 전자를 튀어나오게  
하기 위해서는

00:32:06.613 --> 00:32:08.915

어떤 조건이 만족돼야 된다는 거야?

00:32:09.015 --> 00:32:15.488

빛의 진동수가 금속의  
문턱진동수보다 커야

00:32:15.588 --> 00:32:17.981

전자를 뚫쳐나오게 할  
수 있다는 거죠.

00:32:18.081 --> 00:32:20.762

결과적으로 어떻게 결론을  
내릴 수 있어요?

00:32:20.862 --> 00:32:31.500

문턱진동수 이상의 빛  
진동수가 투입돼야만

00:32:31.600 --> 00:32:36.139

전자를 뚫쳐나오게 할 수 있습니다.

00:32:36.239 --> 00:32:40.054

그래서 반드시 이 표현들  
여러분이 기억하셔야 되고요.

00:32:40.154 --> 00:32:47.538

이것도 반드시 기억하고 계셔야  
되는 공식 중의 하나인 거죠.

00:32:47.638 --> 00:32:51.686

이렇게 광전효과가  
정의내려지는구나, 라는 겁니다.

00:32:51.786 --> 00:32:57.395

선생님, 그런데 이  
빛이 입자라는 걸

00:32:57.495 --> 00:33:02.732

이 설명으로는 어떻게 이야기할 수  
있는 건가요, 라는 이야기를

00:33:02.832 --> 00:33:04.600

한번 좀 해보도록 하겠습니다.

00:33:04.700 --> 00:33:11.380

아인슈타인은 이런 논리로 이 광전효과가  
빛이 입자라는 걸 설명하게 됩니다.

00:33:11.480 --> 00:33:17.238

다시 한번 말씀드리면, 일함수가  
70인 금속이 있어요.

00:33:17.338 --> 00:33:21.020

여기다 빛에너지 50을

넣어준다고 생각해보겠습니다.

00:33:21.120 --> 00:33:24.323

빛에너지 50짜리를 넣어주면  
전자는 뛰쳐나와, 안 뛰쳐나와?

00:33:24.423 --> 00:33:25.487

안 뛰쳐나와요.

00:33:25.587 --> 00:33:31.581

그렇다면 빛에너지가 50짜리가 있는데  
파동학적 관점에서 보겠다는 거야.

00:33:31.681 --> 00:33:33.240

빛에너지가 50짜리가 있다는 건

00:33:33.340 --> 00:33:36.272

50의 떨림을 갖고 있는  
빛이 들어왔다는 소리죠?

00:33:36.372 --> 00:33:41.069

그러면 이 50의 빛을  
정확히 두 가닥을 겹쳐.

00:33:41.169 --> 00:33:48.085

50의 빛 두 가닥을 정확히  
겹쳐주면 파동학적 관점에서

00:33:48.185 --> 00:33:55.103

이렇게 떨리는 빛, 이렇게 떨리는  
빛을 두 가닥을 정확히 겹쳐주게 되면

00:33:55.203 --> 00:33:57.618

어떤 현상이 일어나나요?

00:33:57.718 --> 00:34:03.096

간섭 현상, 보강간섭 현상에  
의해서 이렇게 떨려가던 빛이

00:34:03.196 --> 00:34:05.506

이렇게 떨려가겠죠.

00:34:05.606 --> 00:34:07.549

그러면 상식적으로 생각해보자고.

00:34:07.649 --> 00:34:10.610

이렇게 떨려가는 빛이  
에너지가 강하겠어,

00:34:10.710 --> 00:34:13.770

이렇게 떨려가는 빛이  
에너지가 강하겠어요?

00:34:13.870 --> 00:34:20.408

떨리는 횟수, 진동수는  
똑같지만, 진폭이 더 크잖아.

00:34:20.508 --> 00:34:24.589

두들겨 맞을 때도 이렇게 떨려오는  
걸 두들겨 맞는 게 아프겠어,

00:34:24.689 --> 00:34:27.564

이렇게 떨어오는 걸 두들겨  
맞는 게 아프겠어.

00:34:27.664 --> 00:34:31.646

당연히 이렇게 떨어는 게  
이렇게 떨어는 거보다

00:34:31.778 --> 00:34:33.407

에너지가 더 강할 거 아니야.

00:34:33.507 --> 00:34:37.766

그래서 이 현상을 설명하기  
위해서 일함수가 70일 금속에

00:34:37.866 --> 00:34:42.525

50의 빛에너지를 가진  
애를 정확히 겹쳐서

00:34:42.625 --> 00:34:47.213

보강간섭을 시켜서 짜줘 봤어요.

00:34:47.313 --> 00:34:51.236

그러면 50의 빛에너지  
두 가닥을 겹쳐주게 되면

00:34:51.336 --> 00:34:57.000

이렇게 떨어던 빛이 이렇게  
떨리게 될 거 아니야.

00:34:57.100 --> 00:34:58.777

진폭이 커질 거 아니야.

00:34:58.877 --> 00:35:04.723

진폭이 커지면 파동학적 관점에서  
에너지가 커지게 되어있거든요.

00:35:04.823 --> 00:35:06.792

파동학적 관점에서.

00:35:06.892 --> 00:35:11.108

이렇게 떨어는 빛보다는 이렇게  
떨리는 빛이 똑같은 진동수더라도

00:35:11.208 --> 00:35:13.720

에너지가 더 클 수밖에 없겠죠.

00:35:13.820 --> 00:35:18.785

그런데 튀어나오지 않더라는 거야.

00:35:18.885 --> 00:35:23.427

빛에너지 50짜리 두 가닥을  
겹쳐서 이렇게 짜줬는데도

00:35:23.527 --> 00:35:29.238

이렇게 진폭을 키워서 짜줬는데도 100가닥,  
1억 가닥, 1조 가닥, 1경 가닥.

00:35:29.373 --> 00:35:35.720

무지하게 겹쳐서 보강간섭에 의해서  
엄청난 애를 뺄 때려줬는데도

00:35:35.820 --> 00:35:37.570  
튀어나오지 않더라는 거야.

00:35:37.670 --> 00:35:40.187  
그러면 이건 뭐로밖에  
설명이 안 돼?

00:35:40.287 --> 00:35:42.311  
파동으로는 설명이 안  
된다는 소리죠.

00:35:42.411 --> 00:35:46.867  
보강간섭으로는 이 현상을  
설명할 수 없다는 거야.

00:35:46.967 --> 00:35:51.414  
보강간섭의 효과로 이 현상을  
나타낼 수 없다는 거죠.

00:35:51.514 --> 00:35:55.812  
간섭에 의한 효과는 여기에 아무런  
영향을 주지 않는다는 거야.

00:35:55.912 --> 00:36:00.561  
간섭은 빛이 파동이라는 증거였죠.

00:36:00.661 --> 00:36:04.742  
그런데 그 간섭 현상으로는  
빛에너지를 설명할 수 없고

00:36:04.842 --> 00:36:07.608  
이 현상을 설명할 수  
없다는 겁니다.

00:36:07.708 --> 00:36:13.401  
결국 파동학적 관점으로는 이  
현상을 설명할 수 없으니까

00:36:13.501 --> 00:36:15.970  
결국 빛이 알갱이라고 보는 거죠.

00:36:16.070 --> 00:36:22.639  
빛은 하나하나의 덩어리,  
에너지 덩어리를 갖고 있는

00:36:22.739 --> 00:36:26.716  
알갱이적 관점에서  
설명해야 된다는 겁니다.

00:36:26.816 --> 00:36:31.888  
결국 보강간섭에 의한 효과는  
나타나지 않는 아이다.

00:36:31.988 --> 00:36:34.000  
이게 바로 아인슈타인의  
주장이었습니다.

00:36:34.100 --> 00:36:40.051  
엄밀하게는 빛이 정말로 알갱이,  
알갱이가 있다는 걸 본 게 아닌 거야.

00:36:40.151 --> 00:36:44.853

파동으로는 설명할 수 없으니까  
그렇다면 입자적 관점에서,

00:36:44.953 --> 00:36:51.931

알갱이 하나하나, 에너지 덩어리  
하나하나의 관점으로만 설명해야 된다.

00:36:52.031 --> 00:36:56.773

그래서 이 광전효과를 우리는  
바로 뭐라고 부르게 된 거야?

00:36:56.873 --> 00:37:04.721

빛의 입자성을 증명한 현상이다,  
라고 설명하게 된 거죠.

00:37:04.821 --> 00:37:07.764

엄밀하게는 파동이 아닌  
걸 증명한 거고요.

00:37:07.864 --> 00:37:10.288

파동으로는 설명할 수  
없다는 걸 증명한 거고

00:37:10.388 --> 00:37:15.905

그래서 하나하나의 에너지  
덩어리 관점에서만 설명하자.

00:37:16.005 --> 00:37:20.487

이게 광전효과의 결론이었어요.

00:37:20.587 --> 00:37:22.923

그렇다면 이렇게 우리가  
설명할 수 있어요.

00:37:23.023 --> 00:37:26.816

어떤 금속에 내가  
노란색 빛을 쬔어.

00:37:26.916 --> 00:37:31.368

그랬더니 전자가 뚫어나오지 않았어.

00:37:31.468 --> 00:37:35.729

그런데 초록색 빛을 쬔더니  
전자가 뚫어나왔어.

00:37:35.829 --> 00:37:42.005

다시 정리해보면 어떤 금속에 노란색  
빛을 쬔더니 전자가 뚫어나오지 않았어.

00:37:42.105 --> 00:37:46.293

그래서 초록색 빛을 쬔더니  
전자가 뚫어나왔어.

00:37:46.393 --> 00:37:51.011

그러면 파란색 빛을 쏘면 전자는  
뚫어나올까요, 안 뚫어나올까요?

00:37:51.111 --> 00:37:55.808

또 빨간색 빛을 쏘면 전자는

뛰쳐나올까요, 안 뛰쳐나올까요?

00:37:55.908 --> 00:37:56.656  
어떻게 될까요?

00:37:56.756 --> 00:37:59.309  
너무나도 잘 알고 있는 사실이죠?

00:37:59.409 --> 00:38:00.469  
굉장히 중요하죠?

00:38:00.569 --> 00:38:03.450  
파란색 쪽일수록, 빨간색 쪽일수록.

00:38:03.550 --> 00:38:07.924  
파란색 쪽일수록 진동수가  
크고 에너지가 커요.

00:38:08.024 --> 00:38:12.026  
빨간색 쪽일수록 진동수가  
작고 에너지가 작아요.

00:38:12.126 --> 00:38:16.164  
결국 노란색 빛에서 전자가  
뛰쳐나오지 않았다는 건

00:38:16.264 --> 00:38:22.441  
노란색 빛에너지, 노란색 빛  
진동수는 금속의 일함수.

00:38:22.541 --> 00:38:27.300  
금속의 문턱진동수보다 작다는  
것을 설명할 수 있죠.

00:38:27.400 --> 00:38:31.145  
그러니까 빨간색은 당연히  
노란색보다 에너지가 약하니까

00:38:31.245 --> 00:38:33.362  
전자를 뛰쳐나오게 할 수 없고요.

00:38:33.462 --> 00:38:38.171  
파란색은 초록색이 뛰쳐나오게 했으면  
초록색보다 에너지가 더 큰

00:38:38.271 --> 00:38:43.361  
당연히 파란색은 전자를  
뛰쳐나오게 할 수 있겠죠.

00:38:43.461 --> 00:38:48.177  
그래서 이러한 관점을 여러분이  
설명할 수 있어야 된다는 겁니다.

00:38:48.277 --> 00:38:51.688  
그러면 이 광전효과에서  
여러분이 또 기억해야 되는

00:38:51.788 --> 00:38:56.304  
두 번째는 바로 뭐냐,  
그러면 전자가 뛰쳐나오는데

00:38:56.404 --> 00:39:06.718

튀어나오는 전자의 수는  
어떻게 결정되어질까도

00:39:06.818 --> 00:39:09.547

여러분이 중요하게 기억을  
하고 있어야 돼요.

00:39:09.647 --> 00:39:12.962

금속에 빛을 비추면 문턱  
진동수 이상의 빛,

00:39:13.062 --> 00:39:15.825

일함수 이상의 빛에너지를  
쏘주면 전자가 튀어나오는데

00:39:15.925 --> 00:39:21.195

전자 몇 개가 튀어나오냐는  
누가 결정지어줄까.

00:39:21.295 --> 00:39:23.403

아인슈타인은 빛을  
뭐라고 본 거예요?

00:39:23.503 --> 00:39:27.405

빛 알갱이, 에너지  
덩어리라고 본 겁니다.

00:39:27.505 --> 00:39:32.544

결국 이 빛 알갱이, 에너지  
덩어리가 많으면 많을수록

00:39:32.644 --> 00:39:38.254

부딪히는, 충돌하는, 에너지를 줄 수  
있는 전자 수가 많아지게 된다는 거고

00:39:38.354 --> 00:39:44.824

그 많은 전자가 빛에너지를 먹고  
튀어나올 수 있다고 본 겁니다.

00:39:44.924 --> 00:39:49.710

결과적으로 튀어나오는 전자 수를  
늘리려면 어떻게 해야 되느냐,

00:39:49.810 --> 00:39:55.811

바로 빛 가닥 수를  
늘려야 된다는 겁니다.

00:39:55.911 --> 00:40:02.983

아인슈타인 관점에서 본다면 빛 알갱이  
수를 늘려줘야 된다는 거죠.

00:40:03.083 --> 00:40:10.291

빛 알갱이 하나가 전자 하나를  
튀어나오게 할 수 있다는 겁니다.

00:40:10.391 --> 00:40:16.574

빛 알갱이, 에너지 덩어리가 딱  
가서 전자 하나에게 에너지를 주고

00:40:16.674 --> 00:40:21.775

그 에너지가 문턱진동수,  
일함수보다 크면 뛰쳐나오는 거고

00:40:21.875 --> 00:40:25.795

크지 않으면 뛰쳐나오지  
못한다는 거였죠.

00:40:25.895 --> 00:40:31.847

결국 빛 알갱이 수가 많으면 튀어나오는  
전자수도 많아질 수 있다.

00:40:31.947 --> 00:40:33.953

당연히 이때 중요한  
전제 조건은 뭐야?

00:40:34.053 --> 00:40:39.482

이 빛의 에너지, 빛의  
진동수가 금속의 일함수,

00:40:39.582 --> 00:40:44.019

금속의 문턱진동수보다  
당연히 커야 되는 거고요.

00:40:44.119 --> 00:40:50.115

그래서 우리는 이 빛 가닥 수, 빛  
알갱이 수를 뭐라고 부를 수 있느냐,

00:40:50.215 --> 00:40:54.245

조금 있어 보이는 용어로  
광자 수라고 불러요.

00:40:54.345 --> 00:40:57.213

빛 알갱이 수다, 라고 표현하고요.

00:40:57.313 --> 00:41:00.930

광자 수가 많다는 건  
뭘 의미하느냐,

00:41:01.030 --> 00:41:04.061

빛이 밝다는 것을 의미합니다.

00:41:04.161 --> 00:41:04.952

당연하죠?

00:41:05.052 --> 00:41:08.685

빛 알갱이 수가 많으면  
빛이 밝겠죠.

00:41:08.785 --> 00:41:13.669

이 빛의 밝기라는 표현을 우리는  
어떤 용어로 사용하고 있느냐,

00:41:13.769 --> 00:41:15.465

굉장히 중요한 용어입니다.

00:41:15.565 --> 00:41:21.778

바로 빛의 세기라는  
표현을 사용합니다.

00:41:21.878 --> 00:41:22.979

너무 중요한 표현이에요.

00:41:23.079 --> 00:41:29.797

그래서 빛이 세다, 라는 표현은  
빛이 밝다는 표현이야.

00:41:29.897 --> 00:41:35.042

빛이 밝으면 알갱이 수,  
가닥 수가 많으니까

00:41:35.142 --> 00:41:41.030

전자에게 줄 수 있는 빛의 수가,  
빛 알갱이 수가 많은 거니까

00:41:41.130 --> 00:41:47.481

그 빛 알갱이에 충돌한  
전자들의 수도 많을 거고

00:41:47.581 --> 00:41:53.426

그 전자들의 수가 많으면 튀어나오는  
전자들도 많을 수밖에 없겠죠.

00:41:53.526 --> 00:41:57.062

그래서 튀어나오는 전자  
수를 늘리는 방법은

00:41:57.162 --> 00:42:02.235

빛의 세기를 늘리는 것이다,  
라는 걸 기억하셔야 돼요.

00:42:02.335 --> 00:42:07.613

그런데 이 빛이 세다는 용어를 여러분이  
많이 헷갈려하는 친구들이 있어요.

00:42:07.713 --> 00:42:13.055

빛이 세다는 표현은 빛에너지가  
크다는 게 아니야.

00:42:13.155 --> 00:42:17.454

빛이 세다는 표현은 빛이  
밝다는 표현이에요.

00:42:17.554 --> 00:42:21.458

다시 한번 정리해볼게요.

00:42:21.558 --> 00:42:25.789

어떤 금속에 노란색 빛을 쬔더니  
전자가 튀어나오지 않았어요.

00:42:25.889 --> 00:42:31.556

어떤 금속에 초록색 빛을  
쬔더니 전자가 튀어나왔어요.

00:42:31.656 --> 00:42:32.708

문제입니다.

00:42:32.808 --> 00:42:42.492

이 금속에 노란색 빛보다 빛의 세기가  
무지막지하게 큰 빛을 쬔다면

00:42:42.592 --> 00:42:46.334

전자는 튀어나온다, O, X.

00:42:46.434 --> 00:42:47.411

맞을까, 틀릴까?

00:42:47.511 --> 00:42:48.525

다시 한번 말씀드립니다.

00:42:48.625 --> 00:42:51.704

어떤 금속에 노란색을 쬔더니  
전자가 튀어나오지 않았고

00:42:51.804 --> 00:42:54.659

초록색을 쬔더니 전자가 튀어나왔는데

00:42:54.759 --> 00:43:03.547

이 금속에 노란색 빛보다 빛의 세기가  
무지막지하게 큰 빛을 쬔다면

00:43:03.647 --> 00:43:07.431

전자는 튀어나올 수 있다.

00:43:07.531 --> 00:43:09.778

맞아요, 틀려요?

00:43:09.878 --> 00:43:11.328

틀려요, 왜?

00:43:11.428 --> 00:43:19.241

노란색 빛보다 빛의 세기가  
큰 빛은 밝은 노랑입니다.

00:43:19.341 --> 00:43:24.189

노란색 빛보다 빛의 세기를  
키워도 개는 노랑이라고요.

00:43:24.289 --> 00:43:28.677

밝은 노랑이야, 그냥 노랑인 거야.

00:43:28.777 --> 00:43:31.899

그런데 빛 알갱이 수가  
많은 노랑인 거죠.

00:43:31.999 --> 00:43:37.237

그 빛 알갱이들이 다  
문턱진동수보다 진동수가 작아.

00:43:37.337 --> 00:43:40.474

금속의 일함수보다 빛에너지가 작아.

00:43:40.574 --> 00:43:42.712

그러니까 전자를 튀어나오게  
해, 못 튀어나오게 해?

00:43:42.812 --> 00:43:45.103

튀어나오게 할 수 없다고요.

00:43:45.203 --> 00:43:50.136

전자를 튀어나오게 할 수  
있는 기본 조건은 뭐야?

00:43:51.417 --> 00:43:55.450

문턱진동수 이상의 빛의  
진동수여야 된다고요.

00:43:55.550 --> 00:44:00.538  
일함수 이상의 빛의 에너지여야만  
전자를 뚫쳐나오게 할 수 있다고요.

00:44:00.638 --> 00:44:02.601  
이게 기본 조건이야.

00:44:02.701 --> 00:44:07.890  
빛이 아무리 밝다고 해도  
아무리 밝은 노랑이라고 해도

00:44:07.990 --> 00:44:11.049  
노랑이 전자를 뚫쳐나오게  
하지 못하면,

00:44:11.149 --> 00:44:13.542  
하나의 노랑이 전자를  
뚫쳐나오게 하려고

00:44:13.642 --> 00:44:16.444  
두 가닥, 세 가닥, 네 가닥,  
1만 가닥, 1억 가닥

00:44:16.578 --> 00:44:20.762  
엄청나게 많은 노랑을 쏘줘도 전자는  
뚫쳐나올 수 없다는 겁니다.

00:44:20.862 --> 00:44:25.580  
이게 빛의 파동성으로는  
설명할 수 없다는 것을

00:44:25.680 --> 00:44:28.193  
다시 한번 말씀드릴 수 있는 거죠.

00:44:28.293 --> 00:44:35.563  
그래서 다시 한번 또 말씀드리면, 이  
금속에 초록색 빛의 세기를 증가시키면

00:44:35.663 --> 00:44:37.679  
어떤 일이 일어날까요?

00:44:37.779 --> 00:44:41.438  
초록색은 전자를 뚫쳐나오게 하고  
있어요, 못하게 하고 있어요?

00:44:41.538 --> 00:44:42.317  
하고 있어요.

00:44:42.417 --> 00:44:46.516  
그러니까 초록색 빛의  
세기를 증가시켜주면

00:44:46.616 --> 00:44:52.682  
당연히 튀어나오는 전자  
수가 엄청나게 늘어나겠죠.

00:44:52.782 --> 00:44:54.560  
결국 튀어나오는 전자 수는

00:44:54.660 --> 00:44:59.634

빛의 세기에 비례한다는 표현은  
언제 할 수 있는 거야?

00:44:59.734 --> 00:45:04.030

문턱진동수 이상에  
빛의 진동수인 경우.

00:45:04.130 --> 00:45:11.473

금속의 일함수 이상의  
빛의 에너지인 경우에는

00:45:11.573 --> 00:45:15.472

바로 빛의 세기가 튀어나오는  
전자 수에 비례한다고

00:45:15.572 --> 00:45:18.985

우리가 표현할 수 있다고요.

00:45:19.085 --> 00:45:24.668

그래서 아까 실험에서도  
보여드렸던 내용인데요.

00:45:24.768 --> 00:45:32.284

여기서 이 센서에다  
플래시를 갖다 댈 때

00:45:32.384 --> 00:45:36.551

이 플래시를 점점 멀리하잖아요?

00:45:36.651 --> 00:45:40.390

그러면 비추고 있어도  
내가 아주 잘 못 돌아.

00:45:40.490 --> 00:45:45.606

왜 잘 못 도느냐, 멀어지면  
빛의 세기가 약해지거든.

00:45:45.706 --> 00:45:49.301

빛의 세기가 약해지면 튀어나오는  
전자 수가 약해지거든.

00:45:49.401 --> 00:45:52.956

튀어나오는 전자 수가  
약해지면 광전류.

00:45:53.056 --> 00:45:55.038

전류가 약하게 흐르거든요.

00:45:55.138 --> 00:46:00.777

전류가 약하게 흐르니까 여기서  
반짝이는 빛도 어두워지고

00:46:00.877 --> 00:46:06.208

전기 모터도 잘 못 돌게 되는  
이유가 바로 거기에 있었습니다.

00:46:06.308 --> 00:46:08.988

그래서 이 광센서를 이용한  
우리 주변의 장치.

00:46:09.088 --> 00:46:14.948

특히나 남학생들 같은  
경우 소변기 앞에 서면

00:46:15.048 --> 00:46:17.431

물이 저절로 내려오는  
그 센서 있죠?

00:46:17.531 --> 00:46:20.661

그 센서도 바로 이걸  
이용하고 있어요.

00:46:20.761 --> 00:46:25.169

내가 앞에 서면 내가 어떻게 앞에  
섰는지 알고 물을 내려주죠?

00:46:25.269 --> 00:46:29.481

거기에 빛이 나와서 내  
몸에 부딪혀서 튀어 나가서

00:46:29.581 --> 00:46:36.596

들어가는 빛을 받아서 광전류를 흐르게  
해서 물을 흘러나오게 하는 겁니다.

00:46:36.696 --> 00:46:39.965

공중화장실 가면 손  
말리는 장치 있어요.

00:46:40.065 --> 00:46:43.857

손을 들이밀면 바람이 나오고  
손을 빼면 바람이 안 나오죠?

00:46:43.957 --> 00:46:48.477

그것도 바로 광센서가 다  
들어가 있는 장치입니다.

00:46:48.577 --> 00:46:53.514

그래서 이 광전효과에 대한 내용  
여러분이 기억을 해두시기 바랍니다.

00:46:53.614 --> 00:47:01.489

그러면 이 광전효과를 이용하고 있는  
장치에 대한 대표적인 예의 하나를

00:47:01.589 --> 00:47:03.330

우리가 확인해보도록 하겠습니다.

00:47:03.430 --> 00:47:11.774

그 예가 바로 뭐냐,  
전하결합소자라는 애가 있어요.

00:47:11.874 --> 00:47:14.931

일명 CCD입니다.

00:47:15.031 --> 00:47:17.039

charge-coupled  
device.

00:47:17.139 --> 00:47:23.240

말 그대로 전하 charge, 결합

coupled, 소자 device라는

00:47:23.340 --> 00:47:25.382  
CCD가 있는데요.

00:47:25.482 --> 00:47:32.058  
이 전하결합소자가 사용되어지는  
대표적인 기기가 뭐가 있느냐,

00:47:32.158 --> 00:47:36.040  
바로 디지털카메라가 있습니다.

00:47:36.140 --> 00:47:40.945  
이 디지털카메라는 빛을 받아서  
이걸 다 전기적 신호로 바꿔줘요.

00:47:41.045 --> 00:47:44.756  
전기적 신호로 바꿔서 저장을  
하고 있는 거거든요.

00:47:44.856 --> 00:47:49.774  
그러면 이 전하결합소자 CCD는  
어떠한 원리를 이용해서

00:47:49.874 --> 00:47:54.341  
빛을 받아서 전기적 신호로 바꿀까.

00:47:54.441 --> 00:47:55.776  
방금 전에 배운 거야.

00:47:55.876 --> 00:47:58.474  
바로 광전효과를  
이용하고 있는 겁니다.

00:47:58.574 --> 00:48:02.956  
빛이 들어오면 그 빛에  
의해서 전자가 뿔쳐나오고

00:48:03.056 --> 00:48:10.078  
그 뿔쳐나오는 전자를 이용해서  
전기적 신호로 바꿔주는 거죠.

00:48:10.178 --> 00:48:14.190  
이 전하결합소자 안에는  
핵심부품이 있고요.

00:48:14.290 --> 00:48:23.468  
그 핵심 부품이 바로 뭐냐,  
광 다이오드라는 애가 있습니다.

00:48:23.568 --> 00:48:32.472  
이 광 다이오드는 태양전지의  
핵심 부품이기도 합니다.

00:48:32.572 --> 00:48:42.216  
그래서 여러분은 이 광 다이오드를 핵심  
부품으로 하는 CCD의 작동원리를

00:48:42.316 --> 00:48:44.103  
여러분이 기억하고 있어야 돼요.

00:48:44.203 --> 00:48:51.041

일단 태양전지의 핵심 부품인 광 다이오드는  
어떤 특징을 갖고 있는 애냐,

00:48:51.141 --> 00:48:58.080

바로 빛에너지를 전기에너지로  
바꿔주는 장치입니다.

00:48:58.180 --> 00:49:01.069

물론 이 전하결합소자가  
빛에너지를 전기에너지로.

00:49:01.169 --> 00:49:07.063

빛을 전기적 신호로 바꿔주는 아이다,  
라고 우리가 표현할 수 있게 되는 거죠.

00:49:07.163 --> 00:49:11.599

그러면 광 다이오드는 어떠한  
특성을 갖고 있길래

00:49:11.699 --> 00:49:15.880

빛에너지를 전기에너지로  
바꿔줄 수 있을까.

00:49:15.980 --> 00:49:22.920

바로 광 다이오드, 다이오드는  
어떤 아이를 다이오드라고 부르죠?

00:49:23.020 --> 00:49:28.163

p형 반도체와 n형 반도체가  
접합되어있는 아이를

00:49:28.263 --> 00:49:30.538

다이오드라고 불러주죠.

00:49:30.638 --> 00:49:34.727

기억나시는지 모르겠지만  
우리가 앞서서 배웠듯이

00:49:34.827 --> 00:49:39.136

n형 반도체는 어떤 애를  
n형 반도체라고 불렀죠?

00:49:39.236 --> 00:49:41.517

네거티브, 기억하시나요?

00:49:41.617 --> 00:49:45.838

n형 반도체는 전자들이 들어있어요.

00:49:45.938 --> 00:49:52.212

p형 반도체는 포지티브,  
양공들이 들어있어요.

00:49:53.352 --> 00:49:57.494

그러면 이 다이오드, n형  
반도체와 p형 반도체가

00:49:57.594 --> 00:50:05.206

접합되어있는 이 다이오드에게  
내가 빛에너지를 넣어줍니다.

00:50:05.306 --> 00:50:12.993

그러면 이 빛에너지를 먹은  
전자들이 어떤 일이 일어날까요?

00:50:13.093 --> 00:50:16.633

이렇게 튀어나와요.

00:50:16.733 --> 00:50:20.695

그러면 튀어나와서 그냥  
흩어지면 아무 쓸모없으니까

00:50:20.795 --> 00:50:34.188

이 튀어나온 전자들을 여기다 이렇게  
판을 뒤서 쌓게 하는 겁니다.

00:50:34.288 --> 00:50:37.868

튀어나오는 전자를 위쪽으로  
쌓게 만들어줘요.

00:50:37.968 --> 00:50:43.571

그런데 전자가 위쪽으로 이동을  
하게 되는 형태가 발생하게 되면

00:50:43.671 --> 00:50:47.254

플러스인 양공은 그와 반대 방향인

00:50:47.354 --> 00:50:51.586

아래 방향으로 이동하는  
형태를 취하게 됩니다.

00:50:51.686 --> 00:50:55.212

그래서 아래 쪽으로는 뭐가  
쌓이게 되는 형태가 되느냐,

00:50:55.312 --> 00:50:59.969

바로 플러스가 쌓이게  
되는 형태가 되는 거죠.

00:51:00.069 --> 00:51:05.674

그래서 결과적으로는 아래쪽  
표면에는 플러스가 쌓이게 되고

00:51:05.774 --> 00:51:11.509

위쪽에는 마이너스가 쌓이게 되면서  
바로 뭘 형성할 수 있게 되는 거야?

00:51:11.609 --> 00:51:15.431

이 사이에 전압이 형성될  
수 있게 되는 거죠.

00:51:15.531 --> 00:51:18.593

이 전압이 얼마큼 형성되느냐.

00:51:18.693 --> 00:51:25.717

전기적 에너지, 즉 전압이 얼마만큼  
강하게 형성되느냐를 이용해서

00:51:25.817 --> 00:51:29.156

전기적 신호로써 인식하는 장치를

00:51:29.256 --> 00:51:33.083

우리는 CCD라고  
불러주게 되는 겁니다.

00:51:33.183 --> 00:51:37.311  
그러면 이 전압은, 전기적  
에너지는, 전기적 세기는

00:51:37.411 --> 00:51:39.547  
어떻게 결정될 수 있을까요?

00:51:39.647 --> 00:51:47.739  
당연히 빛 알갱이 수가, 빛의  
세기가, 빛의 밝기가 밝으면

00:51:47.839 --> 00:51:56.374  
전자가 많이 이동하면서 많은 전자,  
많은 양공이 표면에 쌓이면서

00:51:56.474 --> 00:52:00.095  
전압을 강하게 만들어줄 수 있겠죠.

00:52:00.195 --> 00:52:06.594  
결국 빛의 세기가  
강해지면 전기 에너지도,

00:52:06.694 --> 00:52:15.007  
전기적 신호도, 전압도 강해진다고  
표현할 수 있게 되는 거죠.

00:52:15.107 --> 00:52:17.595  
그런 관점을 여러분이  
기억하셔야 되는데요.

00:52:17.695 --> 00:52:21.366  
여기서 여러분이 중요하게 기억해야  
되는 표현이 하나 있어요.

00:52:21.466 --> 00:52:28.431  
사실은 n형 반도체와  
p형 반도체가 붙어있으면

00:52:28.531 --> 00:52:33.851  
n형 반도체는 이렇게  
전자들이 들어있잖아요.

00:52:33.951 --> 00:52:38.039  
p형 반도체에는 양공이  
들어있잖아요.

00:52:38.139 --> 00:52:40.936  
그러면 생각을 해봅시다.

00:52:41.036 --> 00:52:43.680  
이 부분 보세요.

00:52:43.780 --> 00:52:47.292  
n형 반도체와 p형 반도체가  
붙어있는 부분을 보면

00:52:47.392 --> 00:52:52.841  
전자와 양공이 굉장히 가까운

위치에 존재하고 있죠.

00:52:52.941 --> 00:52:55.827

사실 양공은 어떤 아이입니까?

00:52:55.927 --> 00:53:02.367

플러스가 아니라 양공은 엄밀하게 전자를  
받아들일 수 있는 구멍이었잖아요.

00:53:02.467 --> 00:53:03.636

그러면 한번 생각을 해봐.

00:53:03.736 --> 00:53:09.206

이 전자와 양공이 굉장히 가까이  
존재하면 이 구멍 안으로.

00:53:09.306 --> 00:53:15.576

전자를 받아들일 수 있는 구멍인 양공  
안으로 전자들이 쭉쭉 들어가버려있겠죠.

00:53:15.676 --> 00:53:21.561

전자들이 쭉쭉 들어가 버리면  
이 접합면 부근에서는

00:53:21.661 --> 00:53:27.677

전자와 양공이 결합된 상태로  
둘 다 사라져버리게 됩니다.

00:53:27.777 --> 00:53:31.617

전자와 양공이 분리되어있었는데  
애네들이 결합됨으로써

00:53:31.717 --> 00:53:33.752

떠돌아다니는 자유전자는 사라지고

00:53:33.852 --> 00:53:36.283

전자를 받아들일 수 있는 구멍도  
사라지게 되는 거잖아.

00:53:36.383 --> 00:53:41.256

그래서 이 접합면 부근에서는  
전자도 양공도 존재하지 않는.

00:53:41.356 --> 00:53:45.809

자유전자도 전자를 받아들일 수  
있는 구멍인 양공도 존재하지 않는

00:53:45.909 --> 00:53:49.548

사실은 공핍층이라는 게  
존재하고 있어요.

00:53:49.648 --> 00:53:50.990

중요한 용어는 아니야.

00:53:51.090 --> 00:53:53.813

물리학1 수준에서는  
기억할 필요는 없어.

00:53:53.913 --> 00:53:58.460

이 공핍층이라는 게 존재하고  
있었는데 바로 여기다

00:53:58.560 --> 00:54:03.164  
빛에너지를 넣어주게 되면

00:54:03.264 --> 00:54:08.716  
이 공핍층에 전자와 양공이 결합된  
애들이 어떻게 되는 거냐,

00:54:08.816 --> 00:54:10.122  
분리됩니다.

00:54:10.222 --> 00:54:17.848  
이 결합된 곳에 있던 전자들이 분리되면서  
이쪽으로 이동을 하게 되는 거야.

00:54:17.948 --> 00:54:22.146  
전체적으로 분리되면서 이쪽으로  
이동을 하게 되는 겁니다.

00:54:22.246 --> 00:54:24.930  
전체적으로 위쪽으로 전자들이  
이동하니까 그거에 쏠려서

00:54:25.030 --> 00:54:29.586  
여기에 결합되어있던 전자들도 다 위쪽으로  
이동하게 되는 형태가 되는 거죠.

00:54:29.686 --> 00:54:33.761  
그래서 우리는 광 다이오드에서  
어떤 표현을 사용하게 되느냐,

00:54:33.861 --> 00:54:39.142  
빛에너지가 들어오게 되면  
바로 n형 반도체,

00:54:39.242 --> 00:54:43.242  
p형 반도체가 결합되어있는  
광 다이오드에서

00:54:43.342 --> 00:54:55.467  
전자와 양공의 쌍이 생성된다는  
표현을 사용합니다.

00:54:55.567 --> 00:54:58.717  
이 표현이 존재하는  
이유 이제 이해하셨죠?

00:54:58.817 --> 00:55:02.139  
이 접합면 부근에서 양공과  
전자가 결합되어있었는데

00:55:02.239 --> 00:55:04.649  
빛에너지에 의해서 이게 분리되면서

00:55:04.749 --> 00:55:12.645  
양공과 전자가 쌍으로 형성됐다는  
표현을 사용하게 되는 거예요.

00:55:12.745 --> 00:55:19.723  
그러면 이 광 다이오드의 관점을 왜  
빛에너지로 표현할 수 있는냐,

00:55:19.823 --> 00:55:23.597  
왜 빛에너지에 의해서 전자가  
튀어나올 수 있다고 설명을 하느냐,

00:55:23.697 --> 00:55:30.108  
사실은 광 다이오드에 n형  
반도체는 바로 뭐가?

00:55:30.208 --> 00:55:36.632  
전도띠의 전자들이 존재하고  
있는 형태이고요.

00:55:36.732 --> 00:55:47.030  
그리고 p형 반도체에  
있는 원자가 띠에.

00:55:47.130 --> 00:55:49.559  
이게 이 단위에서는  
중요한 내용은 아니야.

00:55:49.659 --> 00:55:56.079  
원자가 띠에 전자를 받아들일 수 있는  
구멍인 양공들이 존재하고 있었던 거죠.

00:55:56.179 --> 00:56:01.121  
그런데 n형 반도체와 p형  
반도체를 결합해 놓은 상태에서

00:56:01.221 --> 00:56:05.249  
양공과 전자가 결합되어있었던 거야.

00:56:05.349 --> 00:56:11.564  
어디에? 쉽게 이야기하면 원자가  
띠에 결합되어있었던 거야.

00:56:11.664 --> 00:56:21.976  
그랬던 애가 빛에너지가 들어옴으로써  
바로 여기에 있던 전자들이,

00:56:22.076 --> 00:56:25.908  
양공 속에 들어왔던 전자들이,  
원자가 띠에 있던 전자들이

00:56:26.008 --> 00:56:30.355  
다시 전도띠로 올라가게 되는 거죠.

00:56:30.455 --> 00:56:34.969  
우리는 그래서 이 원자가  
띠와 전도띠의 이 갭 차이.

00:56:35.069 --> 00:56:39.540  
이 띠틈에 해당하는 에너지를  
뭐라고 부를 수 있는 거야?

00:56:39.640 --> 00:56:42.517  
일함수라고 표현할 수 있는 겁니다.

00:56:42.617 --> 00:56:44.489  
그거에 해당하는 빛의 진동수를

00:56:44.589 --> 00:56:48.226

우리는 문턱진동수라고  
부를 수 있었던 거죠.

00:56:48.326 --> 00:56:51.004

빛에너지에 의해서 원자가  
띠에 있던 전자가

00:56:51.104 --> 00:56:55.010

전도띠로 올라갈 수  
있어야 되는 겁니다.

00:56:55.110 --> 00:56:59.675

그래서 아무 빛에너지나 애를  
전도띠로 올릴 수 없는 거죠.

00:56:59.775 --> 00:57:03.504

왜? 이 갭 차이가 존재하니까.

00:57:03.604 --> 00:57:05.429

여기서는 중요한 표현은 아니고요.

00:57:05.529 --> 00:57:09.728

어쨌든 우리가 전하결합소자에서  
중요하게 기억해야 될 건

00:57:09.828 --> 00:57:14.397

광 다이오드는 빛에너지를  
전기에너지로 바꿔주는 애다.

00:57:14.497 --> 00:57:20.761

어떻게? 빛에너지에 의해서 전자와  
양공이 쌍으로 형성돼서.

00:57:20.861 --> 00:57:22.669

그러면 빛에너지를 전기 에너지.

00:57:22.769 --> 00:57:27.776

빛을 전기신호로 강하게 바꿔주기  
위해서는 어떻게 해줘야 돼요?

00:57:27.876 --> 00:57:32.826

빛의 세기, 빛의 밝기가  
밝아야 되겠다.

00:57:32.926 --> 00:57:38.396

그러면 빛의 밝기가 밝으면 전기  
신호가 강하게 형성이 되는 거죠.

00:57:38.496 --> 00:57:43.327

그래서 디지털카메라 같은 애들이  
어떻게 밝기를 구분 짓느냐,

00:57:43.427 --> 00:57:45.868

바로 밝은 빛이 들어오게 되면

00:57:45.968 --> 00:57:49.725

전기 신호가 강하게 형성돼서  
그걸 저장하는 거고요.

00:57:49.825 --> 00:57:54.076

빛이 약하게 들어오면 전기  
신호도 약하게 만들어져서

00:57:54.176 --> 00:57:56.666  
그거를 저장해놓고 있었던 겁니다.

00:57:56.766 --> 00:58:03.042  
그거를 다시 우리가 출력해서  
볼 수 있게 해주는 거였고요.

00:58:04.021 --> 00:58:06.752  
이렇게 해서 우리는 광전효과.

00:58:06.852 --> 00:58:12.294  
이 광전효과가 응용되어있는 전하결합소자에  
대한 내용까지 확인해봤고요.

00:58:12.394 --> 00:58:16.701  
지금까지 배운 내용이 수능에서는  
어떻게 출제가 됐었고

00:58:16.801 --> 00:58:20.473  
그리고 우리가 치르게 될  
수능, 학교 내신 문제에서는

00:58:20.573 --> 00:58:25.818  
어떤 유형으로 출제될 수 있을지에  
대해서 확인해보도록 할게요.

00:58:25.918 --> 00:58:27.885  
1번부터 보도록 하겠습니다.

00:58:27.985 --> 00:58:30.776  
문제에서 굉장히 중요한 조건이  
들어있어요, 바로 뭐야?

00:58:30.876 --> 00:58:34.493  
단색광, 단색광이라는 게 뭐야?

00:58:34.593 --> 00:58:36.196  
하나의 빛의 색깔이라는 소리야.

00:58:36.296 --> 00:58:38.441  
하나의 빛의 색깔을 갖고 있다는 건

00:58:38.541 --> 00:58:42.040  
하나의 빛의 진동수를 갖고  
있다는 것을 뜻합니다.

00:58:42.140 --> 00:58:47.282  
특정 빛의 진동수를 우리는  
단색광이라고 부를 수 있어요.

00:58:47.382 --> 00:58:52.068  
특정 진동수를 가진 빛을  
단색광이라고 부를 수 있어요.

00:58:52.168 --> 00:58:57.819  
단색광 A를 비추었을 때에는  
광전자가 방출되었고

00:58:57.919 --> 00:59:03.840

단색광 B를 비추었을 때에는  
광전자가 방출되지 않았다.

00:59:03.940 --> 00:59:06.606

이걸 가지고 우리는 뭘  
알 수 있을까요?

00:59:06.706 --> 00:59:14.007

단색광 A는 금속의 문턱진동수보다  
큰 진동수를 갖고 있고

00:59:14.107 --> 00:59:21.200

단색광 B는 금속의 문턱진동수보다  
작은 빛의 진동수를 갖고 있겠구나.

00:59:21.300 --> 00:59:25.641

아주 단순하게 이야기하면  
단색광 A는 파란색,

00:59:25.741 --> 00:59:29.772

단색광 B는 빨간색이라고  
표현할 수 있겠죠, 왜?

00:59:29.872 --> 00:59:34.122

파란색은 빨간색보다 진동수도  
크고 에너지도 크잖아요.

00:59:34.222 --> 00:59:37.383

그리고 단색광 A는  
예를 들면 파란색,

00:59:37.483 --> 00:59:42.199

단색광 B는 예를 들면 빨간색  
빛이라고 표현할 수 있습니다.

00:59:42.299 --> 00:59:46.841

단색광, 하나의 색깔을  
가진 빛이라는 뜻이고

00:59:46.941 --> 00:59:48.879

하나의 색깔을 가진 빛은

00:59:48.979 --> 00:59:53.019

하나의 에너지를 가진 빛이라는  
소리랑도 같은 표현이에요.

00:59:53.119 --> 00:59:54.685

당연히 에너지가 누가 크다?

00:59:54.785 --> 01:00:00.443

A의 빛에너지가 B의  
빛에너지보다 크겠구나.

01:00:00.543 --> 01:00:04.184

빛에너지가 크다는 건 진동수가  
크다는 것을 뜻하죠?

01:00:04.284 --> 01:00:07.487

그래서 진동수는 A가 B보다 크다.

01:00:07.587 --> 01:00:11.617

당연히 A는 전자를  
뚝쳐나오게 하고 있으니까

01:00:11.717 --> 01:00:15.845

A의 세기가 클수록, 세기가  
크다는 걸 뭘 의미해요?

01:00:15.945 --> 01:00:18.009

빛 알갱이 수가 많아진다는 거죠?

01:00:18.109 --> 01:00:23.671

A의 빛 알갱이 수가 많아지면,  
즉 밝은 파랑을 쏘주면

01:00:23.771 --> 01:00:28.506

튀어나오는 광전자의 개수는  
당연히 많아지게 되겠죠.

01:00:28.606 --> 01:00:31.502

이때 A의 진동수가 클수록,

01:00:31.602 --> 01:00:38.212

A, 파란색, 남색,  
보라색, 자외선, x선으로

01:00:38.312 --> 01:00:46.829

점점 진동수를 크게 할수록 광전자의  
운동 에너지는 당연히 커지겠죠.

01:00:46.929 --> 01:00:54.166

왜? 광전자의 운동 에너지는, 전자의  
운동 에너지 어떻게 표현됐었어?

01:00:54.266 --> 01:00:58.440

빛의 진동수 빛에너지  
빼기 문턱진동수.

01:00:58.540 --> 01:01:04.435

이 값은 고정되어있는 상태에서  
빛의 진동수를 키우게 되면

01:01:04.535 --> 01:01:07.930

전자의 운동 에너지도 커지게 되죠.

01:01:08.030 --> 01:01:13.715

사실 이 문턱진동수는  
금속마다 정해진 값이에요.

01:01:13.815 --> 01:01:16.048

어떤 금속은 문턱진동수가 크고요.

01:01:16.148 --> 01:01:18.573

어떤 금속은 문턱진동수가 작아요.

01:01:18.673 --> 01:01:22.962

그래서 우리가 일반적으로 사용하고  
있는 알루미늄, 철, 구리.

01:01:23.062 --> 01:01:25.323

이런 애들은 문턱진동수가 커요.

01:01:25.423 --> 01:01:27.148  
문턱진동수가 크다는 건 뭐야?

01:01:27.248 --> 01:01:33.845  
저의 표현으로 표현한다면 이렇게 금속 표면에  
전자가 아주 깊숙이 박혀있는 거야.

01:01:33.945 --> 01:01:39.783  
그런데 세습 이런 금속들은  
문턱진동수가 굉장히 작아요.

01:01:39.883 --> 01:01:42.208  
전자가 아주 얇게 박혀있는 거야.

01:01:42.308 --> 01:01:45.366  
전자가 적은 빛  
에너지에서도 튀어나오죠.

01:01:45.519 --> 01:01:53.134  
그런데 우리가 일반적으로  
사용하는 철, 구리, 금, 은.

01:01:53.234 --> 01:01:55.436  
애네들은 문턱진동수가 굉장히 커서

01:01:55.536 --> 01:02:01.341  
웬만한 빛으로는 전자를  
뛰쳐나오게 할 수는 없습니다.

01:02:01.441 --> 01:02:05.671  
그래서 그 내용도 여러분이 기억을  
해두시면 될 것 같아요.

01:02:05.771 --> 01:02:10.018  
이렇게 해서 1번 가볍게  
확인을 해봤고요.

01:02:10.118 --> 01:02:12.662  
2번 문제 보도록 하겠습니다.

01:02:12.762 --> 01:02:22.363  
2번 문제를 봤더니 진동수가  $f$ 이고  
세기가  $I$ 인 빛을 비추었을 때

01:02:22.463 --> 01:02:26.518  
방출되는 전자의 운동  
에너지라고 표현되어있습니다.

01:02:26.618 --> 01:02:30.739  
 $f$ 의 빛을 쬔더니 전자가  
뛰쳐나오고 있어요.

01:02:30.839 --> 01:02:33.389  
그러면 벌써 우리는  
뭘 알 수 있어?

01:02:33.489 --> 01:02:40.635  
이 진동수  $f$ 는 금속의 문턱진동수보다는  
크구나, 라는 걸 알 수 있죠.

01:02:40.735 --> 01:02:43.973  
그러니까 당연히 전자를 뚫쳐나오게  
하고 있는 거 아니야.

01:02:44.073 --> 01:02:50.593  
ㄱ, 진동수가  $f$ 이고  
세기가  $2l$ 인 빛을 비추면

01:02:50.693 --> 01:02:55.095  
광전자의 최대 운동  
에너지는  $E$ 이다.

01:02:55.195 --> 01:03:01.594  
튀어나오는 전자의 운동 에너지를  
결정짓는 요소 뭐였어요?

01:03:01.694 --> 01:03:07.756  
빛에너지 빼기 일함수에  
해당하는 값이었습시다.

01:03:07.856 --> 01:03:12.045  
결국 빛의 진동수 빼기 금속의  
문턱진동수의 차에 의해서

01:03:12.145 --> 01:03:14.803  
전자의 운동 에너지가 결정되죠.

01:03:14.903 --> 01:03:18.640  
빛의 세기는 뭘 결정짓는 거야?

01:03:18.740 --> 01:03:24.526  
뚫쳐나온다면 몇 개가  
뚫쳐나올까를 결정짓는 거지

01:03:24.626 --> 01:03:29.860  
이 세기는 뚫쳐나오냐  
안 뚫쳐나오냐.

01:03:29.960 --> 01:03:33.509  
뚫쳐나오면 얼마의 운동 에너지로

01:03:33.609 --> 01:03:36.909  
뚫쳐나오냐를 결정짓지  
않습시다, 빛의 세기는.

01:03:37.009 --> 01:03:40.399  
빛의 세기는 오로지 뚫쳐나오면

01:03:40.499 --> 01:03:45.358  
몇 개가 뚫쳐나오냐만을  
결정짓는다고요.

01:03:45.458 --> 01:03:46.108  
오케이?

01:03:46.208 --> 01:03:53.334  
튀어나온 전자의 운동 에너지는 빛의  
진동수, 빛에너지가 결정짓는다고요.

01:03:53.434 --> 01:03:56.845  
그러니까 ㄱ 보기는

맞는 표현이에요.

01:03:56.945 --> 01:04:01.335

빛의 세기를 늘려도  
진동수가 똑같으면

01:04:01.435 --> 01:04:05.621

당연히 튀어나오는 전자의  
운동 에너지도 똑같다는 걸

01:04:05.721 --> 01:04:07.339

여러분이 기억하셔야 됩니다.

01:04:07.439 --> 01:04:10.162

굉장히 중요해요.

01:04:10.262 --> 01:04:17.516

$n$ , 진동수가  $2f$ 인 빛을 세기가  
 $l$ 인 빛으로 바꿔서 쬔대요.

01:04:17.616 --> 01:04:21.489

그러면 방출되는 전자의 최대  
운동 에너지는  $E$ 보다 크다.

01:04:21.589 --> 01:04:22.255

맞죠?

01:04:22.355 --> 01:04:26.822

세기는 전자의 운동 에너지의  
크기를 결정짓지 않는다고요.

01:04:26.922 --> 01:04:28.181

누가 결정지어줘요?

01:04:28.281 --> 01:04:34.206

빛의 진동수가 전자의 운동  
에너지를 결정짓는다고요.

01:04:34.306 --> 01:04:39.570

그래서 빛의 진동수를 증가시키면 당연히  
전자의 운동 에너지도 증가하겠죠.

01:04:39.670 --> 01:04:42.187

그래서  $n$  보기는  
맞는 표현이 되고요.

01:04:42.287 --> 01:04:46.006

$n$ , 당연히 광전효과는  
뭐를 증명하는 현상이야?

01:04:46.106 --> 01:04:49.534

빛의 입자성을 증명하는 현상이다.

01:04:49.634 --> 01:04:52.974

반드시 기억하고 있어야  
되는 내용입니다.

01:04:53.074 --> 01:04:55.587

이제 3번 문제 보도록 하겠습니다.

01:04:55.687 --> 01:04:58.763

3번 문제도 굉장히  
중요한 유형입니다.

01:04:58.863 --> 01:05:04.232

바로 뭐냐, 문제를 봤더니  
검전기 위에 아연판을 놓고

01:05:04.332 --> 01:05:06.338

마이너스로 대전시켰대요.

01:05:06.438 --> 01:05:07.281

이 말은 뭐야?

01:05:07.381 --> 01:05:14.033

이 아연판과 전체적으로 금속박이  
다 뭐로 되어있겠어요?

01:05:14.133 --> 01:05:15.648

마이너스로 되어있겠죠.

01:05:15.748 --> 01:05:22.281

조금 크게 그려보면  
아연판, 금속판, 금속박.

01:05:22.381 --> 01:05:24.847

애네가 지금 다 뭐인 거야?

01:05:24.947 --> 01:05:28.008

마이너스인 거예요.

01:05:28.108 --> 01:05:32.864

여기다 빛을 비췄대.

01:05:32.964 --> 01:05:34.314

무슨 빛을 비췄더니?

01:05:34.414 --> 01:05:40.686

네온등을 비췄더니 금속박이  
오므라들지 않았대.

01:05:40.786 --> 01:05:43.106

그러면 이 상태가 그대로  
유지됐다는 소리죠.

01:05:43.206 --> 01:05:51.302

그런데 여기다 자외선을 비췄더니  
금속박이 서서히 오므라들었대.

01:05:51.402 --> 01:05:52.892

이건 뭘 의미할까요?

01:05:52.992 --> 01:05:58.509

여기다 네온등을 비췄더니  
전혀 움직임이 없었고

01:05:58.609 --> 01:06:03.610

자외선을 비췄더니  
애가 오므라들었대요.

01:06:03.710 --> 01:06:07.534

오므라들기 위해서는 어떤

일이 일어나야 될까요?

01:06:07.634 --> 01:06:17.343  
자외선을 비쬄더니 여기에 있던  
전자들이 바로 튀어 나가는 거야.

01:06:17.443 --> 01:06:21.839  
여기에 있던 전자들이 튀어 나가면  
애네들이 서로서로 밀어내는 힘에 의해서

01:06:21.939 --> 01:06:24.877  
이 마이너스들이 서로서로  
밀어내는 힘에 의해서

01:06:24.977 --> 01:06:29.439  
위쪽에 마이너스가 없으니까 애네들도  
위쪽으로 이동하게 되겠죠.

01:06:29.539 --> 01:06:32.164  
애네들이 서로서로 밀어내는  
힘에 의해서 이동하게 되면

01:06:32.264 --> 01:06:35.064  
여기에는 마이너스가  
줄어들게 되겠죠.

01:06:35.164 --> 01:06:40.221  
여기에 있는 마이너스가 점점  
줄어들다가 줄어들다가 줄어드니까

01:06:40.321 --> 01:06:42.393  
점점점 이 금속박이 어떻게 되겠어?

01:06:42.493 --> 01:06:46.246  
점점점 오프라드는 일이  
발생하게 됩니다.

01:06:46.346 --> 01:06:49.453  
물론 굉장히 오랫동안 비추게  
되면 또 어떻게 될까요?

01:06:49.553 --> 01:06:57.605  
여기에 있던 마이너스들이 다  
빠져나가면 어떻게 되는 거야?

01:06:57.705 --> 01:07:01.217  
애네들이 마이너스로 대전되어질  
수 있었던 이유는

01:07:01.317 --> 01:07:04.109  
여기 안에 마이너스만  
있다는 뜻은 아니죠.

01:07:04.209 --> 01:07:08.842  
+, -, +, -, +,  
-, +, -가 있는데

01:07:08.942 --> 01:07:15.011  
마이너스가 훨씬 더 많은  
거 아니야, 지금.

01:07:15.111 --> 01:07:16.789

그런 상태를 우리는 마이너스로

01:07:16.889 --> 01:07:20.199

대전 되어 있는 상태라고

표현하고 있었던 거고요.

01:07:20.299 --> 01:07:26.917

그런데 자외선 등에 의해서

마이너스들이 빠져나가는 거야.

01:07:27.017 --> 01:07:33.221

그러면 마이너스로 대전 되어있는

애가 점점 중성으로 바뀌게 되니까

01:07:33.321 --> 01:07:37.818

애가 오프라들게 되고 빛을

더 오랫동안 쏘주게 되면

01:07:37.918 --> 01:07:40.946

여기에 있던 마이너스들이

더 많이 빠져나가게 돼서

01:07:41.046 --> 01:07:44.936

결국 여기는 뭐가 더

많아지는 일이 발생하겠어?

01:07:45.036 --> 01:07:48.412

플러스가 점점 더 많아지는

일이 발생할 수 있게 되고요.

01:07:48.512 --> 01:07:54.119

플러스들이 점점 많아지게 되면

다시 애는 어떻게 될까?

01:07:54.219 --> 01:07:57.330

마이너스가 계속 빠져나가면

플러스가 점점 많아질 거니까

01:07:57.430 --> 01:08:02.828

이 금속박이 다시 벌어지는

일이 발생할 수 있겠죠.

01:08:02.928 --> 01:08:06.075

어쨌든 여기 실험 상황에서는

오프라드는 상황이었고요.

01:08:06.175 --> 01:08:08.340

오프라든다는 건 결국 마이너스가

01:08:08.440 --> 01:08:12.154

빠져나가는 상황이구나, 라는

걸 알 수 있게 됩니다.

01:08:12.254 --> 01:08:17.018

마지막 자외선등을 더

가까이 비추대.

01:08:17.118 --> 01:08:20.122

더 가까이 비추면

어떻게 되는 거야?

01:08:20.222 --> 01:08:21.678

빛의 세기가 강해져.

01:08:21.778 --> 01:08:24.471

빛의 세기가 강해지면  
어떻게 되겠어?

01:08:24.571 --> 01:08:26.975

튀어나오는 전자수가 많아지겠죠?

01:08:27.075 --> 01:08:34.832

튀어나오는 전자수가 많아지면 이게  
더 빠르게 중성으로 바뀌어가죠.

01:08:34.932 --> 01:08:37.917

그러니까 더 빠르게  
오므라들게 됩니다.

01:08:38.017 --> 01:08:39.689

철수 이야기부터 보겠습니다.

01:08:39.789 --> 01:08:45.281

(다) 과정은 네온등을  
자외선등으로 바꾸는 건

01:08:45.381 --> 01:08:48.065

빛의 진동수를 바꾸기 위해서야.

01:08:48.165 --> 01:08:53.601

사실 네온등은 가시광선 영역의  
빛을 줄을 이루고 있고요.

01:08:53.701 --> 01:08:58.245

자외선은 가시광선보다  
에너지가 더 강하죠.

01:08:58.345 --> 01:09:03.564

그래서 에너지가 더 강한 빛, 진동수가 더  
큰 빛으로 바꿔주는 실험 상황이고요.

01:09:03.664 --> 01:09:09.674

금속박이 오므라드는 것은 아연판에서  
광전자가 방출되기 때문이다, 라고

01:09:09.774 --> 01:09:12.246

우리 똑똑한 영희가 표현을 했고요.

01:09:12.346 --> 01:09:18.489

민수, 자외선등을 가까이 비추어주면  
빛의 세기가 커지기 때문에

01:09:18.589 --> 01:09:25.397

방출되는 광전자의 수가 많아지게 된다,  
라고 표현할 수 있게 되는 거죠.

01:09:25.497 --> 01:09:30.322

이 보기에서는 묻지 않았지만  
이런 질문 한번 해볼게요.

01:09:30.422 --> 01:09:39.467

네온등을 굉장히 가까이하면 이  
금속박에 변화가 있을까요, 없을까요?

01:09:39.567 --> 01:09:41.692  
네온등을 가까이한다는 건 뭐죠?

01:09:41.792 --> 01:09:45.757  
네온등에 빛의 세기를  
증가시킨다는 거죠.

01:09:45.857 --> 01:09:49.986  
그런데 네온등은 전자를 뚫쳐나오게  
하지 못하고 있어요.

01:09:50.086 --> 01:09:55.496  
왜? 네온등에서 방출되는  
빛의 에너지, 빛의 진동수는

01:09:55.596 --> 01:10:00.491  
금속의 일함수, 금속의 문턱  
진동수보다 작다는 거죠.

01:10:00.591 --> 01:10:04.772  
금속의 일함수, 금속의  
문턱진동수보다 작은 빛은

01:10:04.872 --> 01:10:10.428  
빛의 세기를 아무리 키워져도 전자를  
뚫쳐나오게 할 수 없다는 거

01:10:10.528 --> 01:10:12.559  
굉장히 중요하다고 그랬죠.

01:10:12.659 --> 01:10:19.931  
그래서 네온등은 아무리 무슨 짓을 해도  
전자를 뚫쳐나오게 할 수 없다는 거

01:10:20.031 --> 01:10:22.375  
기억해두시기 바랍니다.

01:10:22.475 --> 01:10:26.256  
그러면 이제 마지막 4번  
문제 보도록 하겠습니다.

01:10:26.356 --> 01:10:29.837  
이것도 많이 등장하는 유형이에요.

01:10:29.937 --> 01:10:38.584  
지금 빛 A, B, C를 쏘았는데  
봤더니 B는 광전자를 방출했고

01:10:38.684 --> 01:10:42.524  
C는 광전자가 방출되지 않았대요.

01:10:42.624 --> 01:10:46.918  
그런데 봤더니 A, B,  
C가 뭐로 분류되어있어요?

01:10:47.018 --> 01:10:48.658  
파장으로 분류되어있어요.

01:10:48.758 --> 01:10:52.080

그러면 우리는 이걸 바탕으로  
뭘 알 수 있을까?

01:10:52.180 --> 01:10:55.922

이쪽으로 갈수록 파장이 길어요.

01:10:56.022 --> 01:10:58.780

파장이 길면 진동수가 작아요.

01:10:58.880 --> 01:11:00.537

바로 에너지가 작아요.

01:11:00.637 --> 01:11:02.725

이쪽 빛일수록 어떻다는 거야?

01:11:02.825 --> 01:11:04.859

파장이 짧아요.

01:11:04.959 --> 01:11:07.852

바로 진동수가 커요.

01:11:07.952 --> 01:11:09.886

즉 에너지가 커요.

01:11:09.986 --> 01:11:15.998

결국 B를 기준으로 A는 B보다  
에너지, 진동수가 큰 빛이고

01:11:16.098 --> 01:11:20.723

C는 B보다 에너지, 진동수가  
작은 빛이구나, 라는 걸

01:11:20.823 --> 01:11:22.523

여러분이 알 수 있어야 됩니다.

01:11:22.623 --> 01:11:24.735

그래야 문제를 해결할 수 있어요.

01:11:24.835 --> 01:11:25.915

ㄱ 보겠습니다.

01:11:26.015 --> 01:11:30.121

진동수는 A가 B보다 크죠,  
파장이 더 짧으니까.

01:11:30.221 --> 01:11:34.838

그러면 당연히 A를 비추면  
광전자가 방출되죠, 왜?

01:11:34.938 --> 01:11:39.164

B를 비췄더니 광전자가  
방출된대, 그 말은 뭐야?

01:11:39.264 --> 01:11:45.877

B 빛의 진동수, 빛에너지는  
금속의 문턱진동수,

01:11:45.977 --> 01:11:48.943

금속의 일함수보다 크다는 거죠.

01:11:49.043 --> 01:11:50.698

그러니까 전자를 뚫쳐나오게  
한 거 아니야.

01:11:50.798 --> 01:11:52.991

그런데 A는 B보다  
에너지가 더 크니까

01:11:53.091 --> 01:11:57.260

당연히 전자가 더 빠른 운동  
에너지로 튀어나오겠죠.

01:11:57.360 --> 01:12:00.345

그래서 방출된다, 맞는  
표현이 되는 거고요.

01:12:00.445 --> 01:12:04.203

ㄷ, B와 C를 동시에 비춘대요.

01:12:04.303 --> 01:12:05.875

그러면 어떻게 될까요?

01:12:05.975 --> 01:12:09.286

C는 전자를 뚫쳐나오게  
하지 못합니다.

01:12:09.386 --> 01:12:18.178

그러니까 B와 C를 동시에 쏘줘도 B에  
의해서만 전자는 뚫쳐나오게 되겠죠.

01:12:18.278 --> 01:12:21.706

B에 의해서만 뚫쳐나오는  
전자의 운동에너지는

01:12:21.806 --> 01:12:28.065

당연히 이미 결정되어있는 값이니  
결국 ㄷ번 보기는 틀리게 됩니다.

01:12:28.165 --> 01:12:32.107

B 하나만 쏘줄 때랑 B와  
C를 동시에 쏘줬을 때랑

01:12:32.207 --> 01:12:36.616

튀어나오는 전자의 최대 운동  
에너지는 똑같다고 표현하게 돼요.

01:12:36.716 --> 01:12:41.448

왜 여기서 최대라는 표현을 쓰냐면,

01:12:41.548 --> 01:12:45.805

금속의 문턱진동수, 일함수가  
예를 들어서 70이고

01:12:45.905 --> 01:12:50.212

쏘주는 빛에너지가 100이면  
30으로 전자가 뚫쳐나온다고

01:12:50.312 --> 01:12:51.906

아까 개념 때 말씀을 드렸죠?

01:12:52.006 --> 01:12:57.526

이 30의 에너지는 모든 전자가  
다 30은 아닌 거죠.

01:12:57.626 --> 01:13:01.007

뛰쳐나오면서 불순물에  
의해서 엉기기도 하고

01:13:01.107 --> 01:13:03.400

자기들끼리 부딪히기도 하고 이러면서

01:13:03.500 --> 01:13:07.494

30으로 뛰쳐나오는  
애들은 최댓값입니다.

01:13:07.594 --> 01:13:10.300

그래서 우리가 최대라는  
표현을 사용하는데

01:13:10.400 --> 01:13:15.085

우리는 이 최대라는 표현을  
그냥 생략하고 이해하셔도

01:13:15.185 --> 01:13:16.991

크게 무리될 건 없습니다.

01:13:17.091 --> 01:13:20.225

그러면 여기서 이런 질문  
다시 한번 해볼게요.

01:13:20.325 --> 01:13:24.528

C를 비추었을 때 광전자가  
방출되지 않았죠.

01:13:24.628 --> 01:13:30.200

그러면 C에 빛의 세기를 증가시키면

01:13:30.300 --> 01:13:36.093

C의 파장은 그대로 두고 C  
빛의 세기를 증가시켜요.

01:13:36.193 --> 01:13:40.581

그러면 전자는 뛰쳐나올 수  
있을까요, 없을까요?

01:13:40.681 --> 01:13:44.199

당연히 뛰쳐나올 수 없죠.

01:13:44.299 --> 01:13:45.064

왜?

01:13:45.164 --> 01:13:53.360

세기만을 증가시켰다는 건 빛  
C를 밝게 만들었다는 거잖아.

01:13:53.460 --> 01:13:59.646

그냥 단순히 밝게 만든다고  
해서 빛의 에너지가

01:13:59.746 --> 01:14:02.645

빛의 진동수가 커지는  
일은 없습니다.

01:14:02.745 --> 01:14:04.032  
파장은 그대로잖아.

01:14:04.132 --> 01:14:05.676  
진동수는 그대로잖아.

01:14:05.776 --> 01:14:08.047  
에너지는 그대로잖아.

01:14:08.147 --> 01:14:14.377  
빛의 세기만을 키운다고  
튀어나오지 않던 전자가

01:14:14.477 --> 01:14:17.797  
튀어나오는 일은  
발생하지 않는다고요.

01:14:17.897 --> 01:14:21.520  
빛의 세기를 증가시키는 건  
오로지 어떤 목적이야?

01:14:21.620 --> 01:14:27.036  
전자가 뿔쳐나온다는 조건에서  
빛의 세기를 증가시키면

01:14:27.136 --> 01:14:31.218  
더 많은 전자가 뿔쳐나오게  
할 수 있다는 거뿐입니다.

01:14:31.318 --> 01:14:32.319  
되셨죠?

01:14:32.419 --> 01:14:35.103  
그 부분 마지막 하나  
더 기억하시면서

01:14:35.203 --> 01:14:38.650  
오늘의 내용을 마치도록 할게요.

01:14:38.750 --> 01:14:44.639  
이 광전효과는 우리 일상생활에서  
굉장히 많이 사용되어지고 있습니다.

01:14:44.739 --> 01:14:47.950  
빛의 감지를 통해서  
이루어지는 현상들은

01:14:48.050 --> 01:14:53.171  
대부분이 다 광전효과를 이용하고  
있는 센서가 이용되고 있기 때문에

01:14:53.271 --> 01:14:55.610  
일상생활에서 굉장히  
가깝게 사용되고 있죠.

01:14:55.710 --> 01:15:02.101  
그렇기 때문에 우리가 친숙하게 이해할  
수 있는 내용이기도 하고요.

01:15:02.201 --> 01:15:06.187

시험 문제에서도 굉장히 자주  
등장하는 내용이기도 합니다.

01:15:06.287 --> 01:15:08.914

오늘의 강의를 통해서  
여러분이 이해한 내용,

01:15:09.014 --> 01:15:11.424

이해하지 못한 내용 좀 정리해보시고

01:15:11.524 --> 01:15:15.475

이해하지 못한 내용은 Q&A  
게시판에 글 올려주시면

01:15:15.575 --> 01:15:19.268

빠르고 정확하게  
답변해드리도록 하겠습니다.

01:15:19.368 --> 01:15:20.357

수고하셨습니다.

01:15:20.457 --> 01:15:24.453

이어지는 강의, 마지막  
강의에서 뵙도록 하겠습니다.