

$F = -e^2/(4\pi\epsilon_0 r^2)$ ifadesinde r sonsuza giderken F nin değeri ne olur?

22 Bu soru Çarşamba günü öğrendiğimiz bilgilere dayanmaktadır. İki tanecik arasındaki etkileşimleri tanımlamak için Coulomb Kuvvetleri Yasası hakkında konuşuyorduk. aferin, iyi iş .çoğunuz doğru yapmış

35 burada gördüğümüz iki yüklü tanecik, +1 ve -1 arasındaki kuvvettir, yani çekirdek ve electron arasındaki kuvvet. Bunun basit bir örnek olduğunu biliyorum, ve herkesin doğru yaptığını görüyorum, sanırım kimse tıklatici hatası yapmamış.

55 Bu sınıfta bir şeye dikkat çekmek istiyorum, genel olarak, bir olayı açıklayan eşitlik gördüğünüzde, (buradaki, kuvvet eşitliği gibi), onu önce esas denklemde yerine koyarak kontrol etmeniz iyi bir fikirdir. Bu nedenle, buradaki eşitliğe sonsuzu koyup eşitliği çözdüğümüzde, şüphesiz kuvvetin sifira gideceğini göreceksiniz.

118 fakat bu problemi ayrıca nitel (yani kalitatif) olarak da yorumlayabilirsiniz, elektron ve proton arasındaki kuvveti sadece nitel olarak düşünebilirsiniz. Elektron ve proton birbirlerine yaklaştıklarında, birbirlerini çekerler, çünkü zıt yüklere sahiptirler, fakat birbirlerinden gittikçe uzaklaştıklarında çekim kuvveti de gittikçe azalır ve sonunda sifira yaklaşır.

140 Zihinsel kontrol yapmak her zaman iyidir, (dersler ilerledikçe), her zaman şunu hatırlayın, bir eşitlik var olabilir ve bu eşitlik için genelde iyi bir neden de bulunabilir. Cevabı bulmak için önce nitel bilgilerinizi kullanın, cevaplarınızı her zaman matematik yoluyla çözenize ve ve sayısal bir değer bulmanıza gerek olmayabilir. 154 bugünkü ders notlarına başlayalım

159 Bahsettiğim gibi, bıraktığımız yerin biraz gerisinden başlayalım, atomu tarif edelim ve klasik mekaniği kullanarak, atomda çekirdek ve elektronların birarada nasıl tutulduğunu görelim. Bugün bu tartışmayı sonlandıracağız, şüphesiz atomda ne olduğunu anlamak için kullandığımız klasik mekaniğin başarısızlığına değineceğiz. 222 sonra yeni bir tür mekaniğe, kuantum mekaniğine geçeceğiz, gerçekten, bu (mekanik) atomik büyüklükte, yani nm veya angström boyutlarındaki çok ufak taneciklerde ne olduğunu tarif edebilecek. 239 Kuantum mekaniğinin geçerli olması, buna karşılık klasik mekaniğin iflasının nedeni, klasik mekaniğin maddenin hem dalga hem de tanecik özelliğini dikkate almamasıdır, madde de ışık gibi hem dalga hem de tanecik özelliğine sahiptir. 253 Önce biraz geriye gidip, sonra kuantum mekaniğini tanıatacağız, ışığın dalga özelliğini, dalganın karakteristik özelliklerini, sonra ışığın tanecik özelliğini göreceğiz. Buna bir örnek olarak fotoelektrik olayı anlatacağız.

306 En son, proton ve elektron arasındaki etkileşimi tarif eden kuvvet kanununu konuşuyorduk, ve bana uzaklık sonsuza gittikçe, kuvvetin sifira yaklaştığını söylemişsiniz. 320 bunun yerine, uzaklık sifira giderse ne olur? uzaklık sifira giderse kuvvete ne olur?

327 evet, aslında kuvvet sonsuza gider, özel olarak da eksi sonsuza gider. eksi sonsuz kuvveti bir düşünelim, bu eşitlikte $r = 0$ değerini yerine koyarsak eksi sonsuz elde edilir: bir kural olarak eksi işaret kuvvetin yönünü belirtir ve tanecikler birbirini iterek uzaklaşmaz, biraraya gelir anlamına gelir.

345 iki tanecik arasındaki kuvveti düşünecek olursak Coulomb kuvvetini kullanabiliriz. Bu yasa kuvvetin uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu söyler; ama şunu söylemez, zaman geçtikçe bu uzaklığa ne olur? eğer atomu tanımaya çalışıyorsak bunu bilmek isteriz ,çünkü r zamanın bir fonksiyonudur .

407 fakat klasik hareket eşitliğinin varlığı bir şanstır. Klasik hareket denklemi electron ve çekirdeğin nasıl yer değiştirdiğini veya yarıçapın zamanla nasıl değiştiğini tarif eder. 420 klasik hareket denkleminin nasıl olduğunu bilen var mı?

425 İkinci hareket kanununa gidelim. Kuvvet = kütle çarpı ivme dir. *Bazı çok hızlı sayfa çevirenler cevap verdi.* 435 Bu yasa bize kuvvetin ivmenin bir fonksiyonu olduğunu söyler, ama biz yarıçapın fonksiyonunu bilmek isteriz. Bu nedenle hızın zamana göre birinci türevini alırız, böylece kuvvet = kütle X (dv/dt) olur. Bunu ilerletip ikinci türevini alırız ve kuvvet için şu eşitliği elde ederiz

457 bu iki eşitliği birleştirmek için, bu kuvvet ifadesini Coulomb kuvvet kanununda yerine koyarız

508 Bu diferensiyel eşitliği elde ederiz, farklı yer (r) ve farklı zamanda (t) kuvvetin ne olduğunu bulmak istersek bu denklemi çözeriz

517 hepiniz buradaki matematik derslerinde diferensiyel eşitlikleri çözecek fırsatı bulacaksınız, bu kimya dersinde bunu yapmayacağız. Daha sonraki kimya derslerinde bu diferensiyel eşitlikleri çözeceksiniz, fakat bunun yerine bu derste size diferansiyel eşitliğin çözümünü anlatacağım. 532 burada yapacağımız şey şu: r için başlangıç değeri alacağız, burada 10 Angstrom alındı, atom için oldukça iyi bir yaklaşım, çünkü atom çapına yakın bir değer, 544 yani, 10 A den başlayıp bu değeri diferensiyel eşitlikte yerine koyalım ve çözelim, sonuçta r sifira giderken zaman 10 üzeri eksi on saniyeye (10^{-10} s) eşit olur.

559 nitel olarak bunun ne anlama geldiğini düşünelim veya r nin gerçek anlamı nedir? Newton mekaniği ve Coulomb kuvvet kanunu bize ne söyler? Cevap: Electron 0.1 nanosaniyede çekirdeğin içine gömülmelidir. 618 ama burada bir sorun var. çünkü matematik ile hesapladıklarımız deneysel gözlemlerimize tam olarak karşılık gelmemektedir. Aslında matematiksel öngörülerin test edilmesinde çeşitli güçlükler çıkar, pek çok insan tek bir matematiksel öngörüü test etmek için yıllarını verir. Fakat sanırım hepimiz, bu öngörüü burada test edebiliriz, Hepimiz, bütün atomların nanosaniyeden daha az bir zamanda derhal çökmeyeceğini görebiliyoruz.

656 şimdi söylediğim “ atom çok kısa bir zamanda çökmelidir” sözünü biraz düşünelim. 704 Buna göre ya Coulomb kuvvet kanununda ya da Newton mekaniğinde bir problem olması gerekir. 713 Buradaki sorun hakkında siz ne düşünüyorsunuz?

718 Sorun Newton mekaniğidir, Çünkü Newton mekaniği çok küçük boyutlarda geçerli değildir. Söylediğimiz gibi, Newton mekaniği, görebildiğimiz şeyler için geçerlidir, ölçülemeyecek kadar küçük şey için bile geçerli olabilir. Fakat atom boyutuna gelince ihtiyacımız olan şey maddenin dalga özelliğini de dikkate almamızdır. Daha sonra öğreneceğimiz gibi, atomic boyutlarda klasik mekanik geçerli değildir. İhtiyacımız olan şey

kuantum mekaniği dir. QM çok küçük boyutlardaki molekül davranışlarını kesin olarak açıklayacaktır.

801 Bahsettiğim gibi, kuantum mekaniğinde en önemli nokta maddeye sadece tanecik gibi değil (tam burada yaptığımız gibi) aynı zamanda dalga gibi yaklaşır. Maddeye ışık gibi muamele eder. Kuantum mekaniğinde ikinci önemli nokta şudur, ışığı ayrı ayrı paketler halinde, küçük enerji paketçikleri şeklinde düşünür ve bunlara “foton” adı verilir. Burada ne olduğunu düşünecek olursak, ikinci noktada, ışık fotonlardan ibarettir demek ile ışık tanecik özelliği gösterir demek aynı şeydir. Bu çok önemli bir noktadır, bunu ayrıca ele alacağım, bundan sonraki derslerde tekrar değineceğim.

843 Şimdi elektron ve çekirdeğin birarada nasıl tutulduğunu düşünmek için yeni bir yöntemimiz var. Bu QM dir, atomu tarif etmek ve atomun davranışlarını anlamak için bu yeni yöntemi kullanabiliriz. Fakat bunu yapmadan önce, biraz geriye gitmemiz daha mantıklıdır, hala aynı noktada olduğumuzu fark edelim. QM niçin bu kadar önemlidir? QM nasıl uygulanır? özel olarak “ışık hem dalga hem de taneciktir” ifadesi ne anlama gelir?, benzer şekilde “madde hem dalga hem de tanecik özelliği gösterir” ne demektir? Bunların hepsinin ne anlama geldiğini bilmek isteriz. 916 ışığın dalga özelliğini tartışmaya devam edeceğiz, Cuma ya kadar atomun QM uygulamasına değinmeyeceğiz, fakat bu arada ışığın ve maddenin dalga tanecik ikiliğini anlamaya çalışacağız

933 Işığın bazı özellikleri üzerinde konuşarak başlayalım, bunlar, bütün dalgalar için, ışık dalgaları da dahil, geçerlidir. Bizim için resmedilmesi en kolay olan dalga türü, deniz dalgaları veya su dalgalarıdır, çünkü bunları görebiliriz, fakat bütün dalgalar benzer özelliklere sahiptir, bildiğiniz gibi bazı özellikleri periyodik olarak değişir, su dalgaları hakkında konuştuğumuzda, tartıştığımız özellik tam su seviyesidir.

1001 örneğin burada ortalama bir seviye vardır (pointer işaretliyor), dalga daha yükseğe veya daha düşüğe gidebilir. Ses dalgalarını da tartışabiliriz, bazı özellikleri tam bir periyodik değişimdir, bu durumda yoğunluğu dikkate alırız, ses dalgalarında yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu bölgeler vardır.

1020 dalga türlerine bakmaksızın, çok kullanılan bazı dalga tanımları mevcuttur ve bunları bilmemiz gerekir. İlki genliktir, bir dalganın genliği ortalama düzeyden sapma miktarıdır. Orta düzeyi sıfır olarak tanımlarsak hem artı hem de eksi genliğimiz olur. Bazen insanlar problem çözümlerinde karıştırırlar, maksimum ve minimum arasındaki uzaklığı genlik olarak tanımlarlar, fakat aslında bunun yarısıdır, yani sadece orta düzeyden sapma miktarıdır.

1053 burada konuştuğumuz ışık dalgalarıdır ve ışık dalgaları da diğer tür dalgalarla aynı özelliğe sahiptir, bazı özellikleri periyodik olarak değişir. Işık dalgalarını tartıştığımızda, aslında konuştuğumuz şey ışığın kendisidir yani elektromagnetik ışımadır. Elektromagnetik ışıma, elektrik alanının periyodik değişimidir.

1117 Sudaki periyodik değişme yerine, buradaki hava yoğunluğunun periyodik değişimidir. Elektrik alanı hakkında konuşuyoruz, elektrik alanın ne olduğunu biliyor musunuz?

1129 Bu Coulomb kuvvetinin geçerli olduğu bir alandır, düşüneneğimiz önemli şey onun periyodik değişimidir. Elektrik alanının herhangi bir yerine yüklü parçacık koyduğumuzda parçacık şüphesiz çekildiği yöne doğru gidecektir. Fakat burada düşüneneğimiz şey farktır, dalganın burasında bir parçacık varsa, parçacık bu doğrultuda gidecektir. fakat şunu unutmayın, dalgaların sadece genliği değil aynı zamanda yönüde bulunmaktadır. eğer elektrik alanın veya dalganın alt tarafına bir parçacık koyarsanız, elektrik alanı diğer doğrultuda olacaktır, koyulan parçacık diğer tarafa itilecektir.

1207 fizik dersinden bildiğiniz gibi, yayılan bir elektrik dalgası aynı zamanda ona dik bir manyetik alana sahiptir, bu derste kimya problemlerinin çözümünde bu kavramı kullanmayacağız, burada sadece elektrik alan vektörü üzerinde odaklanacağız, çünkü ışığın elektron gibi yüklü parçacıklar ile etkileşime giren kısmı burasıdır.

1232 büyük bir ihtimalle aşına olduğunuz, ayrıca gözetmanızı istediğim, dalganın diğer bir özelliği de dalgaboyudur. dalgaboyu yanyana iki maksimum arasındaki uzaklıktır, şüphesiz aynı zamanda iki minimum arasındaki uzaklıktır. Kısaca, bir dalga üzerinde herhangi bir noktayı alın, dalga üzerinde bir sonraki nokta arasındaki uzaklığa dalgaboyu denir. Ayrıca bir dalganın frekansını konuşacağız, frekans birim saniyedeki çevrim (veya salınım) sayısıdır. Bir çevrim, basitçe, tam bir dalga boyunun salınım sayısı anlamına gelir. bazen bir saniyede 5 defa salınır, o halde bu dalganın frekansı saniye başına 5 dir (yani 5 s^{-1}). Burada ne olduğunu, grafik haricinde, matematiksel olarak da tanımlayabiliriz. Bir dalganın matematiksel ifadesine bakarsak, tekrar ediyorum daha önce de bahsettiğim gibi, burada sadece elektrik alanı tanımlıyoruz, manyetik alanı değil,

1340 Elektrik alanını x ve t nin fonksiyonu olarak tanımlayabiliriz, $E(x,t) = a \cos[2\pi x/\lambda - 2\pi vt]$. Buradaki y unan harfi nüdür, v değil. buradaki E elektrik alanı gösterir, 1413 x nedir?

1416 evet, dalganın yeridir. 1419 t nedir? 1421 evet zamandır. Şimdi dalgayı hem yer hem de zamanın bir fonksiyonu olarak konuşabiliriz, fakat bu dalgayı görüntülemek istersek- mesela bunu grafiğe almak istersek, bunun en kolay yolu iki değişkenden birini- yani x veya t yi - sabit tutmaktır. Mesela, eğer zamanı sabit tutarsanız eşitlik çok daha basit olur, çünkü sağdaki terimin üzerini çizebiliriz. 1459 böylece elektrik alanı, uzaklığın bir fonksiyonu olan **$a \cos(2\pi x/\lambda)$** olur. Böylece grafiğe veya eşitliğe bakarak dalganın farklı özellikleri üzerinde düşünebiliriz. mesela dalga hangi noktada maksimum genliğe sahip olabilir? Bunun için, \cos argümanını bire eşitleyecek bir değere ihtiyacımız var ve bu noktada maksimum genlik a ya eşit olur. Kısaca belli bir zamanda dalgaboyu sıfır veya tamsayı değeri alabilir. Mesela, buradaki eşitliği kullanarak eksi dalgaboyu, veya artı dalgaboyu, veya dalgaboyunun iki katı olduğu değerleri bulabiliriz. Çünkü bu eşitlikte x e çeşitli değerler vererek dalgaboyu terimini yok edebilirsiniz, geriye tamsayı çarpı π terimi kalır.

1604 matematiksel olarak a yı nasıl elde edeceğimizi gördük, ayrıca bunu bulmak için grafiğe de bakabiliriz, daha önceden de bahsettiğim gibi, maksimum genliği verecek bir dalgaboyunu çizebiliriz. 1619 hemen denkleme bakalım, buradaki a terimine bakarak genliğin maksimum olduğu yeri yükseklik cinsinden bulabiliriz. 1630 ayrıca herhangi bir dalganın şiddetini bulabiliriz, çünkü şiddet genliğin karesidir. 1636 dalga eşitliğine veya grafiğe bakarak bir

ışığın parlaklığını veya şiddetli kolayca bulabiliriz. 1643 bunun için benzer şeyi yaparız, uzaklığı sabit tutmak yerine, x için 0 değerini alıp formülde yerine koyarız, sonra elektrik alanını t nin fonksiyonu olarak düşünerek ilk teriminin üzerini çizeriz ve geriye *genlik çarpı cos 2πi nü t* kalır. **[a cos (2 πvt)]**. 1711 tekrar aynı şeyi yapabiliriz, genlik ne zaman maksimum olur? cos terimi 1 e eşit olduğu zaman. 1724 mesala -1/nü veya sıfır ve +1/nü olduğunda grafiğe bakalım ve maksimumların tam olarak nerede olduğunu görelim. 1736 1/nü kullandığımız başka bir terimdir , dalganın periyodudur ve periyot tam olarak frekansın tersidir. 1744 frekansı düşünürsek, birim zamandaki çevrim sayısıdır, örneğin saniyedeki çevrim sayısıdır. Halbuki periyot bir çevrimin olması için gereken zamandır. 1758 frekans birimlerini konuşacak olursak, en çok saniyedeki çevrim sayısını kullanırız. 1805 saniyenin inverse veya tersi olarak yazılır. Genellikle buna Hertz (hört) denir, Hz ile gösterilir. Saniyede 5 çevrim hakkında konuşuyorsak, 5 s⁻¹ veya 5 Hz yazabilirsiniz. Şunu aklınızdan çıkarmayın, Hz saniyenin inversi değildir, saniyedeki çevrim sayısıdır. 1819 Saniyede X metre giden arabamız hakkında konuşuyorsak X metre HZ gitti diyemeyiz, saniyede şu kadar metre gitti demeniz gerekir, bu gerçekten sadece frekans birimidir. frekans ve dalga boyu terimlerini biliyoruz, sıra dalganın hızına geldi, özellikle ışık hızına . hız tam olarak alınan yol bölü / geçen zaman dır ve dalga için bu terimleri biliyoruz .1857 burada alınan yol tam olarak dalga boyudur. 1903 burada bir dalganın ne kadar zamanda yol aldığını düşünmemiz gerekir çünkü dalga yer değiştirmez fakat zaman içinde ilerler. 1911 bir dalganın aldığı yol veya dalga boyu lambda ya eşittir, 1918 bir dalga hareketi için geçen zamanı bilen var mı? 1925 mesela frekans veya periyot?evet periyottur. 1935 bir periyot bir dalganın ilerlemesi için geçen zamandır, diğer taraftan, periyot 1/nü veya 1/frekans tır , şimdi hem alınan yolu hem de geçen zamanı biliyoruz, bunu hız ifadesinde yerine koyarsak, hız eşittir lambda bölü 1 bölü nü , ifadeyi yeniden yazarsak hız eşittir lambda çarpı nü

2000 birimi metre bölü saniye veya nanometre bölü saniyedir. 2006 şimdi hız, dalga boyu ve frekans arasındaki ilişkiyi veren bir eşitliğimiz var, ayrıca, bir dalganın frekansını ve dalgaboyunu bildiğimiz sürece hızını bulmak mümkündür. 2020 electromagnetic dalga, electromagnetic ışımaya ve hız hakkında oldukça özel bir durum vardır. Electromagnetic ışımaya sabit bir hıza sahiptir ve buna ışık hızı adı verilir. 2037 Kısaca c ile gösteririz, bu Latince *celeritas* teriminden gelir, anlamı hız veya sürat tir. Lise yıllarımdan hatırladığım dört veya beş Latince kelimedenden biridir. Işık hızını hatırlamak faydalıdır, değeri 2.9979 x10⁸ m/s dir. tekrar tekrar kullandığınız için kolayca hatırlayabileceğiniz sabitlerden biri budur. Yine de unutmaya ihtimaline karşılık sınavda bu değeri vereceğiz.

2113 Şüphesiz bu hız çok yüksektir, yaklaşık saatte 700 milyon mil kadar. Buna bir bakış açısı getirecek olursak, ışığın dünyadan aya gitmesi için geçen süre nedir? Herhangi bir tahmin var mı? 8 saniye, oldukça iyi bir tahmin, başka tahmin var mı? gerçekten ışığın dünyadan aya gitmesi için geçen süre 1.2 saniyedir. Oldukça yüksek bir hızdır. Diğer taraftan ışık hızını bildiğimiz için, ayrıca frekans ve dalgaboyu birbiri ile ilişkili olduğundan birini bildiğimizde diğerini de bilmiş oluruz.2207 şimdi tıklatıcı sorumuza geçebiliriz.

Farklı türdeki dalgalara bakalım, onların frekans ve dalga boyları hakkında bilgiler verilmiş. A ve B ışık dalgalarını şimdi ekranda görüyorsunuz. Frekans ve dalga boyu arasındaki ilişki bilginize dayanarak, hangi ifadenin doğru olduğunu bulunuz.

2306 son 10 saniye. tamam, çok iyi. Pek çoğumuzun bildiği gibi A ışık dalgası daha kısa dalga boyuna sahiptir. Bunu grafiğe bakarak kolayca görebiliriz. Burada iki maksimum arasındaki uzaklık daha kısadır, bu nedenle daha kısa dalga boyuna sahiptir, buna bağlı olarak daha yüksek frekansa sahip olacaktır. 2328 Bildiğiniz gibi dalga boyu ve frekans arasındaki ilişki tersdir. Ayrıca ışık hızını biliyoruz, dalga boyu daha kısa ise belli bir zamanda daha fazla dalga geçecektir ve frekansı daha yüksek olacaktır.

2343 notlarımıza geri dönebiliriz, farklı tür ışık dalgalarının ne anlama geldiğini bir düşünelim, burada bir ışın demeti görülmektedir, bu ışıkların dalga boyları ve frekansları bilinmektedir. 2359 mesela bütün radyo dalgalarının dalga boyları oldukça uzundur ve frekansları düşüktür, halbuki daha kısa dalga boylarına gidecek olursak, x-ışınları ve kozmik ışıkların frekansları yüksektir.

2419 Bütün bu farklı tür ışıklar hakkında biraz bilgi sahibi olmak önemlidir. Bu ışıkların frekanslarını ve dalga boylarını hatırlamak zorunda değilsiniz, fakat genel sıralamalarını bilmek zorundasınız. Birileri size UV ışıklarını veya x-ışınlarını soracak olursa, x-ışınlarının daha yüksek enerjili ışık olduğunu bilmelisiniz. Bu önemlidir. 2445 Bu farklı tür ışıkları düşünecek olursak, mikrodalga ışını moleküller tarafından absorblanır, belli bir frekans ve enerjide ise molekülleri döndürür ve şüphesiz ısı üretir. Mikrodalga'nın kullanım amacı budur.

2458 kızılötesi veya infrared ışınlarını ışınları konuşacak olursak, daha yüksek frekanslı ve daha kısadalga boylu ışınlardır, IR ışınları moleküller tarafından absorblanırsa enerjisi molekülleri titreştirmeye yeter. 2512 Daha yüksek frekanslarda, görünür bölge ışınları ve bütün UV ışınları vardır. Bu ışınlar bir molekülün üzerine gönderilirse ve yeterli enerjiye sahipse moleküldeki elektronları daha yüksek enerji seviyesine uyarır, atomdaki enerji seviyelerini konuştuğumuzda bunlar daha anlam kazanacaktır, gördüğümüz floresans ve fosforesanstan sorumlu olan ışınlar UV ışınlarıdır. Bir şeyi siyah lamba veya başka bir şey kullanarak daha üst enerji seviyesine uyarırsanız, rahatlamak isteyecek ve tekrar geri dönecektir, bu esnada yeni dalga boyunda bir ışık yayınlacaktır, ki bu ışınları görebiliriz.

2551 x ışınları yüksek frekanslı ışıklar olmasına rağmen, moleküller tarafından absorblanır, elektronlar uyarılır ve molekülü terk ederler, bunun molekülün bütünlüğüne nasıl zarar verdiğini görebilirsiniz, x-ışınlarının zararlı olmasının nedeni budur, moleküllerden elektronların gitmesi iyi sonuçlar doğurmaz, çünkü çeşitli mutasyonlara neden olur ve bunun olmasını istemeyiz. 2616 en yüksek enerjili olanlar gama ışınları ve kozmik ışınlardır. Görünür bölgedeki ışınların bağlı sıralamasını bilmek oldukça kolay olabilir, çoğunuzun anaokulundan kalma anıları vardır. Hatırlayalım, mor en uçtadır, en kısa dalga boyuna yani en yüksek frekansa sahiptir.

2641 ışık setleri hakkında ilginç bir gerçek-ki buna çok aşinayız- şudur: Görüş üzerinde düşünecek olursak, görüşümüz gerçekte logaritmiktir ve yeşil frekans etrafında merkezlenmiştir. Bu kırmızı lazer ışık yerine, yeşil ışık kullanmış olsaydık, şiddetleri aynı

olsa bile yeşil ışığı daha parlak olarak görecektik. 2703 bunun nedeni gözümüzün bu yeşil frekans seti etrafında logaritmik merkezlenmesidir.

2712 frekans ve dalgaboyu arasındaki ilişkiyi kullanırsanız, neler olup bittiğini daha iyi anlarsınız, az sonra ayrıca enerjileri ile de ilişkilendireceğiz bu çok daha bilgi verici olacaktır. Şimdi MIT deki pek çok gruptan birini, farklı floresans moleküller üzerinde çalışan professor Bawendi nin grubunu tanıtacağım. Bawendi kuantum benekleri üzerinde çalışmaktadır, Kuantum benekleri yarıiletkenlerin çok çok küçük kristalleridir, büyüklükleri 1-10 nm arasındadır, üzerine UV ışığı gönderildiğinde, oldukça farklı ve ilginç özellikler gösterir, fakat, burada sözünü ettiğimiz şu, onları UV ışığı ile uyarırsanız bazı elektronlar üst enerji düzeyine uyarılır, geri geldiklerinde ışık yayımlar, bu ışıkların dalgaboyları kuantum beneklerinin boyutuna bağlıdır . 2808 burada el ile çizilmiş kuantum beneklerine bakabiliriz, ayrıca bir çözeltide süspansiyon halinde bulunan gerçek kuantum beneklerinin resmi bulunmaktadır, UV ışığı ile aydınlatımda beneklerin büyüklükleri ile değişen geniş bir renk skalasında çok güzel renkler görebilirsiniz. kırmızı beneğe baktığımızda şunu bilebiliriz, bu kırmızı benektir, daha uzun dalgaboyuna sahiptir çünkü frekansı daha düşüktür. 2844 benzer şekilde, birileri bu beneklerinin maviye kaydığını söylerse, beynimiz otomatik olarak size bunun daha yüksek frekansa kaydığını söyleyecektir. Bu benekler gerçekten ilginçtir, eminim bu resme baktığımızda bunların farklı biyolojik ve sensor uygulamalarını hayal edebilirsiniz, mesela, farklı protein etkileşimleri üzerinde çalışmayı deniyorsanız, bunları farklı renkteki kuantum benekleri ile işaretlemeyi düşünebilirsiniz veya bunların farklı floresans teknikleri vardır, bu benekleri kullanarak bu farklı teknikleri uygulayabilirsiniz veya *in vivo* sensor olarak nasıl kullanılabileceğini düşünebilirsiniz, toksik olmadığı sürece vücuda alındığında nasıl faydalı olacağını düşünebilirsiniz. 2922 bunlar, Bowendi grubunun üzerinde çalıştığı konular, özellikle farklı beneklerinin sentezi üzerinde uzmanlaşmışlardır, bir sentez şemasına sahipler ve dünyadaki diğer araştırma grupları bunu kullanmaktadır. Bowendi grubu hem MIT de hem de farklı okullardaki insanlarla ortaklaşa çalışır, bunların biyokimyasal uygulamalarından bazıları MIT deki professor Alice Ting ile onun laboratuvarında yapılmaktadır. 2947 burada şuna işaret etmek istiyorum, quantum mekaniğinin anlatırken, quantum mekaniğinin pek çok özelliği bu kuantum benekleri üzerinde doğrudan uygulanabilir, bu açıdan kuantum benekleri gerçekten çok iyi bir örnektir. ilginizi çekerse, ders notunuza Bowendi laboratuvarının web sitesini ekledim. 3095 ayrıca prof. Bowendi geçenlerde *The Tech* dergisi ile bir görüşme yaptı. İçinizde bu mülakatı dergide gören var mı? 3011 son haftalarda 3 veya 4 görüşme yaptı, eski sayılarına ulaşabilirsiniz, linkini websitesine koydum, tam olarak araştırmaları hakkında değil, aynı zamanda öğrenciykenki hatıralarını da içeriyor, tavsilerde bulunuyor. Okuması oldukça ilginç, MIT profesörlerinden birine ait olması daha iyi.

3033 (önceden konuştuğumuz gibi) dalganın önemli özelliklerinden biri frekans ve dalgaboyu arasındaki ilişkidir. 3040 dalganın diğer önemli bir özelliği, bütün dalgalar için geçerli olan iki dalga arasındaki üstüste binme veya girişimdir. 3049 dalgalara ve onların fazlarına bakalım, *aynı faz* şu anlama gelir, maksimum ve minimum noktaları aynı pozisyondadır, yani iki dalganın maksimumu ve benzer şekilde minimumu üst üste gelir. Buna *yapıcı girişim* adı verilir. 3103 *yapıcı girişim* ile tam olarak şunu demek istiyoruz, bu iki dalga birlikte hareket eder, maksimumları iki katı büyür ve minimumları iki katı küçülür.

3114 ayrıca Őu durumu da hayal edebilirsiniz, burada birinin maksimumu diğerinin minimumu ile üst üste gelir. 3123 ekranda gördüğünüz tıklatici sorusuna geçelim. 3131 OK tamir edilebilir mi? 3138 (gülme) teşekkürler. 3141, bu odanın yenilenme çalışmaları hala devam ediyor. Zıt fazlı bu iki dalgayı toplarsanız ne olacağını söyleyin. 3205 hepimiz burada ne olduğunu niçin düşünmüyor? Uygulamayı düşünmekle başlayalım. 3208 çalışmayacaksa ders notlarına geri dönelim, 3218 OK doğru cevap düz çizgi, olacaktı. Herkesin cevabı bu muydu?

3223 OK, çok güzel, bunu çizmenizi istemedim, notlarınızdaki pozitif üst üste binme yapıcı girişimdir, 3233 Sanırım herkes düz çizgi çizebilir, yokedici veya yıkıcı girişim olduğunda ne olduğunu çizin. 3242 yokedici girişim, şüphesiz, ekstrem bir durumdur, fakat, tamamen aynı hızda ve zıt fazda olmayan iki dalga arasındaki durumu resmedebilirsiniz. 3251 bu durumda, yine bir dalga elde edersiniz, biraz daha büyük fakat tam iki katı değil, ondan biraz daha küçük

3256 Sanırım, girişim hakkında düşünmenin en kolay yolu aslında ışık dalgaları değildir, bazen, ses dalgaları üzerinden düşünmek daha kolaydır, özellikle de yokedici girişim ile ilgiliyseniz. 3307 İçinizde Albert Hall konser salonuna giden var mı? Orada bir tür ölü nokta vardır, çok iyi işitemezsiniz. iki koltuk öne gittiğinizde ses aniden patlar, bu odada bu durum yok. 3319 böyle bir girişim deneyimi olan var mı? 3322 Böyle bir deneyimim var, burada olan şey yokedici girişimdir. 3321 Bir salon tasarlanırken böyle bir şeyin olmamasını sağlamak gerekir. 3355 Şimdi başka bir konser salonu göstereceğim. 3333 Bu Boston senfoni salonu dur, bu senfoni salonuna giderseniz kötü koltuk veya ölü koltuk deneyiminiz olmayacağını garanti ediyorum. 3347 dünyadaki akustik konser salonlarından en iyi 2 veya üç tanesinden biri dir. 3353 yokedici girişimleri veya ölü sesleri minimize edecek şekilde çok iyi tasarlanmıştır.3400 öğrenci bütçesine göre uygun, salonda en kötü koltuğa oturabilirsiniz, ne olduğunu göremeseniz bile öndeki koltuklar kadar iyi duyabilirsiniz

3414 yokedici girişime diğer bir örnek, kulaklıklardır.Bunları hiç bir zaman denemedim fakat onları kullananları gördüm. 3418 buradakinin, gürültü giderici kulaklık olduğunu sanıyorum önce çevre gürültüsünü alırlar, kulaklıkların içinde pil vardır, bu çevre gürültüsünü yok edici girişim yapacak ses dalgası üretir, böylece taktığımızda sessizlik sağlanacaktır, burada gördüğünüz oldukça pahalı bir kulaklıktır.

3441 sonuç olarak ışık dalga gibi davranır, ses de dalga gibi davranır, ikisi de aynıdır. 3450 ışığın dalga gibi davrandığı 1900 lerden önce bilinmekteydi, bu kadar emin olmalarının sebebi, bunları gözlemleyebiliyorduk, örneğin ışığın kırınımına uğradığını görebilirdiniz, ışığın diğer dalgalarla yapıcı ve yıkıcı girişimler yaptığını görebilirdik. 3508 Bunlar görüntülenmiştir ve doğrulanmıştır. fakat bu sıralarda, Thomson elektronu keşfetti, bu esnada devam eden bazı gözlemler vardı. 3521 evreni anlayış tarzımızda en kafa karıştırıcı, ışık ile ilgili yapılan bazı gözlemlerdi ve ışığın dalga özelliği ile açıklanamıyordu, ışık tanecik gibiydi ve photoelectric etki belkide bunun en açık örneğiydi.

3538 photoelectric olay şuydu, çeşitli metalleriniz varsa, herhangi birini alırsanız, üzerine belli frekansta ışık yollarsanız, bir elektron koparırsınız ve elektronun kinetic enerjisini bulabilirsiniz, çünkü hızını ölçebiliriz. kinetic enerjinin $1/2mv^2$ ye eşit olduğunu, ayrıca Thomson sayesinde elektronun kütlesini biliyoruz.

3606 bu ilginç bir gözlem, henüz rahatsız edici değildi, fakat önemli bir şeye işaret ediyordu, metalin bir eşik frekansı vardı, her metal farklı eşik frekansına sahipti. öyle ki metale ışık yolladığınızda, ışığın frekansı eşik frekansından düşükse hiç bir şey olmuyordu, hiç elektron fırlamıyordu, metalin üzerine eşik frekansından daha büyük bir frekansta bir ışık gönderdiğinizde ise elektron kopuyordu.

3639 insanlar bu gözlemi yapıyordu, fakat o zamanlar hiç anlamı yoktu. çünkü klasik fizikte ışığın frekansı ile enerjisi arasında herhangi bir ilişkiyi tanımlanmamıştı, bir metalden kopan en düşük enerjili elektronlar için bir eşik frekansının aşılması gerekiyordu. 3704 burada ne olduğunu grafik ile gösterebiliriz, buldukları şey şuydu: metalden kopan elektronları sayıyorsak ve eşik frekansının altında isek ve hiç bir şey göremezdik. 3722 Eşik frekansının üzerinde ise aniden elektronların koptuğunu gördünüz, ancak, kopan elektron sayısı ile frekans arasında gerçekten hiç bir ilişki yoktu.

3735 o zamanlar bunun insanlar için bir anlamı yoktu çünkü frekans ile kopan elektron sayısı arasında bir ilişki olmalı diye düşünüyorlardı, çünkü gelen frekans fazlaydı kopan elektron sayısının da fazla olması beklenirdi, fakat gördükleri bu değildi. 3751 photoelectric olay ile ilgili her şeyi çalışmaya karar verdiler. 3746 Bir noktada, birisinin parçaları birleştirmesini ve ne olduğunu açıklamasını ve bu olayı aydınlatmasını umut ettiler. 3802 (Bir şey yaptılar) elektronun kinetik enerjisini ölçmek kolaydı, ışığın frekansını fırlayan elektronların kinetic enerjisine karşı grafiğe geçirdiler. Ders notlarınızda ve bu slaytlarda klasik fiziğin öngörüsünü göstermek istedim.--bundan sorumlu değilsiniz, zaten bunu tartışmadık-- insanlar bu gözlemi yaparken bir sürpriz ile karşılaştılar. 3828 ilk gözlemden ışığın frekansı ile kopan elektronların kinetik enerjisi arasında doğrusal bir ilişki buldular. 3838 Bunun insanlar için bir anlamı yoktu, Bu olayı, şu grafikte görebilirsiniz, eşik enerjisinin altında hiç bir şey gözlenmez

3848 bu kinetik enerji ve frekans ile ilgiliydi, bundan sonra bakmak istedikleri şey ışık şiddeti ile kinetic enerji arasındaki ilişkiyi görmektir. 3900 kinetik enerji ile şiddet arasında bir ilişkinin olmasını bekliyorlardı. Çünkü bir ışığın şiddeti ne kadar yüksekse, enerjisinin de o kadar yüksek olduğu sanılıyordu, bu elektrona transfer edilen enerjinin daha fazla olması anlamına geliyordu fakat gördükleri hiç böyle değildi. 3918 gördükleri şey şuydu, frekansı sabit tuttuklarında, elektronun kinetik enerjisinde bir değişim olmuyordu, şiddeti ne kadar arttırırsanız arttırın hiç bir şey değişmiyordu. 3934 şiddet ile bir ilişki bulabilmek için fırlayan elektronların sayısı ile başka bir deney yaptılar, bekledikleri şey bir ilişki bulmaktı. 3950 burada, şiddet ve elektronların kinetik enerjisi arasında değil ama şiddet ile elektron sayısı arasında doğrusal bir ilişki gördüler. 4000 o zamanlar bu deneylerin bilimadamları için hiç bir anlamı yoktu, gerçekten bu deneylerin hepsi yapılmıştı, birinin bunları kullanması için ileri bir tarihe ertelendi, bu kişi Einstein dı. Einstein geldi, hepsini bir araya getirdi ve bir açıklama getirebildi. 4023 Einstein bütün farklı tür metalleri aynı grafiğe koydu ve bazı gözlemler yaptı, burada gösterdiğimiz Rb , K, Na gibi, metal üzerine gelen ışığın frekansını ile metalin yüzeyinden kopan elektronların kinetik enerjisi arasında bir grafik çizdi. 4050 burada bulduğu şey, hepimizin gördüğü gibi, bu çizgilerin eğimidir, eğim metal türüne bağlı olmaksızın bütün metallerde aynı idi. 4102 bütün çizgileri bir eşitliğe aldı, eğimin hep aynı sayıyı vermesi dikkatini çekti, bu sayı 6.626×10^{-34} J.s dir. 4113 ayrıca bu metallerin her birinin kesim

noktasının buradaki sayıya eşit olduğunu buldu. Bu sayı eğim çarpı her bir metal için gereken minimum frekans idi yani eşik frekans dı.

4135 bu sayıyı daha önceden biliyordu, bu sayıya çok seneler önceden aşınaydı, bu Planck sabiti idi. Planck bu sayıyı çok seneler önce bazı olayları gözlemleyerek bulmuştu. siyah cisim ışıması deneyini kitabınızdan okuyabilirsiniz. 4153 gözlediği şeyi bu verilere uydurmak için bu sabite ihtiyacı olduğunu gördü. 4159 Einstein'ın gözlediği ile bu aynı şeydi, eğim ve bu kesim noktasını açıklamak için bu sabite ihtiyacı vardı.4211 daha ileri gitti ve bu yeni sabit ile bu çizgilerin ne olduğunu tam olarak açıkladı , burada h Plack sabiti dir,

4223 y eksenini kinetik enerjidir, bunu eşitlikte yerine koyabiliriz, 4228 x eksenini gelen ışığın frekansını m in ne olduğunu biliyoruz. 4234 m , burada h ye eşittir ve eşitlikte yerine koyarız. 4237 b kesim noktasıdır ve *eksi h x eşik frekansına* eşittir.

4247 yeni bir eşitlik elde ettik, buna photoelectric olay denir, *kinetic enerji eşittir h nü eksi h nü sıfır*, yani metalin eşik enerjisi dir. 4259 Einstein gözlemlerinden şu sonuca vardı: kinetik enerji şüphesiz bir enerji terimiydi, nü her zaman enerji olmalıydı çünkü enerjiye eşitti. Bunun başka bir yolu yoktu. 4313 aynı zamanda birimleri üzerinde de çalıştı , çünkü kinetic enerji için J kullanıyorduk, o zaman *hxnü* , *joule X saniye X saniyenin tersi* olmalıydı. 4323 bu çok önemli bir sonuçtu, Einstein burada yaptığına göre enerji eşittir *hxnü* veya *hxnü* bir enerji terimidir.

4335 bu sonuç iki gözlem ile birlikte ilerledi, ilki fotonun enerjisi frekansı ile orantılıdır. 4343 bu daha önce hiç fark edilmemişti, fotonun frekansını bilirsek, ışığın enerjisini de bilmiş oluyorduk. 4353 çünkü frekans ve dalgaboyu arasındaki ilişkiyi biliyorduk, aynı şeyi yapabilirdik, dalgaboyunu bilirsek, ışığın enerjisini de bilmiş olurduk.

4401 burada foton terimini kullandım, çünkü Einstein, ışığın enerji paketçiklerinden meydana geldiği sonucuna varmıştı ve her bir paket, Planck sabiti içeriyordu. 4413 plank sabiti ile frekansı çarpmamızın nedeni budur, Herhangi bir frekans enerjiye sahip olamaz, belli bir enerji için devamlı bir frekansa sahip olamazsınız, enerjiler gerçekte foton adı verilen paketçiklerin içindeydi. 4430 Bildiğiniz gibi Einstein bilime ve relativiteye çok çok önemli katkıda bulunmuştur, fakat enerji, frekans ve foton fikri arasındaki ilişkilere yaptığı bu çok önemli katkılarından dolayı daha çok bilinir.

4448 fotoelektik olayı, başka bir yoldan düşünmemizi sağlamıştır, gelen fotonun enerjisi burada *i* alt indisini ile gösterilmektedir ve *hxnü* gerçekte bir enerjidir. *hxv₀* çarpımı eşik frekansıdır, bu terimi pek çok problemde görebilirsiniz, buna iş fonksiyonu denir . iş fonksiyonu metalin eşik frekansı ile aynı şeydir, ancak Planc sabiti ile çarpmak gerekir. İş fonksiyonu, belli bir metalde, metal yüzeyinden bir elektron koparmak için gereken minimum enerjidir,

4542 photoelectric olayı incelemek istediğimizde bakacağımız yeni şematik yol budur. bu sisteme verilen toplam enerjidir, bu serbest elektronların enerjisini gösterir. bu metal yüzeyine gelen fazla enerjidir. buradaki enerji iş fonksiyonudur ve elektronları koparmak için gerekir. geri kalan enerji, kopan elektronların kinetik enerjisi olacaktır.

4617 bu eşitliği iki Şekilde yeniden yazabiliriz, birincisinde, kinetic enerji, giren toplam enerji eksi iŐ fonksiyonudur. ikincisinde, baŐlangıĥ enerjisini bulmak istiyorsak, eşitliği yeniden düzenleriz, Őuraya bakın, burada baŐlangıĥ enerjisi eşittir kinetic enerji eksi iŐ fonksiyonu dur.

4652 gitmeden önce, bir bakalım, bu konudan bir tıklatıcı sorusu yaparsanız çok iyi olur, herkes tıklatıcılarını alsın ve söyleyin bakalım. 4 eV luk bir enerjiye sahip ışın demeti, altın yüzeyine çarparsa, fırlayan elektronların maksimum kinetic enerjisi ne olur? burada altın yüzeyinin iŐ fonksiyonu 5.1 eV dur

4732 Niĥin devam etmiyorsunuz, 10 saniyeniz var, Bilmiyorsanız, en iyi tahmini yapın, sadece cevabınızı tıklayın, 4744 neler yapmışsınız bir bakalım. 4748 bazılarınız yapmış, bazılarınız yapmamış gibi görünüyor, cevap hiç bir electron fırlamaz olacaktı, 4755 çünkü, iŐ enerjisi bir elektronu koparmak için gereken minimum enerjidir, gelen ışının enerjisi daha küçükse elektron kopartamaz. 4819 Çarşamba günü görüşmek üzere