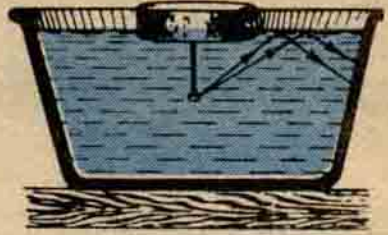


## GÖRÜNMEYEN TOPLU İĞNE

**Y** uvarlak bir mantar parçasına bir toplu iğne batırın ve toplu iğne aşağı doğru gelecek şekilde mantarı yüzdürün (şekil 1.) Başınızı ne kadar eğerseniz eğin mantarın altındaki iğneyi göremezsiniz. Acaba iğneden gelen ışınlar gözünüze neden gelememektedir. Burada fizikde "total iç yansımaya" denen olay söz konusudur. Şekil 2'de bir ışının sudan havaya (daha doğrusu ışını fazla kıran bir ortamdan az kıran bir ortama) nasıl geçtiğini görüyoruz. Geliş açısı alfa  $48.5$  dereceden küçükse sudan gelen ışın alfadan daha büyük bir beta açısı yaparak sudan dışarı çıkar. Geliş açısı alfa  $48.5$  derece ise ışın suyun yüzeyini yalayıp gider. Alfa açısı  $48.5$  dereceden büyükse yüzeye gelen ışın oradan dışarı çıkamaz, su yüzeyi parlak bir ayna imişçesine tamamen geriye suyun içine doğru yansır. Demek ki  $48.5 + 48.5 = 97$  derecelik bir koni içinde kalan ışınlar su yüzeyine çıkabilir, bu koninin dışında kalan ışınlar sudan dışarı çıkamazlar.  $48.5$  derecelik açı su için kritik açıdır.  $97$  derecelik bir koninin dışında kalan ışınların sudan dışarı çıkamaması olayına total iç yansımaya denir. En iyi aynalar bile gelen ışınların bir kısmını emer, bir kısmını yansır. Su yüzeyi ise ideal aynadır, çünkü  $97$  derecelik koninin dışında gelen bütün ışınları yansır. "Fizikçi balık" veya belki balık fizikçi için en önemli konu iç yansımadır, çünkü su altında görüş bununla ilgilidir. Balıkların neden gümüş renkli olduklarını hiç düşündünüz mü? Bu, biyolojide mimik veya taklit denen olayla ilgilidir. Suyun içinden su yüzeyine bakan bir göz su yüzeyini gümüş bir ayna gibi görür (total iç yansımaya sonucu.) Balıkların düşmanları tarafından farkedilmemeleri için gümüş renkli olmaları gerekir, çünkü gümüş renkli fon üzerinde aynı renkteki balıkları ayırt etmek güçtür, böylece balıklar daha büyük balıklardan bir ölçüde korunmuş olurlar.

## SU ALTINDA GÖRÜŞ NASILDIR ?

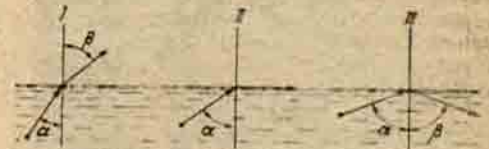
Suyun altından bakıldığında dünyanın nasıl görüneceği hakkında çok az kişi doğru bilgi sahibidir. Suyun altından bakınca tam tepenizdeki bulutları aynen görürsünüz, çünkü dikey ışınlar kırılmaz. Fakat su yüzeyine dar açı ile erişen ışınlar kırılacağından su içinden bakan bir göz su dışındaki cisimleri çok kısalmış olarak görür. Çünkü su yüzeyine  $180^\circ$  lik bir açı içinden gelen bütün ışınlar su içine



ŞEKİL 1  
Görinmeyen toplu iğne

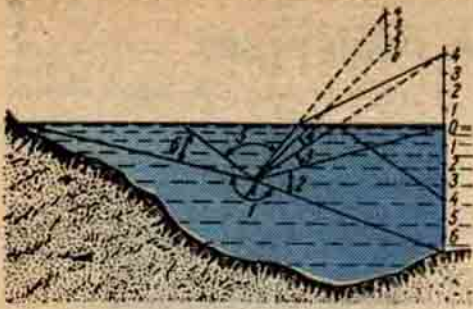
$97^\circ$  lik bir koni yaparak girer. Işınları su yüzeyine  $10$  derecelik bir açı ile gelen cisimler o derece biçimi bozulmuş olarak görülür ki tanınmaz. Fakat su altındaki bir insanı en şaşırtan ve hatta belki de korkutan şey su yüzeyinin kendisidir. Dipten bakınca su yüzeyini düz olarak görmezsiniz. Kendinizi çok büyük bir kraterin dibinde hissedersiniz, bu kraterin kenarları  $97$  derecelik bir açı yapacak şekilde su yüzeyinde birbirine yaklaşır. Kraterin tepesinde gökkuşağının bütün renklerini görürsünüz. Bunun nedeni beyaz ışığı oluşturan 7 renkten herbirinin farklı açılarla kırılması, yani farklı kırma indilerine sahip olmasıdır. Bu gökkuşağı renkli saçakların arkasında ise pırıl pırıl gümüş bir ayna gibi su yüzeyi vardır, suyun içindeki her şey bu su yüzeyi aynasından yansıyarak görülecektir.

Yeri gelmişken belirtelim ki yarısı suyun içinde, yarısı ise dışında bir cisim kırılma oranları nedeni ile çok değişik ve son derece ilginç görünüşler alacaktır. Örneğin şekil 3'te bir ırmağın derinliğinin bir ölçü singi ile ölçülmesi görülüyor. Acaba suyun içinde A noktasında olsanız neler görürdünüz? A noktasında  $360$  derecelik bir açıyı bölümlere ayırarak her bölümdeki görüşü inceleyelim. 1 açısında ırmağın yatağını görürdünüz -tabii yeterli ışık varsa-. 2 açısında singin sualtı kısmını



ŞEKİL 2  
Işığın sudan havaya geçişi. I'de alfa açısı  $48.5$  ve ışın suyun yüzeyini yalayıp çıkıyor. II'de total tam yansımaya olayı.

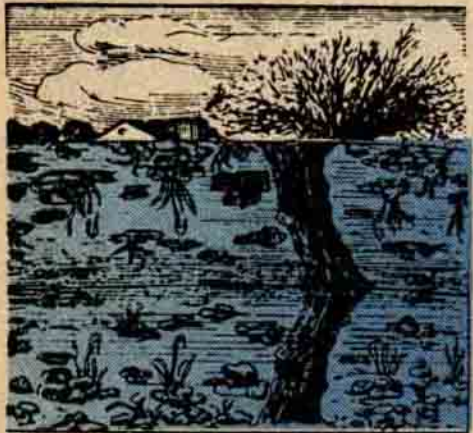




**ŞEKİL 3**

Yarısı suyun içinde bir ölçme sırgına baktık. 1'de ırmak yatağı bulanık görülür, 2'de sırgın batık kısmı bulanık görülür, 3'de sırgın su yüzeyinden yansıyan hayali ve su üstü kısmının sualtı kısmından kopuk görülmesi, 4'de dibin yansıma hayali, 5'de suüstü dünyası bir koni içinde görülür, 6'da dibin yansıma hayali..

olduğu gibi görecektiniz. 3 açısı içinde iseniz sırgın sualtı kısmının su yüzeyinden yansıyan başaşağı hayalini farkedersiniz ( total iç yansıma). En ilginç ise 3 açısı içinden su dışına baktığınız zaman gördüğünüzdür. sırgın suüstü kısmı sualtı kısmından tamamen ayrılmış olarak havalarda bir yerde görülecektir, ayrıca bu suüstü kısmının üzerindeki bölüntüler özellikle suya yakın kısımlarda sıkışmış biçimdedir. İlkbaharda sular yükselince sular altında kalmış bir ağaç suyun altından bakınca şekil 4'deki gibi hayal verir. Ağacın suyun altında kalmış gövdesi başaşağı olmuş gibidir. Daha da ilginç siğ bir suda ayakta durmakta olan bir yüzücüyü bakınca görülür (şekil 5). Adam su yüzeyi hizasında ikiye bölünmüştür, üstteki hayal bacaksız, alttaki hayal ise başsız, fakat dört bacaklı ve dört kolludur, bunun nedeni açıktır: adamın suyun altında kalan kısmı iki hayal verir, bunlardan ayakları dibe basan hayal adamın bacaklarından gelmektedir, adam



**ŞEKİL 4**

Sualtında kalmış bir ağacın sualtından görülüşü..

bacaklarından su yüzeyine asılmış gibi duran hayal ise dibe basan bacakların su yüzeyinden yansımaları sonucudur. Yüzücü bizden uzaklaştıkça suüstü kısmı küçülür ve sonunda nihayet yalnız yüzen bir kafa görürüz.

Acaba suyun altına dalarak bu söylediklerimizi görebilir misiniz? Ne yazık ki hayır. Bir kere bunları görebilmek için deniz yüzeyinin çarşaf kadar düz olması gereklidir, diğer yandan gözün saydam elemanlarının kırma indisi hemen hemen suyunki kadar olduğundan su altında görüş bulanıktır. Bir dalgıç başlığı içinden veya bir denizaltı lombozundan baksak bile yine denizaltı dünyasını balıkların gördüğü gibi göremeyiz, çünkü ışınlar göze varmadan önce yine havadan geçmek zorundadır, böylece kırılma olayı tersine dönmüş olur, yani kırılma nedeni ile meydana gelen biçim değişimleri normale dönmüş olarak gözükür.

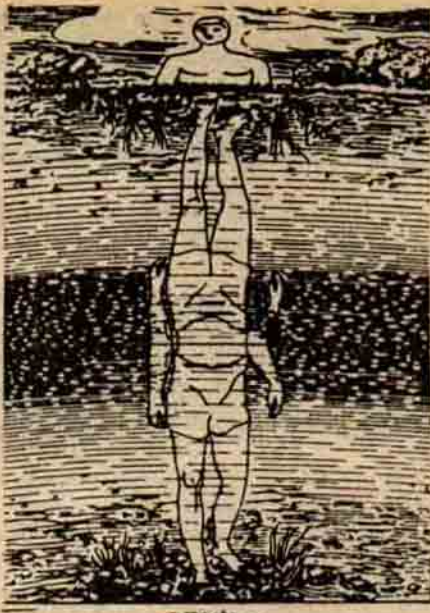
Fakat yine de denizaltının o esrarlı ve güzel dünyasını balıkların nasıl görebildiğini biliyoruz. Bunun için özel bir fotoğraf makinesi kullanılır, bu makinede mercekle çıkartılarak yerine ortasında bir delik olan bir metal levha konmuş ve objektif ile film arası tamamen suyla doldurulmuştur. Böyle bir makine ile alınacak resimler balıkların denizaltı dünyasını nasıl gördüklerini ortaya koyar. Amerikan fizikçisi profesör Wood bu yöntemle çok ilginç resimler çekmiştir (şekil 6). Balıkların nasıl gördüğünü daha basit olarak şöyle öğrenebilirsiniz: berrak ve durgun bir göle bir ayna daldırın ve aynaya değişik açılar vererek suüstü cisimlerine aynada bakın. Yukarıda anlattıklarımızı en ince ayrıntısına kadar görebilirsiniz.

Özetlersek durum şudur: Göz deniz suyuna değecek şekilde denizaltı dünyasına bakıldığında manzara bulanık ve deformedir. Balıklar ise aynı koşullarda net olarak deforme cisimler görür. İnsanın gözü ile deniz suyu arasına hava girmesini sağlayan dalgıç başlığı veya denizaltı lombozu gibi şeyler denizaltının net ve deforme olmayan görünümünü sağlar. Ancak deniz hayvanları denizaltını net görebilir, bir kara hayvanı denizaltına indiğinde çaresiz kalır, çünkü hem görüşü bulanıklaşmış, hem de gördüğü deformiteler yüzünden şaşkına dönmüştür. Oysa deniz hayvanları kırılma olayı nedeni ile meydana gelen biçim değişimlerini doğru yorumlamayı öğrenmişlerdir.

## **DALGIÇLAR NASIL GÖRÜR?**

Bir inci avcısı, sünger avcısı vb. istediği kadar deneyimli olsun, dalgıç başlığı takmadığı sürece denizaltında net göremez. Bunun nedeğini açıklamadan önce size şu soruyu soralım: ünlü romancı Wells'in yazdığı Görünmeyen Adam romanını bilirseniz, acaba görünmeyen adam her ne kadar romanda görebiliyorsa da aslında görebilir mi? Hayır, hiç bir şey göremez. Nedeni açıktır: havanın ve gözünün kırma indileri ayıdır, bu nedenle havadan göze geçen ışınlar kırılmaz, ışınlar kırılmadan da ağı tabakada hayal oluşamaz. İşte

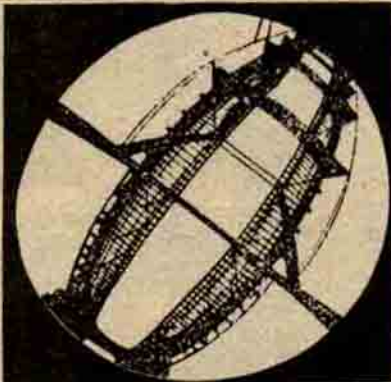




ŞEKİL 5

*Şiğ yerde göğsüne kadar suya dalmış yüzücünün su içinden görülüşü...*

aynı nedenle suyun altındaki bir kimse de net göremez, çünkü suyun kırma indisi 1.34 iken insan gözünün saydam ortamlarının (kornea, gözsuyu, mercek, camısı cisim) kırma indisi de 1.34 civarındadır (yalnız merceğinki 1.43). Bir ışının kırılması için kırma indisi farklı bir ortama girmesi gerekir, örneğin hava ve suyun kırma indileri farklıdır ve havadan suya giren ışın, kırılır, aynı nedenle havadan göze giren ışınlar kırılır, bu kırılma sayesinde ki ışınlar ağ tabaka üzerinde bir noktada toplanabilir ve böylece cisimler görülebilir. Suyun ve gözün kırma indileri hemen hemen aynı olduğundan su içindeki cisimlerden çıkıp göze gelen ışınlar çok az kırılır, bu nedenle retina'nın (Ağ tabaka) çok arkasında birleşerek çok bulanık bir hayal



ŞEKİL 6

*İrmağı aşan demiryolu köprüsünün irmağın suları altından bakınca görünümü...*

verir, ışınların ağ tabaka arkasında birleşmesi hipermetropide görülür, demek ki denizaltındaki bir göz hipermetrop olmaktadır. Buna karşı miyoplar denizaltında az çok net görürler (miyop göz önden arkaya uzamış olduğundan denizaltında normalde ağ tabaka gerisine düşen hayal miyoplarda ağ tabaka üstüne düşer). Deneyi denize girmeden de yapabilirsiniz: bir arkadaşınızdan kalınca camlı bir miyop gözlüğü rica edip takınız bu bikonkav camlar ışığı ağ tabakanın çok arkasında toplar ve görüşünüzü bulandırır, denizaltında da gözünüz aynı şekilde bulanacaktır. Peki ışınları fazla kırıcı mercekler takarak denizaltına inilse bulanık görüş önlenemez mi? Adı camdan yapılmış merceklerle bu yapılamaz, çünkü adı camın kırma indisi 1.5 dir, bu ise suyun kırma indisi olan 1.34'e yakındır. Buna karşı kırma indisi 2 kadar olup ışığı çok fazla kıran flint camından yapılmış mercekler sualtında az çok normal görme sağlar. Balığın göz merceği ise hayvanlar arasında kırma indisi en yüksek olandır. Ayrıca bu mercek küre biçimindedir ve insanda olduğu gibi biçim değiştirmek yerine leri yer değiştirerek uyum yapar. Balığın göz merceği ışınları çok kırabildiği için balık sualtında net görür. İnsanın ise sualtında net görebilmesi için gözleri ile su arasında bir hava tabakasının bulunması şarttır, çünkü sudan göze giren ışınlardan farklı olarak havadan göze giren ışınlar kırılma yapabilir. İşte dalgıçlar bu nedenle başlık giyerler. Aynı nedenle Jules Verne'in "Denizaltında 20 000 Fersah" romanındaki Nautilus denizaltısındaki kiler lombozlardan denizaltı dünyasının akıllıca ve güzeliklerini seyretmişlerdir. Dalgıç başlığı ve lomboz düz camla örtülü bir pencere içerir. Işınlar düz camdan kırılmadan geçer ve gözlerinin önündeki hava sayesinde insan karada olduğu gibi net görür. Suyun ve camın kırma indileri yakın olduğundan büyüteçler, mikroskoplar, teleskoplar sualtında büyütme yapamaz, aynı nedenle gözlüklü olanlar bu gözlükleri ile sualtına daldıklarında gözlük yokmuş gibi görmeğe başlarlar, yani gözlük camlarının etkisi su altında kaybolur. Kırma indisi camdan daha büyük bir sıvı (örneğin monobromonaftalen) alın ve bu sıvı içinde önce büyüteçle (bikonkav mercek), sonra da kalınca camlı bir miyop gözlüğü ile cisimlere bakın. Normalde büyüteç cisimleri büyütür, miyop merceği (bikonkav mercek) ise cisimleri küçültür. Fakat monobromonaftalen içinde büyüteç cisimleri küçültürken bikonkav mercek de büyütür. Dalgıç gözlükleri içi hava dolu, bir yüzleri düz, diğer yüzleri konkav merceklerdir, böyle bir mercek sualtında büyüteç görevi yapar. Kırılma nedeni ile göller vb. olduğundan 1/3 daha şiğ görülür ve bu hal kaza ile boğulmalara neden olabilir. Yine kırılma nedeni ile berrak bir gölün dibini düz de olsa konkav görülür, bir leğene atılan madeni paralar yüzeye yakınlaşmış gibidir, kaşık su dolu bardak içinde kırılmış gibi durur, yıldızlar oldukları yerden başka yerde görülürler.

Ya. Perelman'in *Physics for Entertainment* adlı kitabından