



Dok. İncelemesi / Foto: Photopix.com

Eski Arap inancında, bulutları yöneten melek Kuzah'la fırtına tanrısı şeytan Kuzah'ın alâmetleri... Yunan mitinde Zeus'un, Hera'nın habercisi, yerle göğü birleştiren yağmur kuşağı tanrıçası Iris... Altından geçen erkeği kadın, kadını erkek yapan, üstünden atlamayı kimsenin düşünmediği tılsımlı köprü... Yağmur damlacalarının Güneş'i optik ve matematikle yontarak yaratıp sundukları renk şöleni...

Ebemkuşağı, Kavş-i Kuzah, Alâim-i Semâ Gökkuşakları

Neden gökkuşağı olur, bilir misiniz? Bilseniz bile, yanılıp yanılmadığınızı anlamaya çalışın. Kağıdı, kalemi alıp, kırılma, yansıma, tam yansıma, renklere ayrışma gibi optik kurallarını kullanarak kendinizi bir kere sınayın. Çok küçük olduğu için küresel bir şekil alan yağmur damlacığını çizin; güneşten gelip damlacık içine giren-çıkan değişik ışınları dik katle belirtin; şunları göreceksiniz:

*Damlacık yüzeyine 0-90° arasındaki her açıyla düşen sayısız güneş ışını vardır.

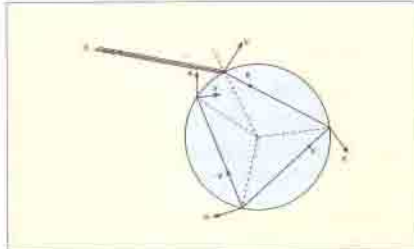
*Bunların hepsi kısmen yansır, kısmen de kırılarak damlacık içine girer; yani her ışın, damlacık yüzeyinde iki çatala bölünür.

*Damlacık içine giren her ışın, onun yüzeyinde başka bir noktada yine kısmen yansiyarak damla için-

de kalır, kısmen kırılarak dışarı çıkar. Tam yansıma dediğimiz, ışının tümüyle yansiyarak içeride kaldığı durum hemen hemen hiç olmaz.

*Işının damlacık içinde kalan ko-

lu, tekrar tekrar yukarıda sözü edilen yansıma-kırılma değişikliğine uğrayarak çatalaşır; fakat her seferinde kırılarak dışarı kaçan kayıp ışın yüzünden, gittikçe zayıflar.



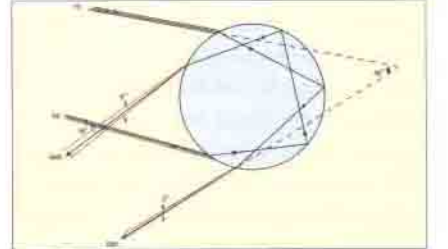
Bir yağmur damlacığı üstüne düşen herhangi bir ışının geçirdiği değişiklikler.

G: Güneşten gelen ışın;

Y: Yansıyan ışın;

K: Kırılan ışın.

Girişteki kırılmada ışının saf renk bileşenleri değişik açılarda saparak ayrışır. Damlacıktan çıkarkenki ikinci kırılmada sapmalar biraz daha büyür.

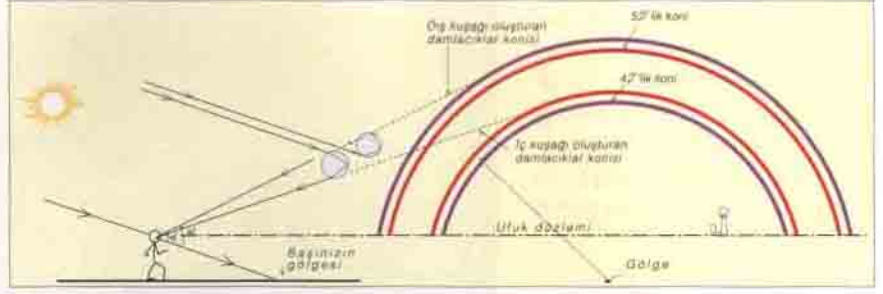


Giriş ve çıkış doğrultuları arasındaki sapma açıları bir minimumdan geçen oldukça geniş bir ışın huzmesi (G1), damlacık içinde bir kez yansıdıktan sonra 42° sapma etrafında yoğunlaşarak birinci gökkuşağına (GK1); başka bir huzme (G2) ise, iki kez yansıdıktan sonra 52° etrafında daha geniş bir yelpaze şeklindeki ikinci kuşağa (GK2) dönüşür.

*Güneş ışığının saf renkte bileşenlerine ayrışması, girişteki ilk kırılma ile, sıfır, bir ya da daha çok sayıdaki iç yansımadan sonra, son çıkıştaki kırılma sırasında iki kez olur. Ama pek çok ışın ve pek çok yansıma olduğu için, damlacığın her tarafından âdeta dışarı fişkıran, pek çok da basit renkte ışın vardır.

Buraya kadar iyi. Ama saf renklerin iç içe nasıl düzgün daire şeklinde sıralanarak oluşabildiğini açıklayamadık henüz. Göğün bakmakta olduğumuz kısmında, etrafa her yönde, her renkte ışınlar saçan sayısız damlacık varken, nasıl oluyor da bazı "özel" damlacıklar sıralanarak, gökkuşağı görüntüsü vermek üzere "bizi" seçiyor? Cevap basit, ama açıklanması biraz karışık.

Kırılma sonucunda bileşik bir ışık ışını saf renk bileşenlerine ayrışır. Bu, kırılma indeksinin ışığın dalga boyuna bağlı olmasından ileri gelir. Bir saydam ortamdan diğerine geçen ışının yönü, kısa dalga boyunda uzun dalga boyunda olduğundan daha fazla sapar. Böylece, kırmızıdan mora bütün bileşenler dar bir yelpaze oluşturur; prizmada olduğu gibi... Damlacığa giren ışınla, belirli bir sayıda iç yansımadan sonra dışarı çıkan, renklerine ayrışmış fakat zayıflamış ışın genellikle aynı yönde olmaz; bunların arasındaki, "sapma açısı" diyebileceğimiz yön değişikliğini ele alalım. Damlaya giren ışının geliş açısı (ışının damlacık yüzeyine dik yönle yaptığı açı) 90° den başlayarak azaldıkça, sapma açısı da önce azalıyor; en düşük bir değere eriştikten sonra tekrar artmaya başlıyor. İşte bu kritik dönüş noktasında, ol-



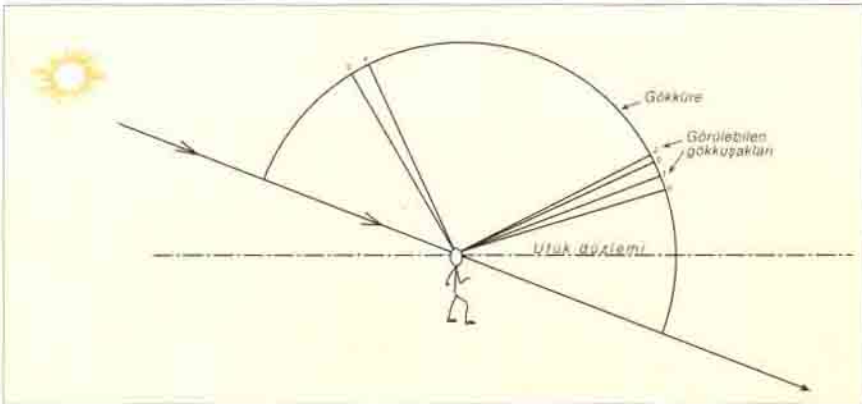
Gökkuşağını size getiren özel konumdaki sayısız damlacık, tepesinde gözünüzün bulunduğu bir koni üzerinde yer alır. Şekilde, tipik iki damlacık ve içlerinden geçen sarı ışınlar büyütülerek gösteriliyor. Kırılmalar sonucunda kırmızı mora göre daha az saptığı için, birinci kuşakta üstte, ikinci kuşakta ise altta yer alır.

dukça geniş bir açılal yelpaze içinden gelerek damlacık üzerine düşen fazla miktarda güneş ışını, hemen hemen aynı (en düşük) sapmayı gerçekleştirdikleri için, birbirlerini destekleyerek kuvvetli bir huzme oluşturabiliyorlar. Bu huzmeleri gözümüze erişen bütün damlacıklar ise, güneşle gözümüzü birleştiren eksen etrafında, tepe yarı açısı en küçük sapma açısı olan bir koni üzerinde bulunuyor. Böylece renkli huzme, sanki tam tepe noktasından seyredilen bir koni yüzeyi gibi, yani bir daire yayı şeklinde görünüyor; bu yüzden belki de gökkuşağına "renk konisi" demek daha doğru olurdu. Görüldüğü sanılan dairenin tam merkezinde de başımızın güneş ışığı altındaki gölgesi bulunur (tabii bir yere gölgesi düşüyorsa).

Şimdi, havadaki kırılma indeksi 1.33 olan bir su damlacığını daha yakından ele alabiliriz. Damlacık içinde sadece bir defa yansıldıktan sonra dışarı çıkan ışınlar, yaklaşık 42° lik bir koni ile ilk gökkuşağını; iki defa yansıldıktan sonra çıkanlar ise 52° lik bir koni olarak daha dıştaki ikinci gökkuşağını verir. Biraz dikkatli bir ince-

leme, renk sıralamasının ilk kuşakta içte mor dışta kırmızı; ikincide içte kırmızı dışta mor olacağını gösterir. Damlacık içindeki yansıma sayısı arttıkça, oluşacak her yeni kuşağın eni daha genişlerken, renkleri gittikçe zayıflar. Üçüncü ve dördüncü kuşaklar, sadece daha zayıf olmakla kalmayıp ayrıca güneş tarafında oluştukları için, daha sonrakiler ise görülemeyecek kadar zayıf oldukları için, ikiden fazla gökkuşağı görmek herhalde kimseye nasip olmamıştır.

Böylece, ikincisi biraz nazlı görünen iki taneyle sınırlı da olsa, herkesin tamamen kendine ait bir gökkuşağı takımı olduğu ortaya çıkıyor. İkimiz de aynı şekilde görsek, hatta birbirimize "göstersek" bile, benim gökkuşağımı sizin, sizinkini benim görmemiz mümkün değil; çünkü iki ayrı gözün aynı anda aynı noktadan bakmasına izin yok. Sivri ucu daima gözümüzden başlayan ve bizden hiç ayrılmayan, kişisel renk konilerimiz, yani gökkuşaklarımız, daima bizimle birlikte hareket edecekler, açıları hep aynı kalacak; yani "gökkuşağı altından geçme" fantezisi hiçbir zaman gerçekleşemeyecek.



İlk altı gökkuşağının gökküredeki dağılımı. Yalnız ilk iki kuşak görülebilir; üçüncü ve dördüncü kuşaklar hem daha zayıf ve yaygın hem de güneş tarafında oldukları için, daha sonrakiler ise daha da zayıf oldukları için görülemezler.

Başka Yağmurların Kuşakları

Yağmuru su yerine başka sıvılardan olabilecek hayali gezegenlerde gökkuşağı olabilir mi? Genellikle birinci gökkuşağının oluşması biraz kritik. Metan, amonyak, kükürtlü hidrojen, ... yağmurları altındaki gökkuşakları, kırılma indeksi 2'nin altında olduğu sürece, bizimkinden farklı açılarda (yani çaplarda) olmak üzere görülebilirdi. Her ne kadar sıvı halde bulunamasa da, elmas "damlacıklı-

nyla" yüklü bir atmosfer dü-
şünmemiz yadırganmazsa, el-
masın yüksek indeksi (2.42) bi-
rinci kuşağa izin vermediği
için, gökkuşakları ancak ikinci-
den itibaren görülebilecek, fak-
kat bunlar daha geniş ve parlak
olacaklardı.

Yansımaların Oyunu

Durgun bir göl ya da deniz kıyısında iseniz, asıl gökkuşağı-
nızla birlikte iki tür yansıma
görme şansı elde edebilirsiniz.
Bunlardan biri, hem Güneş
hem de göl arkanızda iken olur:
Güneşin gölden yansıyarak, gö-
lün "içindeki" görüntüsünden
çıkıyormuş gibi gelen ışınları-
nın oluşturduğu, daha yüksek
bir gökkuşağı. Bu kuşağın ufuk
çizginize göre simetriğini haya-
linizde canlandırabilirsiniz, asıl gök-
kuşağınız ile tam bir daire oluşturdu-
ğunu göreceksiniz. Gölden, onun ar-
kanızda bir yerlerde olduğunu unuta-
cak kadar uzakta iseniz, gördüğünüz
manzarayı mucize olarak kabul etme-
niz mümkün. Bir diğer yansıma, gü-
neş yine arkanızda fakat göl önünüz-

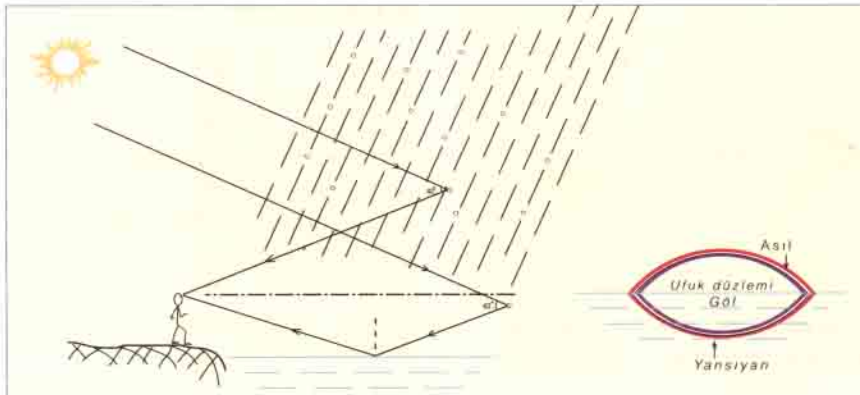
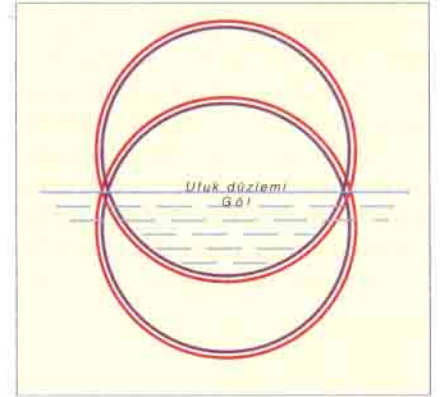
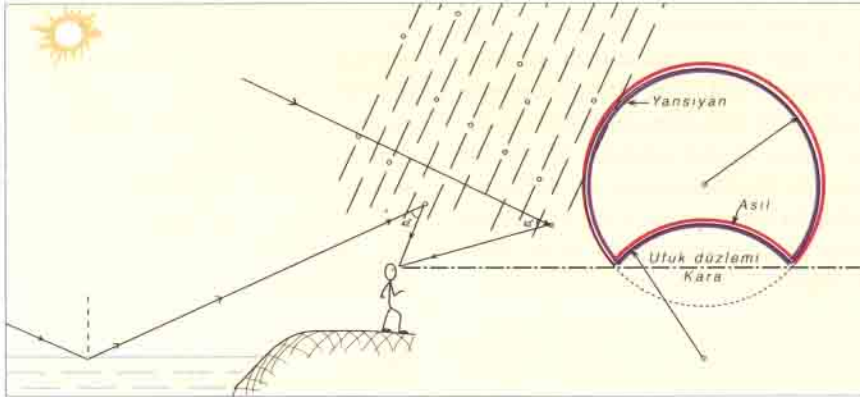


de ise meydana gelebilir: Göl ayna-
sındaki kendi görüntünüzün "görebile-
ceği", aslında size ait olmayan bu
kuşağı oluşturan ışınlar, size ancak
gölden yansıyarak görünebileceği
için, asıl gökkuşağınızla, onun göl yü-
zeyinden yansıyan simetrik hayalini
birlikte görürsünüz. Eğer kıydan

uzakta, göl ortasında iseniz, her
iki tür yansıma da mümkün
olabilir. Ve önünüzde, birbirleri
ile ufuk çizgisi üzerinde kesi-
şen, simetrik, iki ayrı tam daire
kuşak oluşur. Etrafta başka
kimse yoksa, bu çok ender gö-
rülebilecek hazinenin sadece
size ait olduğuna artık inanabi-
lirsiniz.

Akşama Doğru

Gökkuşağının çoğunlukla yağ-
murdan sonra ve akşama doğru
görüldüğünü farketmişsinizdir.
Acaba neden? Bunun açıklama-
sı kolay: Bir kere, atmosfer yay-
gın şekilde su damlacıkları ile
yüklü olmalı ki renk konisi ye-
terince derin olabilsin; böylece
koni üzerinde bulunan, birbir-
lerini destekleyecek damlacık
sayısı çoğalsın; o halde yağmur
biraz önce yağmış ya da yağıyor
olmalı... İkincisi, renklere ayrışacak
güneş ışığı olmalı... Yağmurla birlikte
güneş ışığı ise, genellikle üstümüz-
deki yağmur bulutları kütesinin ba-
tıya doğru son bulduğu yerden güne-
şin açığa çıkmasıyla, yani akşama
doğru (bazan da sabah, gün doğduk-
tan biraz sonra) gözlenir. Bu da, çoğu



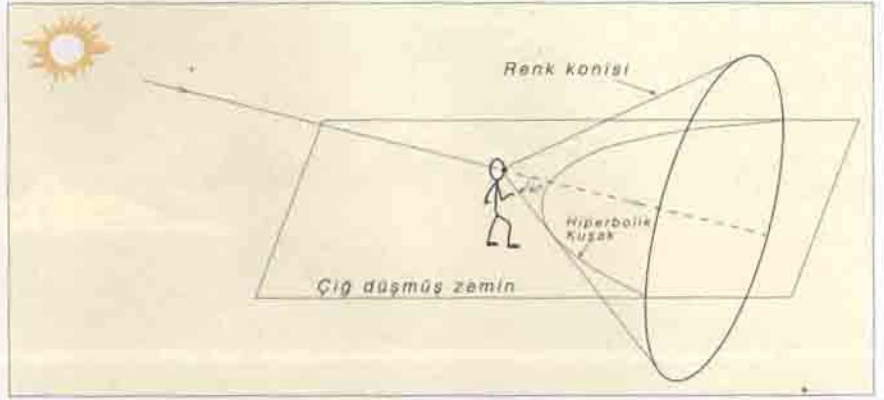
Arkanızda bulunan gölden yansıyan
güneş ışınları, sanki göl aynasındaki
güneşin hayalinden çıkıyormuş gibi,
size ikinci bir güneş kazandırır. Bu
hayali güneş ufuk düzleminizin altında
olduğu için, onun, oluşturduğu kuşak
asıl kuşaktan daha yüksekte görünür.
Göl önünüzde ise, bu sefer sizin
göldeki hayalinizin görebileceği
kuşağa, gölün yansıtması yardımıyla
siz de ortak olursunuz. İki kuşak, ufuk
çizginize göre simetrik. Eğer gölün
ortasında iseniz, her iki yansıma olayı
birleşerek, size simetrik bir tam kuşak
ikizi sunar.

zaman, yağmurun son bulma eğilimine bir işaretir. Güneşin çok alçakta, ufuk çizgisinin hemen üstünde olması durumunda, kırmızı dışındaki renklerini atmosferde kaybetmiş olabilir; ama üzülmeyin, gökkuşağınız bu sefer kırmızı bir kuşak olarak yine belirecektir.

Güneş daha yüksekte iken de gökkuşağı olabilir. Ama, başımızın yerdeki gölgesi bize yakın olduğu için, merkezi bu gölge olan dairesel, renkli kuşak, yerdeki güneşle iyice aydınlanmış, açık-koyulu diğer görüntülerle yarışmak, onları yenerek ayırdedilebilmek zorluğu ile karşı karşıyadır. Gine de, dikkatli bir gözlemci, basınçlı hortumdaki bir iğne deliğinden fışkırarak toz halinde havaya dağılan su damlacıklarının meydana getirdiği bir "mini" gökkuşağını; hatta Güneş tepedeyseniz kuşağın tam bir daire tamamladığını farkedebilir (Bilim ve Teknik Çocuk, Eylül 1997). Tabii ki kuşağın koni açısı hep aynı kalır; 42 derece.

Çarpık Bir Kuşak

Alışık olduğumuz daire yayı şeklindeki gökkuşağları, arka plandaki, genellikle uzak, yeri ve derinliği pek iyi anlaşılamayan, bulutlu bir göğe



Çiğ düşmüş zeminin renk konisiyle kesiştiği noktalarındaki damlacıklar, sabah güneşini geri çevirerek size ender görülen bir renk kuşağı sunar. Kuşağı yere yapışık algıladığınız için, o artık daire değil, bir hiperbol (daha doğrusu, bir konik) parçasıdır.

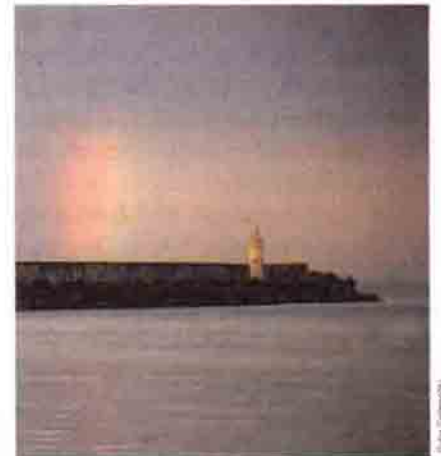
karşı görüldüğünden, tam tepesinden bakılan bir dairesel koninin algılanabileceği gibi, daire yayı olarak yorumlanır. Yağmur damlacıkları bu koni yüzeyinin herhangi bir yerinde, bizden belki 1 metre, belki 1000 metre uzakta bulunabilir. Bazan, çok seyrek te olsa, çok özel bir başka durumla da karşılaşabiliriz. Gece radyasyonla soğuyan atmosferin yerdeki bazı bitki yüzeyleri üzerinde çiğ şeklinde oluşturduğu su damlacıkları, sabah güneşle aydınlanınca, bunlardan sadece renk konimiz üzerinde bulunanlar bize renkli kuşağın bir parçası olarak görünür. Üzerinde buldukları zeminden bağımsız

olarak algılayabilseydik, bunları yine bir daire üzerinde imiş gibi görecektik. Fakat zemin belirgin bir referans düzlemi teşkil ettiği için, kuşak yere yapışık şekilde, yani sanki koni ile zeminin arakesiti şeklinde yere çizilmiş bir "hiperbolik yerkuşağı" olur, çıkar.

Bazı güzelliklerin, altında yatan gerçek nedenlerin açıklanmasıyla, hatta başkalarının biliniyor olmasıyla büyüsünden, değerinden kaybedeceğini düşünüyor olabilirsiniz. Bunun tam tersine, nedenini bilmeyen verebileceği heyecanı tatmak da isteyebilirsiniz. Göreceğiniz ilk gökkuşağında kendinizi sınavın. Güzellikte ve yarattığı duygularda herkesin birleşebileceği belki de tek olayın, gökkuşağlarının, ancak seyredenler varsa var olduğunu, herkes gibi sizin de gökkuşağınızın (bütün renk kuşağınızın) tümüyle size ait olduğunu düşünerek tekrar bakın.

Suha Selamoğlu

Kaynaklar:
Kurt Nassau, *The Physics and Chemistry of Color*, Wiley, 1983
<http://www.mindat.uic.edu/staff/blsnyd/rdw.html>



En Küçük Sapma Açısının Hesaplanması

Damlacığa giren Güneş ışınının damla yüzeyine dik yöne yaptığı açı A, kırılarak içeri girildikten sonra yaptığı açı B' ise ışık girişte yönünü A-B kadar değiştirir. Damlacık içinde her yansımada 180°-2B kadar ek bir sapma olur. Damlacıktan çıkışta da yine kırılarak ikinci bir A-B sapmasına uğrar. Böylece, içeride N defa yansdıktan sonra dışarı çıkan ışın geliş yönünden

$$S = 2(A-B) + N(180^\circ - 2B)$$

açısı kadar sapar. Sapma açısının en küçük veya en büyük değerini bulmak için, önce onun giriş açısı A'ya göre türevini sıfır yapan A_0 değerini hesaplamak gerekir.

$$dS/dA = 2 - 2 dB/dA - 2N dB/dA = 0$$

$$\text{veya } dB/dA = 1/(N+1).$$

A ve B açıları arasındaki ilişki ise kırılma (Snell) kanunu ile bellidir:

$$\sin B = (1/n) \sin A.$$

Burada n kırılma indeksidir. B'nin A'ya göre türevi kolayca bulunur:

$$dB/dA = (1/n) \cos A / \cos B = 1/(N+1).$$

Son ifadenin karesi alınıp $\cos^2 B = 1 - \sin^2 A/n^2$ yazılarak kısaltılırsa A_0 açısı için

$$\sin A_0 = \sqrt{\frac{(N+1)^2 - n^2}{N(N+2)}}$$

elde edilir. Kırılma indeksi daima birden büyüktür. Gerçek çözüm için, n 1 ile 2 arasında ise en az bir iç yansıma, n 2'den büyükse en az iki iç yansıma gerekir. Su/hava arasında ortalama n=1,33 değeri alınarak A_0 ve buna karşılık gelen B_0 ve S_0 hesaplanırsa aşağıdaki tablo elde edilir. (Negatif değer ters yönde sapmayı gösterir).

N	: 1	2
A_0	: 59,6°	64,7°
B_0	: 40,4°	42,8°
S_0	: 137,5°	232,5°
$180 - S_0$: 42,5°	-52,5°

