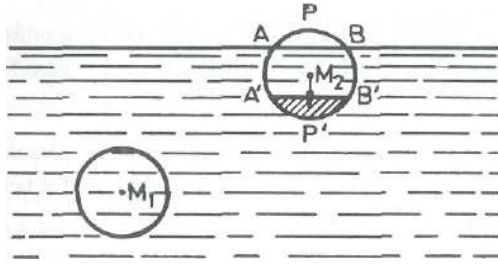


KAPİLARİTE

A. SIVI FİLMLEİN DENGESİ YÜZEY GERİLİMİ

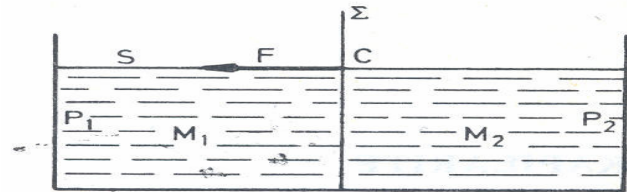
Bir sıvı, bir gazın aksine, ona verilmiş bütün hacmi işgal etme eğiliminde olmaz: onun molekülleri, aralarında vaki çekme kuvvetleri olan *bağlantı kuvvetleri* tarafından birbirlerinin yakınında tutulurlar. Gerçek gazlarda çok az olan bu kuvvetler, mükemmel gazlar gibi hareket eden alçak basınçlı gazlarda yok olurlar: yani mesafeyle birlikte hızla azalır ve birbirini çeken iki molekül arasında mesafe mikronun yüzde biri mertebesine vardığında ihmal edilebilir hale gelirler. Böylece tanımlanmış olan mesafe, *moleküler etki yarıçapı* adını alır.



Sıvı kitlesi içinden bir M_1 molekülü ele alındığında bu, onu çevreleyen bütün mümkün yönleri haiz ve statik olarak kendilerini dengeleyen çekme kuvvetlerinin etkisinde bulundurulur. Aksine, yüzeyden moleküler etki yarıçapından az bir mesafede bulunan bir M_2 molekülü, bileşkesi sıfır olmayan çekme kuvvetlerinin etkisinde bulunur:

Taşmış A P B kısma simetrik olan moleküler etki küresinin A' P' B' kısmını hiçbir çekme telâfi etmemektedir. Bu nedenle sıvı M_2 molekülü üzerine içe yönelik bir kuvvet icra eder ve böylece de molekülleri sıvının içinden yüzeyine getirmek için bu işin yapılması gerekir; bu iş, yüzey tabakasına yeni moleküller ithal ederek sıvının yüzeyini artırmaktadır: Bunun anlamı sıvı yüzeyinin, alanı ile orantılı bir *potansiyel enerjiye* sahip olduğudur.

Sıvı yüzeyini, düzlemine paralel bir çekme uygulayarak artırmak istendiğinde, bu enerji artışına tekabül eden bir işin sarf edilmesi gerekir, tıpkı gergin bir kauçuk zarın yüzeyini artırmak için olduğu gibi: kapiler olayların etüdünde yüzeysel enerji



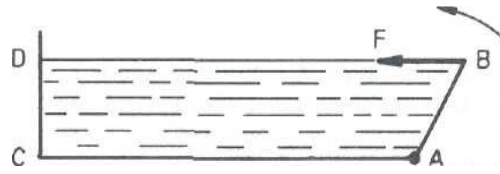
ya da *yüzey gerilimi* kavramından hareket etmek aynı sonuca götürür. Biz burada bu sonuncu kavramı, hareket noktası olarak alacağız. Bunu daha kesin bir şekilde tanımlamak için bir S serbest yüzeyi ile sınırlı bir M sıvı kitlesini ele alıp bunu, S'i bir C eğrisi boyunca kesen bir Z yüzeyi ile iki M_1 ve M_2 bölüme ayırdığımızı düşünelim (Şek.2) : M_2 kitlesi, uygulanan kuvvetler ve M_2 kitlesinin tepkilerinin etkisi altında dengededir; bu tepkiler, X yüzeyinin çeşitli öğelerin üzerinde kendini gösteren basınç kuvvetleri ile C eğrisinin çeşitli öğeleri üzerinde etki icra eden F yüzey gerilimi kuvvetlerinden oluşur. *C eğrisinin bir ds öğesi*

üzerine etki yapan dF kuvvetinin, sıvının yüzeyi düzlemi içinde ds 'e dikey, M_2 nin dışına yönelik ve ds ile orantılı olduğunu kabul ediyoruz:

$$dF \cong Ads$$

Sadece sıvının ve bunun temasta bulunduğu gazın tabiatına ve aynı zamanda sıcaklığa bağlı olduğunu kabul ettiğimiz A sabitesi (konstantı), S yüzeyinin *yüzey gerilimi* adını alır.

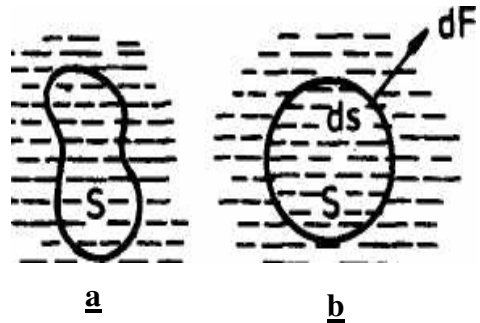
M_2 bölümünü P_2 cidarını kaplayan bir incelemeye indirgenmiş olarak düşündüğümüzde, bu cidarın kendisinin de sıvıya doğru F kuvvetleri tarafından çekileceği bir gerçektir (buna daha aşağıda değinilecektir).



Şek. 3

Bu, Şek.3'de şematik olarak görülen deneyden anlaşılır: birkaç milimetre yüksekliğinde ABCD kalıbı, yatay A eksenini etrafında hareket eden bir ince AB cidarı ile sınırlıdır; kaba su doldurulduğunda, cidar kendine bırakılacak olursa, ağırlığına ve sıvının icra ettiği basınç kuvvetlerine rağmen, okun gösterdiği yönde döner.

A yüzey gerilimi sıvının cinsine tabidir; örneğin o, aşağıdaki deneyden görüleceği gibi saf su için sabunlu suya göre daha büyüktür. Bir pamuk ipliğinden (veya örümcek ya da eğrilmemiş ipek ipliği) bir halka meydana getirelim ve bunu bir cam kap içindeki çok temiz bir suya, suyun yüzüne tam olarak intibak edecek şekilde



Şek. 4

bırakalım; o, yüzeyin geri kalanından bir S alanını ayıracaktır. (Şek.4a); bu alanın içine bir sabun eriyiği damlasını bırakalım: iplik gerilip halka mükemmelen dairesel bir şekil alacaktır (Şek.4b); bu da her bir ds elementinin dışa yönelik bir dikey kuvvete maruz olduğunu gösterir; A ile saf suyun yüzey gerilimi, A' ile de sabunlu suyunki gösterilecek olursa, bu kuvvet, tanımlamamız gereğince, $(A-A')$ ds 'e eşit olur.

Devam etmeden önce bunları bir kez de biraz değişik bir yolla ele alalım.

Yüzey gerilimi, kapilarite'nin de dahil bulunduğu birçok yüzey olayına konu olan bir ad olmaktadır.

Bir kap içinde suyun, ya da herhangi başka bir sıvının, yüzeyi dikkatle tetkik edildiğinde, bunun mükemmelen düz olmadığı görülür. Suyun kendi düzeyini bulduğu savı ancak yaklaşıktır. Gerçekte yüzey, suyun kabın cidarlarıyla temasa geldiği yerde iyice eğrileşir.

Çok dar delikli bir tüp bir ucundan suya batırılacak olursa, sıvı, dış yüzeyin bir miktar üstüne kadar tüpün içinde yükselir. Delik ne kadar küçük çaplı olursa bu yükselme o denli fazla olur. Gaz yağının fitil içinde yükselmesi aynı türden bir olaydır.

Çok az miktarda cıva bir yatay levha üzerine dökülecek olursa bir damla oluşturur. Miktar birkaç milimetre küpten ibaretse damla az çok küresel olur; daha fazla miktar, üstü düze çok yakın, kenarları yuvarlak bir kalıp şeklini alır.

Temiz bir su yüzeyine konan bir damla yağ, çok ince bir film teşkil etmek üzere ani denecek kadar çabuk yayılır. Filmin inceliği, ondan çıkan renklerden veya bir küçük damlanın bile kapladığı yüzeyden anlaşılır.

Sabun kabarcıkları ve sabun eriyiklerinde köpük oluşması da hep rastladığımız olgulardır. Bu hallerde de yine ince filmler oluşur.

Çok kısa dalga boylu dalgacıkların yayılması, derin deniz dalgalarının yayılmasından farklı bir kanun takip eder.

Kâfur yontulup kırıntıları temiz bir su yüzeyi üzerine dökülecek olursa bunlar yüzeyde büyük ve çok değişen hızla oradan oraya hareket ederler. Yüzeye bırakılacak eser miktarda yağ bunları hemen hemen ani olarak sükûnete getirir.

Bunlar ve bunlara bağlı birçok olay tek bir başlık altında irdelenebilir. Bunlar bir ortamı öbüründen ayıran yüzeylerin varlığından meydana gelirler.

Böylece de, ortaya çıkan özel kuvvetler, *yüzey kuvvetleri* olarak bilinirler. Deliği "saç kadar ince" olduğundan kapiler tüpler diye adlandırılan çok küçük çapta delikli tüplerin içinde sıvının yükselmesi bu kuvvetler nedeniyledir.

İki sıvı birbiriyle temas halinde olduğunda, farklı sıvıların molekülleri arasındaki çekme kuvvetleri, ayırım yüzeyinde kuvvetler meydana getirirler ve bunlar da yüzeyi, sıvıyı içeren kap ve yerçekimi kuvvetine uygun düşen en küçük alanı şekle bürerler. Yüzeyin büzölmeye bu eğilimine *yüzeyler arası gerilim* denip bu, sıvılardan birinin bir gaz, örneğin hava, olması halinde de *yüzey gerilimi* adını alır. Böylece de bir sıvı damlası havada küresel olur zira küre, sıvıyı içerecek en küçük alanı haizdir.

Bir sıvı damlanın yarı çapı r , ve p_1 p_2 de damlanın sırasıyla içinde ve dışında basınçlar olursa

$$p_1 - p_2 = 2\gamma / r \quad \text{olur}$$

ki burada γ yüzey gerilimidir. Bu tanımlama da aslında ilkinin aynısıdır.

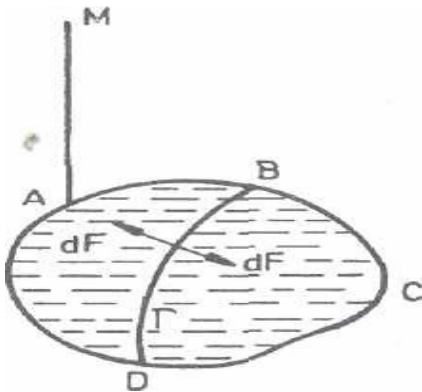
Bu nedenle yüzeyin içbükey yanı üzerindeki basınç, dışbükey yanı üzerindeki daha büyük olur.

İnce delikli borularda sıvının yükselmesi olayındaki etkiye *kapiler etki* adı verilir ki bu ad sadece küçük çaplı delikli tüplere uygulanır; oysa ki *yüzey etkisi* terimi bütün etkileri kapsar. Bu olaylarda bahis konusu olan kuvvetler, cisimlerin komşu bölümleri arasında etki yapanlardır. Bunlar aynı zamanda *kohezyon* (yapışma) etkileri meydana getirirler.

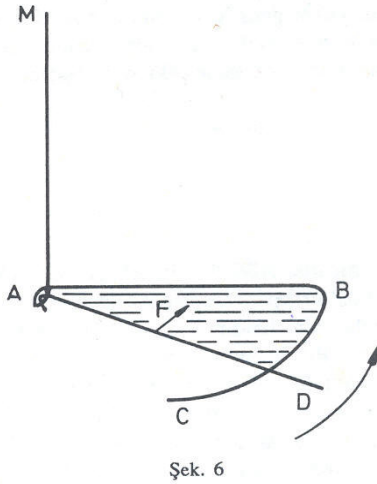
Bu kuvvetler, aynı şekilde madde partikülleri arasında etki yapan çekim kuvvetlerinden tefrik edileceklerdir şöyle ki bu sonuncular büyük mesafelerde etki yapabilir. (Dünya, güneş etrafındaki hareketinde çekim kuvveti tarafından kontrol edilmektedir). Kohezyon ise ancak küçük mesafelerde ölçülebilir düzeyde etki yapar. Yazı tebeşiri, ince öğütülmüş toz ve sair malzemenin yüksek derecede sıkıştırılmasıyla yapılır. Bir tebeşir çubuğu kırılacak olup da her iki parça elle eski pozisyonlarına mümkün olduğu kadar yakın getirilecek olursa birbirlerine yapışmazlar zira komşu partiküller, bu halde bile etkili çekim icra edemeyecek kadar birbirlerinden uzaktadırlar. Birbirlerini hissedilir şekilde çekmeye başlamaları için yüksek basınca gerek vardır.

DÜZ SIVI FİLMLER

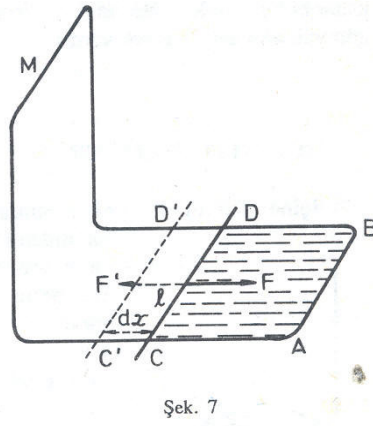
İçine gliserin eklenmiş sabunlu suya bir düz ABCD rijid tel çevre, AM sapından (şek.5) daldırılıp yavaşça çıkarılacak olursa, bu çevre tarafından sınırlandırılmış bir düz sıvı zan beraberinde getirir. Bu, birbirine çok yakın iki yüzey tarafından sınırlandırılmış bir sıvı kitleden ibarettir; kalınlığı, yansımayla ince filmlere özgü renkler verdiği için kolaylıkla saptanabilen en çok birkaç mikron mertebesindedir. Bu koşullar altında ağırlık ve hidrostatik basınç kuvvetleri ihmal edilebilir ve dengenin sadece iki yüzeye tekabül eden çekme kuvvetlerince sağlandığı kabul edilebilir: filmi iki bölüme ayıran bir F eğrisinin bir ds elementi boyunca etki yapan dF temas kuvvetleri, lam düzleminde $ds'e$ dikey olup $2Ads'e$ eşittir.



Sıvı film üzerine bir iplik halka konacak olursa bu halka onu tamamen ayrı iki bölgeye ayırır zira ipliğin kalınlığı her zaman filminkinden büyüktür: böylece ayrılmış filmler telin her iki yanından eşit kuvvetler icra ederler, ve denge şekli herhangi bir şekilde olur (şek.4a). Halkanın iç filmi delinecek olursa, geriye sadece dışa dönük $2Ad_s$ kuvvetleri kalır: iplik gerilir ve dairesel şekil alır (şek.4b). Çerçeve şekil değiştirebilecek durumda ise, yüzey gerilimi kuvvetlerinin etkisiyle hareketli kısımların yer değiştirdikleri gözlenebilir. Böylece şek. 6'daki çerçeve ile, hareketli AD demir teli BC dairesel kiriş üzerinde, AB ye yaslanana kadar kayar. Şek.7'nin ABCD dikdörtgen sıvı lam'ı ile / genişliğinde MAB çerçevesi üzerinde serbestçe kayabilen CD ipliği, AB'ye doğru $F=2A/$ kuvvetiyle çekilir; onu hareketsiz kılmak için, ona F i dengeleyecek bir F' kuvveti uygulamak gerekir. F' kuvvetinin bir makaradan geçirilip ağırlıklarla gerildiği bir telle icra edildiği ve böylece de dengeye tekabül eden $F' \sim 2A/$ değer ölçüldüğü düşünülebilir bu da, yüzey geriliminin bir saptanması olur.



Şek. 6



Şek. 7

F kuvveti F kuvvetinden sonsuz derecede az büyük olursa, CD ipliği, filmin yüzeyi artacak şekilde yer değiştirir: bir dx yer değiştirmesi için uygulanan F' kuvvetinin işi $d\tau_a = Fdx = 2Aldx$ olup bu arada lam'ın iki yüzeyinin toplam alan büyümesi $dS = 2ldx$ olur. Böylece de potansiyel enerjinin artışı

$$dU = d\tau_a = AdS$$

Yüzeyi dS kadar artırmak için sarfedilmesi gereken işin, yüzeyin çevresinin şeklinden bağımsız olduğunu göstermek kolaydır; bu iş her zaman AdS 'e eşittir: bata söylediğimiz gibi, yüzey gerilim kavramı yüzey potansiyel enerji kavramı ile aynıdır ve A yüzey gerilimi, birim

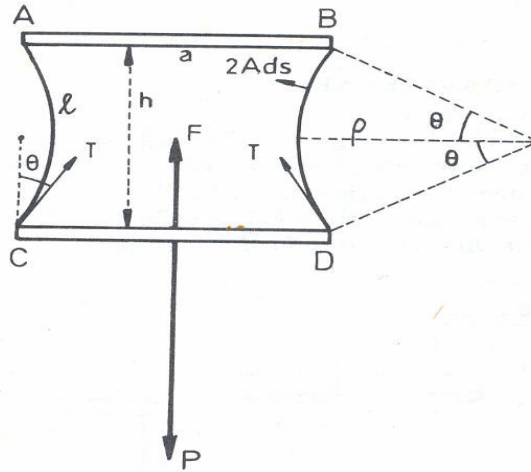
yüzey başına potansiyel enerjiyi temsil eder. Bir şeklini değiştirebilir çevre tarafından taşınan bir sıvı lam'ın dengesi potansiyel enerji minimumuna, yani bağlantılara uygun düşen asgari alana tekabül eder. Kapiler kuvvetler lam'ın alanını azaltmaya meylederler: Bu da, Şek. 6 ve 7de gösterilmiş olan deneylerden derhal anlaşılır.

BİR SIVI FİLMİN YÜZEY GERİLİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

Şek.7'deki tertip, sürtünmelerden dolayı yüzey geriliminin gerçek ölçüsünü sağlayamamaktadır. Gerçek ölçü, şek. 8'de görülen Terquem tertibiyle mümkündür, a uzunluğunda iki AB ve CD yatay çubuğu ve l uzunluğunda iki AC ve BD ipliğiyle bir dik film oluşturulur; iplikler p yarı çaplı daire yayı şeklini alırlar, P ağırlığındaki CD çubuğu da $F = 2Aa$ yüzey gerilimi kuvveti ve tellerin T gerilimlerinin $2 T \cos \theta$ bileşkenleri tarafından taşınır, ipliklere uygulanan kuvvetler $2Ads$ dikey kuvvetlerdir; bu itibarla T gerilmesi eğri yan çapına $T=2Ap$ münasebetiyle bağlı olup denge koşulu:

$$2A(a + 2p \cos \theta) = P \quad \text{olmaktadır.}$$

Ölçülen miktar, filmin aldığı h yüksekliğidir; bundan θ ve p değerleri



Şek. 8

$$l=2p\theta;$$

$$h = 2p \sin \theta;$$

$$\frac{\sin \theta}{\theta} = \frac{h}{l}$$

formüllerinden çıkartılıp A'nın hesaplanması için denge denklemine götürülür.

Deney kolaylıkla ancak *kalıcı lamalar* veren sıvılarla yapılabilir (aşağıda değinilecek); yeterince lüzucetli (viskozitesi olan) ve yavaş buharlaşan, gliserin sıvısı gibi sıvıların kullanılması gerekir. Saf suyun yüzey gerilimi, biraz aşağıda göreceğimiz başka bir yöntemle saptanır: bunun 20°C'ta değeri $A = 76$ C.G.S., yani yüzey gerilim kuvveti 76 dyn, yaklaşık santimetre başına 15 miligram -kuvvettir. Sabunlu su ve sıvı gliserininki daha küçüktür: mutlak olarak kapilarite deneylerinde kullanılan sıvılarda bu, 25 ilâ 30 C.G.S. mertebesindedir.

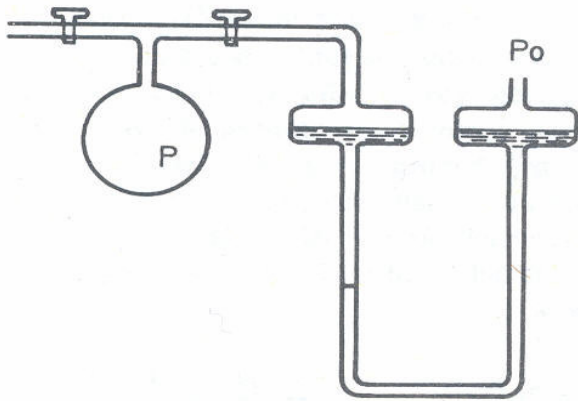
Örneğin $a = 10$ cm ve $l = 20$ cm boyutlarında bir çerçeve ve $A = 25$ mgr/cm gerilimli bir sıvı ile bir $\theta = 30^\circ = 0,523$ radyanlık bir açı, yani $p = l/26 = 20/1,046 = 19,1$ cm lik bir eğri yarıçapı, bir $h = 2p \sin \theta = p = 19,1$ yüksekliği ve $l-h = 9$ mm kısalmasını İsteyelim. Bunun için

$$P = 50(10 + 2 \times 19,1 \times 0,866) = 2.150 \text{ mgr} = 2.15 \text{ gr}$$

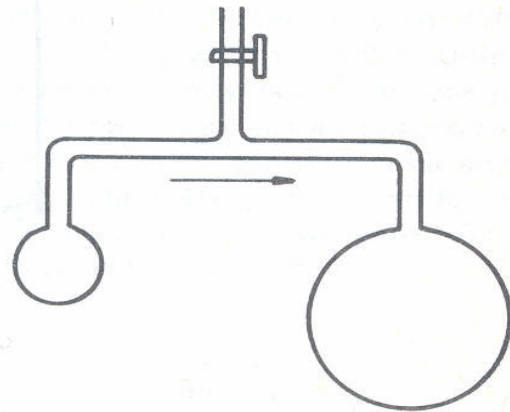
ağırlığında bir çubuk almamız gerekir.

SABUN KABARCIKLARI

Bir küresel sabun kabarcığı (şek. 12) oluşturan sıvı lam, yüzey gerilimi kuvvetleri olan iç kuvvetlerle yüzeylerine etki icra eden basınç kuvvetleri olan uygulanmış kuvvetlerin etkisiyle dengededir. Yüzey gerilimi kuvvetleri, sıvının yüzey alanını azaltma, yani kabarcığı büzme eğilimi gösterirler: *Denge olabilmesi için p iç basıncın p_0 dış basınçtan fazla olması gerekir.*



Şek. 9



Şek. 10

$p - p_0$ farkının değerini elde etmek için virtuel işler teoremini, kürenin yarı çapının R 'den

$R+dR$ e, sıvının toplam $S=8\pi R^2$ alanınının $dS=16\pi R dR$ ve $V = 4\pi R^3 / 3$ hacminin de $dV = 4\pi R^2 dR$ kadar arttığı bir virtüel yer değiştirmeye uygulayalım. Potansiyel enerjinin azalmasına eşit olan iç kuvvetlerin işi $d\tau_i = -AdS = -16\pi RAdR$ olur; $p-p_0$ basınçlar farkına tekabül eden uygulanmış kuvvetlerin işi $d\tau_a=(p-p_0)dV = 4\pi R^2 (p-p_0)dR$ olur. $d\tau_i + d\tau_a = 0$ denge koşulu hemen

$$P - P_0 = \frac{4A}{R}$$

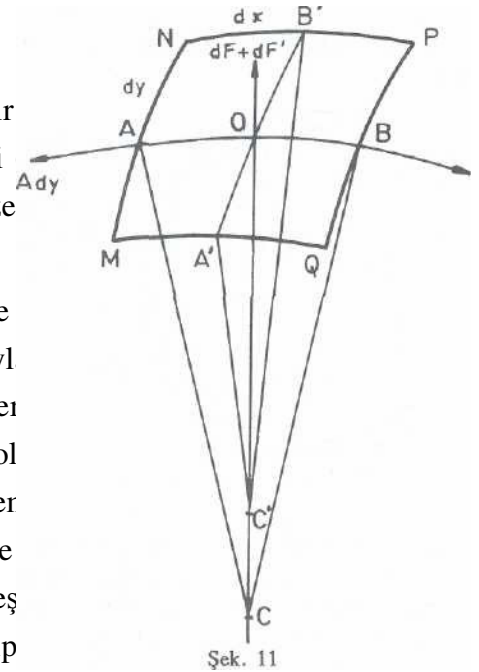
münasebetini verir.

$A = 30 \text{ dyn/cm}$ ve $R = 5 \text{ mm}$ için basınç farkı 240 bary, yani yaklaşık $0,24 \text{ g/cm}^2$ din 2,4 mm lik bir su yüksekliğini ifade edip iki sıvılı bir manometre (şek.9) ile ölçülebilir. $p-p_0$ basınç fazlası, yarıçapla ters orantılı olarak değişir: Çatal şeklinde (şek.10) bir tüpün uçlarında iki kabarcık üflendiğinde, küçüğü büyüğün içine boşalır.

LAPLACE FORMÜLÜ VE UYGULAMALARI

O, A yüzey gerilimli bir sıvının serbest yüzeyinin bir yüzeyin O noktasında başlıca iki dikey kesitin İki elementi ve OC' eğri yarıçapı olsun; $1/R$ ve $1/R'$ büyüklükleri, yüze

Yüzeysel tabakanın bir dikdörtgen MNPQ elementini ele kenarları AB ve A'B' ye paralel olup uzunlukları sırasıyla ağırlığı ihmal edilebilir olan bu elementin, $p'-p$ iki yüzü üzeri komşu yüzey elementlerinin temas etkileriyle dengede ol boyunca temas etkileri, üçüncü derecede yaklaşıklıkla, eler bu noktada AB eğri elementine teğet, $A dy$ e eşit tek bir bileşke boyunca temas ettikleri, AB eğrisine B de teğet bir $A dy$ bileşke ye intibak etmiş ve sabit gerilimi $T=A dy$ olacak bir gergin ip

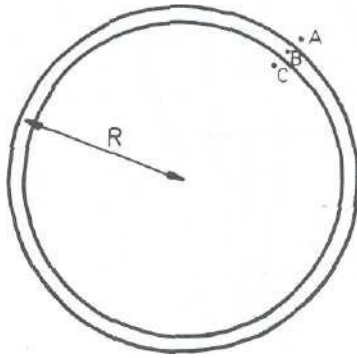


temas kuvvetlerinin aynı olur; bunlar O ya uygulanmış ve düz AB eğrisine dikey yöne dönük bir $dF=F_x dx$ kuvvetiyle dengelenmişlerdir; yani bunun yönü, AB eğrisinin dışbükeyliği tarafında yüzeye dikeye doğru olup F_n in değeri T/R e, dF kuvveti de $Adx dy / R$ e eşittir. Aynı şekilde, NP ve QM yanlarına etki yapan yüzey gerilim kuvvetleri, yüzeye dik ve $dF' = F'_n dy - Adx dy / R'$ değerinde bir kuvvet tarafından dengelenir. Yüzey gerilim kuvvetlerini dengeleyen kuvvetlerin $dF+dF'$ toplamı, dengenin olması halinde, yüzey elementi üzerine etki yapan dikey basınç kuvvetlerinin $(p'-p) dx dy$ bileşkesine eşittir: Bu eşitlik yazılarak, Laplace formülü elde edilir:

$$p' - p = A \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

Bir küresel sabun kabarcığı halinde iki başlıca eğim eşit olup $p'-p = 2A/R$ miktarı, iç atmosferin bir C noktasıyla sıvı kitlesinin bir B noktası (şek.12) veya B noktasıyla dış atmosferin bir A noktası arasındaki basınç farkını temsil eder.

C ve A noktaları arasındaki basınç farkı, yukarda bulduğumuz $4A/R$ değerini haizdir.



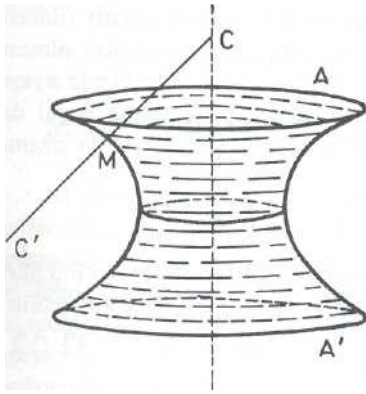
Şek. 12

Genel olarak, başlıca eğimleri $1/R$ ve $1/R'$ olan bir ince sıvı filmin iki yüzü arasındaki basınç farkı $2A(1/R+1/R')$ olur. Her iki yüzün atmosfer basıncında hava ile teması halinde bu basınç farkı sıfır olur: *denge halinde sıvı filmin başlıca iki eğimi birbirlerinin ters yönünde olup sıfır değer olarak birbirlerine eşit olurlar:*

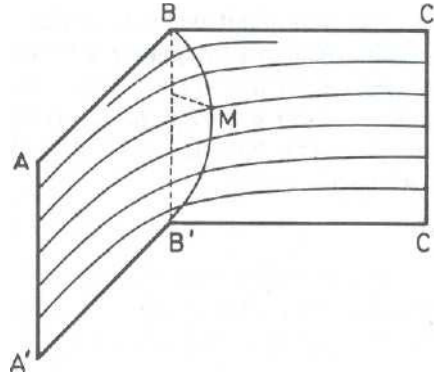
$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = 0$$

Bu koşul sıfır eğimlerle, bir düz çevreyi gliserin sıvısına batırarak elde edilen düz filmlerde yerine gelir. Bir düzlemde olmayan (yesari) çevrelerle eğimli filmler elde edilir. Böylece, aynı eksen üzerinde bulunan A ve A' halkaları arasına gerilmiş bir sıvı film, meridyeni, MC ve MC' eğim yarıçaplarının eşitliği ile tanımlanmış olup dışa dönük iç bükey bir zincir olan bir döneel yüzey şeklini alır.

(şek.13); BB' de dik açı halinde bükülmüş bir uzun dikdörtgenden oluşan bir $ABCC'B'A'$ çevresi üzerinde gerilmiş bir film, ABC düzlemine paralel düzlemlerce alınan kesitleri BB' ne doğru dışbükey hiperbolik görünümde eğriler olacak gibi bir şekil alır; oysa ki BB' açısının açıortayı düzlemi tarafından meydana getirilen BMB' kesitinde görünüm bir elipstir (şek. 14).



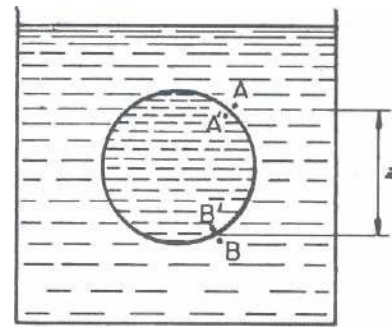
Şek. 13



Şek. 14

AYNI YOĞUNLUKTA BİR SIVI İÇİNDE SÜSPANSİYON HALİNDE SIVI KİTLESİ

Bir yağ kitlesi, onunla aynı yoğunlukta olan bir su - alkol karışımı içine konacak olursa, buna etki yapan ağırlık kuvvetleri, alkol karışımının itmesiyle dengelenir ve aldığı şekil tamamıyla kapiler kuvvetlerce saplanır. Birbirlerinden dikey mesafeleri Z olan ve ayırım yüzeyinin her iki yanında ve birbirine çok yakın iki noktadan oluşan iki AA' ve BB' nokta çiftini (şek. 15) dikkat nazara alacak olursak p_b-p_a ve p_B-p_A basınç farklarının aynı bir pgz değerini haiz olduklarını ve $p_{A'}-p_A$ ve $p_{B'}-p_B$ basınç farklarının aynı olduğunu görürüz: $A(1/R + 1/R')$ kapiler basınç, ayırım yüzeyinin bütün noktalarında aynı olup



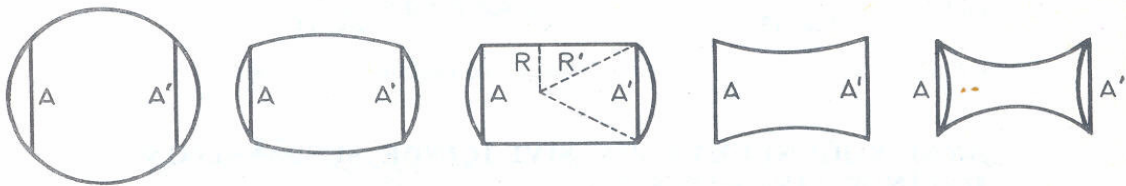
Şek. 15

sistem denge halinde bulunduğunda bu yüzey, ortalama eğimi sabit bir yüzey olur:

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \text{Sabit (Konstant)}$$

Sistemin stabil dengede olması için potansiyel enerjinin asgari olması gerekir; yukarıda gördüğümüz gibi potansiyel enerjinin yüzeye orantılı olması dolayısıyla *stabilite koşulu, ayırım yüzeyi alanının, mevcut bağlantılarla uyum sağlayacak bir asgari değerde olması gerekir*: yazmış olduğumuz koşul da doğruca, sabit hacimde şekil değiştirmeler için alanın asgari ya da azami olduğunu ifade eder.

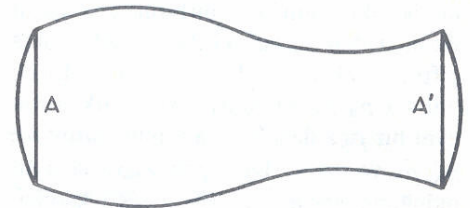
Yağ kitlesinin tamamen serbest olması halinde bu kitle bir küre şeklini alır; ama onu bir tel çerçeveye yaslanmaya zorlayarak ona şekil değiştirilebilir. Örneğin yağ kitlesinin şekli, küreye paralel düzlemlerde bulunan iki eşit AA'



Şek. 16

halkası yapıştırılarak ve bunlar birbirinden uzaklaştırılarak, değiştirilebilir; aynı şekilde bu şekil, halkalara yer değiştirmeden, bir şırınga iğnesiyle yağ üfürerek

ya da alarak değiştirilebilir. Böylece son kısım küresel takkeler ve meridyeni de Şek.16'nın gösterdiği şekillerden birine sahip olabilecek dönel yüzeyler elde edilir. Bu şekillerden biri de R yarı çapında,



Şek. 17

her iki eğimi $1/R$ ve 0 olan bir silindir; küresel takkelerin R' yarıçapı, kürenin eşit iki $2/R'$ eğiminin toplamı, silindirin iki $1/R$ eğiminin toplamına eşit, yani $R'=2R$ olacak şekildedir.

Aslında hiçbir zaman çok uzun silindirler elde edilemez:

Örneğin ilk küreye uygulanan halkaların çapları, mesafeleri bu çapın üç katından fazla ise ve emme suretiyle yağ çekerek silindiri gerçekleştirme aranıyorsa, her zaman belli bir anda bir boğulmaya tanık olunur (Şek.17), sonra yağ kitlesi iki halkaya ayrı ayrı yapışan iki küreye bölünür. İki kürenin yüzey toplamı, aynı yağ hacmini içermiş olacak olan uzamış, silindirinkinden küçük olur; bu itibarla, tekabül eden silindir daha büyük bir potansiyel enerjiye sahip olup bir labil (istikrarsız) denge halini temsil eder.