B. KAPİLER ETKİNİN GENEL KURAMI

Buraya kadar gördüklerimizin ışığında kapiler etkinin genel kuramını irdeleyelim. Gördüğümüz gibi, aralarında kohezyonun bulundugu moleküller arasındaki kuvvetler, ancak çok kısa mesafelerde hissedilir etki icra eder. Quincke ve öbürlerinin deneyleri, hissedilir etki mesafesinin santimetrenin binde birinden ve muhtemelen de milyonda birinden az olduğunu göstermiştir. Şek.l 'in izahında göstermiş, olduğumuz gibi, yüzeye yakın sıvının esas kitlesinden farklı koşulda bulunan bir ince, gayri muayyen şekilde sınırlandırılmış bir tabaka mevcuttur. Niteliklerin birçoğu bu yüzey tabakasında öbürlerine göre farklı olacaktır. Örneğin, farkı basınca tekabül etmek üzere yoğunluk farklı olacaktır. 1ş, basınç hasıl ederek yapıldığından potansiyel enerji her iki bölgede farklı olacaktır. Esas kitlede

$$\int x_0\, p_0\, dV = x_0\, p_0\, v_0$$

yazılabilir ki burada V =hacim, p = yoğunluk ve x de birim kitle başına potansiyel olmaktadır; bu filmde, daha da ince *de* tabakalarına böldüğümüz çok küçük *e* kalınlığı ve *S* yüzeyi arasında aşağıdaki münasebet yazılır:

Toplam kitle = $Vp_0 - S \int_0^e (p_0 - p)de$; toplam potansiyel enerji de, x birim kitle başına değeri ile

$$\int xpdV \quad \text{veya}$$

$$Vx_0p_0(X_oP_o - XP)\, de$$

Toplam kitleyi xo *ile* çarpıp son ifadeden çıkararak

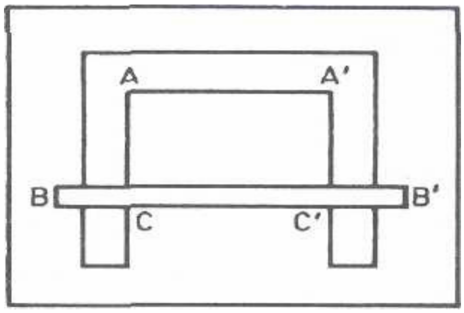
$E - Mx = S \int_0^e (x - x_o)\, p\, de$ bulunur. Bu itibarla denklemin sağ tarafı bir *S* yüzeyinin varlığına bağlı enerjinin bu bölümü için bir ifade olmaktadır. Onu çarpan entegral, *yüzey gerilimi* olarak bildiğimiz sabite (veya daha doğrusu faktör) dir. Bu entegral, yüzeyin alanını artırarak yapılan işin bir ölçüsü olmaktadır. Bu, değişmenin sabit sıcaklıkta vaki olması halinde aynı zamanda İSİ da çıktığından toplam enerjideki tekabül eden artıştan özenle ayırdedilecektir. Kesin ifadeyle bu, "serbest enerji"nin değişmesinin bir ölçüsüdür.

Enerji prensipleri itibariyle sabit sıcaklıkta potansiyel enerji, bir asgariye meyleder; başka deyimle, kendiliğinden vaki olan herhangi bir degişme, bu enerjinin bir azalmasını beraberinde sürükler. Buradan, yüzey geriliminin pozitif olduğu her durumda, yüzeyin azalma eğiliminde olup işbu azalmanın, başka kuvvetler buna karşı çıkmadıkça, fiilen vaki olacağı anlaşılır. Bu azalma, sıvının bir büzülmesi suretiyle değil, yüzey moleküllerinin sıvının kitlesi içine geçmeleri suretiyle meydana gelir.

Böylece kitlenin nitelikleri değişmemiştir. Bu bağlamda olay, gerilmiş bir lastik filmin durumundan farklıdır. Sıvıda, yüzey alanının büzülmesi sırasında yüzey gerilimi sabit kalır; oysa ki gerilmiş lastikte, büzülme sırasında bu gerilim azalır.

Başka türlü ifade ederek diyebiliriz ki yüzeyin herhangi bir yerine bir hayali düz çizgi çizilecek olursa, *denge mevcut* iken çizginin işinden, alanın daha da büzülmesini önleyici yönde etki yapan bir kuvvet bulunmalıdır. Bu birim uzunluk başına kuvvetin sayısal olarak yukarda tanımlanmış, olan yüzey gerilimi ile aynı olduğunu göstermek kolaydır.

Dupré, bir sıvı filmin yüzey geriliminin görülebileceği bir tertip meydana getirmiştir.



Şek. 17-A

Bu, aslında, Şek.7'deki tertibin aynıdır. İnce saçtan AA' şekli kesilmiş ve bunun üstüne bir ince BB' metal laması konmuştur ve tümü bir sabunlu suya daldırılmıştır (Şek,17a). çıkarıldığında AA'CC' dikdörtgeni bir sıvı filmle dolmuştur. Bu film büzülmeye ve serbest metal lama da, bırakılacak olursa, AA' e doğru yürüme eğiliminde olur. *S, filmin bir yüzünün* alanı olacak olursa, potansiyel enerji σS olur. AA' =*b* ve AC =*a* ise bu, σab*'ye* eşit olur. Buradan, *F* lamanın AA' ne doğru kaymasını sağlayan kuvvet ise

$$F = \frac{a}{ab} \cdot (\sigma ab) = \sigma a$$

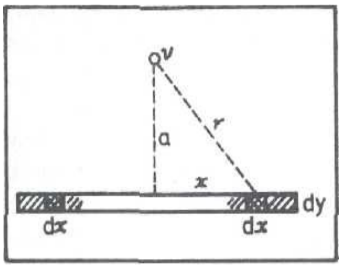
F = a

olur ki bir yüz için birim uzunluk başına kuvvet σ dır. Böylece σ ya birim uzunluk başına kuvvet, ya da birim alan başına potansiyel enerji olmaktadır.

Buraya kadar sadece iki yüzün bir tekini ve bundan hasıl olan kuvveti göz önüne aldığımızı belirtmeliyiz, ikinci yüzden dolayı lamaya bir eşit kuvvet daha gelir şöyle ki toplam kuvvet alınmış olan değerin iki katı olur. Ama toplam alan da iki kat büyük olacağından sonuç değişmez.

KOHEZYON KURAMI

Maddenin elementleri (yani sonsuz minimum hacimler) arasında kuvvetlerin varlığı farz edilerek kohezyonun izah ediliş şekli, bir kitlenin maddesini, moleküllere ayrılmış olarak değil, sürekli şekilde dağılmış olarak düşünerek gösterilebilir. Böylece de yukarda sözünü etmiş olduğumuz Laplace yaklaşımına dönmüş oluyoruz ki bunu biraz daha açmakta yarar görürüz.



Şek. 18

İki elementer hacim arasındaki kuvvet, hacimlerin çarpayı ile orantılı ve birbirlerinden mesafelerinin *n* inci gücüyle ters orantılı olsun. Gerekli kuvvet, kitlenin içinden herhangi bir yerde çizilmiş birim alan arasındadır. Hesap, birkaç aşamada yapılır.

(I). *dy* kalınlığında bir ince lama alalım. Bir v elementer hacim üzerinde *x* yarıçapında ve *dx* genişliğinde (şek. 18) bir bölgeye ait kuvvet, teğetsel bileşke birbirlerini götürdüklerinden

$$v.\ \frac{2\pi x.dx}{r^n} \cdot \frac{a}{r}\ dy$$

olur. Böylece de lamanın tümü elementi ,

$$2\pi va\int_a^\infty \frac{xdx}{r^{n+1}} \cdot dy = 2\pi va\int_a^\infty \frac{dr}{r^n}\ dy$$

kuvvetiyle çeker. Kuvvetlerin sonsuzda yok olduğunu kabul ederek bu,

$$\frac{2\pi va}{(n-1)a^{n-1}}\ dy \quad \text{veya} \quad \frac{2\pi v}{(n-1)a^{n-2}}\ dy \quad \text{olur.}$$

(II). *v*, *da* kalınlığında bir paralel ince lamanın bir elementi olsun. Bu takdirde böyle bir II lama üzerinde birim alan başına toplam kuvvet, $v = da$ yazarak elde edilir. Böylece II. lama üzerinde bir yarı-sonsuz katıya I. lamadan gelen kuvveti 0 dan oo a entegrali alarak buluruz:

(birim alan başına) yarı-katıya gelen kuvvet =

$$\frac{2\pi dy}{n-1} \int_0^\infty \frac{da}{a^{*-2}} = \frac{2\pi}{(n-1)(n-3)} \left| \frac{1}{a^{n-3}} \right|_0^\infty$$

(III). Böyle bir yarı-sonsuz kitleye, onunla temas halinde bir yarı-sonsuz kitleden gelen (birim alan başına) kuvvet *y* e gire *y=0* dan *y =oo* a entegral alarak

elde edilir. Bu kuvvet *birim alan başına kohezyon* olup

$$K_0 = 2\pi \frac{1}{(n-1)(n-3)(n-4)} \left| \frac{1}{a^{n-4}} \right|^\infty$$ şeklindedir.

Kullanılan kuvvet birimi, birim mesafeyle birbirlerinden ayrılmış iki birim hacim arasında olandır.

Ve dikkati çekiyor Lord Rayleigh: *"Bu* itibarla *n ne olursa olsun* sonsuz olacaktır. *n-4* negatif olunca, sonsuz uzaklıktaki kısımların çekimi sonuca yardımcı olur; oysa ki *n-4* pozitif olduğunda hemen bitişik olan kısımlar sonsuz güçle etki yaparlar, *n=4* geçiş durumu için *K,* yine sonsuz olur...".

Ancak daha yakın zamanlarda, özellikle Hollanda fizik mektebince, kitleyi bir değişmez ve arası kesilmez, bölünmez bir bütün *(continuum)* olarak telâkki etmenin hatalı sonuca götüreceği fark edilmiştir. Her maddenin moleküllerden oluştuğu bilinir. Moleküllerin merkezlerinin arasındaki mesafeye bağlı çekimlerin varlığı farz edilirse, aynı zamanda kitlenin iki yarısının hiçbir zaman salt temasa yaklaşamayacağını da kabul etmek gerekir. Son entegral almada aşağı sınır, sürekli (fasılasız) tabakaların merkezler çizgileri arasındaki en küçük ayırım mesafesi olacaktır. Bunun büyüklüğü, moleküler çapa kıyaslanabilir mertebede, örneğin *s,* olacaktır. Bu itibarla aradığımız değer

$$K_0 = \frac{2\pi}{(n-1)(n-3)(n-4)} \cdot \frac{1}{s^{n-4}} \qquad \text{olur.}$$

n>4 oldukça yukardaki esaslarda güç kanununa artık itiraz vaki olmamaktadır.

Birim hacim içinde sıkıştırılmış madde (yani p yoğunluğu) miktarı artırıldığında, aslî basıncın değerinin de artırılmış olacağından şüphe yoktur. Ayrıca, çekim sabitesine benzer bir T faktörüne de , K nın adi dinamik birimlerle ifade edilmesi halinde, gerek vardır. Böylece de sonunda

$$\text{I.} \qquad 2\pi a \int_a^{\infty} f(r)drdy = 2\pi a \emptyset(a)dy \qquad ;$$

$$\text{II.} \qquad 2\pi dy \int_y^{\infty} a\emptyset(a)da = 2\pi dy\, \psi(y) \qquad ;$$

$$\text{III.} \qquad K_0 = 2\pi \int_s^{\infty} \psi(y)dy \qquad \text{olur.}$$

Burada $\emptyset a$, ψy birbiri ardından gelen entegrallerin değerleri olarak yazılmıştır. Sonunda K, Γ ile çarpılmak suretiyle adi birimlerle elde edilir, örneğin $f(r) = \varepsilon^{-kr}$ ise (burada k bir sabitedir)

$$\psi(s) = \frac{ks + 1}{K^3} \varepsilon^{-kr} \text{ elde edilir.}$$

Bu formülleri deneyle tahkik etmenin zorluğu üç değişkenin $(k,\ s\Gamma)$ ortaya çıkmasından doğar. Bunlar arasında değeri bağımsız olarak bilinen tek değişken S olup bu, sıvılar için, molekül çapı mertebesinde olmalıdır. Kohezyon kuvvetlerinde olduğu gibi mesafeyle çok hızlı değişen kuvvetler ele alındığında büyük dikkat gerekir. S için farz edilmiş değerde bir küçük hata K ve Γ da çok büyük hataya götürür. Gerilim halinde bir katının *kırılma noktasında* aslî basıncı, kopma gerilmesinin kendisi olmalıdır. O anda ölçüldüğü gibi bu sonuncusu, kırılmanın malzemede mevcut çatlak ve gerilimin uygulanmasında intizamsızlıklar dolayısıyla, ideal gerilmeden daha düşük değerde vaki olması nedeniyle sadece K nın daha düşük bir sınırı olmaktadır.

YÜZEY KUVVETLERİ KURAMI

Yüzey tabakasının kuramsal olarak iç sınırı olmamakla birlikte birçok durumda birkaç molekül kadar (molekül çapı 10" cm mertebesindedir) kalınlıkta olduğu kabul edilir. En belirgin özelliği, birim hacim başına kitlenin sair kısmından daha fazla potansiyel enerjiyi haiz olmasıdır.

Şimdi, sabit sıcaklıkta serbest enerji artışı, bir sistem üzerinde yapılan dış işe eşittir. $dW = \sigma dA$, yazacak olursak σ, yüzey gerilimi adını alır. Değerini kuramsal olarak saptamak için, birim alanda bir yüzeyin oluşması için dW yi takdir ederiz. Bu kez kitle bir düz kesitle bölünüp iki yarı ayrılacak olursa, yeni bir yüzey teşekkül eder. Yan parçalar arasında birim alan başına x mesafesinde çekim

$$2n\infty \quad w(y)dy \ = K(x)say \qquad \text{olur.}$$

Toplam ayrılma işi $\int^{\infty}_{s} K(x)\,dx$ olup süreçte iki birimin bir taze alanı oluşmuştur. Böylece yapılan iş adi birimlerle ifade edildiğinde

$$2\sigma = 2\pi\Gamma p^2 \int^{\infty}_{s} K(x)dx \qquad \text{olur.}$$

Moleküller arasında kuvvet kanunu olarak bir güç kanunu alınacak olursa

$$\sigma = \frac{\pi p^2 \Gamma}{(n-1)(n-3)(n-4)(n-5)s^{n-5}} \qquad \text{olur.}$$

Bu kanun K için olanıyla birleştirilecek olup bunun sonucunda

$$\frac{K}{\sigma} = \frac{2(n-5)}{s} \qquad \text{olur.}$$

Adi sıcaklıkta su için, yaklaşık olarak

K= 10.000 atm = 10^{10} dyn/cm^2
a = 75 dyn/cm

$S = 4x\ 10^{-8}$ cm olup buradan

$$n-5 = \frac{10^{10} x\ 4\ x\ 10^{-8}}{2x75} = \frac{8}{3} \quad ; \quad n = 7,67\ .$$

Ancak *K* ile *S* in çok yaklaşık yöntemlerle elde edildikleri unutulmayacaktır.

YÜZLERARASI GERİLMELER

İki sıvı temas halinde bulunduğunda yüzler arasında genel olarak bir yüzey gerilimi vardır ve buna yüzler arası gerilme adı verilir. Bunu o_n ve sıvıların gerilimini sırasıyla σ_1 ve σ_2 ile gösterip bu iki sıvının bir ayrımını sağlayarak σ_{12} nin değeri saptanabilir. Yukardaki yöntemde 1 ile 2 arasıdaki yuzarası kaybolur ve gerilimleri σ_1 ve σ_2 olan iki taze yüzey meydana çıkar.

Böylece

$$\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_{12} = 2\pi p_1 p_2 \int^{\infty}_{\frac{s1+s2}{2}}$$

olup burada alt sınır, iki tür molekülün yançaplannin toplamı olur. Buradan

$$\sigma_{12} = \pi\, p^2{}_2 F(S_2) + \pi\, p^2{}_1\, F(S_1) - 2\pi\, p_1 p_2\, F\left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)$$

Bizi ilgilendiren yüzey gerilimlerinin hepsi gerçekte yüzlerarası gerilimlerdir şöyle ki bir sıvı daima kendi öz buharı ya da içine daldırılmış bulunduğu gazla temas halindedir. Bununla birlikte gazdan meydana gelen etkinin çok küçük olduğu bilinir.

BİR yüzeysel gerilimin varlığından beklenen normal basınç, önce bir silindir ele alınarak en iyi şekilde elde edilir.

BIR *dsx* birim yüzey elementini ele alalım. En dış kenarlarına etki yapan gerilimler birbirlerine eğilimli olup içe doğru bir bileşkeyi haizdirler. Bunların

bileşkesi bir dikey $2\sigma \sin \frac{d\theta}{2}$ kuvveti, ya da sınırda σdB dır. Ama $\frac{ds}{d\theta} = R$

(eğimin yarıçapı) dır; böylece dikey kuvvet $\frac{\sigma\, ds}{R}$ olur. Bu kuvvet *ds* ‘ e eşit bir alana etki yaptığından, dikey basınç σ/R olur.

Herhangi bir şekli haiz bir kitle ele alınıp yüzeyinin bir kare elementi seçildiğinde, diyagramın düzleminde gerilimler bir $\frac{\sigma\, ds_1 \times ds_2}{R_1}$ dikey kuvvetiyle aynı değerde olup öbür iki kenara etki yapanlar da $\frac{\sigma\, ds_2 \times ds_2}{R_2}$ ile aynı değerde olurlar. Böylece alan birimi başına

$$p = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

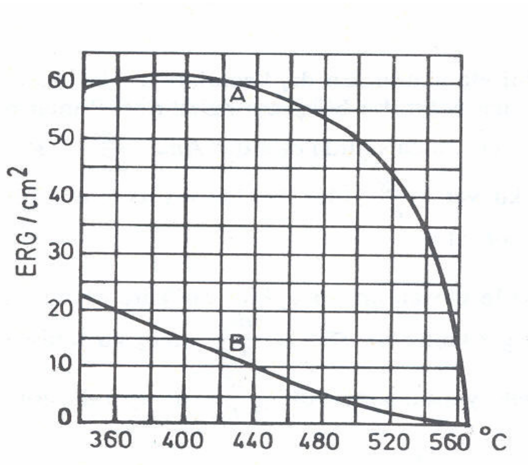
Burada R_1 ile R_2 dik açıda iki düzlemde eğim yarıçaplarıdır. Gauss'un entegral eğim teoremine göre bir noktada bu tür eğimlerden ikisinin toplamı sabittir. Bu itibarla yukardaki teorem, ele alınan iki dikdörtgen düzlem ana düzlemler olsun ya da olmasın, doğru olmaktadır. Bir küre halinde

$$P = \frac{2\sigma}{R}$$ olur.

YÜZEY GERİLİMİNİN GENEL NİTELİKLERİ

Yüzey gerilimi kavramı, her ne kadar bir başkasından türemişse de, baştan beri saydığımız olgularla ilişki kurmamıza olanak sağlamakla birlikte daha temel bir kavram olan moleküler çekim kavramına açık ithafta bulunmamaktadır. Oysa ki o, gerçekte bu çekim kavramına bağlıdır. Bu itibarla işbu niteliğin başlıca karakteristiklerini özetlemekte yarar vardır.

Yüzey üzerine çizilmiş herhangi bir düz çizginin arasından bir sıvının gerilimi bu çizgiye dikey ve çizginin bütün yönleri için aynı olup çizginin bir elementinin arasından bu elementin uzunluğunca bölünmüş kuvvetin değeriyle ölçülür.



Şek. 19

Suyu havadan ya da yağı sudan ayıran herhangi bir homojen sıvı yüzey için yüzey gerilimi yüzeyin herhangi bir noktasında ve her yönde aynıdır. Karışımlar durumunda koşullar gerektirdiğin bir çekim alanının üzerinde durulmasını gerektirdiği haller) nokta kendini o türlü ayarlar ki, denge koşullarını ıi değerinde, tekabül eden değişme hasıl olur. Bu etki çok mal edilebilir.

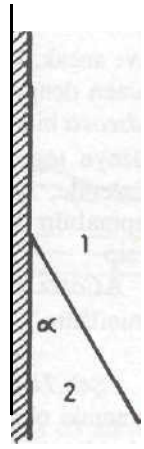
Yüzey gerilimi ise, yüzey geriliminin etkisi içbükey tarafta dışbükey tarafa göre $\sigma(C_1+C_2)$ kadar daha büyük olacak şekildedir. Burada C_1 ve C_2, birbirlerine dikey düzlemlerdeki eğriliklerdir.

Bir katı cisim iki sıvıyla temas halinde olursa katının yüzeyi şeklini değiştiremez, ancak iki sıvının katının yüzeyiyle temas ettiği yerde açı, üç yüzey geriliminin değerine bağlı olur (şek.20).

Denge için

$$\sigma_{31} - \sigma_{32} = \sigma_{21} cos\alpha$$ olacaktır.

a açısı, temas açısı olarak bilinir. Saf cisimler için açı belirlidir. Katıyı "ıslatan" sıvılar için sıfır (ya da buna çok yakın bir değer) dan, cam üstünde cıvada olduğu gibi 130°-140° ye kadar değişir. Ayrıntılara aşağıda gireceğiz.



Şek. 20