

Sıvıların Viskozluğu

- Viskozluk : η (Gazlarda sıvılar gibi akmaya karşı direnç gösterirler, bu dirence viskozluk denir)
- Akıcılık : φ (Viskozluğun tersi olan niceliğe akıcılık denir, viskozitesi yüksek olan sıvının akıcılığı düşüktür, gliserin suya göre daha yavaş akar)

$$\varphi = 1/\eta$$

- Laminer Akım (tabakalı veya viskoz akım) : Düşük hızlarda, düzlemsel ve sadece akım yönünde hareket
- Türblent Akım (kargaşalı akım) : Yüksek hızlarda, her yöne üç boyutlu hareket.
- Kritik hız : Laminer den Türblent akıma geçilir, viskozite, yoğunluk, akış borusunun iç çapına bağlı olup her sıvı için ve her boru için farklıdır.

$$Re = Dup/\eta$$

< 2100 Laminer Akım

> 4000 Türbülent Akım

Arası : Kararsız durum (dönüşüm)

Reynold Sayısı : (Boyutsuz bir nicelik) D borunun iç çapını , u akış hızını, p yoğunluğu, η ise viskozluğu simgelemektedir.

Sürtünme Basıncı, Sürtünme Kuvveti ve Viskozluk

η : Mutlak Viskozluk

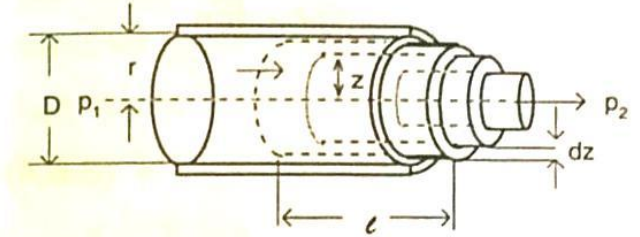
SI birimi : Nsm^{-2}

CGS birimi : dyn s cm^{-2}

Sürtünme basıncı : Birbirine değerek farklı hızlarda akan sıvı tabakalarından birinin birim alanına etkileyen kuvvete sürtünme basıncı denir.

Hız gradienti : Sıvının akış hızının çeperden çerden merkeze doğru uzaklığa bağlı olarak değişimidir.

(du/dz)



$$\tau = F/A$$

$$\tau = \eta(du/dz)$$

$$F/A = \eta(du/dz)$$

$$F = \eta A(du/dz)$$

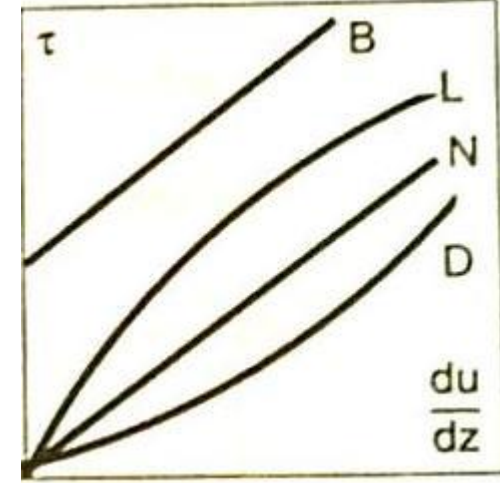
N : Sürtünme basıncı hız gradienti ile doğrusal olarak değişen Sıvılara Newtonien akışkanlar denir.

- Gazlar
 - Çözeltiler
 - Kolloidal olmayan sıvılar
- Newtonien akışkanlardır.

B: Bingham Akışkanları (Kil süspansiyonları ve bazı plastikler)

L: Kauçuk ve bazı sahte plastikler (pseudoplastics)

D : Bazı emülsiyonlar



Newtonien (N) ve Newtonien olmayan (B, L, D) akışkanlar.

REOLOJİ

Poiseuille Denklemi

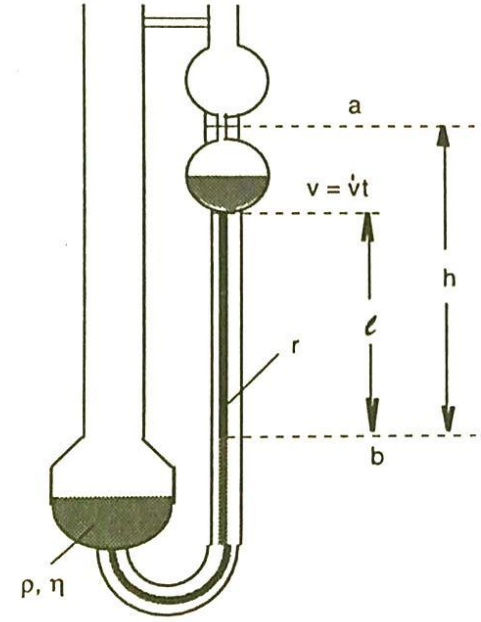
$$\int_0^{\dot{v}} dv = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{2\eta\ell} \int_0^r z^3 dz$$

$$\dot{v} = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8\eta\ell} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta\ell}$$

Hacimsel debi yada Poiseuille denklemi

Viskozluk Ölçümü

Düşey konumdaki bir kılcal borudan belli hacimdeki bir sıvının akış süresi ölçülerek poiseuille denkleminde viskozluğa geçilebilmektedir. v akan sıvının hacmini t akma süresini, r kılcalın yarıçapını, h akmanın başladığı andaki hidrostatik yüksekliği, l işaretli iki çizgi arasında kalan kılcalın uzunluğunu, ρ sıvının yoğunluğunu η ise viskozluğunu göstermektedir. Poiseuille denklemindeki basınç farkı $p_1 - p_2 = \Delta p = h\rho g$ şeklinde a ve b çizgileri arasındaki hidrostatik basınca eşittir.



$$p_1 - p_2 = \Delta p = h\rho g$$

$$\dot{v} = v/t$$

$$\eta = \frac{\pi r^4 h \rho g}{8 (v/t) l} = \frac{\pi r^4 h g}{8 v l} \rho t = k\rho t$$

$$\eta'_2 = \eta_2/\eta_1 = \rho_2 t_2/\rho_1 t_1$$

Stokes metodu ile viskozite tayini

Bir metal bilyenin bir sıvı içine bırakılmasıyla bilye yerçekimi kuvveti ile buna ters yöndeki **stokes sürtünme** kuvveti etkisi arasındadır. Bu iki kuvvet dengelendiğinde bilye limit hıza erişir ve sıvı içerisinde düzgün doğrusal bir hareketle aşağı düşer. **a** ve **b** arasında limit hızla düşme süresi ölçülerek ;

$F(\text{yerçekimi kuvveti}) = F(\text{Stokes sürtünme kuvveti})$

$$(4/3)\pi r^3 (\rho - \rho')g = 6\pi\eta r v$$

eşitliğinde **ρ'** sıvının yoğunluğu **ρ** metal bilyenin yoğunluğu, **r** kürenin yarıçapı, **v** limit hız oda **z** yükseklik ve **t** düşme süresi olmak üzere **$v=z/t$** , olmak üzere eşitliğin iki ayrı sıvı için yazılıp oranlanmasıyla ;

$$\eta'_2 = \eta_2/\eta_1 = (\rho - \rho'_2)t_2/(\rho - \rho'_1) t_1$$

Gazların viskozluğu sıcaklıkla yükseldiği halde sıvıların viskozluğu sıcaklıkla düşer. Sıvıların viskozluğunun sıcaklığa bağlılığı

A bir sabit, **E_v** viskozluk enerjisini, **T** ise sıcaklığı göstermektedir

$$\eta = 1/\phi = A e^{E_v/RT}$$



ÖRNEK 1: Bir ostwald viskozimetresinden 20 °C sıcaklıkta n-butil alkol ve suyun akma süreleri sırayla 464,4 s ve 128,4 s olarak ölçülmüştür. Her iki sıvının aynı sıcaklıktaki yoğunlukları sırayla 0,80961 g/cm³ ve 0,99820 g/cm³ dür. Verilen sıcaklıkta suyun mutlak viskozluğu 1,005 x 10⁻² P olarak verildiğine göre n-butil alkolün aynı sıcaklıktaki mutlak viskozluğunu bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$\eta_2 = \eta_1 \eta'_2 = \eta_1 (p_2 t_2 / p_1 t_1)$$

$$\eta_2 = (1,005 \times 10^{-2}) \times (0,80961 \times 464,4 / 0,99820 \times 128,4)$$

$$\eta_2 = \mathbf{2,948 \times 10^{-2} P}$$

ÖRNEK 2: Suyun mutlak viskozluğunun $1,009 \times 10^{-2}$ P olduğu bir sıcaklıkta bir ostwald viskozimetresinden heptan ve suyun akma süreleri sırayla 83,8 s ve 142,3 s dir. Bu sıvıların deney sıcaklığındaki yoğunlukları sırayla $0,689 \text{ g/cm}^3$ ve $1,000 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçüldüğüne göre heptan için bağıl ve mutlak viskozluğu bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$\eta_2 = \eta_1 \eta'_2 = \eta_1 (\rho_2 t_2 / \rho_1 t_1)$$

$$\eta_2 = 1,009 \times 10^{-2} (0,689 \times 83,8 / 1,000 \times 142,3)$$

$$\eta_2 = \mathbf{0,406 \text{ cP}}$$

$$\eta'_2 = \mathbf{0,405}$$

ÖRNEK 3 : Sıcaklığı 20 C olan suyun yoğunluğu 0,9982 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Yoğunluğu 3.151 g/cm³ olan bir metalden yapılmış 9,23 x 10⁻⁴ cm yarıçaplı bir kürecik su içinde 50 cm lik yükseklikten 1254,3 s de düşüyor. Suyun 20 C deki mutlak viskozluğunu bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$\eta = (2/9) r^2 (p-p')g/v$$

$$\eta = (2/9) \times (9,23 \times 10^{-4})^2 \times (3,151 - 0,9982) \times 981 / (50/1254,3)$$

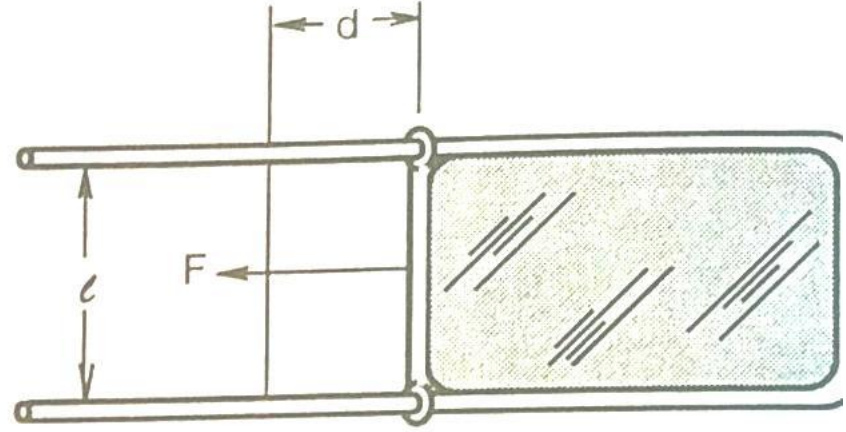
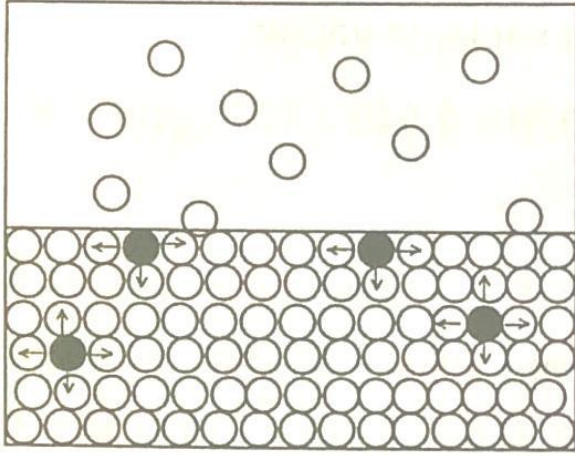
$$\eta = 1,003 \times 10^{-2} \text{ g/cm s} = 1,003 \times 10^{-2} \text{ P} = 1,003 \text{ cP}$$

Sıvıların Yüzey Gerilimi

Gazlarda sözkonusu olmayan yüzey gerilimi sıvı ve katılara özgü bir konudur. Sıvıların içindeki moleküller üzerine etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfır olduğu halde sıvı yüzeyindeki moleküller sıvının içine çeken net bir kuvvetin etkisi altındadır. Yüzeyi küçültmeye çalışan bu kuvvetleri yenmek için dışarıdan sıvıya enerji vermek gerekir.

Sabit sıcaklık ve basınçta sıvı yüzeyini 1 m^2 veya 1 cm^2 büyütme için verilmesi gereken enerjiye yüzey gerilimi adı verilir ve σ ile simgelenir.

Buna göre yüzey geriliminin birimi J/m^2 veya N/m , CGS birim sisteminde erg/cm^2 veya dyn/cm olur



Şekildeki düzenek yardımıyla f kuvvetinin etkisiyle bir sıvı filminin yüzeyi $2ld$ kadar büyütülebilir çünkü sıvının iki yüzeyi vardır.

Sıvının yüzey enerjisi σ olduğundan gerekli enerji $2ld\sigma$ olur bu enerji F kuvveti ile d yolunu alırken yaptığı Fd işine eşit olur.

$$2ld\sigma = Fd$$

$$\sigma = Fd/2ld = F/2l$$

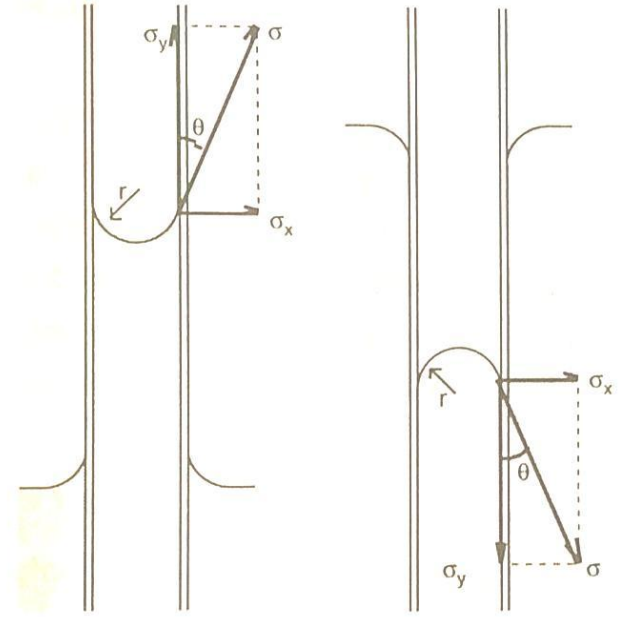
enerji / yüzey yada kuvvet / uzunluk

Yüzey geriliminin ölçülmesi

Metodlar

- Sıvıların bir kılcalda yükselmesi veya düşmesi
- Damla kütlelerini belirleme
- Damla sayma (stalagmometri)
- Bir halkanın sıvıdan koparılması
- Maksimum kabarcık basıncının belirlenmesi

- Adhezyon kuvvetleri
- Kohezyon kuvvetleri
- İç bükey sıvılar
- Dış bükey sıvılar



Şekilde, su gibi ıslatan sıvıların kılcalda kendiliğinden yükselmekte olduğu, civa gibi ıslatmayan sıvıların kendiliğinden alçalmakta olduğu görülmektedir. Islatan sıvılarda su moleküllerinin kendi aralarındaki çekim kuvvetleri su-cam molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinden daha küçüktür. Su-cam arası çekim kuvvetlerine Adhezyon kuvvetleri , su-su arası kuvvetlere Kohezyon kuvvetleri denir. Adhezyon kuvvetleri etkin olduğunda sıvılar İç bükey oluşturur. Kohezyon etkinliğinde ise dış bükey oluştururlar.

Sıvının kılcalda yükselmesi ile viskozite tayini

Sıvıları kılcal içinde aşağı yada yukarı doğru çeken kuvvet σ yüzey geriliminin σ_y bileşenidir. Yüzey geriliminin σ_x bileşeni kılcal boru duvarı ile etkileşimi sonucu harekete yol açmamaktadır.

$$\sigma_y = \sigma \cos\theta$$

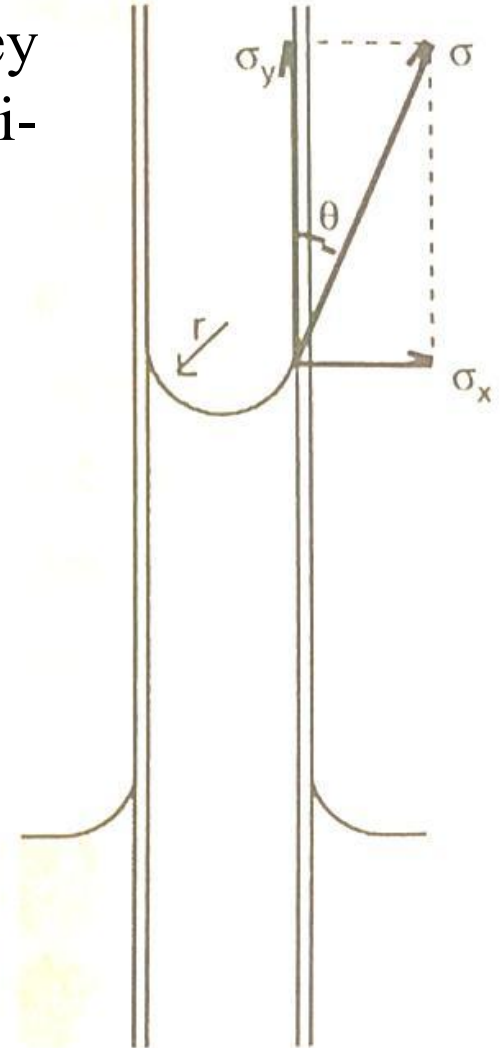
$$2\pi r\sigma \cos\theta = \pi r^2 h\rho g$$

$$\sigma = rh\rho g/2 \cos\theta$$

Tam olarak ıslatan sıvılar için $\theta = 0$ ve $\cos\theta = 1$

$$\sigma = rh\rho g/2 = r\Delta\rho/2$$

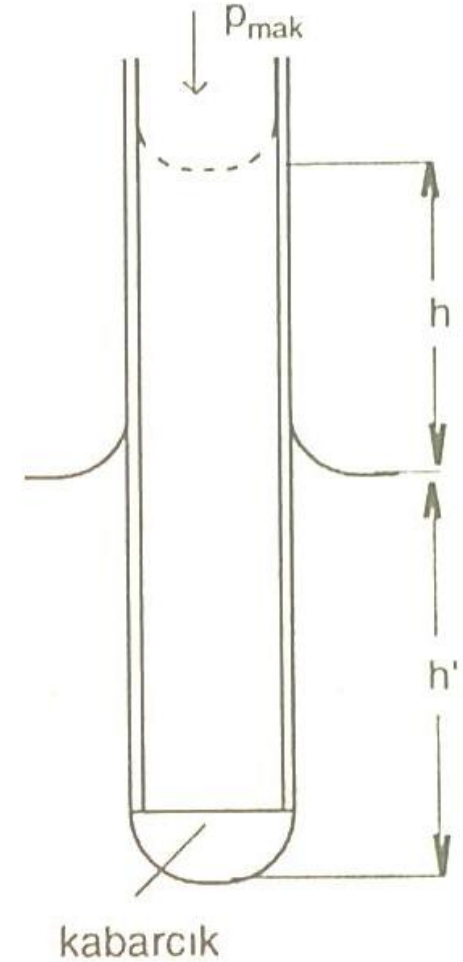
Buradaki $\Delta\rho$ sıvı sütununun hidrostatik basıncını göstermektedir



Maksimum kabarcık basıncı ile viskozite tayini

$$\sigma \approx rh\rho g/2 = r\Delta\rho/2$$

$$P_{\text{mak}} = h\rho g + h'\rho g = 2\sigma/r + h'\rho g$$



Damla sayısı (stalagmometre) metodu ile viskozite ölçümü

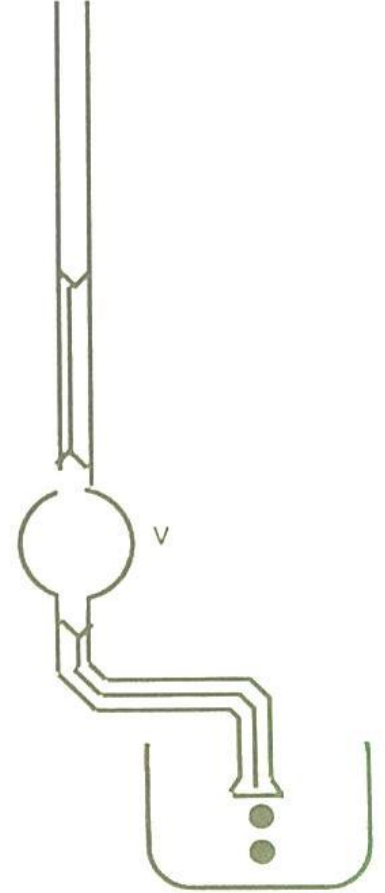
Stalagmometrenin alt ucundaki $2\pi r$ çevresine etkiyen $2\pi r\sigma$ toplam yüzey gerilim kuvvetini kendi ağırlığıyla yenen bir damla koparak düşer kopma konumundaki kuvvet denkliğinden, v hacminden oluşan damlaların sayısı n ve yoğunluğu ρ olmak üzere

$$2\pi r\sigma = mg = (v/n)\rho g$$

$$\sigma_2/\sigma_1 = m_2/m_1 = n_1\rho_2/n_2\rho_1$$

Yoğunlukları birbirine yakın olan sıvılar için

$$\sigma_2/\sigma_1 \approx n_1/n_2$$



ÖRNEK 1: Etil asetatın 20 C deki yoğunluğu $0,9005 \text{ g/cm}^3$ dür. Aynı sıcaklıkta yarıçapı $0,01294 \text{ cm}$ olan bir kılcalda $4,12 \text{ cm}$ yükselen etil asetatın yüzey gerilimini bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$\pi r^2 h \rho g = 2 \pi r \sigma$$

$$0,01294 \times 4,12 \text{ cm} \times 0,9005 \text{ g/cm}^3 \times 9,81 \times 10^2 = 2 \times \sigma$$

$$\sigma = \mathbf{23,5 \text{ dyn/cm}}$$

ÖRNEK 2: Bir metal silindirin tabanındaki düzgün dairesel bir deliğin çapı 0,04 mm dir. Delikten damlama başlayana dek silindire su dolduruluyor. Metali ıslatan suyun deney sıcaklığındaki yüzey gerilimi 72 dyn/cm ve yoğunluğu 1,0 g/cm³ olduğuna göre silindirdeki suyun yüksekliğini bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$\pi r^2 h \rho g = 2 \pi r \sigma$$

$$r h \rho g = 2 \sigma$$

$$0,02 \times h \times 1 \times 981 = 2 \times 72$$

$$\mathbf{h = 7,34 \text{ cm}}$$

ÖRNEK 3 : Bir stalagmometreden koparak düşen benzen ve bilinmeyen sıvı damlalarının 20 °C deki ortalama kütleleri sırayla 0,052 g ve 0,042 g olarak ölçülmüştür. Benzenin deney sıcaklığındaki yüzey gerilimi 28,9 dyn/cm olduğuna göre diğer sıvının aynı sıcaklıktaki yüzey gerilimini bulunuz.

ÇÖZÜM :

$$m_1 g = 2\pi r \sigma_1$$

$$m_2 g = 2\pi r \sigma_2$$

$$m_1 / m_2 = \sigma_1 / \sigma_2$$

$$0,052 / 0,042 = 28,9 / \sigma_2$$

$$\sigma_2 = \mathbf{23,3 \text{ dyn/cm}}$$

ÖRNEK 4 : Bir stalagmometreden 20 °C de akan su ve yoğunluğu yakın bir başka sıvı damlalarının sayısı sırayla 30 ve 60 dır. Suyun deney sıcaklığındaki yüzey gerilimi 72.8 dyn/cm olduğuna göre diğer sıvının aynı sıcaklıktaki yüzey gerilimini bulunuz.

$$m_1 g = 2\pi r \sigma_1$$

$$(v/n_1) \times g = 2\pi r \sigma_1$$

$$(v/n_2) \times g = 2\pi r \sigma_2$$

$$\sigma_1 / \sigma_2 = n_2 / n_1$$

$$72,8 / \sigma_2 = 60 / 30$$

$$\sigma_2 = \mathbf{36,4 \text{ dyn/cm}}$$