

Hassas Gaz Basıncı Ölçümleri İçin Yeni Bir Yöntem

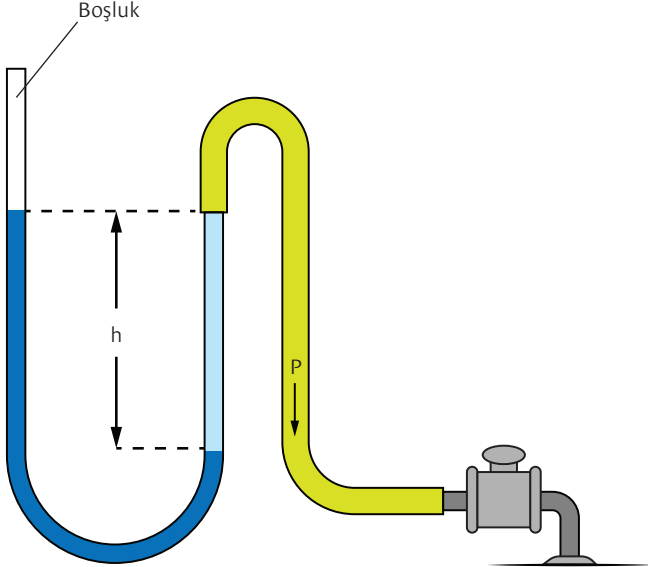
Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Almanya'daki Ulusal Metroloji Enstitüsünde (PTB) çalışan bir grup araştırmacı, gazların basıncını çok hassas bir biçimde ölçmeye yarayan yeni bir yöntem geliştirdi. Temel fizik yasaları kullanılarak yapılan hesaplara ve gazların elektriksel özelliklerinin ölçülmesine dayalı yeni yöntem, gelecekte fiziksel nesnelerin özelliklerine dayalı standart ölçüm yöntemlerinin yerini almaya aday.



Basınç tanım olarak birim yüzeye etki eden kuvvettir. Dolayısıyla katların, sıvıların ve gazların basıncını ölçmenin doğal bir yolu, alanı bilinen bir yüzeye ne kadar kuvvet uyguladıklarını ölçmektir. Evangelista Torricelli ve Christian Huygens de 1600'lerde gazların basıncını ölçmek için bu mekanik yöntemi kullanıyorlardı.

Torricelli ve Huygens tarafından kullanılan ölçüm düzeneklerinin benzerlerine bugün ders kitaplarında sıklıkla rastlarız. Bu düzeneklerde genellikle içi sıvı dolu U biçimli bir boru vardır (bkz. aşağıdaki çizim). Borunun kapalı ucu boştur, açık ucu ise basıncı ölçülmesi istenen gazla temas hâlinindedir. Gazın uyguladığı basınç, boru içindeki sıvının hareket etmesine sebep olur. Mekanik denge kurulup sıvı hareketi durduğunda, gaz tarafından uygulanan kuvvet, yerçekimi kuvveti tarafından dengelenir. Dolayısıyla bu düzeneklerde, gazın basıncı ile borunun kesit alanının çarpımı borunun kapalı uçlu tarafındaki "fazla kütle"nin ağırlığına eşittir.



Hesaplar yapıldığında gaz basıncının, $P = \rho gh$ olarak hesaplanabileceği bulunur. Bu eşitlikte P gazın basıncını, ρ sıvının özkütlesini, g ortamdaki yerçekimi ivmesini, h ise borunun iki kolundaki sıvı seviyeleri arasındaki yükseklik farkını ifade eder. Kullanılan sıvının özkütlesi ve ortamdaki yerçekimi ivmesi genellikle önceden hassas bir biçimde ölçülmüştür. Dolayısıyla ölçüm sırasında tespit edilmesi gereken tek değişken sıvı seviyeleri arasındaki yükseklik farkıdır.

Bu düzeneklerde kullanılan sıvı genellikle cıvadır. Bu durumun birkaç nedeni vardır. Öncelikle cıva özkütlesi en büyük sıvılardan biridir: yaklaşık $13,6 \text{ g/cm}^3$. Bu sayede görece küçük düzeneklerle büyük basınçların ölçülmesi mümkün olur. Örneğin, deniz seviyesinde 0°C sıcaklık altında hava basıncını ölçtüğünüzde cıva seviyeleri arasındaki yükseklik farkının yaklaşık 76 santimetre olduğunu görürsünüz. Dolayısıyla 1 metre uzunluğundaki bir boru, ölçümü yapmak için yeterlidir. Aynı ölçümü özkütlesi 1 g/cm^3 olan sıvı suyla yapmak içinse borunun uzunluğunun yaklaşık 10 metre olması gerekir. Cıvanın bir diğer önemli avantajı uçuculuğunun düşük olmasıdır. Düzenekte uçucu bir sıvı kullanılması durumunda sıvıdan gaz hâline geçen tanecikler de gaz basıncına önemli miktarda katkı yapmaya başlayacaklardır ki bu durum sonuçlarda önemli miktarda belirsizliğe yol açabilir. Sıvı cıvanın gaz basıncı ise çok düşüktür. Bu yüzden ölçülen toplam basınca önemli bir katkısı bulunmaz. Böylece arzu edilen ölçümü daha hassas bir biçimde yapmak mümkün olur. Cıvanın önemli bir dezavantajı ise insan sağlığına zararlı olmasıdır.

Günümüzün en hassas manometresi de temelde birkaç yüzyıl önce Toricelli'nin atmosfer basıncını ölçmek için kullandığı manometreye aynı biçimde çalışıyor. ABD Ulusal Standartlar ve Teknolojiler Enstitüsündeki bu manometrenin Toricelli'ninkinden en önemli farkıysa cıva seviyeleri arasındaki farkı çok hassas bir biçimde ölçmek için gelişmiş teknolojiler kullanması.

Cıvalı manometreler her ne kadar hassas ölçümlere izin verse de cıvanın insan sağlığına zararlı olması yüzünden günümüzde gazların basıncını ölçmek için kullanılacak alternatif yöntemler üzerine araştırmalar yapılıyor. PTB'den Christof Gaiser, Bernd Fellmuth ve Wladimir Sabuga tarafından geliştirilen yeni yöntem de bu çabaların bir ürünü.

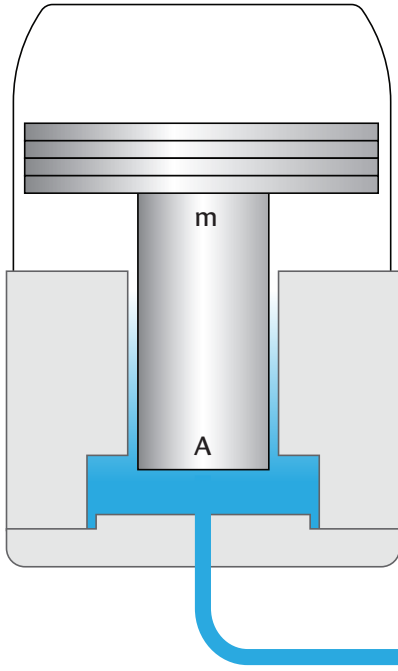
Araştırmacılar, alternatif bir basınç ölçüm yöntemi geliştirmek için ilk olarak içi cıva dolu sütunları pistonlarla değiştirmişler. Bir pistonun altındaki gazın basıncını pistonun yüzey alanını ve pistonun uyguladığı kuvveti kullanarak hesaplamak mümkündür. Ancak üretim süreçleri ne kadar hassas olursa olsun her bir piston az da olsa başka pistonlardan farklıdır ve pistonların yüzey alanını çok hassas bir biçimde ölçmek çok zordur. Araştırmacılar bu sorunu aşmak için 1980'lerde Boltzmann sabitinin değerini tespit etmek için geliştirilmiş, içi gaz dolu bir kapasitörün sığasının (yük tutma kapasitesinin) ölçülmesine dayalı bir yöntemle yöneldiler.

Bir gazın basıncı (P), sıcaklığı (T) ve hacmi (V) arasında bir ilişki vardır. Bu değişkenlerin biri değiştiği zaman diğerleri de değişir. Söz konusu olan "ideal gazlar" olduğunda bu ilişki, n mol sayısı ve R gaz sabiti olmak üzere, $PV=nRT$ olarak ifade edilir. Doğada ideal gaz yoktur. Ancak gerçek gazların davranışları da ideal gaz denklemine olmasa bile deneysel yöntemlerle tespit edilebilen çeşitli denklemlere uyar. Dolayısıyla bir gazın basıncını tespit etmenin yöntemlerinden biri de sıcaklığını ve hacmini ölçmektir. Bu şekilde hassas basınç ölçümleri yap-

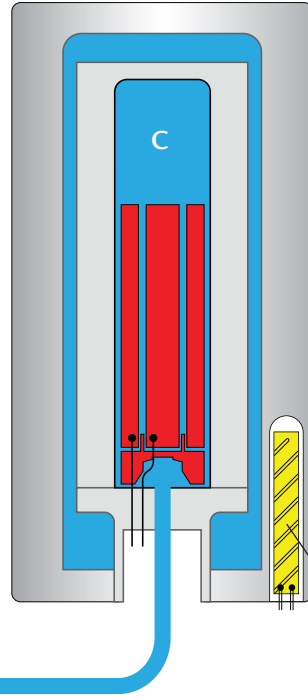
mak için aşılması gereken en önemli zorluksa hacmi çok hassas biçimde ölçebilmektir. Araştırmacılar bu zorluğun üstesinden gelmek için hacmi doğrudan ölçmek yerine gazların elektriksel özellikleri hakkında ölçümler yapıp hacimlerini kuramsal yöntemlerle hesaplıyorlar.

Bir kapasitörün elektrotları arasında basınçlı bir gaz olduğunu düşünelim. Gazın yoğunluğu değiştiğinde, gazın elektriksel özellikleri sebebiyle, kapasitörün sığasında da ufak değişiklikler olur. Dolayısıyla sığa ölçümü yaparak gazın yoğunluğu tahmin edilebilir. Daha sonra gaz yasalarını kullanarak sıcaklığı biliniyorsa basıncı, basıncı biliniyorsa da hacmi tespit edilebilir.

Bir gazın ortalama kinetik enerjisiyle sıcaklığı arasında Boltzmann sabiti ile tanımlanan bir oran olduğu için geçmişte benzer bir yöntem Boltzmann sabitinin değerini hassas bir biçimde ölçmek için kullanılıyordu. Ancak 2019 yılında Uluslararası Birim Sistemi'nde (SI) yapılan değişikliklerle Boltzmann sabitinin değeri $1,380649 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin olarak sabitlendi. Dolayısıyla Boltzmann sabitinin değerini tespit etmek için ölçümler yapmak da anlamsızlaştı. Ancak şimdi de Boltzmann sabitinin değerini kullanarak aynı yöntemle basıncı ölçmek mümkün.



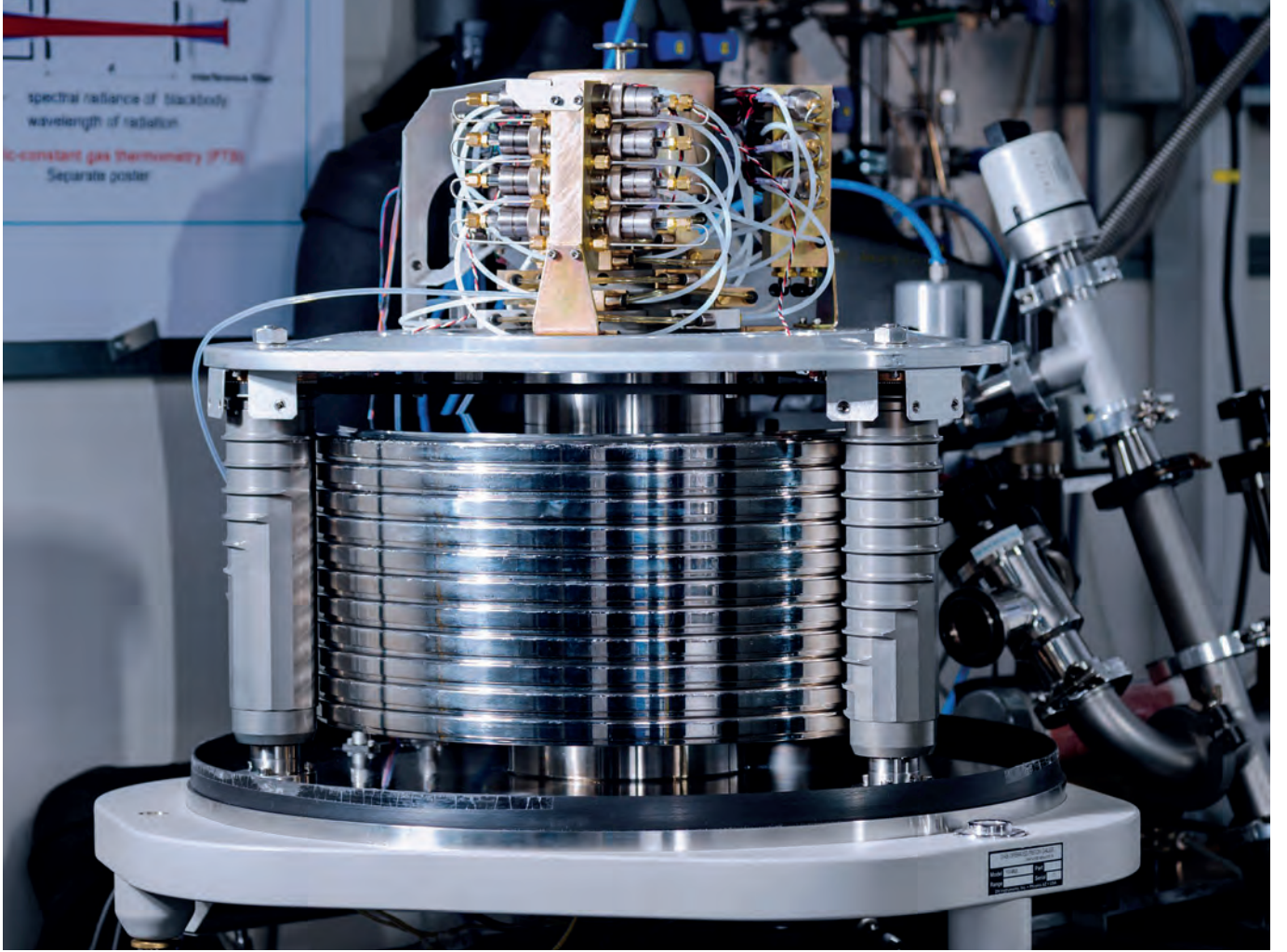
Mekanik yöntemde basınç, piston tarafından uygulanan kuvveti pistonun yüzey alanına bölünerek hesaplanıyor: $P = mg/A$



Yeni yöntemde önce sığa (C) ve sıcaklık ölçümü yapılarak gazın yoğunluğu ve dolaylı olarak basıncı hesaplanıyor.

Basıncı ölçmek için kullanılan klasik, mekanik yöntemle (solda) yeni, elektriksel yöntemin (sağda) bir karşılaştırması. Mekanik yöntemde basıncı hesaplamak için piston tarafından gaza uygulanan kuvvet pistonun yüzey alanıyla bölünür. Yeni yöntemdeyse önce sığa ölçümü ve kuramsal hesaplar yapılarak gazın hacmi tespit ediliyor, daha sonra gazın basıncı hesaplanıyor.

Dirençli termometre



Günümüzde kullanılan mekanik manometrelerin bir örneği

Yeni yöntemde, araştırmacılar geçmişte Boltzmann sabitinin değerini tespit etmek için kullanılanlara benzer bir düzeneğin içini helyum gazıyla dolduruyorlar. Daha sonra gazın sıcaklığı ve sığa ölçülüyor. Helyum, atomları sadece 2 elektrona sahip görece basit bir element olduğu için helyum gazının elektriksel özellikleri kuramsal yöntemlerle hesaplanabiliyor. Böylece gazın yoğunluğu ve dolaylı olarak basıncı tespit edilebiliyor. Araştırmacıların Nature Physics'te yayımladıkları makalede detaylarını ayrıntılı bir biçimde açıkladıkları bu yöntem 7 MPa'ya (atmosfer basıncının yaklaşık 70 katına) kadar olan basınçları milyonda 5 hata payıyla ölçmeye imkân veriyor.

Geçmişte temel ölçü birimlerini tanımlamak için fiziksel nesnelere kullanılırdı. Ancak zamanla bu durum değişti. Önce zaman sezyum atomlarının titreşim frekansları üze-

rinden, daha sonra uzunluk ışık hızı üzerinden ve en sonunda da kütle Planck sabiti üzerinden yeniden tanımlandı. Gelecekte benzer bir durum basınç için de yaşanabilir. Günümüzde gazların basıncını ölçmek için içi cıva dolu sütunlar ya da mekanik pistonlar gibi insan yapımı nesnelere özelliklerinden yararlanılıyor. Yeni geliştirilen yöntemdeyse insan yapımı nesnelere değil helyum gazının fiziksel özelliklerinden faydalanılıyor. Gelecekte, sıcaklık biriminin Boltzmann sabiti üzerinden yeniden tanımlanmasına benzer biçimde basınç biriminin de fiziksel özellikleri iyi bilinen bir gazın yoğunluğu üzerinden yeniden tanımlanması mümkün olabilir. ■

Kaynak

Gaiser, Christof ve ark., "Primary gas-pressure standard from electrical measurements and thermophysical ab initio calculations", *Nature Physics*, <https://www.nature.com/articles/s41567-019-0722-2>, 2019.