



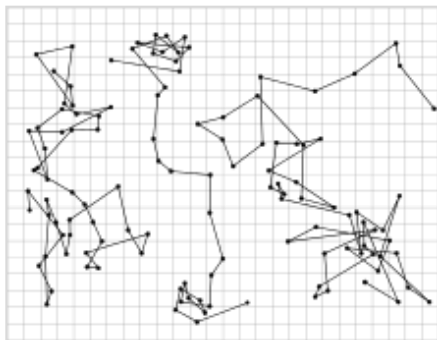
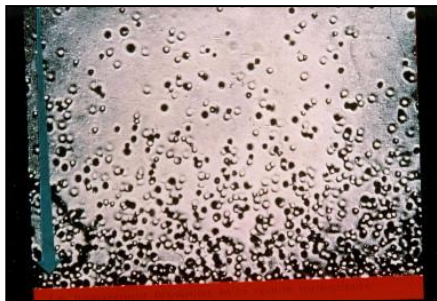
우주와 생명 제 3강

# 원자론

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

노벨 물리학상 수상 강연 (1926)

## 물질의 불연속적 구조 Discontinuous Structure of Matter



장 페랑  
Jean Baptiste Perrin

## 3-1 20세기 이전의 원자론 (Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

공기나 물과 같은 유체는 첫눈에는 완벽하게 균일한 것처럼 보인다; 우리는 유리잔에 물을 더 담을 수도 있고 덜 담을 수도 있어서, 유리잔에 들어있는 물의 양은 무한히 작은 양만큼씩 다를 수 있다, 그러니까 물은 무한히 나눌 수 있는 것처럼 보인다.



A fluid such as air or water seems to us at first glance to be perfectly homogeneous; we can put more or less water into this glass, and the experiment seems to suggest to us that the amount of water contained in it can vary by an infinitely small amount, which is the same as saying that water is “indefinitely divisible”.

## 3-1 20세기 이전의 원자론(Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



(고대의) 원자론자들에게는 모든 물질은 빈 공간 사이에 존재하는 아주 작은 입자들로 이루어졌다; 그러나 이런 입자들 자체, 즉 우주를 구성하는 파괴할 수 없는 원자들의 구조에 대해서는 아무런 가설도 제시된 바 없었다.



For the atomists, all matter consists of minute grains separated by empty gaps; not any hypothesis has been formulated for the structure of these grains themselves, atoms, which were considered as indestructible constituent element of the Universe.

# 3-1 20세기 이전의 원자론(Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



에른스트 마하  
Ernst Mach

지난 세기 (19세기) 말에 일부 과학자들은 우리 입장에서 어떻게 보이는지가 우리에게 최종적으로 중요한 것이기 때문에 우리가 접근할 수 없는 영역에 무엇이 존재하는지를 따지는 것은 무의미하다고 생각했다.

At the end of the last century, certain scholars considered that since the appearances on our scale were finally the only important ones for us, there was no point in seeking what might exist in an inaccessible domain.

## 3-1 20세기 이전의 원자론(Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

(현미경의 발명에서 볼 수 있듯이) 오늘 접근할 수 없는 것을 내일 접근할 수도 있고, 또 아직은 볼 수 없는 것에 대한 일관성 있는 가정이 볼 수 있는 것에 대한 이해를 증진시킬 수도 있다는 것을 생각할 때 나는 이런 관점을 도무지 이해하기 어렵다.

I find it very difficult to understand this point of view since what is inaccessible today may become accessible tomorrow (as has happened by the invention of the microscope), and also because coherent assumptions on what is still invisible may increase our understanding of the visible.

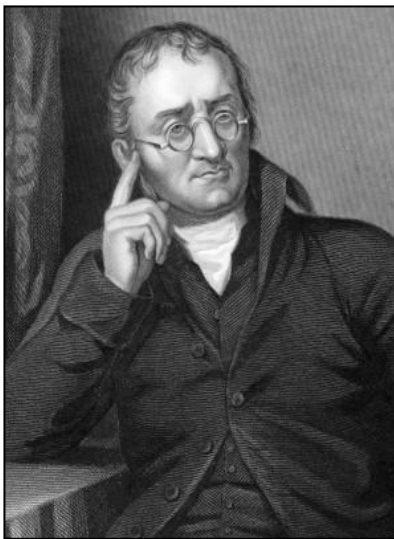


Unsigned Italian  
Compound Microscope  
(circa early 1700s)

## 3-1 20세기 이전의 원자론 (Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

돌턴은 어떤 물질은 모두 똑같고 반응 과정에서 조각으로 나누어지지 않는, 그래서 **원자**라고 불리는 입자들의 일정한 조합에 의해 만들어진다고 가정했다.

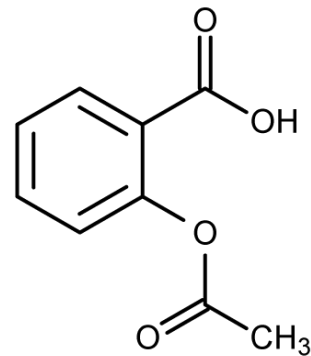


Dalton supposed that a substance is formed by a definite variety of particles which are all identical and which cannot be cut into pieces in the reactions, and which for this reason are called *atoms*.

## 3-1 20세기 이전의 원자론 (Atomic Theory before 20th Century)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

수많은 화합물에 대해 결정될 수 있는 구조식들은 성공적으로 그 화합물의 성질을 예측할 수 있기 때문에, 유기화학자들이 얻은 수십만 개의 구조식은 하나하나가 모두 원자론의 지지 근거가 된다고 말할 수 있다.



The structural formulae can be determined for an enormous number of compounds, and with such success in regard to forecasting the properties that it could be said that the hundreds of thousands of structural formulae set up by the organic chemists constitute just as many arguments in favor of the atomic theory.



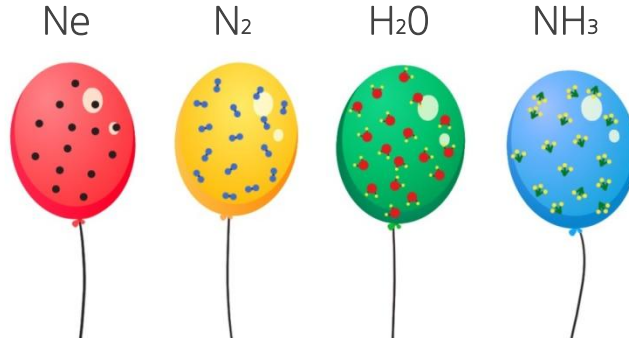
## 3-2 아보가드로의 원리(Avogadro's Principle)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

**아보가드로의 가설: 다른 기체 물질들이 같은 온도와 압력에서 같은 부피를 차지한다면 그들은 모두 같은 개수의 분자를 포함한다.**

Avogadro's  
postulate,  
or hypothesis:

When gaseous masses, at the same temperature and pressure, occupy equal volumes, they all contain the same number of molecules.

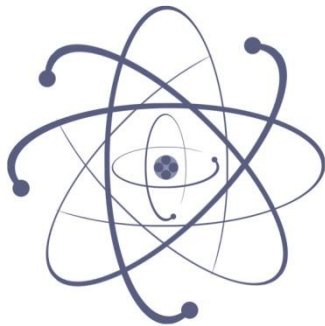


## 3-2 아보가드로의 원리(Avogadro's Principle)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

어떤 물질의 1 그램 분자량을 이루는 분자의 수  $N$ 을 *아보가드로수*라고 한다.

The number  $N$  of the molecules constituting any gram-molecule is *Avogadro's number*.



Carbon Atom

$$\times 6.02 \times 10^{23} =$$

Avogadro's  
Number



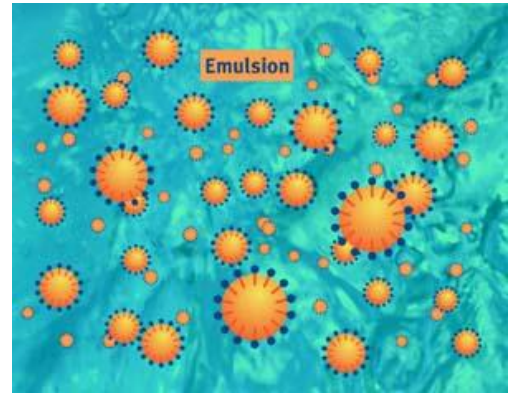
1 mole of  
Carbon

### 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

나는 아마도 아보가드로의 가설이 (현미경 등을 통해서) 볼 수 있는 알갱이로 이루어진 안정된 유탁액에도 적용되고, 그래서 브라운 운동에 의해 교란되는 알갱이 하나하나가 벽에 충돌할 때 하나의 분자로 작용할 것이라고 생각했다.

I have thought that it was perhaps valid for stable emulsions with visible grains, in such manner that each of these grains which is agitated by the Brownian movement counts as a molecule when it collides with a wall.

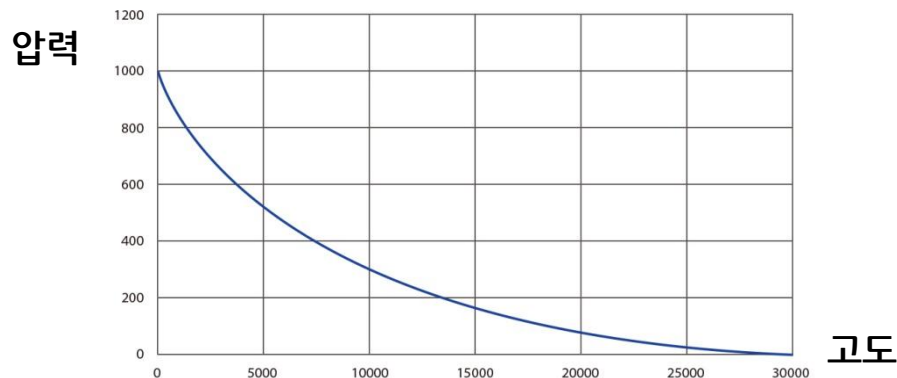


### 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

나는 (1908년에) 정성적으로 잘 알려진 사실, 즉 평형 상태에서는 기체의 수직 기둥에서 고도가 높아질수록 밀도가 낮아진다는 사실을 유탁액에 적용하였다.

I extended (1908) to emulsions the fact that is qualitatively well known to you, that in a vertical column of a gas in equilibrium the density decreases as the altitude increases.



## 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

커다란 수직 펌프에서 평형 상태에 있는 수평 방향의 얇은 공기 층은 바닥 면에서의 압력에 해당하는 압력을 아래에서 위로 가하는 피스톤과 윗면에서의 압력에 해당하는 압력을 위에서 아래로 가하는 피스톤 사이에 갇혀있다면 평형 상태를 유지할 것이고,

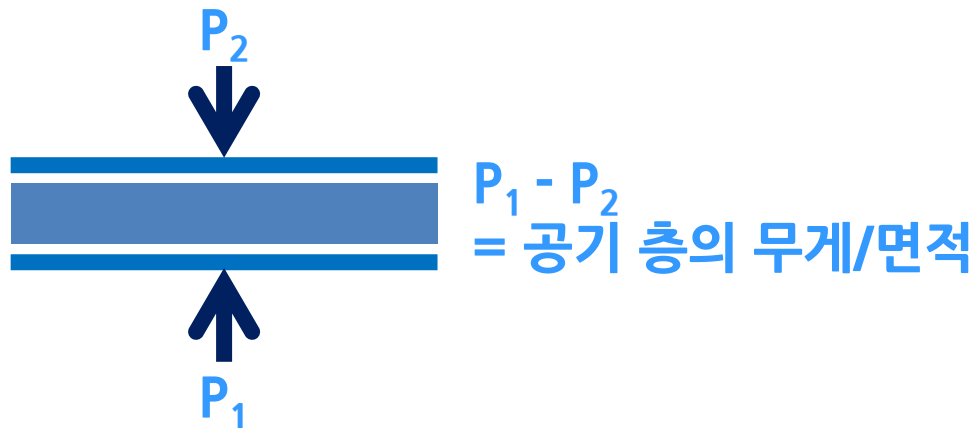
Each horizontal slice of a gas in equilibrium in a large vertical pump would remain in equilibrium if it were imprisoned between two rigid pistons and these pistons would exert respectively the pressures existing at the lower face and at the upper face of the slice;

### 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

결과적으로 단위 면적 당 이 두  
압력의 차이는 공기 층의 무게가  
된다.

with the result that, per unit surface,  
the difference of these pressures is  
equal to the weight of the gas  
supported.



### 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

분자의 개수  $n$  이 주어진 온도에서 압력  $p$  에 비례하기 때문에, 주어진 기체의 균일한 온도의 기둥에 대해서는 고도의 차이가  $dh$  로 같으면 압력의 상대적 감소  $dp/p$ , 또는 분자 수의 상대적 감소  $dn/n$  는 고도에 상관없이 같은 값을 가진다.

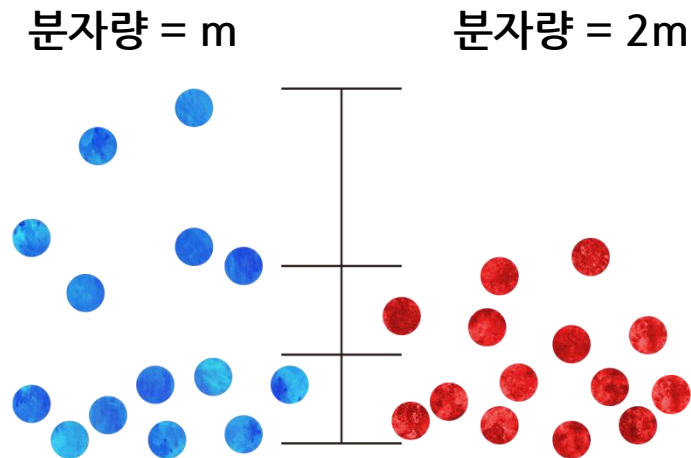
As the abundance  $n$  of molecules is proportional to the pressure  $p$  at each given temperature, we see that for a column of a given gas and of uniform temperature, the relative reduction of the pressure  $dp/p$ , or also the relative reduction of the abundance  $dn/n$  which can be said to measure the rarefaction, always has the same value for the same difference in level  $dh$ , whatever this level may be.

### 3-3 분자의 운동(Molecular Motion)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

산소의 경우에는 0도에서 매 5 킬로미터마다 두 배씩 희박해진다.  
수소의 경우에는 희박 정도가 두 배 되려면 산소보다 16배,  
그러니까 80 킬로미터를 올라가야 한다.

In oxygen at 0° the rarefaction will be doubled for each rise of 5 kilometers. It is necessary to rise 16 times higher in hydrogen than in oxygen, i.e. 80 kilometers, for the rarefaction to be doubled.

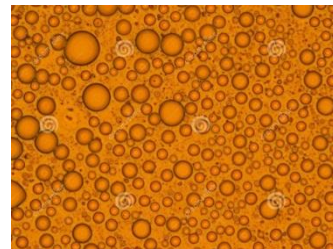




## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

나의 가장 정밀한 실험에서 나는 1 킬로그램의  
갬부지(자황) 수지를 처리해서 몇 달 동안 하루  
종일 작업하여 몇 백 밀리그램의 지름이  
약 0.75 마이크로미터로 균일한 구형 알갱이들을  
얻었는데, 이 크기는 내가 원했던 적당한 크기였다.

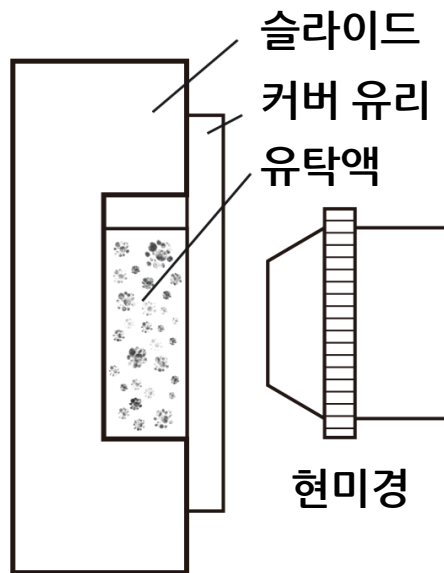


I treated in my most careful fractionation one kilogram of gamboge and obtained after several months of daily operations a fraction containing several decigrams of grains with a diameter of approximately three-quarters of a thousandth of a millimeter which was appreciably equal to what I had wanted to obtain.

## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

중력 하에서 유탁액의  
평형 분포를 조사하기  
위해서 현미경으로  
관찰할 수 있도록  
장치된 잘 막힌 유리판  
사이에 유탁액 한  
방울을 집어넣었다.



To study the equilibrium distribution of the emulsion under the action of gravity, we imprisoned a drop of the emulsion in a well-closed dish arranged for microscopic observation.

## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

처음에는 알갱이들이 골고루 분포되어있지만 점차 아래쪽에 모이면서, 온도가 내려가고 올라감에 따라 가라앉고 팽창하면서 최종 분포에 도달한다.



The distribution of the grains is at first uniform, but it is found that the grains accumulate progressively in the lower layers until a limiting distribution is reached with reversible settling or expansion depending on whether the temperature is lowered or raised.

## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

유탕액이 희박해지는 정도는  
높이로부터 금방 구할 수 있고, 미니  
대기와의 유사성은 매우 놀라운데  
인스턴트 사진을 찍으면 정밀한  
측정이 가능하다.

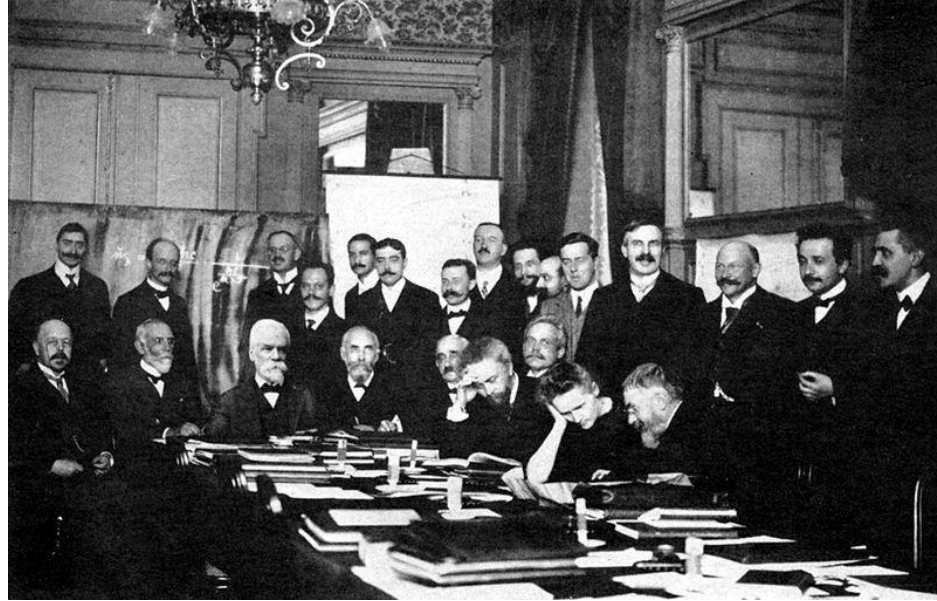
완벽한 성공이다.

The rarefaction of the emulsion is  
obtained immediately from the  
height, and the resemblance to a  
miniature atmosphere is extremely  
striking, precise measurements being  
possible from instantaneous  
photographs.

The success is complete.

## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



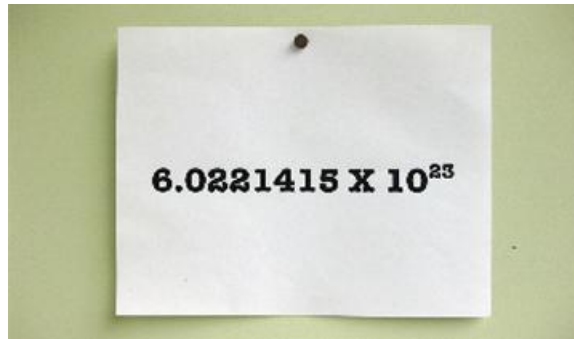
1911 Solvay Conference  
앞줄 왼쪽에서 6번째가 페랑

## 3-4 아보가드로수 (Avogadro's Number)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

나의 가장 정밀한 측정에서는  
6 마이크론 높아질 때마다 절반으로  
희박해졌는데 이 때 (아보가드로수)  
 $N$ 이  $68 \times 10^{22}$  로 얻어졌다.

My most careful measurements  
made with an emulsion the  
rarefaction of which doubled with  
each rise of 6 microns, gave a value  
for  $N$  of  $68 \times 10^{22}$ .



# Review

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

To make Homo sapiens  
You need ten thousand moles  
Of atoms  
Of hydrogen  
And oxygen  
As well as carbon, nitrogen  
And phosphorus.