

INDEX OF LANGUAGES- ÍNDICE DE IDIOMAS

ESPAÑOL.....	2
ENGLISH	16



MODELO DE TEORÍA CINÉTICA DE GASES

GAS KINETICS THEORY MODEL

REF. QLJ010

MODELO DE TEORÍA CINÉTICA DE GASES

MODELO DE TEORÍA CINÉTICA DE GASES	2
ARTÍCULOS INCLUIDOS:	3
OTROS ARTÍCULOS NECESARIOS:	3
TEORÍA:.....	3
Presión de un gas:	5
Media cuadrática (RMS) de la velocidad.....	7
Interpretación cinética de la temperatura.....	8
Confirmación experimental de la Teoría Cinética de Gases.....	9
Movimiento browniano.....	10
MODELO DE TEORÍA CINÉTICA DE GASES	11
Procedimiento	12
PRECAUCIONES.....	15

ARTÍCULOS INCLUIDOS:

1. Modelo de teoría cinética de gases
2. Esferas metálicas
3. Discos de cartón
4. Émbolos de poliestireno
5. Manual de instrucciones

OTROS ARTÍCULOS NECESARIOS:

1. Fuente de alimentación DC, 6 Voltios
2. Cables de conexión con banana 4 mm en ambos extremos
3. Lápiz marcador
4. Bolitas de poliestireno

TEORÍA:

La conversión de la energía térmica en trabajo implica que el calor es una forma de energía y que está íntimamente relacionada con el movimiento de las partículas (o moléculas) de las que la material está compuesta. En el caso de los gases, sus propiedades macroscópicas (como presión, temperatura, etc.) se explican en términos del comportamiento de sus

moléculas mediante la teoría cinética de gases (o modelo molecular cinético de gases), utilizando el concepto de gas ideal.

De acuerdo a la teoría cinética, cada sustancia, tanto si es un sólido como un líquido o gas consiste de un gran número de partículas discretas llamadas moléculas. De este modo, una molécula es la entidad más pequeña (o partícula) de una sustancia, la cual es capaz de existir en un estado libre y posee todas las propiedades características de la sustancia. Las moléculas de una sustancia están en continuo movimiento y este movimiento depende de la temperatura de la sustancia. En el caso de los sólidos, las moléculas están muy cercanamente agrupadas debido a grandes fuerzas de cohesión entre ellas. Como resultado, son incapaces de moverse libremente pero pueden vibrar sobre su propia posición. Esto explica la forma y volumen definidos de los sólidos. Las moléculas de un líquido están comparativamente más lejos unas de otras que en los sólidos con fuerzas de cohesión mucho menores entre ellas. Así pues, pueden moverse a cualquier lugar del líquido pero no salir de él y consecuentemente los líquidos tienen un volumen definido pero no una forma definida, sino que adquieren la forma del contenedor en el que se han vertido. En el caso de los gases las moléculas están tan alejadas unas de otras que las fuerzas de atracción entre ellas son insignificantes. Son por tanto, libres de moverse en todo el espacio disponible. Por tanto, los gases no tienen ni volumen ni forma definidos.

El estudio de la teoría cinética tuvo una primera aproximación mediante su aplicación a la materia en estado gaseoso, la cual se rige por leyes simples y definidas. Por primera vez, Bernoulli, en 1730, fue capaz de explicar la ley de Boyle en base a movimientos moleculares y gracias a esta contribución es considerado el padre de la teoría cinética. A esto siguió una importante contribución en el desarrollo de la teoría cinética de gases por parte de Clausius, Maxwell, Boltzman, Jeans, Van der Waals, Lorentz and Rayleigh, los cuales cubrieron casi por completo el campo de los diferentes fenómenos físicos relacionados con los gases. Se han realizado diversos intentos para extender la aplicación de la teoría cinética a líquidos y sólidos pero con escaso éxito; por tanto, la teoría cinética de líquidos y sólidos es más complicada y todavía permanece en un estado poco desarrollado.

La discusión de la teoría cinética de gases se basa en varias suposiciones, establecidas por primera vez por Clausius:

- a. Un recipiente cerrado de volumen “V” conocido contiene un gran número “N” de moléculas, las cuales están en un estado de constante movimiento dentro del recipiente.
- b. Estas moléculas de gas han de ser consideradas rígidas, perfectamente elásticas, esferas sólidas, idénticas en todos los aspectos como masa “m”, forma, etc. Estas moléculas se comportan

como partículas puntuales y son de tamaño insignificante comparadas con la distancia media entre ellas y con las dimensiones del recipiente que las contiene.

- c. Las moléculas están en un estado de incesante movimiento aleatorio en todas direcciones y a todas las velocidades posibles. Se dice por tanto que el gas está en un estado de caos molecular. Las moléculas obedecen a las leyes de movimiento de Newton. Cada molécula colisiona ocasionalmente con el pared del recipiente y estas colisiones son perfectamente elásticas (es decir, obedecen a las leyes de conservación del momento y la energía)
- d. Con cada colisión de una molécula con otra molécula o con las paredes del recipiente, su velocidad se altera en dirección y magnitud. Además, en estado estable, estas colisiones no afectan la densidad molecular del gas, esto es, el número de moléculas por unidad de volumen de gas permanece constante.
- e. Las colisiones son perfectamente elásticas y no hay fuerzas de atracción o repulsión entre las moléculas. Esto implica que la energía contenida en el las moléculas del gas es toda cinética.
- f. El tiempo transcurrido en una colisión es insignificante comparado con el tiempo durante el cual las moléculas se están moviendo independientemente.

- g. Entre sucesivas colisiones, las moléculas se mueven en línea recta y con velocidad uniforme. La distancia entre dos colisiones es el llamado camino libre de la molécula y la distancia media recorrida por una molécula entre sucesivas colisiones es conocida como la media del camino libre.
- h. Las paredes del recipiente son perfectamente rígidas e infinitamente grandes y no se mueven.

Basada en las anteriores suposiciones es posible formular una teoría general que represente la conducta común de todos los gases. Por tanto, no debería incluir ningún factor que pueda variar de un gas a otro. Con estos postulados, la mayor parte de las propiedades de los gases pueden ser explicadas mediante la aplicación de las leyes de probabilidad de un sistema en equilibrio dinámico, esto es, en base a la conducta más probable del mayor número de moléculas en un volumen dado, como se explica más abajo.

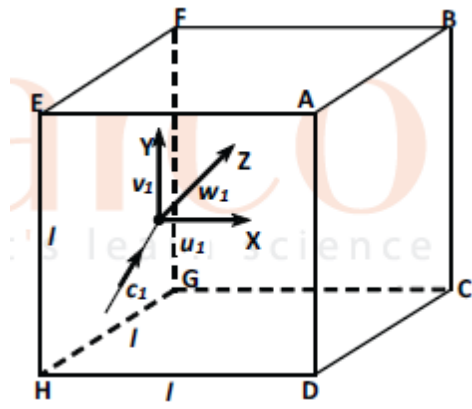
Presión de un gas: como se ha explicado más arriba, las moléculas de un gas contenido en un recipiente están en continuo movimiento aleatorio y colisionan no solo unas con otras sino que también impactan con las paredes del recipiente en el que están contenidas. Cada colisión de una molécula con las paredes del recipiente resulta en la transferencia de un

momento definido a las paredes. Dado que el número de moléculas que colisionan con las paredes es muy grande, las paredes experimentan una fuerza casi continua. Esta fuerza que actúa en una unidad de área de la pared es conocida como presión del gas. Así pues, de acuerdo a la teoría cinética de los gases, la presión ejercida por un gas es simplemente el total de momentos transmitido a las paredes del recipiente contenedor del gas por segundo y por unidad de área debido al impacto de las moléculas del gas sobre dichas paredes.

Supongamos que un gas está contenido en un cubo de lado “l” y que “N” es el número de moléculas de dicho gas. Consideremos también una única molécula de masa “m” y velocidad “ c_1 ” en una dirección determinada. Esta velocidad puede descomponerse en tres componentes ortogonales u_1 , v_1 y w_1 a lo largo de tres ejes de coordenadas X, Y y Z (paralelos a los lados del cubo) respectivamente. Así,

$$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \dots\dots\dots$$

(1)



Si esta molécula golpea la pared ABCD del recipiente, transmitirá un momento mu_1 a esta cara del cubo. Como la colisión es perfectamente elástica la molécula rebotará desde la pared con la misma velocidad u_1 . El cambio en el momento de la molécula producido por el impacto es el siguiente:

$$mu_1 - (-mu_1) = 2mu_1$$

Tras el retroceso, esta molécula viaja hacia la pared opuesta EFGH, colisiona de la misma manera y vuelve de nuevo hacia la pared ABCD, tras recorrer una

distancia "2l". Por tanto el tiempo transcurrido entre 2 colisiones sucesivas en la cara ABCD es $2l / u_1$

El número de colisiones por segundo que la molécula realiza en la pared ABCD es $u_1 / 2l$

Por consiguiente, la tasa de cambio del momento es

$$2mu_1 \times \frac{u_1}{2l} = \frac{mu_1^2}{l}$$

Según la segunda ley de movimiento de Newton, la tasa de cambio del momento = fuerza aplicada. Si "f" la fuerza aplicada, entonces

$$f_1 = \frac{mu_1^2}{l}$$

Del mismo modo, la fuerza sobre la pared ABCD "F_x" debida al impacto de "N" moléculas se obtendría mediante la fórmula siguiente

$$F_x = \frac{m}{l} (u_1^2 + u_2^2 + \dots\dots\dots + u_N^2)$$

La presión ejercida en la pared ABCD debido a esta fuerza es

$$P_x = \frac{F_x}{l^2} = \frac{m}{l^3} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2)$$

Del mismo modo, la presión "P_y" y "P_z" ejercida por el gas en las otras caras AEFB y BCHF del recipiente, las cuales son perpendiculares a los ejes Y y Z respectivamente, se obtienen mediante las fórmulas

$$P_y = \frac{m}{l^3} (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2)$$

$$P_z = \frac{m}{l^3} (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2)$$

Dado que la presión ejercida por el gas es la misma en todas direcciones, la presión media "P" del gas se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{P_x + P_y + P_z}{3} \\ = \frac{m}{3l^3} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2) + (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2) + (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2)$$

Teniendo en cuenta que el volumen de un cubo es V=l³, y que de la ecuación (1)

$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2$, $c_2^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2$ y así sucesivamente, entonces,

$$\Rightarrow P = \frac{1}{3} \frac{m}{V} (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2) = \frac{1}{3} \frac{mN}{V} C^2 \dots \dots \dots (2)$$

Donde,

$$C^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2}{N}$$

C² es conocida como la *velocidad cuadrática media* de las moléculas

Si, "M" es la masa total del gas, entonces M=mN y por tanto la ecuación (2) se convierte en,

$$P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} C^2 \dots \dots \dots (3)$$

Media cuadrática (RMS) de la velocidad: según lo indicado anteriormente, "C" es la denominada media cuadrática de la velocidad de las moléculas y es igual a la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las velocidades de cada una de las moléculas individualmente. "C" no es lo

mismo que la media de las velocidades de las distintas moléculas y puede ser calculada a partir de la ecuación (3) si se conoce la presión (P) y densidad del gas.

Densidad del gas,

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Entonces,

$$\therefore P = \frac{1}{3} \rho C^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Rightarrow C = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Si “E” es la energía cinética media por unidad de volumen del gas, entonces

$$E = \frac{1}{2} \rho C^2$$

Y así, de la ecuación (4)

$$P = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \rho C^2 = \frac{2}{3} E \quad \dots\dots\dots (6)$$

Por tanto, la presión de un gas es numéricamente igual a dos tercios de la energía cinética media por unidad de volumen de las moléculas del gas.

Interpretación cinética de la temperatura: Avogadro probó que volúmenes iguales de todos los gases contienen igual número de moléculas a la misma temperatura. De acuerdo con esto, un mol de todos los gases pesa igual que sus masas moleculares expresadas en gramos (o mol). Además, un mol de diferentes gases contenidos en recipientes de volúmenes idénticos a la misma temperatura ejercen igual presión en las paredes de los recipientes.

Si “V” es el volumen ocupado por un mol del gas y “M” es su peso molecular, entonces la ecuación (3) puede ser expresada de la siguiente manera

$$PV = \frac{1}{3} MC^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

De acuerdo a la ecuación de los gases ideales,

$$PV = nRT \quad \dots\dots\dots (8)$$

Donde, “n” es el número de moles de un gas contenido en un recipiente, “R” es la constante universal de los gases que tienen un valor de 8.31 Joules/Mol-K, y “T” es la temperatura absoluta del gas en grados Kelvin.

Si consideramos 1 mol de gas, entonces n=1. Y así de las ecuaciones (7) y (8) obtenemos

$$\frac{1}{3} MC^2 = RT$$

$$\Rightarrow C^2 = \frac{3R}{M} \times T \quad \dots\dots\dots (9)$$

Consideremos “N” como el número de moléculas contenidas en un mol de de gas (o constante de Avogadro que tiene un valor de $6,0225 \times 10^{23}$). Dividiendo el numerador y denominador de la ecuación anterior por “N” obtenemos,

$$C^2 = 3 \frac{R/N}{M/N} \times T = \frac{3k}{m} T \quad \dots\dots\dots (10)$$

Donde “m” es la masa de una molécula de gas y “k” es la constante de Boltzmann (R/N)

La ecuación (10) muestra que la media cuadrática de la velocidad “C²” es directamente proporcional a la temperatura absoluta “T”. A T=0, C²=0, o C=0. Así pues, el cero absoluto es la temperatura a la cual la velocidad traslacional de las moléculas de un gas se ve reducida a 0. Además de la ecuación (10),

$$\frac{1}{2} mC^2 = \frac{3}{2} kT$$

La ecuación anterior muestra que la energía cinética media por molécula en una masa determinada de un gas es proporcional a la temperatura absoluta del gas y no depende de la presión, volumen o tipo de molécula. En otras palabras, a cada temperatura uniforme, hay una correspondiente distribución uniforme de la energía cinética, y las colisiones moleculares proporcionan el camino que conduce a la compensación de la temperatura.

Confirmación experimental de la Teoría Cinética de Gases: El fundamento básico de la teoría cinética de gases es el movimiento de sus moléculas debido a la agitación térmica. Este movimiento de moléculas es

tan rápido e irregular que el gas en su conjunto permanece quieto. Esta teoría ha explicado adecuadamente varios fenómenos térmicos y relacionados como las leyes de Boyle, Charle, gases ideales, Avogadro, Gay-Lussac, ley de presión parcial de Regnault, ley de difusión de Graham, etc. Pero, estas explicaciones son evidencias más o menos indirectas de la validez de la teoría, dado que varias suposiciones de la teoría cinética han sido introducidas en base a resultados empíricos. Hay dos evidencias experimentales directas e independientes que se utilizan para apoyar la validez de esta teoría, en concreto, el movimiento browniano de las moléculas y la anchura de las líneas espectrales y visibilidad de los límites de interferencia. El movimiento browniano se explica más adelante mientras que la anchura de las líneas espectrales y visibilidad de los límites de interferencia quedan fuera del ámbito de la presente discusión.

Movimiento browniano: El fenómeno de movimiento browniano fue llamado así en honor del botánico británico Robert Brown que lo descubrió en 1827. Su observación describió el movimiento de las partículas como rápido e incesante y de manera irregular en todas las direcciones. Observó que las partículas en un líquido giran, se elevan, se sumergen y se elevan de nuevo sin descanso, en un movimiento repentino, aleatorio e impredecible; cuanto más pequeña es una partícula, más vivos y evidentes son sus

movimientos. Inicialmente, el movimiento browniano se atribuyó a la tensión superficial, irregularidades en la temperatura del fluido, vibraciones, acciones químicas, etc. Sin embargo, todas estas explicaciones no eran adecuadas para una completa explicación de este fenómeno. Más adelante, se determinó que este fenómeno es el resultado de la agitación térmica de las moléculas del fluido.

El efecto solamente se puede obtener con partículas muy pequeñas debido a dos motivos. En primer lugar, la energía cinética de las moléculas es tan pequeña que no pueden transmitir una velocidad limitada a partículas grandes. El segundo motivo se basa en la ley de distribución de velocidades de Maxwell. Maxwell demostró que las velocidades de las moléculas se distribuyen de acuerdo a leyes definidas y que esta distribución es real para cualquier pequeño elemento de volumen en la sustancia. Así pues, si la partícula es grande, la fuerza debida al impacto de moléculas en un lado será contrarrestada por la debida a aquellas moléculas en el otro lado y la fuerza neta de la partícula será cero. Sin embargo, en el caso de una partícula pequeña, ésta se topa con muy pocas moléculas en un determinado tiempo u las irregularidades en el movimiento de moléculas comenzarán a manifestarse por sí mismas. Así pues, tenemos una evidencia directa del

movimiento de las moléculas debido a la agitación térmica que forma el postulado básico de la teoría cinética.

Desviación del comportamiento de un gas real respecto a un gas ideal: en el caso de la explicación del comportamiento de los gases ideales mediante la teoría cinética de gases, hay que suponer que

- a. Las moléculas no ejercen ninguna fuerza unas sobre otras o sobre las paredes del recipiente excepto durante las colisiones propiamente dichas.
- b. Las moléculas son partículas puntuales cuyo volumen es despreciable con respecto al volumen del recipiente.
- c. Las colisiones de las moléculas unas con otras y con las paredes del recipiente son perfectamente elásticas.

De hecho, ningún gas real cumple con las condiciones anteriores. Por definición, el comportamiento de un gas real muestra desviaciones con respecto al de un gas ideal (como se explica en base a la teoría cinética). Estas desviaciones se vuelven sustanciales conforme la temperatura del gas se aproxima a su punto de condensación. Los gases reales se comportan como gases ideales con suficiente grado de precisión a densidades muy bajas y cuando su temperatura está lejos de la temperatura de

condensación. Bajo estas condiciones, las suposiciones anteriores no son completamente válidas.

MODELO DE TEORÍA CINÉTICA DE GASES

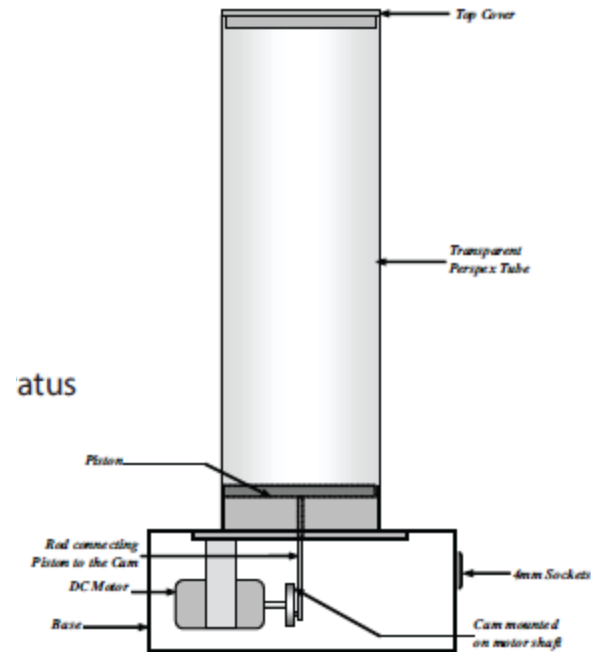


Figura 2

El aparato consiste en un tubo cilíndrico transparente de metacrílico colocado sobre un soporte circular y firmemente sujeto mediante unos

tornillos de ajuste. El soporte circular, a su vez, está montado sobre una base estable de plástico. Un pistón, montado sobre el soporte circular, está conectado a una leva fijada excéntricamente al eje del motor mediante una pequeña varilla (como se muestra en la figura 2). El motor se encuentra colocado en la base sobre un sillín de plástico mediante una pinza. La base también dispone de un par de clavijas de 4 mm con código de color para conectar el motor a una fuente de alimentación DC de bajo voltaje. La base dispone de patas de goma antideslizantes para proporcionar estabilidad al equipo durante su funcionamiento.

Cuando el motor comienza a funcionar, la leva empieza a girar. Esta rotación excéntrica de la leva resulta en un movimiento hacia arriba y hacia abajo del pistón. Las oscilaciones del pistón a su vez producen la agitación de las bolitas metálicas situadas encima.

En la parte superior del tubo cilíndrico, se encuentra una tapa con un agujero. Incluido también en este equipo, se suministra un pistón de poliestireno de utilidad para la demostración del concepto de presión cuando es introducido dentro del tubo desde la parte superior. También se suministran cuatro discos de cartón para cargar el pistón de poliestireno para la demostración de la ley de Boyle.

El aparato requiere una fuente de alimentación de 6 V DC para su correcto funcionamiento. El movimiento de las bolas puede ser aumentado o disminuido mediante la variación del voltaje suministrado al motor desde la fuente de alimentación. Para un resultado óptimo, se recomienda extender las bolas uniformemente sobre el pistón desde el centro hasta cubrir dos tercios del área transversal del diafragma.

Este aparato es útil para la demostración de varios conceptos relacionados con la teoría cinética de los gases. Algunos de estos conceptos son:

- a. Movimiento de las moléculas de un gas y movimiento browniano
- b. Concepto de presión y descenso de la presión atmosférica con el aumento de la altitud
- c. Ley de Boyle
- d. Distribución de velocidades de las moléculas
- e. Concepto de energía cinética térmica de las moléculas

Procedimiento

1. Coloque el aparato sobre una superficie plana y estable
2. Retire la tapa de la parte superior del tubo de metacrilato y coloque las bolitas metálicas sobre el pistón cubriendo al menos dos tercios

de su sección transversal. Coloque de nuevo la tapa cerrando la parte superior del tubo de metacrilato.

3. Mediante un par de cables de conexión, conecte las clavijas de 4 mm con código de color de la base del aparato con las salidas positiva y negativa correspondiente de una fuente de alimentación de bajo voltaje.
4. Encienda la fuente de alimentación y seleccione un voltaje de salida de 6 V.
5. La rotación del motor producirá un movimiento oscilatorio del pistón que será transferido a las esferas metálicas colocadas sobre él (transmisión de la energía cinética del pistón a las esferas metálicas) agitándolas. Esto conduce a un movimiento violento (aleatorio) de dichas esferas, como un baile al azar. El movimiento de las esferas, aunque aleatorio, no es exactamente como el movimiento de las moléculas de un gas. Estas esferas metálicas están bajo el efecto continuo de la gravedad y las colisiones de unas con otras y con las paredes del tubo de metacrilato no son perfectamente elásticas (su energía cinética no se conserva). Pero, a efectos prácticos, las características del movimiento son mucho más similares a las de las moléculas de un gas.

La pérdida de energía cinética de las esferas metálicas debido a las colisiones se compensa cuando vuelven a caer sobre el pistón oscilante, así, la energía mecánica contenida en el pistón es transferida una y otra vez a las esferas metálicas. Por tanto, el movimiento de las esferas es tal que la pérdida de energía cinética que sufren es continuamente repuesta por el pistón oscilante. Si no fuera así, el movimiento de las esferas iría disminuyendo por la continua pérdida de energía (si la energía proporcionada continuamente por el pistón fuera menor) o bien el movimiento aumentaría constantemente (si la energía proporcionada continuamente por el pistón fuera mayor). De este modo, se puede considerar que las esferas metálicas tienen una energía cinética uniforme (análogas a las moléculas de un gas a temperatura constante).

6. También se puede observar que conforme nos alejamos del pistón hacia arriba, el número de moléculas que alcanzan mayor altura va disminuyendo. Hay una altura particular en la que el número de esferas alcanza el máximo; esto corresponde a la energía cinética media. La menor densidad de las esferas metálicas conforme nos alejamos en altura del diafragma demuestra la reducción de la atmósfera conforme aumenta la altitud. La situación es similar a la

de las moléculas de aire en la tierra que están también bajo la influencia de la gravedad.

7. Si aumentamos el voltaje que llega al motor, la velocidad de rotación aumentará resultando a su vez en un aumento de la frecuencia de oscilación del pistón. Esto llevará a una agitación más frecuente de las esferas metálicas, es decir, se transferirá una mayor energía. Como resultado, aumentará tanto la altura máxima alcanzada por las esferas como la altura alcanzada por el máximo número de esferas. Del mismo modo, ocurrirá lo contrario en caso de disminuir el voltaje.
8. Apague la fuente de alimentación para detener el aparato. Retire la tapa superior e introduzca el pistón de poliestireno que caerá al fondo del tubo de metacrilato. Tan pronto como el equipo se ponga en marcha de nuevo, el pistón de poliestireno comenzará a elevarse como efecto del movimiento aleatorio de las esferas metálicas. El pistón de poliestireno ascenderá hasta un determinado punto en el cual su peso está en justo equilibrio con la fuerza hacia arriba debida al movimiento de las esferas. El movimiento de estas esferas simula una presión (igual al a fuerza ejercida por el movimiento de las esferas por unidad de área) que es análoga a la presión del gas. Si se disminuye el voltaje, el movimiento molecular disminuirá,

disminuyendo la presión ejercida por las esferas metálicas sobre el pistón de poliestireno.

Como resultado, el pistón de poliestireno se situará por debajo de su posición anterior. Del mismo modo, si aumenta el voltaje, mayor será el movimiento de las esferas y el pistón de poliestireno se situará por encima de su posición anterior. Esto evidencia que cuanto más violento o agitado es el movimiento (esto es, mayor es la energía) de las esferas (o moléculas de un gas), mayor es la presión ejercida por ellas sobre las paredes que las limitan.

9. Para demostrar la ley de Boyle, reduzca a la mitad el número de esferas dentro del tubo de metacrilato y como se ha explicado anteriormente inicie el funcionamiento del aparato tras introducir el pistón de poliestireno. Con un lápiz marque la altura alcanzada por el pistón. Esta posición corresponde al volumen a la presión ejercida por las esferas metálicas. De nuevo repita este paso tras aumentar el número de esferas hasta el doble de la cantidad anterior y manteniendo el mismo voltaje; marque de nuevo la altura alcanzada por el pistón de poliestireno que será superior a la marcada anteriormente. La distancia entre una posición y la otra indica el aumento de volumen. Coloque un disco de cartón sobre el pistón de poliestireno a modo de carga y observe cómo disminuye

la altura del pistón. Aumente la carga del pistón colocando más discos de cartón si es necesario hasta que el pistón quede a la altura marcada inicialmente. Esto muestra que con el aumento de la presión, el volumen de un gas disminuye manteniendo otros factores constantes como la cantidad de moléculas y la temperatura, demostrando así empíricamente la ley de Boyle.

10. Para estudiar el concepto de movimiento browniano, retire el pistón e introduzca las esferas de poliestireno en el tubo. Con el aparato en funcionamiento se puede observar que las esferas metálicas colisionan con las de poliestireno, resultando en un movimiento aleatorio de estas últimas. Aunque este movimiento no es lo suficientemente exacto para representar el movimiento browniano, está cercano a ser un modelo análogo a gran escala y da una indicación de los conceptos generales implicados.

PRECAUCIONES

1. El aparato está estrictamente diseñado para uso en laboratorio
2. El aparato debe colocarse sobre una superficie plana y estable antes de su uso. Una superficie inclinada o irregular puede resultar en un funcionamiento inadecuado del equipo.

3. El aparato deberá ser siempre utilizado con la tapa metálica colocada en la parte superior del tubo de metacrilato.
4. No encienda la fuente de alimentación hasta que no estén realizadas todas las conexiones y el equipo esté listo para su funcionamiento.
5. El aparato no debe mantenerse en funcionamiento durante mucho tiempo a voltajes superiores o inferiores a 6 voltios para evitar daños en el motor.

GAS KINETICS THEORY MODEL

GAS KINETICS THEORY MODEL	16
ITEMS INCLUDED:.....	17
OTHER ITEMS REQUIRED:	17
THEORY:.....	17
Pressure of a gas.....	19
Root Mean Square (RMS) Velocity	21
Kinetic Interpretation of Temperature.....	22
Experimental Confirmation of the Kinetic Theory of Gases	23
Brownian Movement.....	23
Deviation of Real Gas Behavior from that of an Ideal Gas	24
KINETIC THEORY OF GASES MODEL APPARATUS	25
Procedure	26
PRECAUTIONS.....	28

ITEMS INCLUDED:

1. Kinetic Theory of Gases”Model
2. Metal Spheres
3. Cardboard discs
4. Styrofoam Pistons
5. Instructions

OTHER ITEMS REQUIRED:

1. DC Power supply 6 Volts
2. Connecting Leads with 4mm plugs at both ends
3. Marking Pencil
4. Small Styrofoam balls

THEORY:

The conversion of heat energy into work implies that heat is a form of energy and is intimately related to the motion of particles (or molecules) of which the matter is composed. In case of gases, its macroscopic properties (such as pressure, temperature etc.) are explained in terms of behavior of the

molecules by kinetic theory of gases (or Kinetic Molecular Model of gases), using the concept of ideal gas.

According to kinetic theory, every substance, whether it is a solid, liquid or gas, consists of very large number of discrete particles called molecules. Thus, molecule is the smallest entity (or particle) of a substance, which is capable of existing in free state and possesses all the characteristic properties of the substance. The molecules of a substance are in a state of continuous motion and this motion of molecules depends on the temperature of the substance. In case of solids, the molecules are very closely packed due to large forces of cohesion among them. As a result, they are unable to move freely, but can only vibrate about their mean position. This explains the definite shape and volume of solids. The molecules of a liquid are comparatively further apart from each other as compared to solids with very small forces of cohesion among them. Thus, they can move anywhere within the liquid but cannot leave the liquid. Consequently, liquids have definite volume but no definite shape. They acquire the shape of the container they are poured into. In gases, the molecules are much farther apart with negligible forces of attraction among them. They are free to move about in the entire space available to them. Therefore, gases neither have definite shape nor volume.

The study of kinetic theory was first approached by applying it to the matter in the gaseous state, which is governed by simple and definite laws. For the first time, Bernouilli, in 1730, was able to explain Boyle's law by molecular motions, and for this contribution, he is considered as the father of the kinetic theory. This was followed by substantial contribution in the development of kinetic theory of gases by Clausius, Maxwell, Boltzman, Jeans, Van der Waals, Lorentz and Rayleigh, which covered almost the entire field of the different physical phenomena related to gases. Attempts have been made to extend the application of kinetic theory to liquids and gases, but with little success. Hence, kinetic theory of liquids and solids is much more complicated and still remains in a comparatively undeveloped state.

The discussion of kinetic theory of gases is based on some assumptions, first stated by Clausius.

- (a) A closed vessel of a known volume 'V' contains very large number 'N' of molecules, which are in the state of constant motion within the vessel.
- (b) These molecules of gas are considered to be rigid, perfectly elastic, solid spheres, identical in all respects such as mass 'm', form etc. These molecules behave as point particles and are of negligible size

as compared to the average distance between them and to the dimensions of the vessel containing them.

- (c) The molecules are in a state of incessant random motion in all directions with all possible velocities. The gas is said to be in a state of molecular chaos. The molecules obey Newton's laws of motion. Each molecule collides occasionally with the wall of the vessel and these collisions are perfectly elastic (i.e., obey laws of conservation of momentum as well as energy).
- (d) With each collision of a molecule with another molecules or walls of the vessel, its velocity is altered in direction and magnitude. Yet, in the steady state, these collisions do not affect the molecular density of gas, i.e., number of molecules per unit volume of gas remains constant.
- (e) The collisions are perfectly elastic and there are no forces of attraction or repulsion between the molecules. This implies that the energy contained in the gas molecules is all kinetic.
- (f) The time spent in a collision is negligible as compared to the time during which, molecules are moving independently.

(g) Between successive collisions, the molecules move in straight line with uniform velocity. The distance between two collisions is called free path of the molecule and average distance traveled by a molecule between successive collisions is known as the mean free path.

(h) The walls of the vessel are perfectly rigid and infinitely massive and do not move.

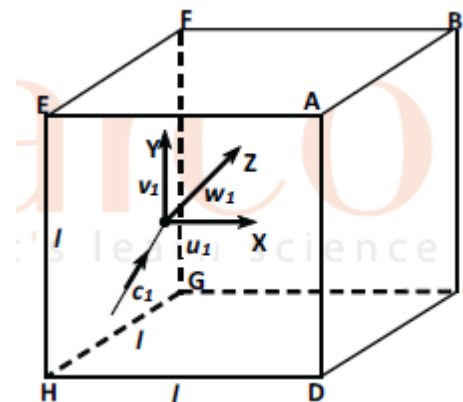
Based on the above assumptions, a general theory depicting the behavior common to all gases can be formed. Hence, it should not include any factors that may vary from one gas to another. With these postulates, bulk properties of gases can be explained by the application of laws of probability to a system in dynamic equilibrium, i.e., on the basis of most probable behavior of the largest number of molecules in a given volume, as explained below.

Pressure of a gas: as discussed above, the molecules of a gas enclosed in a vessel are in random motion, and collide not only with one another but also impinge on the walls of the containing vessel. Each collision of the molecule with the walls of the vessel results in the transfer of a definite momentum to the walls. Since the number of molecules colliding with the walls is very large,

the walls will experience almost continuous force. This force acting in a unit area of wall is referred to as pressure of the gas. Thus, according to the kinetic theory of gases, the pressure exerted by a gas is simply the total momentum transmitted to the walls of the containing vessel per second per unit area due to the impact of gas molecules on the walls.

Let the gas be contained in a cube of side 'l' and 'N' be the number of molecules of gas. Consider a single molecule having mass 'm' and velocity 'c₁' along a certain direction. This velocity can be resolved in three orthogonal components u₁, v₁ and w₁ along three co-ordinate axis X, Y and Z (assumed to be parallel to the sides of cube) respectively. Thus,

$$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \quad \dots\dots (1)$$



If this molecule strikes wall ABCD of the vessel, it will communicate momentum mu_1 to this face. Since, the collision is perfectly elastic, the molecule will rebound back from the wall with the same velocity u_1 . The change in momentum of molecule produced by the impact becomes:

$$mu_1 - (-mu_1) = 2mu_1$$

After recoil, this molecule travels to the opposite wall EFGH, similarly collides with it and travels back to the face ABCD again, after covering a distance "2l". Therefore, the time between two successive collisions on face ABCD is $2l / u_1$

Thus, the number of collisions per second that the molecule makes with the wall ABCD is $u_1 / 2l$

Hence, rate of change of momentum is:

$$2mu_1 \times \frac{u_1}{2l} = \frac{mu_1^2}{l}$$

According to Newton's second law of motion, *rate of change of momentum = force applied*. If 'f₁' is the force applied, then

$$f_1 = \frac{mu_1^2}{l}$$

Similarly, the force on wall ABCD 'F_x' due to impact of 'N' molecules is given by

$$F_x = \frac{m}{l} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2)$$

Pressure exerted on wall ABCD due to this force is

$$P_x = \frac{F_x}{l^2} = \frac{m}{l^3} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2)$$

Similarly, pressure 'P_y' and 'P_z' exerted by the gas on other faces AEFB and BCHF of vessel, which are perpendicular to Y and Z axes respectively, is given as

$$P_y = \frac{m}{l^3} (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2)$$

$$P_z = \frac{m}{l^3} (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2)$$

Since, pressure exerted by the gas is same in all directions, the average pressure 'P' of the gas is given by:

$$P = \frac{P_x + P_y + P_z}{3}$$

$$= \frac{m}{3l^3} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2) + (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2) + (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2)$$

Also volumen of the cube is $V=l^3$; and from equation (1)

$$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2, \quad c_2^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 \quad \text{and so on, then,}$$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{3} \frac{m}{V} (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2) = \frac{1}{3} \frac{mN}{V} C^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Where,

$$C^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2}{N}$$

C^2 is know as the *mean square velocity* of the molecules

If, "M" be the total mass of the gas, then $M=mN$ and thus the equation (2) becomes,

$$P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} C^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Root Mean Square (RMS) Velocity: 'C' as discussed above, is called root mean square velocity of the molecules and is equal to the square root of mean square of the velocities of the individual molecules. 'C' is not the same as mean of the velocities of different molecules. It can be computed from equation (3) by knowing pressure 'P' and density '' of the gas.

Density of the gas is,

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Then,

$$\therefore P = \frac{1}{3} \rho C^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Rightarrow C = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

If 'E' is the Mean kinetic energy per unit volume of the gas, then

$$E = \frac{1}{2} \rho C^2$$

Thus, from equation (4)

$$P = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \rho C^2 = \frac{2}{3} E \quad \dots\dots\dots (6)$$

Hence, pressure of a gas is numerically equal to two third of the mean kinetic energy per unit volume of the gas molecules.

Kinetic Interpretation of Temperature: It was proved by Avogadro that equal volumes of all gases contain equal number of molecules at the same temperature. According to him, one mole of all gases weigh equal to their molecular masses expressed in grams (or gram molecular weight). Also, one mole of different gases contained in vessels of identical volume at same temperature exert equal pressure on the walls of the vessels.

If 'V' is the volume occupied by gram molecule of the gas and 'M' is the molecular weight, equation (3) can also be expressed as

$$PV = \frac{1}{3} MC^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

According to ideal gas equation,

$$PV = nRT \quad \dots\dots\dots (8)$$

Where, 'n' is the number of moles of gas under observation contained in a vessel, 'R' is the universal gas constant having value 8.31 Joules/mol-K, and 'T' is the absolute temperature of gas in Kelvin.

Here, since we have taken 1 mole of gas, n=1. Thus, from equations (7) and (8), we get

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} MC^2 &= RT \\ \Rightarrow C^2 &= \frac{3R}{M} \times T \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

Let 'N' be the number of molecules contained in one mole of gas (or Avogadro's constant having value 6.0225×10^{23}). Dividing numerator and denominator of above equation by 'N', we get,

$$C^2 = 3 \frac{R/N}{M/N} \times T = \frac{3k}{m} T \quad \dots\dots\dots (10)$$

Where “m” is the mass of a molecule of gas and “k” is the Boltzmann’s gas constant (=R/N)

Equation (10) shows that the mean square velocity 'C²' is directly proportional to the absolute temperature 'T'. At T = 0, C² = 0, or C = 0. Hence, the absolute zero of temperature is the temperature at which the molecular translational velocities of a gas are reduced to zero. Also, from equation (10),

$$\frac{1}{2}mC^2 = \frac{3}{2}kT$$

Above equation shows that the mean kinetic energy per molecule in a given mass of gas is proportional to the absolute temperature of the gas and does not depend on the pressure, volume or kind of molecule. In other words, to every uniform temperature, there is a corresponding uniform distribution of kinetic energy and the molecular collisions provide the way that leads to the equalization of temperature.

Experimental Confirmation of the Kinetic Theory of Gases:

The basic fundamental of kinetic theory of gases is the motion of molecules due to thermal agitation. This motion of molecules is so rapid and irregular

that the gas on the whole remains motionless. This theory has adequately explained various thermal and allied phenomena, such as Boyle's law, Charle's law, Ideal gas law, Avogadro's, law, Gay Lussac's law, Regnault's law, Dalton's law of partial pressure, Graham's law of diffusion etc. But, these explanations are more or less indirect evidence of the validity of the theory, since various assumptions of the kinetic theory have been introduced on empirically based results. There are two direct and independent experimental evidences that are employed to support the validity of this theory, viz., Brownian movement of gas molecules and Width of spectral lines and visibility of interference fringes. Brownian movement has been discussed in the following discussion whereas, the width of spectral lines and visibility of interference fringes, being outside the scope of present discussion, has not been discussed.

Brownian Movement: The phenomenon of Brownian movement has been named after the English botanist Robert Brown, who first discovered it in 1827. His observation described the motion of particles to be rapid, incessant and unabated in an irregular fashion in all directions. He observed that the particles in a liquid spin, rises, sinks and rises again, without ever coming to rest, the motion being sudden, random and unpredictable; the smaller the particle, the more lively and noticeable are its movements.

Initially, the Brownian movement was attributed to the surface tension, irregularities in the temperature of fluid, vibrations, chemical actions etc. All these explanations proved to be inadequate for complete explanation of this phenomenon. Later, it was realized that this phenomenon is the result of thermal agitation of the molecules of fluid. The irregularity of motion of particles implies similar irregularities in the molecules of fluids.

The effect can only be obtained with very small particles due to two reasons. Firstly, the kinetic energy of the molecules is so small that they cannot communicate a finite velocity to a large particle. The second reason is based on Maxwell's distribution of velocities among the molecules. Maxwell showed that the velocities are distributed among molecules according to a definite law and this distribution is true for any small element of volume in the substance. Hence, if the particle is large, the force due to impact of molecules on one side will be just counterbalanced by that due to those on the other side and net force on the particle will be zero. But, in the case of a smaller particle, it suffers encounter with very few molecules at a given time and the irregularities in the motion of molecules will begin to manifest themselves. Thus, we have a direct evidence of motion of molecules due to thermal agitation, which forms the basic postulate of the kinetic theory.

Deviation of Real Gas Behavior from that of an Ideal Gas: In case of kinetic theory of gases explaining behavior of ideal gases, it has been assumed that

- d. The molecules do not exert any force on one another or on the walls of the vessel except during actual collisions.
- e. The molecules are point particles, whose volume has been neglected as compared to the volume of vessel.
- f. The collisions of molecules with one another and with the walls of container are perfectly elastic.

In fact, no real gas fulfils these conditions. As such, the behavior of real gas shows deviations from that of an ideal gas (as explained on the basis of kinetic theory). These deviations become quite substantial as the temperature of gases approaches their condensation point. The real gases behave like ideal gas with sufficiently high degree of accuracy at very low densities and when their temperatures are far above their condensation temperatures. Under these situations, the above assumptions are not completely valid.

KINETIC THEORY OF GASES MODEL APPARATUS

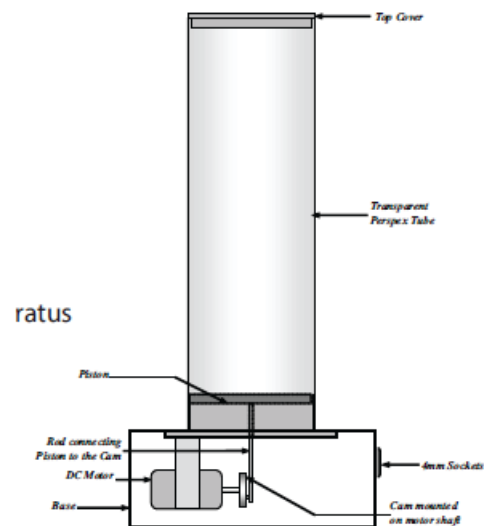


Figure 2

The apparatus consists of clear transparent Perspex cylindrical tube mounted on the circular holder and held firmly with the help of tightening screws. The circular holder, in turn, is mounted on a stable plastic base. A piston is mounted above the circular holder, which is connected to the cam fixed eccentrically on the motor shaft through a small rod (as shown in

Diagram 2). A low voltage DC motor is mounted in the base on a plastic saddle, with the help of a clamp. The base is also provided with a pair of color-coded 4mm socket terminals for connecting the motor to a low voltage DC power supply. At the bottom of the base, skid resistant rubber feet are mounted to provide stability to the equipment, while in operation.

On operating the motor, cam starts rotating. This eccentric rotation of cam results in up and down motion of the piston through the connecting rod. These oscillations of the piston results in the agitation of spherical metal balls placed on the piston.

At the top of the cylindrical tube, a loose-fitting cap with a hole is placed. Also included with this apparatus is a Styrofoam piston, which is useful for the demonstration of the concept of pressure when they are introduced inside the tube from top. Four cardboard discs are included for loading the Styrofoam piston for the demonstration of Boyle's law.

The apparatus requires a 6 volts DC power supply for satisfactory operation. The motion of spherical balls can be increased or decreased by varying the voltage supplied to the motor from the power supply. For good results, it is advised to spread the spherical ball on piston evenly about its center to cover about two-third of the cross sectional area of diaphragm.

This apparatus is useful for the demonstration of various concepts related to kinetic theory of gases. Some of these concepts are:

- f. Motion of molecules in gases and concept of Brownian motion.
- g. Concept of pressure and decrease of atmospheric pressure with the increase in altitude
- h. Boyle's law
- i. Distribution of velocities among the molecules
- j. Concept of thermal kinetic energy of molecules

Procedure

11. Place the apparatus on a level surface.
12. Remove the cap at the top of perspex tube and place metal spherical balls on the piston so as to cover at least about two-third of the cross-sectional area of the piston. Close the upper end of Perspex tube by replacing the cap at its top.
13. Connect the color coded 4 mm socket provided on the base of the apparatus to their respective positive and negative outputs of the low voltage DC power supply using connecting leads.
14. Switch on the power supply and set the output 6 volts.
15. Rotation of the motor will set the piston in an oscillatory motion, which is transferred to the metal spheres placed on it (transmission

of the kinetic energy from piston to the metal spheres) and agitates them. This leads to the violent (random) motion of metal spheres. Metal spheres can be observed to be dancing haphazardly. The motion of metal spheres, although being random, is not exactly like the motion of molecules of a gas. These metal spheres are under the continuous effect of gravity and their collisions with one another or with the wall of Perspex tube are not perfectly elastic (their kinetic energy is not conserved). But, for all practical purposes, the characteristics of their motion are very much similar to that of molecules of a gas. The loss of kinetic energy of the metal spheres due to collisions is compensated being when they fall back on the oscillating piston. The mechanical energy contained in the piston is transferred again and again to the metal spheres as and when they fall on the piston. Thus, motion of metal spheres is such that the loss of kinetic energy suffered by them is continuously being replenished by the oscillating piston. If this is not the case, either the motion of spheres will die down because of continuous loss of energy (if energy supplied continuously by the piston is less) or the motion will keep growing steadily (if energy supplied continuously by the piston is more). As such, the moving metal

spheres can be treated as having uniform kinetic energy (analogous to the gas molecules at constant temperature).

16. It can be observed that as we move up from the piston, the number of metal spheres that can reach higher goes on decreasing. There is a particular height where the number of metal spheres that can reach is maximum. This corresponds to the mean energy of the metal spheres. The reducing density of metal spheres as we go higher from the diaphragm demonstrates the thinning of the atmosphere with increase in altitude. The situation is similar to that of the air molecules on earth that are also under the influence of gravity.
17. On increasing the voltage output of the motor, the speed of rotation of the motor will increase resulting in the increased frequency of oscillation of the piston. This will lead to more frequent agitation of the metal spheres i.e., more energy is being transferred to the metal spheres. As a result, the maximum height attained by the spheres in motion as well as the height where the number of metal spheres is maximum will increase. Similarly, converse follows for the decrease in output of the power supply.
18. Stop the apparatus by switching off the power supply. Remove the top metal cap and introduce a Styrofoam piston. It will drop to the

bottom of the Perspex tube. As soon as the apparatus is switched on, the Styrofoam piston starts rising under the effect of random motion of metal spheres. The Styrofoam piston rises to a point, where its weight is just balanced by the upward force due to the motion of metal spheres. The motion of these spheres simulates pressure (equal to the force exerted by motion of metal spheres per unit area) that is analogous to the pressure of a gas. On decreasing the voltage output of the power supply, the molecular motion will decrease, thus decreasing the pressure exerted by the metal spheres on Styrofoam piston.

As a result, the Styrofoam piston will fall below the previous position. Similarly, on increasing the voltage output of the power supply, more will be the motion of molecules and Styrofoam piston will rise beyond its previous position. It is evident from the discussion that more violent or agitated is the motion (i.e., more is the energy) of metal spheres (or molecules of a gas), more is the pressure exerted by them on the walls bounding them.

19. For demonstrating Boyle's law, reduce the number of metal spheres inside Perspex tube by half, and start the functioning of apparatus as in previous step after introducing the Styrofoam piston. With a marking pencil, mark the height to which piston rises. This position

corresponds to the volume at the pressure exerted by metal spheres. Again repeat this step after increasing the number of metal spheres to double the previous quantity. On running the apparatus again at the same voltage output of power supply, the Styrofoam piston will rise beyond this marked position. Mark the second position of the piston. The second position shows the increased volume. Introduce the cardboard discs on top of the styrofoam piston so as to load the Styrofoam piston. The position of the first Styrofoam piston will lower. Increase the loading using more cardboard discs, if required, to bring the first piston back to the first marked position. Increasing the number of spheres and loading of Styrofoam piston from top to lower the Styrofoam piston to its initial position indicates the increase in pressure with reduction in volume. This implies that with the increase in pressure, the volume of a gas decreases keeping other factors such as quantity and temperature of gas constant, which is same as that of Boyle's law

20. For studying the concept of Brownian motion, remove the Styrofoam pistons and introduce Styrofoam balls in the tube. On running the apparatus, the metal spheres (or molecules) can be seen colliding with the Styrofoam balls. This results in the random and bombarding motion of the Styrofoam balls. Although, this

motion is not truly accurate enough to depict the Brownian motion due to the combined effects of buoyancy of so-called gas inside the tube consisting of metal spheres and gravity, still it nearly demonstrates large-scale analogue of Brownian motion and gives fair indication of general concepts involved.

PRECAUTIONS

1. The apparatus is strictly meant for indoor use only
2. Apparatus should be placed on a level surface before operation. Uneven or inclined surface may result in improper functioning of apparatus.
3. The apparatus should always be operated with the metal cap placed at its position on top of the Perspex tube.
4. All the connections must be completed and the apparatus should be made ready for the operation before switching on the power supply.
5. The apparatus should not be operated for prolonged period at voltages much above or below 6 volts to avoid any damage to the motor.