

El vidrio

Glass

Cecilio Tapia-Ignacio^a

Abstract:

We spoken glass briefly and some physical theories to characterize or model the glass transition. Glass is used for many applications in everyday life, however, despite the fact that vitreous materials have been used for millennia, there is no first-principles physical theory that fully describes the behavior of physical properties near the temperature at which the glass transition, T_g.

Keywords:

Glass, glass transition, physical properties

Resumen:

Se habla brevemente del vidrio y algunas teorías físicas para caracterizar o modelar la transición vítrea. El vidrio se utiliza para muchas aplicaciones en la vida cotidiana, no obstante, a pesar de que se han utilizado materiales vítreos desde hace milenios no existe una teoría física de primeros principios que describa completamente el comportamiento de las propiedades físicas cerca de la temperatura en que se considera que existe la transición vítrea, T_g.

Palabras Clave:

Vidrio, transición vítrea, propiedades físicas

Introducción

Un vidrio es un material metaestable que se ha endurecido y se ha hecho rígido sin cristalizar [1]. El estado vítreo es amorfo, se obtiene por un rápido enfriamiento de las moléculas, lo que las lleva a obtener posiciones definidas, pero sin orden cristalino. Los cuerpos en fase vítreo se caracterizan por presentar un estado sólido, con cierta dureza y rigidez, que ante esfuerzos externos moderados se deforman elásticamente.

Estos cuerpos son ópticamente isótropos. Cuando se estudia su estructura a nivel microscópico a través de medios como la difracción de rayos X, da lugar a bandas de difracción difusas, es decir sigue siendo estructuralmente un líquido [2]. Si se calientan, su viscosidad va disminuyendo paulatinamente como la mayor parte de los líquidos tal que pueden deformarse bajo la acción de la gravedad, y por ejemplo, tomar la forma del recipiente que los contiene (como los líquidos).

Notablemente, no presentan un punto de fusión marcado de transición entre el estado sólido y el líquido. Estas propiedades han llevado a algunos investigadores a definir la transición vítrea no como un estado de la materia distinto, sino simplemente como el de un líquido sub-enfriado, un líquido con una viscosidad tan alta que le confiere estado de sólido. Los vidrios son muy importantes en nuestra vida cotidiana, en la industria y la tecnología. Los polímeros y las proteínas también son materiales que pueden presentar temperatura de transición vítrea y se han estudiado ampliamente durante décadas. No obstante, a pesar de que se han utilizado materiales vítreos desde hace milenios no existe una teoría física de primeros principios que describa completamente el comportamiento de las propiedades físicas cerca de la temperatura en que se considera que existe la transición vítrea, T_g.

Teorías para caracterizar o modelar la transición vítrea

En cambio, existen diversos criterios para caracterizar la transición vítrea. Uno de ellos se basa en mediciones

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-8660-4993>, Email: cecilio_tapia@uaeh.edu.mx

calorimétricas, según este criterio la temperatura de la transición vítrea ocurre en el punto de inflexión respecto de las líneas base vítrea y gomosa, este criterio se conoce con el criterio ASTM (American Society for Testing Materials) [3].

Existen además estudios en otros materiales como el cloruro de polivinilo (PVC), la laponita y glicerina encontrándose que su comportamiento comparte características con los vidrios y presentan también cambios a largo plazo que muestran que son materiales fuera del equilibrio, este aspecto es conocido como envejecimiento.

Desde el punto de vista de la física, el envejecimiento se refiere a la relajación estructural del estado vítreo hacia el estado de equilibrio amorfo metaestable, y se acompaña de cambios en casi todas las propiedades físicas. Estos cambios, que deben tenerse en cuenta en el diseño, la fabricación y el uso de materiales polímeros vítreos y dispositivos, presentan un desafío de enormes proporciones para los teóricos.

La mayoría de los estudios en sistemas vítreos se han restringido a estudiar las propiedades dinámicas como la deformación en función del tiempo [9], la viscosidad en función del tiempo [5, 6] y de caracterizar la dependencia temporal de la susceptibilidad dieléctrica dependiente de la frecuencia a bajas temperaturas y por debajo de la [7, 8]. Algunos estudios se han enfocado en el estudio del envejecimiento

.Por ejemplo, se ha estudiado un sistema de partículas magnéticas de γ -Fe₂O₃, Fe-C y ferritina a las cuales se les aplica un campo magnético H fijo tanto en la modalidad de enfriamiento con campo magnético (FC) como enfriamiento sin campo magnético (ZFC), de esta manera obtienen la susceptibilidad magnética en función de la temperatura la cual se puede relacionar con la tasa de relajación, donde cerca y por debajo de la temperatura de transición vítrea, se podrá observar el fenómeno de envejecimiento [9, 10, 11].

La naturaleza de la transición vítrea (termodinámica o cinética, estructural o puramente dinámica) es tema de debate después de décadas de intensa investigación [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Los procesos moleculares mediante los cuales los líquidos adquieren rigidez amorfa tras el enfriamiento no se entienden completamente [18]. Para intentar explicar este fenómeno, se han utilizado herramientas de la mecánica estadística como: la teoría de líquidos y transiciones de fase. Incluso se puede estudiar usando herramientas de la teoría del campo [19]. Recientemente, se ha utilizado también la llamada ecuación auto-consistente generalizada de Langevin para describir sistemas que no están en el equilibrio [20], lo cual es el caso en la Tg. En particular se ha estudiado

la dinámica de un sistema de partículas que se enfría súbitamente. En la literatura pueden encontrarse estudios a nivel de simulación numérica del proceso de vitrificación, por ejemplo, se han realizado simulaciones con modelos que comprueban la equivalencia dinámica entre líquidos formadores de vidrio, compuestos de partículas que pueden modelarse como esferas con un potencial de interacción suave y líquidos compuestos de partículas modeladas por esferas duras [21, 22, 23, 24]. Aun cuando los resultados obtenidos son prometedores y se espera que puedan aplicarse a sistemas reales, es importante mencionar que los experimentos que podrían comprobar dichos resultados aún no se han realizado.

Otro enfoque científico lo representa la teoría de acoplamiento de modos y el análisis del potencial efectivo del sistema [25]. Desde el punto de vista experimental, se han estudiado algunos sistemas macroscópicos como modelos de formadores de vidrios moleculares, por ejemplo, las suspensiones coloidales se han utilizado para modelar la transición vítrea [26, 27]. Estos sistemas macroscópicos presentan una fenomenología dinámica y estructural semejante a los sistemas moleculares. Las escalas espaciales y temporales que intervienen permiten que estos sistemas puedan ser estudiados por una amplia variedad de técnicas experimentales.

Así, estos sistemas permiten estudiar procesos y características esenciales para comprender el proceso de vitrificación usando técnicas que no podrán ser aplicadas a los formadores de vidrios moleculares [26, 28]. L Assoud y otros autores por ejemplo, examinaron mezclas de partículas super-paramagnéticas coloidales en agua confinadas en una interfase bidimensional para estudiar la nucleación cristalina a partir de la aplicación de campos magnéticos obteniendo excelentes acuerdos entre la simulación y experimento [29].

En particular se ha probado que un sistema ideal para estudiar la fenomenología que ocurre durante la transición vítrea, es una dispersión coloidal de partículas magnéticas. Cuando se encuentra bajo un campo magnético, bajo las condiciones adecuadas, además de que el sistema presenta características dinámicas y estructurales similares a las de los formadores de vidrios moleculares, también posee la capacidad de que la interacción entre las partículas puede modularse [30, 31, 32]. También hay modelos formadores de vidrios formados de sistemas granulares [33].

Conclusión

El vidrio existe desde hace milenios y aunque tiene una gran cantidad de aplicaciones en la vida cotidiana una teoría física de primeros principios que explique lo que ocurre a nivel molecular cerca de la transición vítrea no existe en la actualidad.

Referencias

- [1] Askeland Donald R. PPP. Ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta. México, D.F.: Thomson; 2004. 644 p.
- [2] Navarro JMF. El vidrio. Tercera. Madrid, España: CSIC; 2003. 62-63 p.
- [3] Valencia UP de. Consideraciones de la caracterización de la Transición Vítreá. <https://www.youtube.com/watch?v=q8mVFhN3o6o>. 2011.
- [4] Hodge IM. Physical Aging in Polymer Glasses. *Science*. 1995; 267:19457.
- [5] Abou B, Bonn D, Meunier J. Aging dynamics in a colloidal glass. *Physical Rev*. 2001; 64:16.
- [6] Bonn D, Tanase S, Abou B, Tanaka H, Meunier J. Laponite: Aging and Shear Rejuvenation of a Colloidal Glass. *Phys Rev Lett*. 2002; 89(1):14.
- [7] Leheny RL, Nagel SR. Frequency-domain study of physical aging in a simple liquid. *Phys Rev B*. 1998;57(9):515462.
- [8] Lunkenheimer P, Wehn R, Schneider U, Loidl A. Glassy Aging Dynamics. *Phys Rev Lett*. 2005; 95:14.
- [9] T. Jonsson, J. Mattsson, C. Djuberg, F.A. Khan, P. Nordbland PS. Aging in a Magnetic Particle System. *Phys Rev Lett*. 1995; 75(22):413841.
- [10] Djurberg C, Svedlindh P, Nordblad P. Dynamics of an Interacting Particle System: Evidence of Critical Slowing Down. *Phys Rev Lett*. 1997;79(25):51547.
- [11] Sasaki M, Jönsson P., Takayama H, Mamiya H. Aging and memory effects in superparamagnets and superspin glasses. *Phys Rev B*. 2005;71:19.
- [12] Gibbs JH, DiMarzio EA. Nature of the Glass Transition and the Glassy State. *J Chem Phys*. 1958; 28:37383.
- [13] Ediger MD, Angell CA, Nagel SR. Supercooled Liquids and Glasses. *J Phys Chem*. 1996;100(31):1320012.
- [14] Sillescu H. Heterogeneity at the glass transition: a review. *J Non Cryst Solids*. 1999; 243:81108.
- [15] Kob W, Barrat J. Aging Effects in a Lennard-Jones Glass. *Phys Rev Lett*. 1997; 78(24):45814.
- [16] Casalini R, Roland CM. Thermodynamical scaling of the glass transition dynamics. *Phys Rev E*. 2004; 69:13.
- [17] Lubchenko V, Wolynes PG. Theory of Structural Glasses and Supercooled Liquids. *Annu Rev Phys Chem*. 2008;58:23566.
- [18] Debenedetti P.G. SFH. Supercooled liquids and the glass transition. *Nature*. 2001;410:25967.
- [19] Berthier L, Biroli G. Theoretical perspective on the glass transition and amorphous materials. *Rev Mod Phys*. 2011; 83:587645.
- [20] Pedro Ramírez González MMN. Aging of a homogeneously quenched colloidal glass-forming liquid. *Am Phys Soc*. 2010; 82:102.
- [21] Ramírez González PE, López Flores L, Acuña Campa H, Medina Noyola M. Density-Temperature-Softness Scaling of the Dynamics of Glass-Forming Soft- Sphere Liquids. *Phys Rev Lett*. 2011;107:15.
- [22] López Flores L, Ruíz Estrada H, Chávez Páez M, Medina Noyola M. Dynamic equivalences in the hard-sphere dynamic universality class. *Phys Rev E*. 2013;88:116.
- [23] Bengtzelius U, Gotze W, Sjlander A. Dynamics of supercooled liquids and the glass transition. *J Phys Chem*. 1989;17:591534.
- [24] Charbonneau B, Charbonneau P, Tarjus G. Geometrical Frustration and Static Correlations in a Simple Glass Former. *Phys Rev Lett*. 2012;108:15.
- [25] Wolfgang G. Recent tests of the mode-coupling theory for glassy dynamics Recent tests of the mode-coupling theory for glassy dynamics. *Science (80-)*. 1999; 1:A145.
- [26] Weeks ER, Crocker JC, Levitt AC, Weitz DA. Three-Dimensional Direct Imaging of Structural Relaxation Near the Colloidal Glass Transition. *Science (80-)*. 1994;287:62732.
- [27] Saklayen N, Hunter GL, Edmond K V, Weeks ER, Saklayen N, Hunter GL, et al. Slow dynamics in cylindrically confined colloidal suspensions. *Am Inst Phys*. 2013; 1518:32835.
- [28] Hunter GL, Weeks ER. The physics of the colloidal glass transition. *Rep Prog Phys [Internet]*. 2012 Jun 17 [cited 2015 Aug 11];75(6):140. Available from: <http://arxiv.org/abs/1106.3581>
- [29] Assoud L, Ebert F, Keim P, Messina R, Maret G. Crystal nuclei and structural correlations in two-dimensional colloidal mixtures: experiment versus simulation. *J Phys Condens Matter*. 2009; 21:16.
- [30] König H, Zahn K, Maret G. Glass transition in a two-dimensional system of magnetic colloids. *Am Inst Phys*. 2004; 40:16.
- [31] Köning H. Elementary triangles in a 2D binary colloidal glass former. *Europhys Lett*. 2005;71(5):83844.
- [32] König H, Hund R, Zahn K, Maret G. Experimental realization of a model glass former in 2D. *Eur Phys J E*. 2005; 293:28793.
- [33] Garrahan JP, Chandler D. Coarse-grained microscopic model of glass formers. *PNAS*. 2003;100(17):97104.