

查理定律創新教學實踐： 從實驗操作到概念理解的探究之路

沈秀君^{1*}、鍾曉蘭²、鐘建坪³、游珮均⁴

¹ 康橋國際學校林口校區；² 新北市立新北高中

³ 新北市立錦和高中國中部；⁴ 桃園市立內壢高中

*shen58146111@gmail.com

摘要：本研究探討如何透過創新教學實踐，將查理定律由抽象公式轉化為具體可觀察的學習經驗。課程設計源自於觀摩外籍教師的課程啟發，融入實驗操作、模擬活動與數據分析，使學生能親自建構對氣體體積與溫度關係，進而理解與分辨真實氣體與理想氣體之間的異同。課堂中，學生從乒乓球、氣球體積如何隨溫度變化等生活情境引入，接著進行空氣柱實驗設計與實作，進行資料蒐集，透過 Excel 作圖與操作 PhET 模擬器建構體積與溫度的線性關係及如何找出絕對零度。過程中，學生不僅面臨裝置設置與縮減實驗誤差等挑戰，也在逐步改善操作與比較數據的過程中培養批判思考與科學探究能力。最終成果顯示，學生對查理定律有更深刻的理解，並提升數據分析、圖表製作與論證能力的，印證以探究實作為核心的教學確能促進深度學習與發展科學素養。

■ 設計動機

2023 年，第一作者有幸觀摩一堂由外籍教師主導的自然科學課。這堂課的主題是查理定律，教師透過實驗具體呈現氣體體積與溫度之間的線性關係。第一作者關注學生在過程中主動觀察、記錄、分析並提出推論時，內心深受啟發，也反思自身對查理定律的教學方式過於偏重公式與理論，而忽略了學生對氣體「不可見」本質所產生的學習障礙。由於氣體行為難以直接觀察，學生往往只能死記氣體定律公式，而無法真正理解其意義。

因此，第一作者與其餘作者一起共備探究式教學教案，重新思考並設計查理定律單元的教學流程，加入更多「實驗設計與操作」與「模擬變因改變的探究實作」等環節，透過數據記錄蒐集、分析與建立關係圖(建模)，讓學生從操作中建構對氣體行為的科學理解。這次的課程目標不只是讓學生建構關係式，更希望他們能「觀察」氣體體積如何隨溫度改變，進一步推導出查理定律的實質意義與絕對零度的概念，並且從真實的實驗與模擬軟體的數據與關係圖，理解真實氣體與理想氣體之間的異同。

■ 教學流程與課堂實踐

共同備課完成之後，由本文第一作者實際進行教學與新北市化學課發中心的公開觀課，以下說明教學過程與反思。

一、課堂導入

課堂開始時，從生活中常見的情境切入：詢問學生一顆被壓凹的乒乓球，「怎麼讓它恢復原狀？」學生紛紛提出用熱水泡的方法(見圖 1)。接著，讓學生觀看氣球在加熱後膨脹的實驗影片，並引導他們從粒子的角度解釋乒乓球的體積為何會增加。此活動可以幫助教師瞭解學生對於氣體粒子模型的先前概念，並藉由生生或師生的互動中，修正學生的另有概念。

1. 生活中如何把凹陷的乒乓球恢復原狀呢？
請說明你的做法及用微觀的粒子行為解釋這個現象。

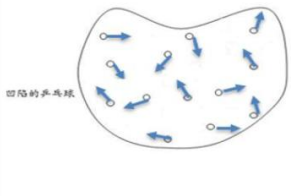
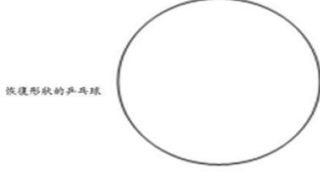
A 你的做法		
B 微觀的粒子行為	B-1 凹陷的乒乓球 	B-2 恢復後的乒乓球 
	C 說明:請說明溫度與氣體體積之間的關係?	

圖 1 凹陷的乒乓球氣體行為示意圖

一、課堂實施

在這一階段，教師強調實驗的目的和重要性，並引導學生如何確認實驗變因、空氣柱製作、測量不同溫度下氣體的體積變化。學生們在小組中討論，確認實驗變因、制定實驗流程，並準備實驗材料(見圖 2)。這一過程不僅讓學生們學會了如何設計實驗，還培養了他們的團隊合作能力和問題解決能力。



圖 2 學生實驗操作過程

1. 閱讀引導實驗設計

利用閱讀實驗內容引導學生進行實驗設計的變因判斷(見圖 3)，在探究式教學中讓學生自學探究文本中的操縱、應變及控制變因是很重要的，有別於傳統教學直接告訴學生此探究式教學可讓學生印象深刻而進行深度學習。

實驗一：如何以簡易的空氣柱受熱實驗找出絕對零度呢？

以一密封住的毛細管中充入濃硫酸(18M)後封住定量的氣體，裝置如右圖(注意隔熱裝置，避免熱量散失)進行隔水加熱，記錄此時氣溫及水溫，在水浴下加熱觀察氣體的體積與溫度，並記錄於表格中，最後以攝氏溫度為橫軸、氣體氣柱高度為縱軸作圖，並向班上同學說明小組的數據及圖形。

一、請將此實驗的三種類型變因寫出

操縱變因:

應變變因:

控制變因(可能不只一個):

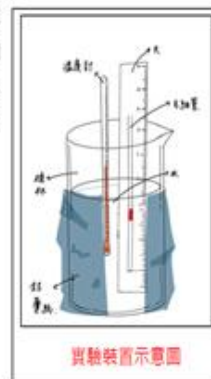


圖 3 實驗裝置說明及示意圖

2. 空氣柱的製備

教師先播放自錄的空氣柱製作示範影片，並於影片播放過程中適時引導學生留意製作過程中的關鍵變化，同時思考其可能原因。教師透過提問檢查學生是否能有效觀察相關現象並進行初步解釋，並要求學生將觀察與推論書寫於學習單中(見圖 4)。隨後，教師安排學生分享其思考與解釋，以促進同儕間的想法交流與修正。此設計旨在引導學生不僅停留於現象的紀錄層面，還能進一步探究背後的成因。在接續活動中，學生需自主規劃實驗裝置並實際操作，以建構與深化對相關科學概念的理解。

二、實驗流程:

1.空氣柱的製作:

空氣柱的製作方法如影片呈現，請依據影片的方式進行空氣柱的製作並回答下列問題:

- (1) 為何要封空氣柱?
- (2) 為何要用濃硫酸來封住空氣?
- (3) 在製作空氣柱過程中觀察到什麼現象?請說明你看到的現象?

圖 4 空氣柱製作提問

3.實驗裝置與實驗操作

在實驗裝置的規劃部分，教師為確保學生能正確掌握裝置的操作方法，提供實驗裝置的示意圖作為參考。同時透過引導式提問，促使學生思考並辨識操作過程中應注意的關鍵細節，進而理解如何藉由調整或改進裝置設計，以降低實驗操作可能產生的誤差(見圖 5)。

2.實驗裝置:

- (1)如何讓鋁箔紙包住燒杯讓熱量散失最少?(鋁箔紙要多大?如何包?杯口要不要包?包完後還是要看到體積的變化喔!)
- (2)如何讓毛細管中的空氣柱氣體受熱均勻?(請思考燒杯中的水要加入多少才能讓毛細管中的氣柱受熱均勻)

圖 5 實驗裝置提問

4.實驗數據分析及討論

鑑於現階段高中學生於實驗數據的圖像化表徵，與可視化處理能力方面仍然不足，本次教學特別設計學習任務，引導學生自主依據實驗數據進行圖表繪製與分析，期待能有效提升科學數據處理和解釋能力。這個實驗最終目的是希望學生對於空氣的體積如何受溫度影響及趨勢變化有更深入的了解。如圖 6 所示，課堂中一組學生利用實驗數據作圖外延並利用公式找出絕對零度為攝氏 34.4°C (圖 6 上)，另一組實驗數據則找出的絕對零度為攝氏 -14.25°C (圖 6 下)。鑑於高中學生對於數據的選擇及作圖的不熟練，以及實際的數據實驗與理論值有相當差異，另讓學生操作 PhET 模擬器，名稱為「Gases Intro_氣體概念介紹」的實驗以模擬的方式找出絕對零度。

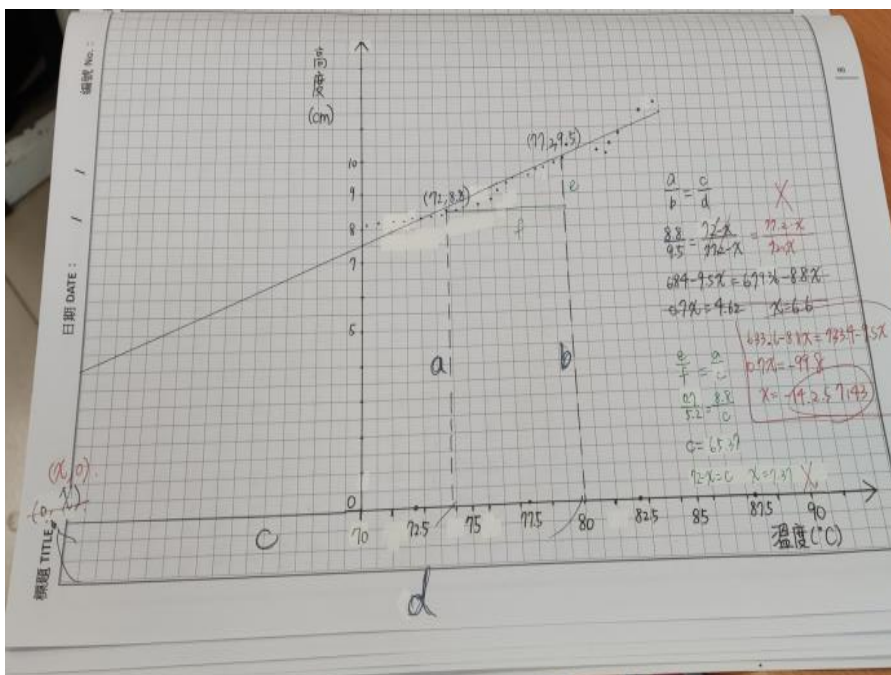
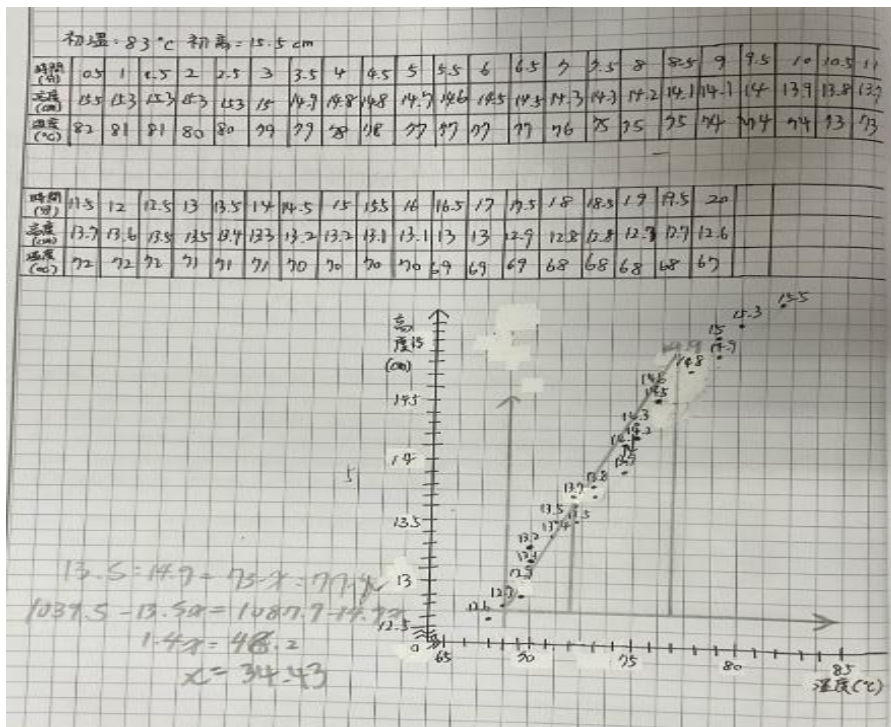


圖 6 學生數據紀錄及作圖

三、PhET 模擬器名稱「Gases Intro_氣體概念介紹」實驗

學生透過操作 PhET 模擬器「Gases Intro_氣體概念介紹」，改變自變數以探討溫度對氣體體積的影響(見圖 7)，並根據實驗數據進行繪圖，以推算絕對零度的溫度。在此歷程中，學生同時學習使用 Excel 進行資料視覺化與線性回歸分析，進而利用攝氏溫標下的氣體壓力-溫度關係，外推凱氏溫標零點(絕對零度)。學生操作模擬器中的不同變因，包括：壓力、溫度、粒子個數與分子輕重，獲得容積寬度(對應為氣體體積)的數值，再利用 Excel 中的趨勢線求出方程式。如圖 8 的實驗編號 1 為例，操縱變因為溫度 0 至 100 °C，應變變因為容積寬度，控制變因為壓力 25.6atm、輕分子、200 個粒子分子。共取 11 個模擬數據進行作圖，求出 $Y=0.0337X+9.0684$ 後，將氣體寬度為零($X=0$)代入方程式並求得 $Y=-270.4^{\circ}\text{C}$ 。學生共模擬 4~6 組實驗(每組 11 個數據)，並比較模擬結果，找出絕對零度最接近 -273.15°C 的條件。學生能從模擬結果理解真實氣體如果要接近理想氣體時的條件為高溫、低壓及輕粒子。

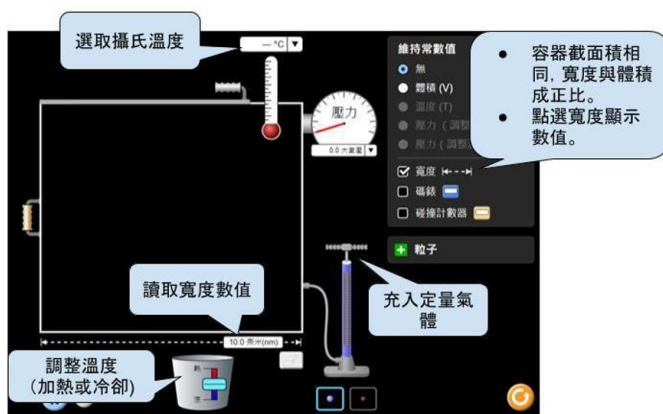
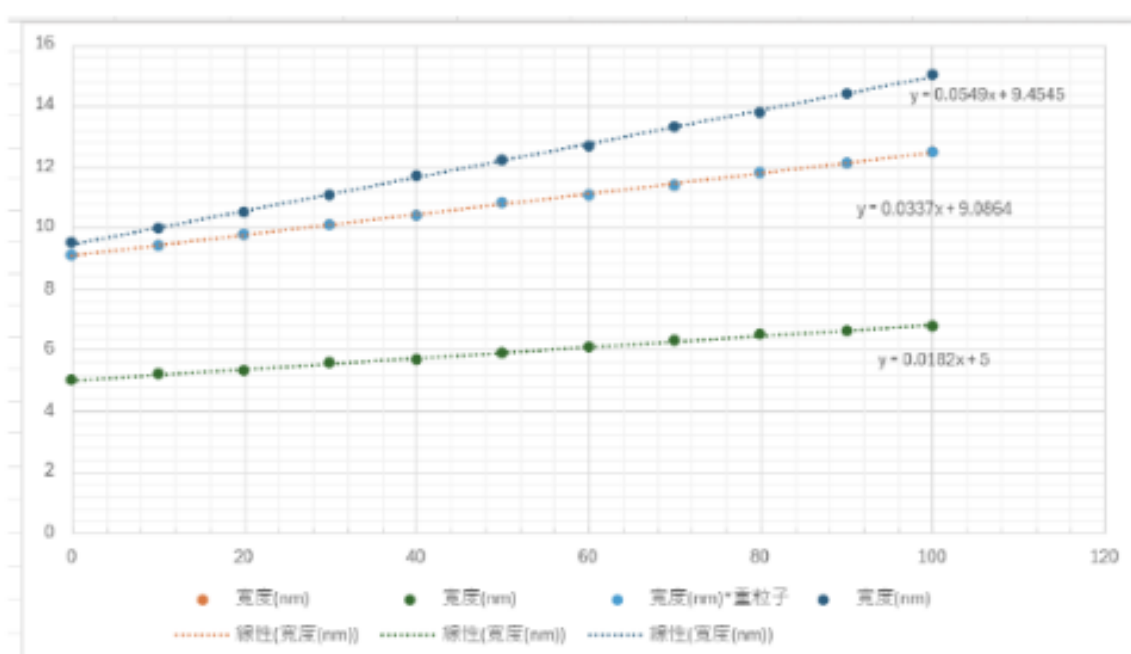


圖 7 Gases Intro_氣體概念介紹

(網址：https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_all.html?locale=zh_TW)

編號	數據數量	壓力 (atm)	分子重量	粒子個數	溫度範圍 (攝氏)	方程式	絕對零度
1	11	25.6	輕	200	0—100	$y=0.0337x+9.0684$	-270.4
2	11	25.6	輕	200	0— -100	$y=0.03x+8.3$	-276.6
3	11	15.0	輕	200	0—100	$y=-0.05x+15$	-270.0
4	11	25.6	重	200	0—100	$y=0.0337x+9.0684$	-270.4



結論：

- 一、透過編號1跟2的比較，得知氣體在溫度較低的狀態下，絕對零度會越低。
- 二、透過編號1跟3的比較，得知氣體在壓力越小的狀態下，絕對零度會越大。
- 三、透過編號1跟4的比較，得知氣體分子的重量不會影響絕對零度的變化。

圖 8：學生實際操作其中一組實驗數據、全部數據整理及簡單討論

四、從實驗中所求出的絕對零度與模擬實驗所求出的絕對零度異同處與其背後的原因

在學習活動的延伸部分，教師引導學生比較實驗數據與模擬數據中所求得的絕對零度，思考其異同之處及背後的成因。透過閱讀補充文本(見圖 9)，學生能進一步理解理想氣體模型與

實際氣體行為的差異。教師透過提問引導學生釐清「理想化假設」與「真實狀況」的不同，並鼓勵學生將討論延伸至分子間作用力與實際氣體偏差的相關內容，藉此深化對氣體定律的理解。

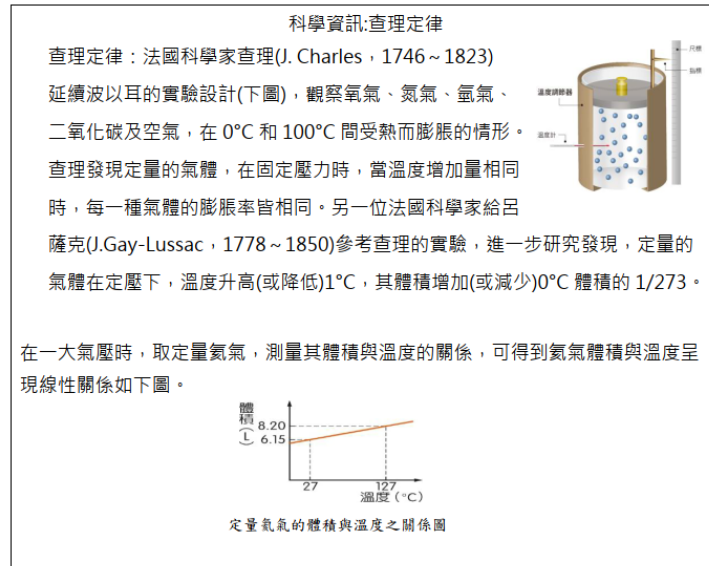


圖 9 閱讀文本

(文本綜合修改自維基媒體基金會，2023；ChemTeam, 2019；CK-12 Foundation, 2015)

■ 教學與實踐中的困難與解決策略

一、空氣柱高度的修正

在實際教學中遇到一些挑戰。例如，空氣柱製作時，空氣柱太高，致使無法將全部的空氣柱都在水面下加熱，改進方法是當下將毛細管截短之後再製作空氣柱(見圖 10 與圖 11)。另外也採購更短的毛細管，預計將在 114 學年度修正使用。

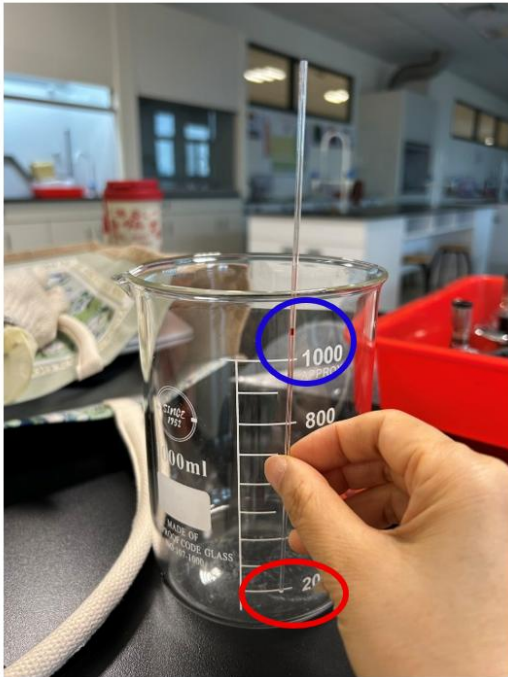


圖 10 原毛細管空氣柱當加水至燒杯刻度 1000 mL 時，空氣柱無法完全浸入水中。



圖 11 毛細管截短後製作的空氣柱當加水至燒杯刻度 1000 mL 時，空氣柱可完全浸入水中。

二、熱水降溫取代逐步增溫

實驗是採取加熱方式，但因加熱器剛開始加熱溫度變化小，後面溫度變化大，致使溫差與體積變化較不具規律性，因此後來改為熱水降溫方式進行，溫度變化比較平緩。

三、多組穩定模擬數據

在模擬操作階段，有些學生過於匆促地記錄數據，導致圖表偏差。教學時提醒學生在等待模擬器內粒子運動穩定後再進行數據記錄，並鼓勵他們做多組測量以取平均，避免單一數據誤導結果。這些修正過程，正是學生學習如何做「有效的科學觀察與記錄」的歷程。

■ 教學後的反思與學生成果

這次的創新教學設計，顯著提升學生對查理定律的理解與學習動機。學生不再只是被動接受公式，而是透過「看見」與「操作」，主動發現氣體體積與溫度之間的線性關係。在反思提問中，多數學生提到「原來氣體也可以被觀察」、「實驗讓我理解公式背後的原因」、「我覺得自己真的做了一次小科學家的工作」。

有的學生利用 Excel 將模擬器所得資料繪製折線圖，並主動外推氣體體積趨近於 0°C 以下的點，進而推導出接近 -273°C 的絕對零度。他們不僅學會了查理定律，更學會如何從觀察中提出推論，這正是探究與實踐核心素養的重要體現。

課後教學者亦反思：結合真實實驗與數字模擬的雙軌教學設計，不僅能補強單一方法的侷限，也能讓不同學習風格的學生都找到學習的切入點。同時，也看見學生對數據分析、圖表製作的的能力有顯著成長，這對未來科學素養的培養有深遠的影響。

■ 結語

查理定律是一個容易被學生視為抽象、難以理解的氣體定律。然而，透過生活情境引導、實踐活動、數字模擬與圖像分析的多元結合，學生能夠在具體操作過程建構對抽象原理的理解，並從數據中提取有意義的訊息以形成科學結論。這樣的教學活動呈現出科學建模的內涵，亦即讓學生經由實際實驗操作獲得數據，再進行模擬實驗，並比對分析實際實驗與模擬實驗的差異，親身經歷科學模型的建立、驗證與修正，學習從複雜現象萃取核心規律的能力。

實驗結束的同時，可以引導學生深入思辨「實際實驗」與「模擬實驗」在科學本質的異同之處。例如，實際實驗讓學生體會真實世界的變異性與測量誤差，學習處理不完美的數據；而模擬實驗則提供一個理想化的情境，幫助學生清晰地掌握變因間的數量關係。透過辨析兩者的差異與功用，學生能更深刻地理解科學探究的本質以及模型在科學發展中的角色與限制，從而建立更成熟的科學觀。

未來，作者們將持續優化探究式的教學模式，嘗試更多跨科整合與生活應用，讓學生在自然科學的世界中，不只是學習知識，更能學會如何「做」科學，成為擁有觀察力、分析力與實踐的探究者。

■ 參考文獻

維基媒體基金會。(2023年10月2日)。查理定律。維基百科。取自

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/查理定律>

科羅拉多大學博爾德分校(University of Colorado Boulder) (2025)。氣體概念介紹 (*Gases Intro*)。PhET 互動模擬教學 (PhET Interactive Simulations)。

https://phet.colorado.edu/zh_TW/simulations/gases-intro

ChemTeam (2019). Charles's Law. <http://www.chemteam.info/GasLaw/Gas-Charles.html>

CK-12 Foundation (2015). Charles's Law. *Introductory Chemistry*. LibreTexts.

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introductory_Chemistry_\(CK-12\)/14%3A_The_Behavior_of_Gases/14.04%3A_Charles's_Law](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introductory_Chemistry_(CK-12)/14%3A_The_Behavior_of_Gases/14.04%3A_Charles's_Law)