

# CIENCIA BÁSICA Y CULTURA

Boletín de Ciencias Básicas



Año 2024

Número 7

08 de abril



# Determinación de la calidad de una mezcla líquido-vapor mediante dos enfoques diferentes

Rogelio Soto Ayala

(Departamento de física y química de la dcb)

La transición de fase líquido-vapor es un fenómeno que experimentamos todos los días en nuestras actividades cotidianas, por ejemplo: en la preparación de alimentos, al hervir agua para eliminar gérmenes y poder consumirla, preparar café, entre otros.

A nivel industrial, el funcionamiento de una planta termoelectrica aprovecha la producción de vapor a partir de agua líquida para la generación de energía eléctrica.

En Termodinámica es de gran importancia el estudio de estas transiciones de fase. Uno de los diagramas que permite visualizar el cambio de fase líquido-vapor es el del volumen específico-temperatura ( $v$ - $T$ ). En la figura 1, se muestra dicho diagrama donde se ilustran las diferentes zonas de existencia y de coexistencia de cada una de las fases del agua.

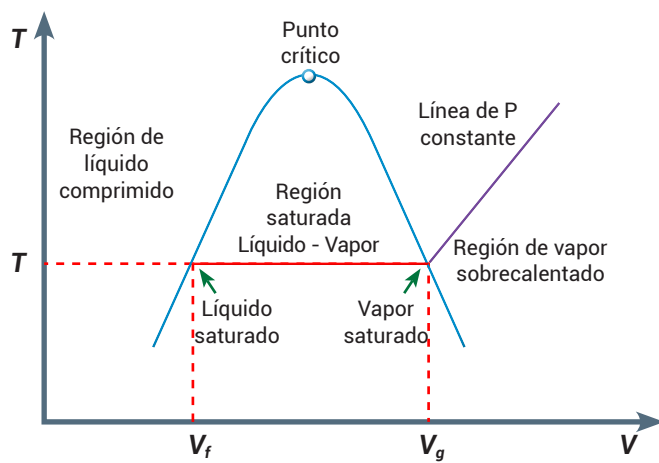


Fig. 1 Diagrama v-T del agua

Imaginemos que nos encontramos en Veracruz, Veracruz, México y deseamos realizar un experimento donde



podamos observar la transición de fase líquido-vapor del agua en forma isobárica. Para ello, coloquemos un poco de agua de la red hidráulica en un sistema cilindro-émbolo. Ya que la temperatura de esta muestra de agua es menor que la temperatura de ebullición a la presión atmosférica de Veracruz, el agua dentro del cilindro se encuentra como líquido comprimido. La transmisión de calor a este líquido hará que su temperatura se incremente hasta que alcance la temperatura de ebullición ( $\approx 100^\circ\text{C}$ ). El agua en este nuevo estado se denomina líquido saturado. El suministro adicional de calor al líquido saturado dará lugar a una mezcla y, finalmente, cuando todo el líquido se haya evaporado, se tendrá exclusivamente vapor saturado. Un vapor sobrecalentado se forma cuando al vapor saturado formado se le suministra energía adicionalmente. En el diagrama anterior, se muestran estos cambios de fase, las zonas donde predomina cada una de ellas y la línea isobara que corresponde a la presión del experimento ( $\approx 100\text{ kPa}$ ). Si esta experiencia se repite a menores y mayores presiones que la descrita anteriormente, y se unen los puntos de líquido saturado (a la izquierda) y los de vapor saturado (a la derecha), se obtendrá la denominada campana de saturación.

El diagrama también muestra que, el volumen específico de un líquido saturado se denota como  $v_f$ , mientras que el volumen específico de un vapor saturado se indica como  $v_g$ .

Asimismo, el concepto de calidad,  $x$  es fundamental en termodinámica. Se define como la masa de vapor,  $m_g$ , que existe en la mezcla,  $m_t$ : 
$$x = \frac{m_g}{m_t} = \frac{m_g}{m_l + m_g}$$

De la misma definición se concluye que la calidad de un líquido saturado es cero, mientras que la calidad de un vapor saturado vale uno, por lo tanto, la calidad oscila entre estos valores extremos. Sin embargo, la pregunta que surge es ¿cómo determinar la calidad de una mezcla en función de los volúmenes específicos del líquido saturado y del vapor saturado, respectivamente?

A continuación, se presentan dos enfoques diferentes que nos permiten responder esta pregunta.

### Primer enfoque

El volumen total de la mezcla,  $v_t$ , corresponde a la suma de los volúmenes del líquido saturado,  $v_f$ , y del vapor saturado,  $v_g$ , respectivamente:  $v_t = v_f + v_g$

En términos de los volúmenes específicos de cada una de las fases, así como de sus masas, la expresión anterior se puede manifestar como:  $m_t v_t = m_f v_f + m_g v_g$

Al dividir cada uno de los términos entre la masa total de la mezcla,  $m_t$ , y debido al hecho de que la calidad,  $x$ , y la humedad de la mezcla,  $y$ , están vinculadas mediante la relación  $x + y = 1$ , se tendrá:

$$v_t = \frac{m_f}{m_t} v_f + \frac{m_g}{m_t} v_g = y v_f + x v_g = (1-x) v_f + x v_g$$

Expresión que se puede escribir como:  $v_t = v_f + x(v_g - v_f)$  que es la respuesta a la pregunta planteada.

### Segundo enfoque

Este enfoque se basa en la regla de la palanca, cuya operación se fundamenta en conceptos vistos en el tema 3 de la asignatura de Estática, impartida en la División de Ciencias Básicas. Si se coloca un fulcro o punto de apoyo en el punto 3 del diagrama de la figura 2, que representa un punto de mezcla, se observa que para que haya un equilibrio y se conserve la posición horizontal dentro de la campana de saturación, situación que implica que el cambio de fase es isobárico (pero, además, isotérmico), se debe cumplir que:

$$w_f d2 \uparrow 3 = w_g d3 \uparrow 4$$

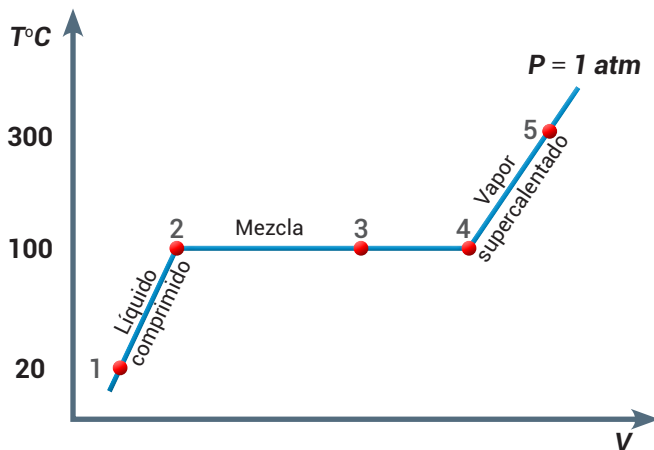


Fig. 2 Diagrama v-T del agua donde se muestra un punto de mezcla (3)

Donde  $w_f$  y  $w_g$  representan los “pesos” que cada una de las fases saturadas aporta al peso total de la mezcla, y  $d2 \uparrow 3$  y  $d3 \uparrow 4$  representan las distancias entre el fulcro y los puntos donde se ubican el líquido saturado y el vapor saturado, respectivamente (puntos 2 y 4).

En términos de las masas y de los volúmenes específicos de cada uno de los componentes y de la mezcla, la expresión anterior se puede escribir como:

$$m_f(v_f - v_t) = m_g(v_g - v_t) \text{ O bien: } \frac{m_f}{m_g} = \frac{(v_g - v_t)}{(v_t - v_f)}$$

que en términos de la calidad se puede expresar como:  $\frac{m_f}{m_g} = \frac{(v_g - v_t)}{(v_t - v_f)} = \frac{(1-x)}{x}$ , lo que da lugar a la siguiente igualdad:  $x(v_g - v_t) = (1-x)(v_t - v_f)$  y después de cancelar los

términos semejantes y modificar la expresión se obtiene nuevamente la ecuación solicitada, la cual coincide con la del primer enfoque, es decir,  $v_t = v_f + x(v_g - v_f)$

### Conclusiones

Los cambios de fase que experimenta una sustancia son aspectos medulares que nos permiten comprender mejor los procesos que se llevan a cabo en los diferentes ciclos termodinámicos. En el caso del agua, que es una sustancia que constituye el fluido de trabajo en varios procesos industriales, el conocimiento de la transición de fase que ocurre entre el líquido y el vapor es muy importante para predecir su comportamiento y obtener un mayor beneficio de ella. Conocer la calidad de una mezcla nos permite determinar propiedades, tales como su volumen específico, su energía interna específica, su entalpía específica y su entropía específica.

La determinación de las propiedades de las sustancias, utilizando para ello conceptos vistos en otras asignaturas, le proporciona al estudiante herramientas complementarias que repercuten en una mejor preparación académica. Esto significa que la adquisición del conocimiento debe analizarse desde un punto de vista multidisciplinario y no fragmentario. Este fue uno de los objetivos con el que se escribió este artículo.

# ¿QUÉ ES CIENCIA?

Martín Bárcenas Escobar Y  
Salvador Enrique Villalobos

(Departamento de física y química. DCB)

Conferencia pronunciada durante el Congreso Anual de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencia de los Estados Unidos, 1966 (publicada por la AAPT; septiembre de 1969).



## Introducción

En este trabajo nos proponemos emplear la pregunta que da título a esta conferencia como guía en la elaboración de los argumentos para el análisis que se presenta.

En el camino, por ejemplo, descubriremos lo que para R. P. Feynman no es la Ciencia: (Feynman, R.P. 1969) "...la ciencia no es por lo tanto lo que los filósofos han dicho y menos lo que dicen los manuales..."

La Ciencia, dice Mario Bunge (filósofo), es un estilo de pensamiento y de acción; precisamente el más reciente, el más universal y el más provechoso de todos los estilos. (Bunge, M. 2014)

Al citar los manuales, R. P. Feynman se refiere a los textos de educación básica, donde no sólo podemos encontrar la definición de Ciencia, sino de algún otro concepto complicado, como la Energía.

Inicialmente, podremos comprobar que los principales destinatarios de este discurso son los miembros de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias; más adelante descubriremos, que existen destinatarios alternos para las palabras de R. P. Feynman.

## Antecedentes

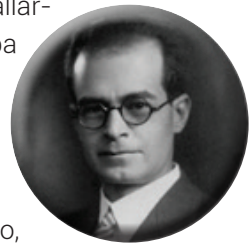
En el momento de la presentación de este trabajo, R. P. Feynman habría recibido el Premio Nobel por sus contribuciones al desarrollo de la Electrodinámica Cuántica; en colaboración con J. Schwinger y S. Tomonaga.



Egresado de MIT (Massachusetts Ins-

tute of Technology), R. P. Feynman habría acudido a Princeton para graduarse bajo la asesoría de J. A. Wheeler; contando con tan sólo 28 años.

En Princeton recibió la invitación para integrarse a los trabajos del Proyecto Manhattan, colaborando con H. Bethe en el área de Física Teórica y sin que su labor fuera demasiado destacada. Fue al lado de H. Bethe, en la Universidad de Cornell (1945-1950), donde desarrollaría la mayor parte de los trabajos que lo conducirían al Nobel de Física. Existe una gran cantidad de información acerca de la vida profesional de R. P. Feynman; en particular, cabe aclarar que a él mismo le agradaba contar y escribir acerca de sus experiencias personales (Feynman, R. P. 1985). Después de rechazar la invitación de trabajo de las más prestigiosas universidades del este norteamericano, incluida Princeton, R. P. Feynman se decantó por el Instituto Tecnológico de California (CalTech), con el pretexto de que un cambio de clima le sentaría bien a su salud. De hecho, habría incluso, al final de la guerra, desechado otra invitación de trabajo para la Universidad de Berkeley, por parte del líder del proyecto Manhattan J. R. Oppenheimer. Destaca el hecho de que el primer trabajo de investigación de R. P. Feynman en el MIT hubiese sido dirigido por el más renombrado hombre de ciencias mexicano de aquella época: Don Manuel Sandoval Vallarta, quien por aquellos años se desempeñaba como profesor en el MIT.



En la década de los ochenta Juan Manuel Lozano, distinguido profesor de la Facultad de Ciencias, nos contaba, con agradable tono, el día que conoció a R. P. Feynman en el año de 1952, antes de recibir el Nobel. En ese momento, R. P. Feynman estaba en México con motivo de su segunda luna de miel, un poco aburrido por no haber podido hablar de Física con casi nadie, a decir de él mismo. A su llegada a la sede del Instituto de Física, en algún salón del Palacio de Minería en el llamado Centro Histórico, R. P. Feynman preguntaba insistentemente a los estudiantes, en una mezcla de inglés, español y portugués, por un viejo conocido de Princeton: Marcos Moshinsky, a quien también recuerdo aún como profesor excelentísimo de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Pero ¿qué académico, por distinguido o mediocre que parezca, asiste a su oficina un sábado por la mañana?



La tertulia comenzó y terminó, según el profesor Lozano, en la calle de Gante muy cerca del Palacio de Minería, en el mismísimo café Paris, cuartel general de nuestro Nobel de literatura y de los más grandes muralistas mexicanos de otros tiempos.

Si algo quedó claro después de aquel día fue que R. P. Feynman era un hombre sencillo, con un gran interés por los jóvenes estudiantes, excelente disertador, de mente brillante, bromista e incorregible admirador de la belleza femenina. Y para los que preguntan cuál fue el destino del monto recibido por el Premio Nobel, baste decir que fue utilizado para la compra de un inmueble en el estado mexicano de Baja California, lugar en el que, en ocasiones, se mira a sus hijos Carl y Michelle.

### Contexto actual

La obra escrita de R. P. Feynman, sin lugar a duda, continúa vigente, no sólo en sus reconocidos textos: *The Feynman Lectures on Physics* o *The Feynman Lectures on Computation*, por citar sólo algunos, sino en sus conferencias, textos de divulgación o incluso memoria audiovisual. Nadie, quien diga saber algo de Física, ignora los cursos impartidos

por R. P. Feynman en CalTech, que dieron origen a: *The Feynman Lectures on Physics* que, más que cursos, fueron conferencias magistrales dirigidas a estudiantes de pregrado entre los años de 1961 y 1963, y se encuentran organizadas en tres tomos (Feynman, et. al., 2006):

Principalmente Mecánica, Radiación y Calor (Tomo I, en 52 capítulos), Principalmente Electromagnetismo y Materia (Tomo II, en 42 capítulos) y Mecánica Cuántica (Tomo III, en 21 capítulos). Estos tomos, representan, más que un curso a seguir, la visión que R. P. Feynman tenía de la Física de aquel tiempo; al margen de cómo debía enseñarse a los estudiantes universitarios.

El mismo caso ocurrió para *The Feynman Lectures on Computation* (Feynman, R. P. 2003), organizado en siete apartados: Introducción a los ordenadores. La organización de los ordenadores, la Teoría de la Computación. Teoría de la Codificación e Información, Computación reversible y Termodinámica de la Computación, Ordenadores mecánico-cuánticos y Aspectos físicos de la Computación; publicado de manera póstuma en el año de 1996, que coincide con textos asociados a conferencias

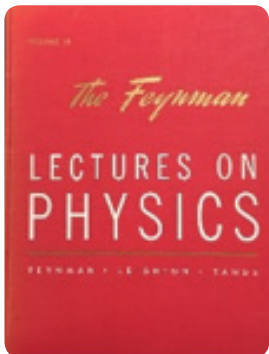
dictadas por R. P. Feynman en distintos años y escenarios. Destaca en este caso el título Ordenadores mecánico-cuánticos, donde R. P. Feynman hace una apología de la estructura y el funcionamiento de un ordenador mecánico-cuántico.

Como caso excepcional, la conferencia: "Hay mucho espacio en la parte inferior: una invitación para ingresar a un nuevo campo de la Física" dictada por R. P. Feynman el 29 de diciembre de 1959, con motivo de la Reunión anual de la Sociedad Americana de Física, es considerada como el parteaguas para el desarrollo de la Nanotecnología (Feynman, R. P. 1959).

La Ciencia de las cosas muy pequeñas traería desarrollos tecnológicos posteriores a los microscopios electrónicos de transmisión en sus versiones del Microscopio Electrónico de Fuerza Atómica y del Microscopio Electrónico de Barrido; una realidad de nuestro tiempo.

Hacia el final de su vida, R. P. Feynman participó en la conocida Comisión Rogers (Comisión Presidencial sobre el Accidente del Transbordador Espacial Challenger), la cual estaba formada para investigar el accidente del transbordador espacial Challenger, ocurrido el 28 de enero de 1986. Su participación estaba justificada por los nexos que siempre tuvo con el Jet Propulsion Laboratory (JPL), desde la época de las misiones tripuladas a la Luna. En la Comisión Rogers, por cierto, entre otros, participaba el primer hombre de la NASA en la Luna. El resultado de las investigaciones de R. P. Feynman con respecto a la Comisión Rogers quedaron plasmados en una obra con un título por demás sugerente: *¿Qué te importa lo que piensen los demás?*, quizá la última de sus más afamadas obras (Feynman, R. P. 1989).

Hemos hablado demasiado de R. P. Feynman y en este momento podemos comprobar lo que el profesor Juan Manuel Lozano contestaba a la pregunta: ¿cómo es R. P. Feynman? ...Feynman...es...simplemente Feynman; un personaje curioso.





## Desarrollo

Es momento de conocer a R. P. Feynman a través de su discurso, hemos elegido el trabajo que da título a este ensayo porque en él descubriremos la forma de pensar de un norteamericano típico del siglo XX. (Feynman, R.P. 1969). R. P.

Feynman a los miembros de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias: ...de hecho, nosotros constatamos en Caltech que los estudiantes que nos llegan son muy buenos, mejor año con año. ¿A qué se debe? No lo sé. Quizás lo saben ustedes. Yo no quiero modificar en nada el sistema de enseñanza, funciona muy bien...

Comentario: a pesar de que R. P. Feynman no aclara cómo comprueba su afirmación, es muy probable que conozca los resultados de alguna evaluación de admisión anual a Caltech; sin embargo, afirma no saber la razón por la cual ocurre lo que menciona, aunque los resultados lo dejen satisfecho.

En condiciones habituales, sería de esperar que en un período no muy largo de tiempo pudiera medirse que el aprovechamiento estudiantil habría de mejorar como función del tiempo. Lo anterior, sin que nos haga sentir avergonzados, ocurriría de manera excepcional en nuestros sistemas educativos latinoamericanos, donde las cosas parecen ocurrir habitualmente a la inversa.

R. P. Feynman sobre el aprendizaje de las matemáticas por las estudiantes universitarias:

...aquél día aprendí una cosa: que el cerebro femenino es capaz de comprender la geometría analítica. Quienes pretenden —aunque esto esté en entredicho todos los días— que las mujeres son igualmente capaces de pensar racionalmente que los hombres, puede que no estén tan equivocados. Quizás nuestras dificultades se deben simplemente a que no hemos encontrado todavía la forma de comunicarnos con los cerebros femeninos...

Comentario: R. P. Feynman habla de la mujer norteamericana (cursando su tercer matrimonio), en particular, de la dificultad que existe, a su juicio, para comunicarse con ellas. Por otra parte, da testimonio de la dificultad que existe en las escuelas de Ciencias e Ingeniería en la enseñanza y el aprendizaje de la Geometría Analítica; donde todos los recursos didácticos son bienvenidos.

R. P. Feynman, sobre la validez de algunas Ciencias Sociales a las que llama Pseudociencias; introduciendo el concepto de Ciencias de Culto de Carga.

...actualmente todos soportamos la especie de dictadura que reina en gran cantidad de instituciones científicas, caídas bajo la bota de consejeros pseudocientíficos. Tomemos por ejemplo el caso de los estudios de pedagogía en los que la gente hace experimentos, listas, estadísticas, etc. Todo esto no hace por tanto que se trate de ciencia verdadera, de conocimiento auténtico; no son más que copias de las ciencias, comparables a esos aeródromos y torres de control de madera que encontramos en las islas del Sur del Pacífico...

Comentario: los términos pseudociencia y pseudocientíficos lo emplea R. P. Feynman para referirse a quienes, al interior de las universidades, no hacen Ciencia verdadera; Ciencia como la que R. P. Feynman hace. En este selecto grupo deben incluirse personal a los que llama consejeros; entre otros: administradores, psicólogos, pedagogos o educadores.

El concepto de Ciencia de Cargo de Culto, R. P. Feynman lo describe con detalle en un discurso de graduación de la generación 1974 en CalTech (Feynman, R. P. 1974); pero la idea es bastante clara: ...comparables a esos aeródromos y torres de control de madera que encontramos en las islas del Sur del Pacífico...

Los nativos de las islas del sur son los pseudocientíficos quienes viven muy lejos de la civilización, de la Ciencia real, pero quienes para no morir en el abandono construyen aeródromos, torres de control e incluso aeroplanos de utilería; a semejanza de los aeródromos, torres de control y aeroplanos que existían durante la Guerra del Pacífico. La idea es: la de atraer la atención de los aeroplanos reales para que regresen; ahí donde en otro tiempo la civilización fue parte del escenario.

En esta forma, los nativos (pseudocientíficos) crean un tipo de civilización falsa (pseudociencia) por el bien de los habitantes de la isla; quienes, al fin de cuentas, no tienen ningún contacto con la civilización.



## Conclusiones

A manera de reflexión y después de analizar con cierto detalle el muy particular enfoque de R.P. Feynman con respecto al desarrollo de la Ciencia, afirmamos que:

En el estudio de la Física, por lo general, no es tan importante saber qué son las cosas; sino más bien es preciso conocer cómo se comportan. Esta es la razón por la que R. P. Feynman, ante la dificultad del tema, prefiere explicar...cómo aprendió lo que es la Ciencia... La ciencia entonces es...este descubrimiento de que más vale no confiar en la experiencia del pasado de la especie— y que más vale verificar todo por sí mismo haciendo nuevos experimentos... Así entonces, la Ciencia...es la creencia en la ignorancia de los expertos... Entender el lenguaje en que la naturaleza se organiza y se manifiesta ante nuestros ojos sólo puede lograrse a través del cocimiento científico; ese lenguaje, dice R. P. Feynman, es, siempre ha sido y será el lenguaje de las matemáticas.

## Propuesta

Los más grandes avances de la Ciencia Contemporánea han sido desarrollados a lo largo del siglo XX; sin duda R. P. Feynman fue uno de los tantos protagonistas de ese movimiento. El enfoque y opinión de R. P. Feynman acerca de la enseñanza de las Ciencias parece no aportar demasiado a los esfuerzos desarrollados, desde entonces, en las áreas de las Ciencias Sociales.

Einstein pensaba, en su tiempo, que la Mecánica Cuántica era una Ciencia incompleta, sin que eso impidiera que esta se desarrollara y se convirtiera en la actualidad en la Teoría Física más exitosa.

R. P. Feynman, el gran explicador, toma una idea de Einstein para afirmar que cualquier concepto no ha sido entendido del todo si quien lo explica es incapaz de compartirlo con éxito a alguien que desconozca todo de tema.

La labor de quienes nos hemos preocupado por diseñar e implementar nuevas herramientas didácticas en la enseñanza de las Ciencias Básicas implica, al mismo tiempo, proponer metodologías que promuevan en los estudiantes esa necesidad de no creer en lo establecido, como afirma R. P. Feynman, buscando siempre novedosas formas para resolver los problemas del mundo. En el último de los casos, nuestra ciudad de madera es habitable y deberemos estar preparados para cuando esos aeroplanos remonten el vuelo.

## Bibliografía

Biblioteca digital - acceso remoto. (Dakota del Norte). <https://pubs-aip-org.pbidi.unam.mx:2443/aapt/pte/article/7/6/313/278346/Que-Es-La-Ciencia>

Bunge, M. (2014). La ciencia, su método y su filosofía. SUDAMERICANA.

Feynman, Richard P. (1959) There's Plenty of Room at the Bottom. zyvex.com Feynman, R. P. (June 1974). Cargo Cult Science. California Institute of Technology

Feynman, R. P., & Leighton, R. (1985). Adventures of a Curious Character. Bantam Dell Publishing Group.

Feynman, R. P., & Leighton, R. (1989). further adventures of a curious character. Bantam Dell Publishing Group.

Feynman, R. P. (2003). Conferencias sobre computación. Grupo Planeta (GBS).

Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2006). Physics. Addison-Wesley.

## Referencia de imágenes:

[https://caltech-prod.s3.amazonaws.com/main/images/feynman01-NEWS-WEB.max-1400x800\\_sT27bWf.jpg](https://caltech-prod.s3.amazonaws.com/main/images/feynman01-NEWS-WEB.max-1400x800_sT27bWf.jpg)

[https://static01.nyt.com/images/2018/11/30/science/30feynman-top/merlin\\_147449115\\_a9e3bf72-a851-4e7c-a4f7-0095e138a8fb-superJumbo.jpg?quality=90&auto=webp](https://static01.nyt.com/images/2018/11/30/science/30feynman-top/merlin_147449115_a9e3bf72-a851-4e7c-a4f7-0095e138a8fb-superJumbo.jpg?quality=90&auto=webp)

<https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.whT6RxSBxBiA4oFO19ybjQAAAA&pid=Api&P=0&h=180>

[https://www.bookmarxbooks.com/assets/images/product/79496\\_1](https://www.bookmarxbooks.com/assets/images/product/79496_1)

<https://img.washingtonpost.com/rw/2010-2019/WashingtonPost/2011/09/30/Style/Images/AP8604060171.jpg?uuid=fHAK6OuJEeCKBcEOwQfcZg>

<https://i1.wp.com/www.brainpickings.org/wp-content/uploads/2013/07/feynman.jpg?fit=300%2C348&ssl=1>