

Real Academia de Ciencias
Exactas, Físicas y Naturales



Universidad
Rey Juan Carlos
Móstoles, Madrid, Spain

Inteligencia artificial, predicción y comprensión en la ciencia

Miguel Angel Fernández Sanjuán

Grupo de Dinámica No Lineal, Teoría del Caos y Sistemas Complejos
Dpto. de Física, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Primer Encuentro Ciencia-Filosofía

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Universidad Complutense de Madrid

13 de mayo de 2019

Ciencia y Filosofía se necesitan

OPINION

3948–3952 | PNAS | March 5, 2019 | vol. 116 | no. 10

Found Phys (2018) 48:481–491
<https://doi.org/10.1007/s10701-018-0167-y>



Why science needs philosophy

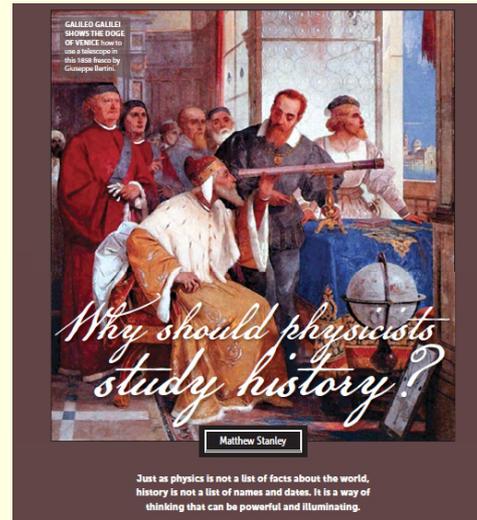
Lucie Laplane^{a,b,1}, Paolo Mantovani^{c,1}, Ralph Adolphs^d, Hasok Chang^e, Alberto Mantovani^{f,g}, Margaret McFall-Ngai^h, Carlo Rovelliⁱ, Elliott Sober^l, and Thomas Pradeu^{a,k,2}

Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics

Carlo Rovelli¹ **Abstract** Contrary to claims about the irrelevance of philosophy for science, I argue that philosophy has had, and still has, far more influence on physics than is commonly assumed. I maintain that the current anti-philosophical ideology has had damaging effects on the fertility of science. I also suggest that recent important empirical results, such as the detection of the Higgs particle and gravitational waves, and the failure to detect supersymmetry where many expected to find it, question the validity of certain philosophical assumptions common among theoretical physicists, inviting us to engage in a clearer philosophical reflection on scientific method.

A knowledge of the historic and philosophical background gives that kind of independence from prejudices of his generation from which most scientists are suffering. This independence created by philosophical insight is—in my opinion—the mark of distinction between a mere artisan or specialist and a real seeker after truth.

Albert Einstein, Letter to Robert Thornton, 1944



Why should physicists study history?

Matthew Stanley

Citation: *Physics Today* 69, 7, 38 (2016); doi: 10.1063/PT.3.3235

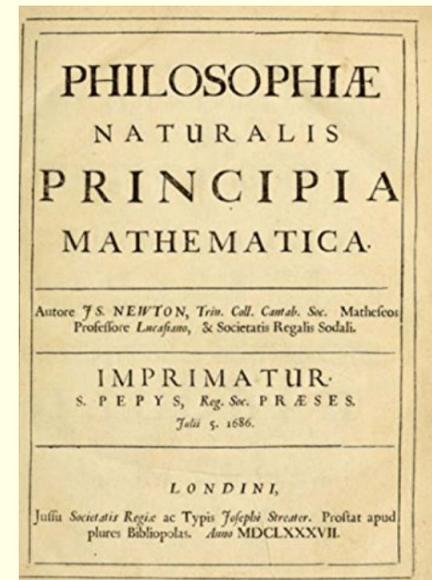
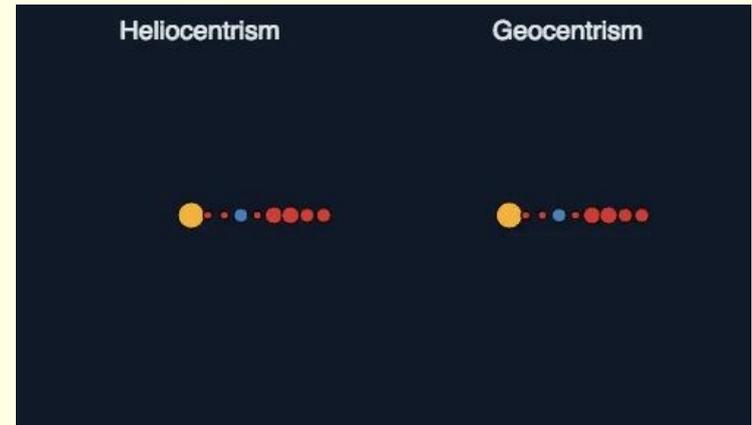
LA CIENCIA MODERNA SIN FILOSOFIA SE ESTRELLARÁ CONTRA UN MURO:
EL DILUVIO DE DATOS EN CADA CAMPO HARA QUE LA INTERPRETACION
SEA CADA VEZ MAS DIFICIL

IA, Predicción & Comprensión (1)

- Desarrollos espectaculares mediante técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en relación a predicciones científicas. Entre las que se incluyen sistemas caóticos que presentan problemas de predicción.
- El impacto de **AlphaZero** y **AlphaGo Zero** en ajedrez y Go
- El aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, como caja mágica **para construir modelos predictivos** cada vez más precisos. Ahora únicamente con datos tendremos predicciones. Entonces, ¿por qué molestarse con las teorías?
- Esto sería así en caso de que el objetivo de la ciencia fuera generar predicciones. No lo es. **El objetivo de la ciencia es proporcionar comprensión. El entendimiento viene de las explicaciones, y las teorías proporcionan explicaciones.**

IA, Predicción & Comprensión (2)

- Si tu capacidad de predicción es excelente, **¿significa que hayas entendido?**
- **Predicción** y **Comprensión** son dos conceptos muy diferentes
- Ptolomeo pudo predecir cómo se mueven los planetas. Pero no se sabía por qué funcionaba el método
- Después vinieron Copernico, Galileo, Kepler y Newton
- Newton encontró las **ecuaciones diferenciales** que gobernaban el movimiento de los planetas
- Ahora podemos **ENTENDER** por qué se mueven los planetas. Aparece **la Ley Universal de la Gravitación** que nos permite descubrir otros planetas y se aplica a todos los cuerpos
- La misma idea, **encontrar la ecuación diferencial**, es la clave para poder comprender



IA, Predicción & Comprensión (3)

- Si podemos reducir un fenómeno complicado a **un conjunto sencillo de reglas o principios**, entonces podemos decir que lo hemos entendido. Claro que hay excepciones como la turbulencia en física y muchos problemas en biología
- Las máquinas hacen sus predicciones mucho mejor que nosotros. Pero, **¿pueden ser capaces de explicar el por qué ?**
- La IA no es capaz de hacer interpretaciones. Son algoritmos de optimización muy sofisticados que se alimentan constantemente de datos hasta que encuentran suficientes patrones para hacer predicciones propias. Estos patrones son leyes puramente empíricas; no tienen una base teórica o interpretación física, como las leyes de Kepler o las leyes de Maxwell
- Las implicaciones de la inteligencia artificial para el proceso de hacer ciencia pueden ser inmensos, pero **¿podremos entender que está pasando?**
- Predicción sin comprensión afecta a la misma esencia del método científico
- Hay muchas incógnitas: **¿Es la ciencia algo más que la habilidad de hacer muy buenas predicciones?**

Diferentes formas de hacer ciencia y COMPRENDER

- La tensión entre predicción y comprensión es permanente en ciencia, como ocurre en los campos donde hay muchos datos como la genómica y la biología computacional. Lo que se echa en falta es la comprensión
- Hay diferentes formas de hacer ciencia:
 - Comprensión:** Los por qué de las cosas.
 - Predicción:** ¿Qué va a ocurrir?
 - Descripción:** El qué y el cómo.
- Podemos aprender y predecir en ciencia a través de machine learning, pero no sabemos aún si se puede comprender. Surge una pregunta clave **¿Qué significa COMPRENDER?**

Viewpoint • What does 'understanding' mean?

nature *neuroscience* supplement • volume 3 • november 2000

GILLES LAURENT

Division of Biology, California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA
e-mail: laurentg@caltech.edu

Destaca el papel de los **sistemas dinámicos** que nos ayudan a una conceptualización mental y matemática, y en definitiva a comprender



Figure 1 **The elephant and the six blind men.** (Cartoon originally copyrighted by the authors of (Himmelfarb *et al.*, 2002); G. Renee Guzlas, artist). Taken from (Himmelfarb *et al.*, 2002).

The limits of machine prediction



The best predictions generally come from a judicious trade-off between modelling and quantitative analysis.

Mark Buchanan

Published online: 1 April 2019

<https://doi.org/10.1038/s41567-019-0489-5>

Una expectativa acerca de los límites en la precisión predictiva del Big Data proviene de **la teoría de sistemas dinámicos en el contexto de sistemas de alta dimensión**, la norma para la mayoría de las aplicaciones del mundo real.

La causa es la dimensión del sistema. Hacer predicciones útiles en **sistemas de alta dimensión** requiere algo más que datos - **teoría o visión conceptual**.

"Nada es más práctico", como el físico austriaco Ludwig Boltzmann escribió una vez, **"que una buena teoría"**.

¿Comprenden las máquinas? Comprender en IA

Do Machines Understand? A Short Review of Understanding & Common Sense in Artificial Intelligence

Kristinn R. Thórisson^{1,2} & David Krummelberg¹

¹ Icelandic Institute for Intelligent Machines, Reykjavík, Iceland

² CADIA, School of Comp. Sci., Reykjavík University
Reykjavík, Iceland

Evaluating Understanding

Jordi Bieger¹ & Kristinn R. Thórisson^{1,2}

¹ Center for Analysis and Design of Intelligent Agents
School of Computer Science, Reykjavik University

² Icelandic Institute for Intelligent Machines
Iceland

Philosophy and Phenomenological Research
Vol. XLIII, No. 3, March 1983

On Understanding

R. L. FRANKLIN
University of New England

Para que el término “**Comprender**” tenga utilidad en el campo de la IA debe referirse a algo medible. Señalan 4 criterios:

- (1) predecir el comportamiento del fenómeno
- (2) lograr los objetivos con respecto al fenómeno
- (3) explicar el fenómeno y
- (4) crear o recrear el fenómeno

Para Gregory Chaitin, matemático e informático, **COMPRENDER** algo significa ser capaz de imaginar un conjunto sencillo de reglas que lo expliquen

Entusiastas de la AI y el final del método científico



Distilling Free-Form Natural Laws from Experimental Data

Michael Schmidt and Hod Lipson

Science **324**, 81 (2009);

DOI: 10.1126/science.1165893



Artificial Intelligence to
Win the Nobel Prize and Beyond:
Creating the Engine for
Scientific Discovery

Hiroaki Kitano

CHRIS ANDERSON SCIENCE 06.23.08 12:00 PM

THE END OF THEORY: THE DATA DELUGE MAKES THE SCIENTIFIC METHOD OBSOLETE

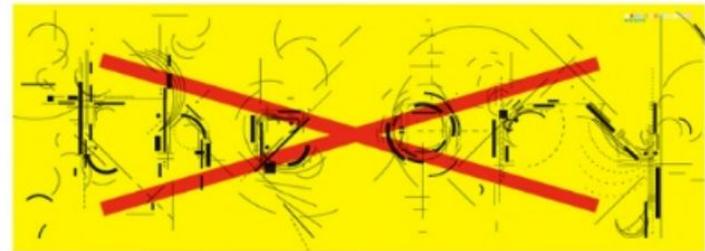


Illustration: Marian Bantjes

<http://www.wired.com/2008/06/pb-theory/>

Machine Learning y método científico

Philos. Technol.
DOI 10.1007/s13347-017-0265-3



RESEARCH ARTICLE

Forecasting in Light of Big Data

Hykel Hosni¹ · Angelo Vulpiani^{2,3}

Opinion

The dreams of theory

James P. Crutchfield⁴



Computing power and sophisticated data acquisition mask the fact that, in many sciences and engineering, the balance between theory and experiment is getting increasingly out of whack. The imbalance becomes an even greater concern in light of the increasingly complex natural systems science now confronts and the increasingly complex and interdependent sociotechnical systems modern engineering allows us to construct. Given its critical role in understanding such complex systems, Big Theory deserves a place alongside Big Data and Big Iron, says Jim Crutchfield. © 2014 Wiley Periodicals, Inc.

How to cite this article:
WIREs Comput Stat 2014, 6:75–79. doi: 10.1002/wics.1290

Keywords: computational science; complex systems; artificial science; Big Data; Big Iron

Machine Learning Widens the Gap Between Knowledge and Understanding

And gives us the tools for our next evolutionary step



David Weinberger [Follow](#)

Apr 15 · 10 min read ★

PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONS A

rsta.royalsocietypublishing.org

Opinion piece

Cite this article: Coveney PV, Dougherty ER, Highfield RR. 2016 Big data need big theory too. *Phil. Trans. R. Soc. A* 374: 20160153.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0153>

Big data need big theory too

Peter V. Coveney¹, Edward R. Dougherty² and Roger R. Highfield³

¹Centre for Computational Science, University College London, Gordon Street, London WC1H 0AJ, UK

²Center for Bioinformatics and Genomic Systems Engineering, Texas A&M University, College Station, TX 77843-31283, USA

³Science Museum, Exhibition Road, London SW7 2DD, UK

PVC, 0000-0002-8787-7256

nature
physics

Thesis | Published: 01 April 2019

The limits of machine prediction

Mark Buchanan

Nature Physics **15**, 304 (2019) | [Download Citation](#) ↓

PERSPECTIVE

<https://doi.org/10.1038/w41585-019-0012-1>

Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science

Markus Reichstein^{1,2}, Gasau Camps-Valls³, Bjorn Stevens⁴, Martin Jung⁵, Joachim Denzler^{1,5}, Nuno Carvalhais^{1,6} & Prabhakar

WHAT DO YOU THINK ABOUT MACHINES THAT THINK?

[In the News \[23 \]](#) | [Contributors \[192 \]](#) | [View All Responses \[192 \]](#)



"Dahlia" by Katinka Matson | [Click to Expand](#) | www.katinkamatson.com



Freeman Dyson

[\[others\]](#)

[\[TOC\]](#)

Physicist

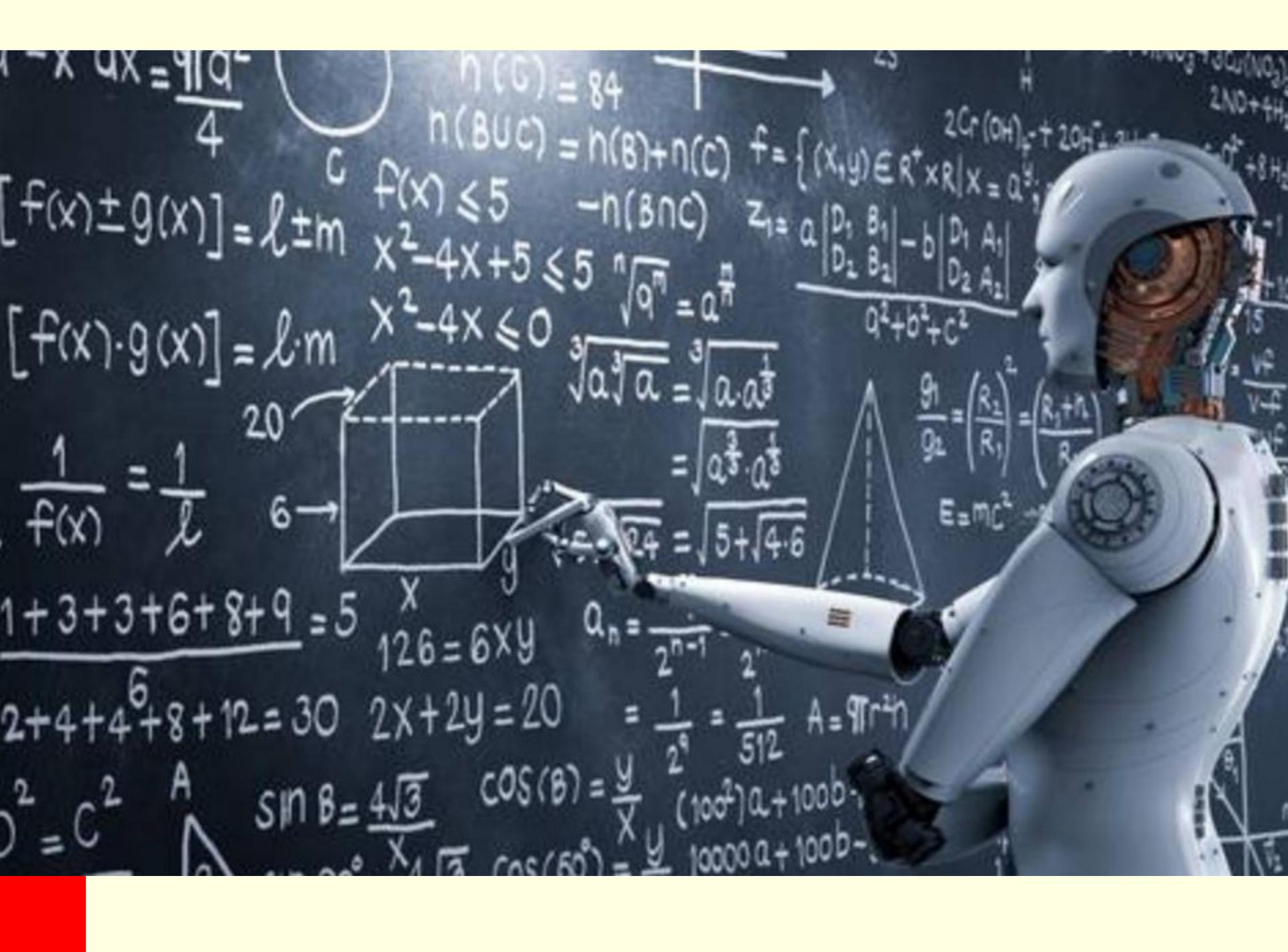
I Could Be Wrong

I do not believe that machines that think exist, or that they are likely to exist in the foreseeable future. If I am wrong, as I often am, any thoughts I might have about the question are irrelevant.

If I am right, then the whole question is irrelevant.

Conclusiones

- Sin duda el Big Data y las técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo contribuirán, como de hecho ya lo están haciendo, de una manera muy importante a la ciencia. Sin embargo, no puede prescindirse del papel de la modelización, la conceptualización y otras herramientas que proporciona la ciencia teórica y el método científico para poder comprender.
- La senda del futuro de la ciencia lo marcará un dialogo constructivo entre Big Data y Big Theory.
- Por supuesto si llegara el día en que las máquinas puedan ser capaces de hacer todo lo que el cerebro humano es capaz de hacer, incluido la generación de ideas creativas, las revoluciones conceptuales, y las teorías científicas, entonces la era humana de la ciencia se habría terminado. Creo que todavía estamos muy lejos de ello



$$x \cdot dx = \frac{9|a|}{4}$$

$$[f(x) \pm g(x)] = l \pm m$$

$$[f(x) \cdot g(x)] = l \cdot m$$

$$\frac{1}{f(x)} = \frac{1}{l}$$

$$1 + 3 + 3 + 6 + 8 + 9 = 5$$

$$2 + 4 + 4 + 8 + 12 = 30$$

$$a^2 = c^2$$

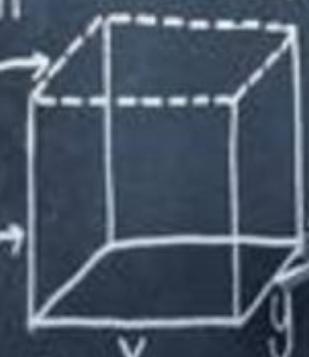
$$n(C) = 84$$

$$n(BC) = n(B) + n(C)$$

$$f(x) \leq 5$$

$$x^2 - 4x + 5 \leq 5$$

$$x^2 - 4x \leq 0$$



$$126 = 6xy$$

$$2x + 2y = 20$$

$$\sin B = \frac{4\sqrt{3}}{x}$$

$$\cos(B) = \frac{y}{x}$$

$$\cos(60^\circ) = \frac{y}{x}$$

$$-n(BC)$$

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$$

$$\sqrt[3]{a^3 a} = \sqrt[3]{a \cdot a^3}$$

$$= \sqrt[3]{a^3 \cdot a^1}$$

$$= \sqrt[3]{5 + \sqrt{4 \cdot 6}}$$

$$a_n = \frac{1}{2^{n-1}}$$

$$= \frac{1}{2^9} = \frac{1}{512}$$

$$z_1 = a \frac{\begin{vmatrix} D_1 & B_1 \\ D_2 & B_2 \end{vmatrix} - b \begin{vmatrix} D_1 & A_1 \\ D_2 & A_2 \end{vmatrix}}{a^2 + b^2 + c^2}$$



$$\frac{g_1}{g_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(\frac{R_1 + n}{R_1}\right)^2$$

$$E = mc^2$$

$$A = \pi r^2 h$$

$$(100^2)a + 100b$$

$$10000a + 100b$$