# VIETTEL AI RACE TD094 Vũ Trụ Học Tính Toán Lần ban hành: 1

## 1. Giới thiệu

Vũ trụ học tính toán là lĩnh vực liên ngành kết hợp vật lý thiên văn, toán học, khoa học máy tính và trí tuệ nhân tạo để giải mã lịch sử hình thành và tiến hóa của vũ trụ. Nếu kính thiên văn cho chúng ta hình ảnh của bầu trời như nó hiện ra hôm nay, thì vũ trụ học tính toán cho phép "tua ngược thời gian", tái dựng những giai đoạn sớm nhất của vũ trụ từ sau Vụ Nổ Lớn (Big Bang), đồng thời dự đoán tương lai hàng chục tỷ năm tới.

Các mô phỏng này tái hiện sự giãn nở không gian, tương tác của vật chất tối, năng lượng tối, và khí baryon để trả lời các câu hỏi cốt lõi: Làm thế nào các thiên hà đầu tiên hình thành? Vì sao chúng phân bố thành mạng lưới vũ trụ (cosmic web) khổng lồ? Và tương lai của vũ trụ – dãn nở vô hạn hay co sụp – sẽ ra sao?

# 23.52.31\_AI Race

## 2. Bối cảnh lịch sử

- Thập niên 1960–1980: Các mô phỏng đầu tiên chỉ xử lý vài trăm đến vài nghìn hạt, tập trung vào sự hình thành cụm thiên hà.
- Thập niên 1990: Sự phát triển của siêu máy tính cho phép mô phỏng hàng triều hat, lần đầu tiên thể hiện mang lưới vũ tru giống quan sát thực.
- Thế kỷ 21: Các dự án như Millennium Simulation và Illustris nâng quy mô lên hàng chục tỷ hạt, mô tả chi tiết hình thành thiên hà, lỗ đen siêu nặng, và luồng gió thiên hà.
- Hiện nay: Với sức mạnh exascale (10<sup>18</sup> phép tính/giây), mô phỏng có thể đồng thời theo dõi cấu trúc vĩ mô và các quá trình vi mô như sự hình thành sao, bùng nổ siêu tân tinh, và phản hồi của lỗ đen.

# 3. Công nghệ và phương pháp

 Phương trình Einstein: Mô tả sự giãn nở không gian-thời gian và ảnh hưởng của năng lượng tối.

### VIETTEL AI RACE TD094 Lần ban hành: 1 Vũ Trụ Học Tính Toán

- Mô phỏng N-body: Tính toán lực hấp dẫn giữa hàng tỷ "hạt" đại diện cho cum vật chất tối và thiên hà.
- Thủy động lực học vũ trụ (Cosmological Hydrodynamics): Giải phương trình Navier-Stokes cho khí baryon, mô phỏng quá trình làm mát, hình thành sao, và gió thiên hà.
- Thuật toán đa tỷ lê: Kết hợp độ phân giải cao cho vùng thiên hà nhỏ và độ phân giải thấp cho không gian rông để cân bằng đô chính xác và chi phí.
- AI và Machine Learning: Tăng tốc mô phỏng, nén dữ liêu, và nhân dang mẫu trong hàng petabyte dữ liệu.

#### Học máy trong Vũ trụ học 4.

23.52.31 Al Race Học máy là một lĩnh vực phát triển nhanh chóng và có tiềm năng tạo ra bước đột phá trong nghiên cức x-2 ( ) - ` các bộ dữ liệu khổng lồ, các nhà nghiên cứu có thể rút ra những hiểu biết và mô hình mà phương pháp truyền thống khó hoặc không thể phát hiện.

#### Giới thiệu về Học máy trong Vũ trụ học 4.1

Trong vũ tru học, học máy thường bao gồm việc sử dụng các thuật toán học có giám sát hoặc không giám sát để phân tích các tập dữ liệu lớn.

Học có giám sát: Huấn luyện mô hình trên tập dữ liệu đã gắn nhãn, nơi các nhãn là những đại lương đã biết như tham số vũ tru học hoặc đặc tính của thiên hà.

Học không giám sát: Tìm kiếm các mẫu hoặc cấu trúc trong dữ liệu mà không cần biết trước các nhãn. 31 Al Race

Một trong những ứng dụng chính của học máy trong vũ trụ học là ước lượng các tham số vũ trụ học từ các tập dữ liệu lớn. Ví dụ, các thuật toán học máy có thể được dùng để phân tích sự phân bố của các thiên hà hoặc các đặc tính của bức xạ phông vi sóng vũ trụ (CMB) nhằm suy ra giá trị của các tham số như hằng số Hubble hoặc mật độ vật chất tối.

# Úng dung của Học máy trong Ước lượng Tham số Vũ tru học

### VIETTEL AI RACE TD094 Lần ban hành: 1 Vũ Trụ Học Tính Toán

Học máy đã được áp dụng cho nhiều loại dữ liệu vũ tru khác nhau, bao gồm bức xa phông vi sóng vũ tru, khảo sát thiên hà và quan sát thấu kính hấp dẫn. Một số ví du tiêu biểu:

Ước lương tham số vũ tru học: Sử dung thuật toán học máy để ước lượng các tham số như hằng số Hubble, mật đô vật chất tối và mật đô nặng lương tối.

Phân loại thiên hà: Phân loại các thiên hà theo loại, chẳng han như thiên hà xoắn ốc hay thiên hà elip.

Phân tích thấu kính hấp dẫn: Phân tích đặc tính của các hệ thấu kính hấp dẫn, như phân bố khối lương của các thiên hà đóng vai trò thấu kính.

# 4.3 Hướng phát triển trong tương lai cho Học máy trong Vũ trụ học

Việc ứng dung học máy vào vũ tru học đang phát triển nhanh với nhiều triển vọng thú vị:

Kết hợp học máy với phương pháp truyền thống: Học máy có thể kết hợp với các phương pháp truyền thống như suy luận Bayes để nâng cao độ chính xác và độ tin cậy trong ước lượng tham số vũ trụ học.

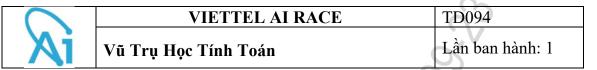
Phân tích các bô dữ liệu mới: Ứng dung học máy cho các bô dữ liệu sắp có như Square Kilometre Array (SKA) hay Kính thiên văn Khảo sát Bầu trời Lớn (LSST) để khám phá những mẫu hình và hiểu biết mới.

Phát triển thuật toán học máy mới: Thiết kế các thuật toán học máy được tối ưu hóa riêng cho nhu cầu của vũ tru học, chẳng han như phân tích cấu trúc quy mô lớn hoặc nghiên cứu đặc tính của bức xạ phông vi sóng vũ trụ. AIRace

#### Siêu máy tính và dự án tiêu biểu 5.

2025-09-23 23.52.31\_AI Race Illustris & IllustrisTNG: Mô phỏng hơn 30 tỷ hạt trong khối lập phương rộng 300 triệu năm ánh sáng, tái hiện chi tiết quá trình từ Big Bang tới hiện tại.

23.52.31\_AI Race



- Millennium Simulation: Điểm mốc quan trọng trong việc nghiên cứu vai trò của vật chất tối và sự hình thành mạng lưới vũ trụ.
- Frontier (Mỹ) & Fugaku (Nhật): Siêu máy tính exascale cho phép giải các mô hình vật lý phức tạp với độ chính xác chưa từng có, mở đường cho việc mô phỏng toàn bộ lịch sử vũ trụ với độ phân giải cao.

# 6. Úng dụng khoa học

- Giải mã vật chất tối và năng lượng tối: So sánh mô phỏng với quan sát (như dữ liệu từ Kính James Webb, Euclid) để ước tính tỷ lệ và tính chất của các thành phần bí ẩn này.
- Dự báo quan sát thiên văn: Giúp các nhà thiên văn lên kế hoạch cho các chiến dịch quan sát, tối ưu vị trí đặt kính và thời điểm chụp.
- Nguồn gốc lỗ đen siêu nặng: Tái hiện quá trình các hạt khí sụp đổ thành lỗ đen khổng lồ ở tâm thiên hà.
- Hình thành mạng lưới vũ trụ: Giải thích vì sao các thiên hà không phân bố đều mà kết thành sợi, nút, và khoảng trống khổng lồ.

## 7. Thách thức

- Khối lượng dữ liệu khổng lồ: Một mô phỏng hiện đại tạo ra hàng petabyte
   dữ liêu, đòi hỏi hê thống lưu trữ và thuật toán nén tiên tiến.
- Độ chính xác mô hình: Cần cân bằng giữa quy mô vũ trụ (hàng tỷ năm ánh sáng) và các quá trình nhỏ như bùng nổ siêu tân tinh.
- Chi phí tính toán: Một mô phỏng quy mô lớn có thể tiêu tốn hàng triệu giờ
   CPU và hàng triệu USD chi phí vận hành.
- Kết hợp dữ liệu quan sát: Việc đồng bộ với những phát hiện mới từ các kính thiên văn thế hệ tiếp theo (JWST, SKA) đòi hỏi mô hình linh hoạt.

23.52.31\_AI Race

	VIETTEL AI RACE	TD094
Xi	Vũ Trụ Học Tính Toán	Lần ban hành: 1

# 8. Tác động và tương lai

- Kiến thức vũ trụ sâu hơn: Kiểm chứng hoặc bác bỏ các giả thuyết như Vũ trụ lạm phát, Big Rip, hoặc đa vũ trụ.
- Giáo dục và phổ biến khoa học: Tạo phim 3D, thực tế ảo cho phép "du hành" trong mô phỏng vũ trụ, giúp công chúng hiểu về Big Bang và cấu trúc thiên hà.
- Hợp tác liên ngành: Thúc đẩy phát triển thuật toán tính toán song song, lưu trữ dữ liệu khổng lồ, và trí tuệ nhân tạo.
- Exascale và máy tính lượng tử: Kết hợp siêu máy tính exascale với điện toán lượng tử sẽ mở đường cho mô phỏng từng hạt nguyên tử trong thời kỳ vũ trụ sơ khai.

23.52.31\_AI Race

2025-09-23 23.52.31 AI Race

2025-09-23 23.52.31\_AI Race