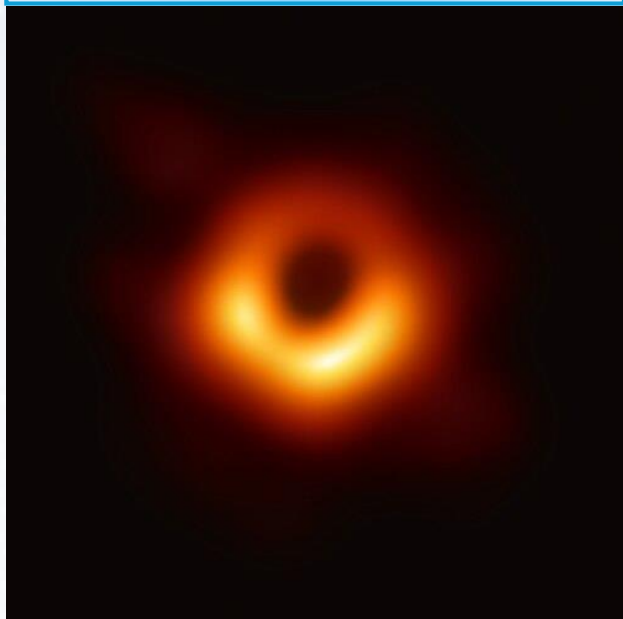


软硬协同： 国产异构算力助力高能物理研究

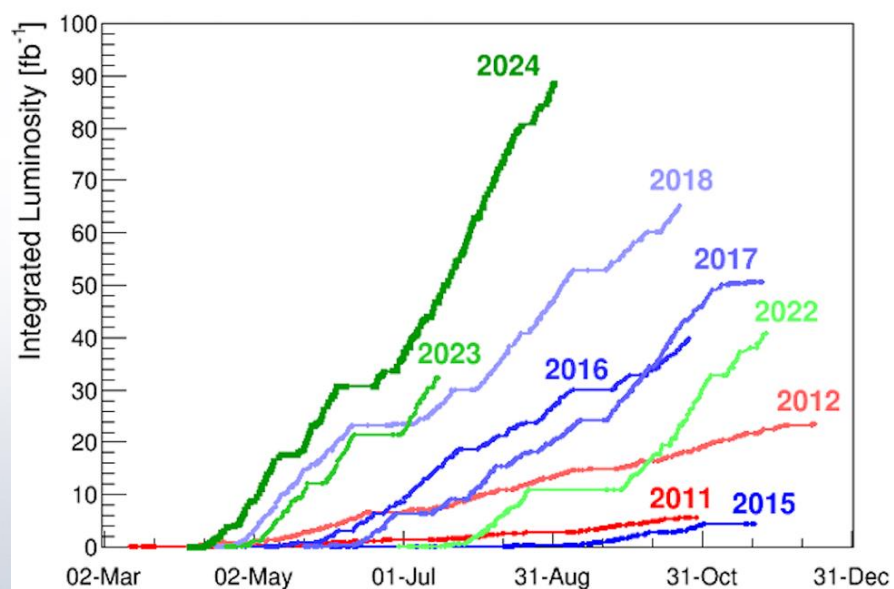
海光信息技术有限公司 杨超
2025年8月26日 长春

科学研究中的海量数据

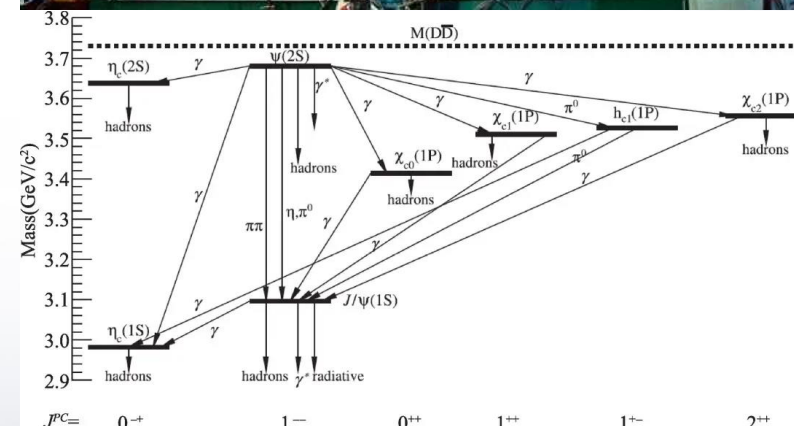
第一张黑洞照片M87，数据量4PB



LHC已累计1000PB数据，RUN3平均每月20PB数据



BESIII实验XYZ数据已积累数据量大约420TB



高能物理中的大数据

高能物理（粒子物理）是探索物质结构、宇宙起源及演化、生命起源等科学前沿问题的基础学科

通过实现数据资源、软件工具、数据分析等资源能力的汇交和共享，国家高能物理科学数据中心已建设超过**60PB**的海量科学数据

粒子物理数据



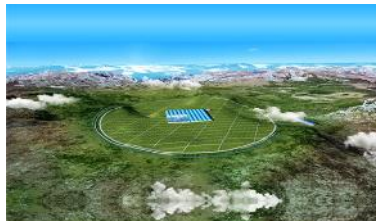
JUNO 江门中微子
BESIII 北京谱仪

中子科学数据



CSNS 散裂中子源

天体物理数据



LHAASO
YBJ-Asy 羊八井

光子科学数据



BSRF 北京同步辐射光源
HEPS 高能同步辐射光源

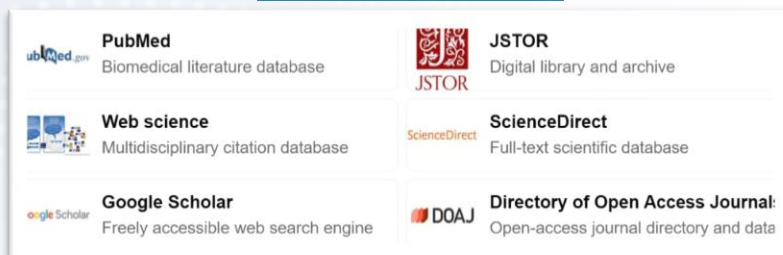
其他相关学科数据



HEPS 25年建成预计后每年产生**200+PB**原始数据

数据驱动—AI处理科学大数据

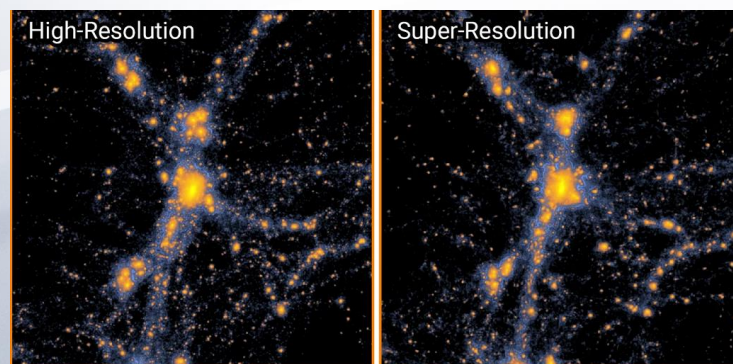
优质科研数据库



大科学装置



高分辨率数值模拟



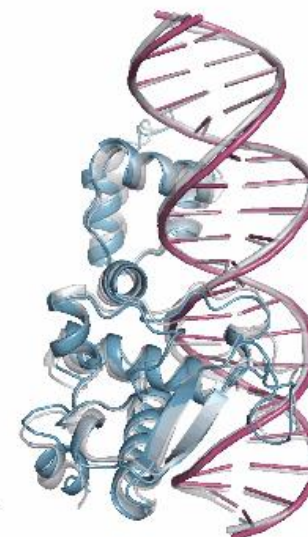
数据处理

传统：针对小规模数据，以统计模型为基础寻找数据规律，表达能力受限。

AI：从海量、高维数据中发掘规律，建立高精度模型。



7R6R



Ground truth shown in gray

科学研究范式的转化

第一范式

第二范式

第三范式

第四范式(当前)

第五范式

1000年前

数百年前

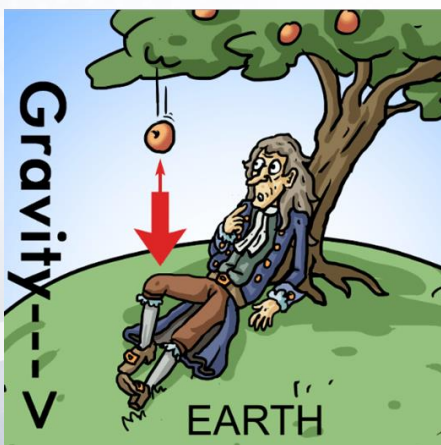
数十年前

2007年-

2018年-

实验科学：科学归纳

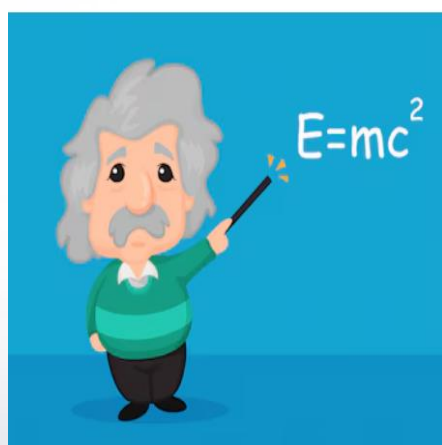
- 对自然现象的描述论证
- 对自然现象进行系统归类



万有引力提出

理论科学：模型推演

- 采用建模方式
- 由特殊到一般进行推演



相对论提出

计算科学：数值模拟

- 用计算方式模拟复杂现象
- 科学数据可以用模拟方法获得



阿波罗计划成功

数据科学：数据挖掘

- 与大数据密切相关
- 利用计算机对大数据进行分析并获得结论



Higgs发现

智能科学：智能探索

- 与AI深度结合
- 依靠AI训练对复杂不确定性系统优化，从数据中发现规律



AlphaFold获诺奖

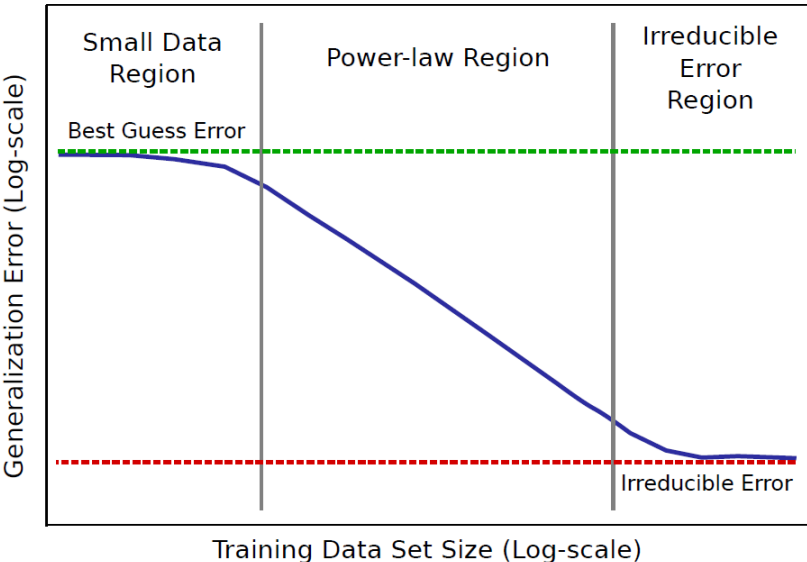
不同范式之间不是替代关系，而是**相互补充，协同发挥作用**

AI模型训练数据重要性

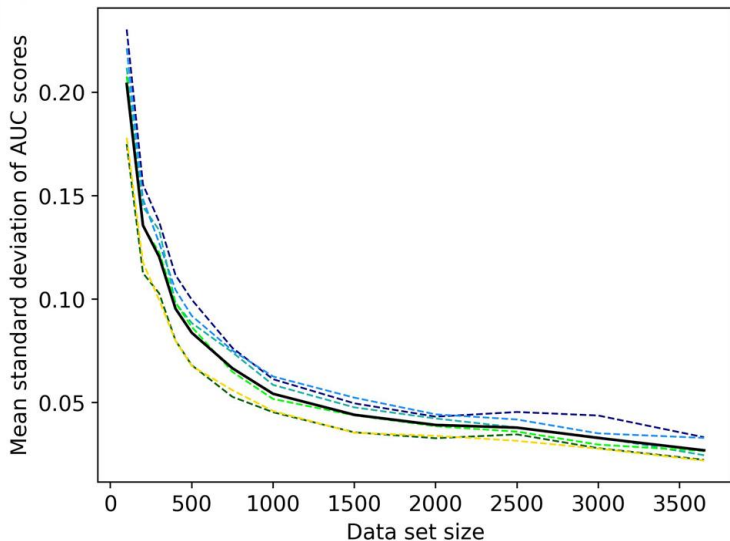
大数据量能显著提升模型的泛化能力

大数据量是保障模型性能稳定的先决条件

大语言模型建立在大数据量之上



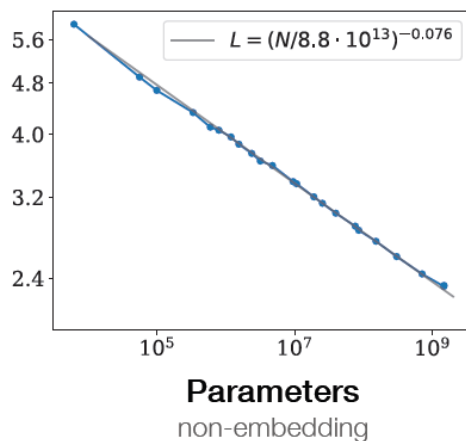
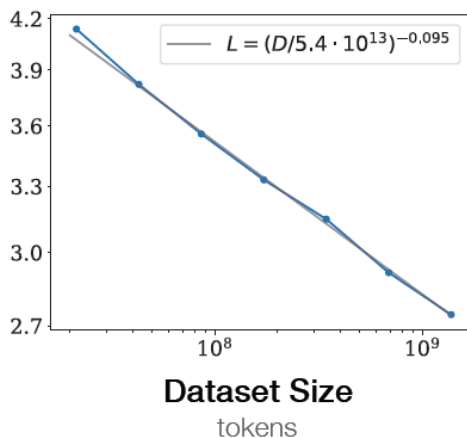
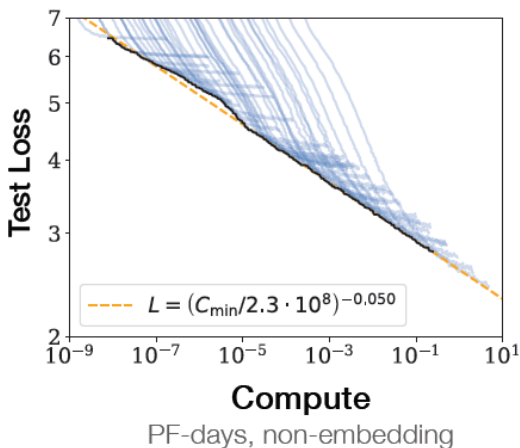
arXiv:1712.00409v1



<https://doi.org/10.1038/s41746-024-01360-w>

模型	数据量
GPT	13万亿tokens
DeepSeek-V3	14.8万亿tokens
LLaMA3	15万亿tokens
Qwen2.5	18万亿tokens
Qwen3	36万亿tokens

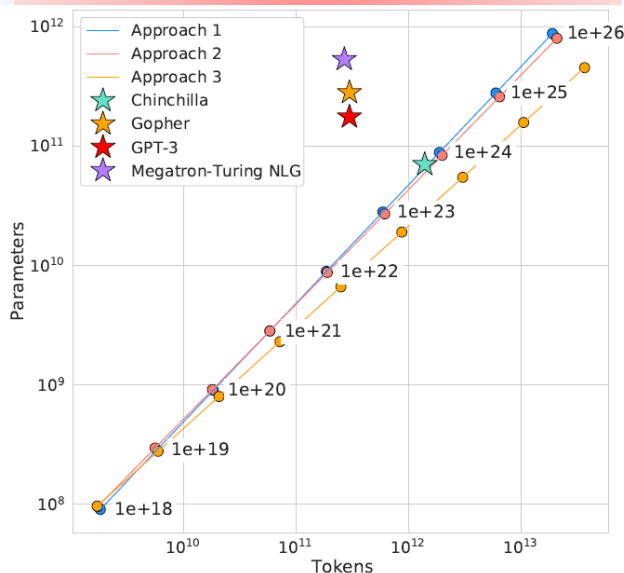
语言模型表现与模型参数量、训练Token数、训练总计算量都呈现幂定律。



arXiv:2001.08361v1

大模型对算力的需求

模型训练计算量与参数与数据量成正比



arXiv:2203.15556

LLM训练时间与数据量成正比与GPU算力成反比

LLM模型一个 Epoch的训练时间公式:

$$\text{端到端训练时间} \approx \frac{(C_{\text{forward}} + C_{\text{backward}}) * P}{nX} \approx \frac{6PD}{nX}$$

其中:

- D表示训练集的Token数量
- P表示模型参数数量
- n表示GPU卡数量
- X值由GPU峰值吞吐量与GPU利用率相乘得出。

GPT3训练25天

- 采用混合精度训练
- 每张A100的峰值吞吐量 (非稀疏) 为 312 TFLOPS
- $T = 3000$ 亿, $P = 1750$ 亿, A100卡数量 $n = 1024$ 张
- 假设GPU利用率为 45%

$$\text{端到端训练时间} \approx \frac{6PD}{nX} \text{ 秒} = \frac{6 * 3 * 10^{11} * 1.75 * 10^{11}}{1024 * 1.4 * 10^{14} * (24 * 60 * 60)} \approx 25.4 \text{ 天}$$

模型适配：不仅仅是基模适配

复合AI系统

由多个模型（通用+专用）和工具构建的AI应用系统正在成为可靠的大模型实施策略，AI芯片要适配众多的专用模型和工具

训练策略

预训练/增量预训练、监督微调、SFT、PPO、DPO、KTO、ORPO、etc

训练算法

LoRA、QLoRA、GaLore、Badam、DoRA、LongLoRA、LLaMA Pro、LoRA+、LoftQ、Agent tuning、etc

精度格式

训练/推理精度：FP32、TF32、**BF16**、FP16、INT8、INT4

性能优化

FlashAttention-2/3、PageAttention、Unsloth、RoPE scaling、NEFTune、rsLoRA、Prefill/Decoding分离、etc

工具

框架：Pytorch、JAX、TF、Paddle、Jittor、etc
AI编译器：Triton、XLA、TVM、BladeDISC、etc
推理及服务：vLLM、LMDeploy、Fastertransformer、TGI、etc
集成化工具：LlamaFactory、Ollama、Xtuner、Swift、etc

国产加速卡技术路线

HYGON
中科海光

 **壁仞科技**
BIREN TECHNOLOGY

 **摩尔线程**
MOORE THREADS

META  **沐曦**

 **天数智芯**
Iluvatar CoreX

 **登临科技**
DENG LIN

GPGPU

Cambricon
寒武纪科技

 **Ascend**

 **Enflame**
燧原科技

 **平头哥**

 **瀚博半导体**
Vastai Technologies

 **昆仑芯**
KUNLUNXIN

DSA

- GPGPU(General-purpose computing on graphics processing units), 通用图形处理器, 利用现代图形处理器强大的并行处理能力和可编程特性。来处理非图形数据。
- DSA(Domain Specific Architecture), 领域专用架构
- AI算法不断创新, 多模态模型模型快速发展, 人工智能应用更加广泛。
- 通用计算架构是唯一被广泛采用开发新AI算法的软硬件平台, 对多模态支持更友好, 满足AI场景扩大的需求。

海光DCU全景软件栈



ModelZoo | 镜像仓库 | 创空间

AI开发和服务平台

AI板块 | FAQ



GPU开发
工具套件



存储

X86 CPU

加速卡

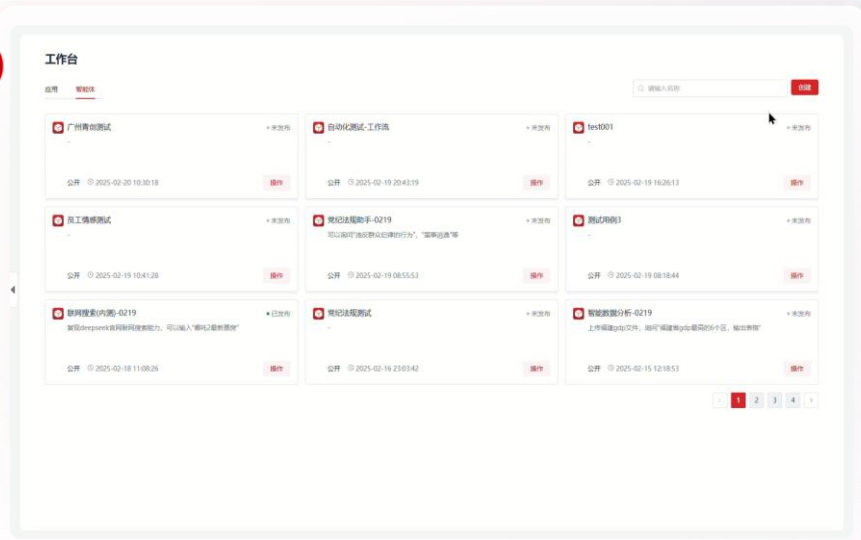
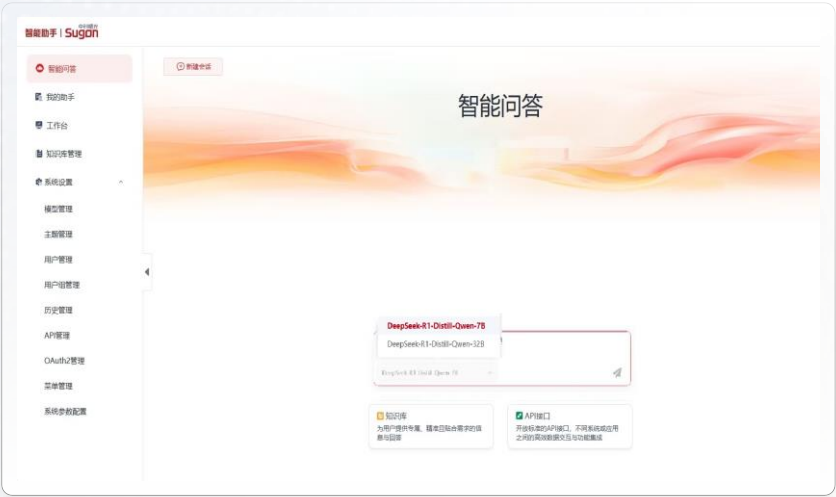
高速网络

更强生态

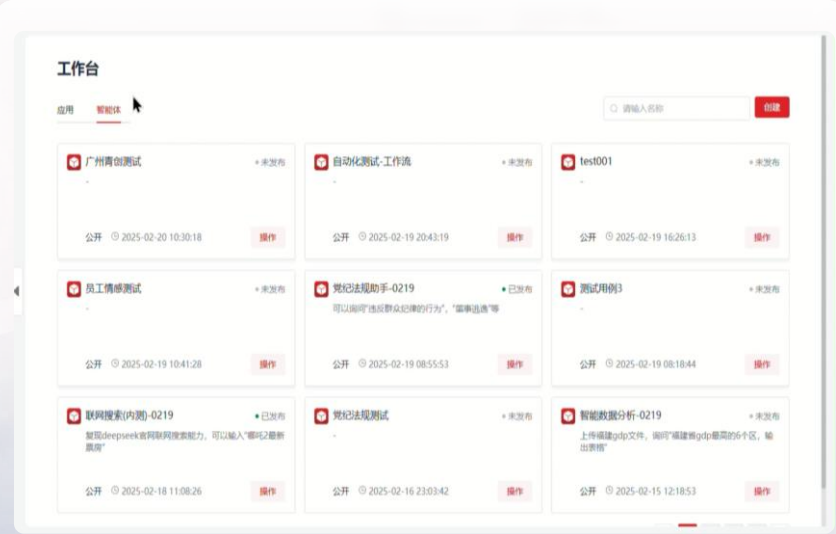
更高性能

更快迁移

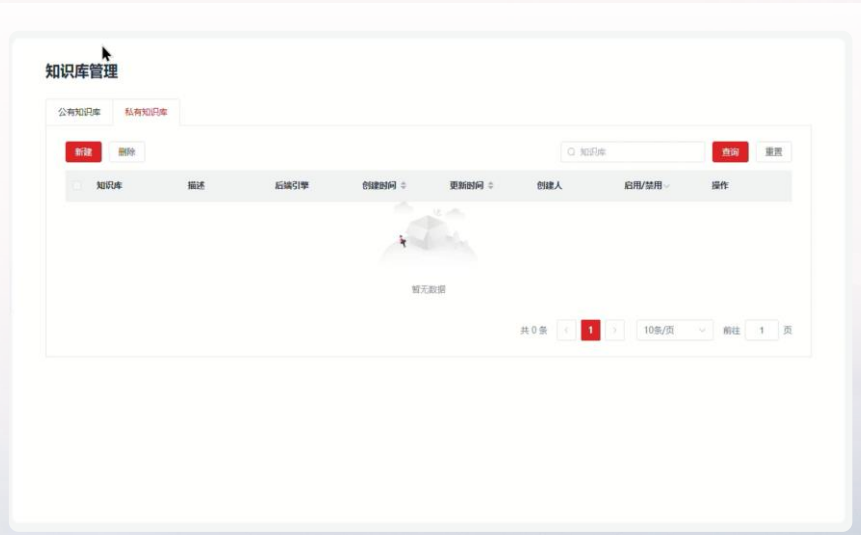
原生AI开发应用平台



智能体可视化编排



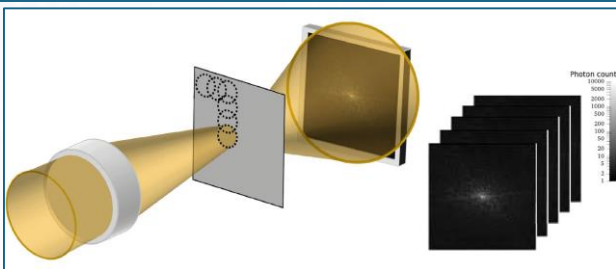
智能数据分析



知识融合增强

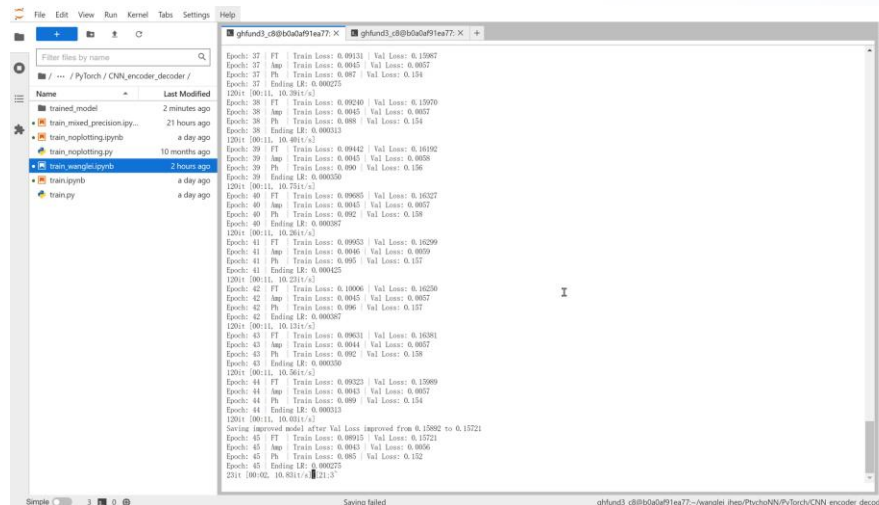
X光相干衍射共轭梯度并行重建算法与 PtychoNN推理重建算法

基于AI-ptychoNN 算法及多GPU并行ePIE/DM算法的X光相干衍射图像重建软件“Hepsptycho V1.0”是2024年投入使用的北京第四代光源线站的核心应用软件，用户接口API为Python，核心加速函数为CUDA C++，服务于10纳米左右芯片检测的精确成像。

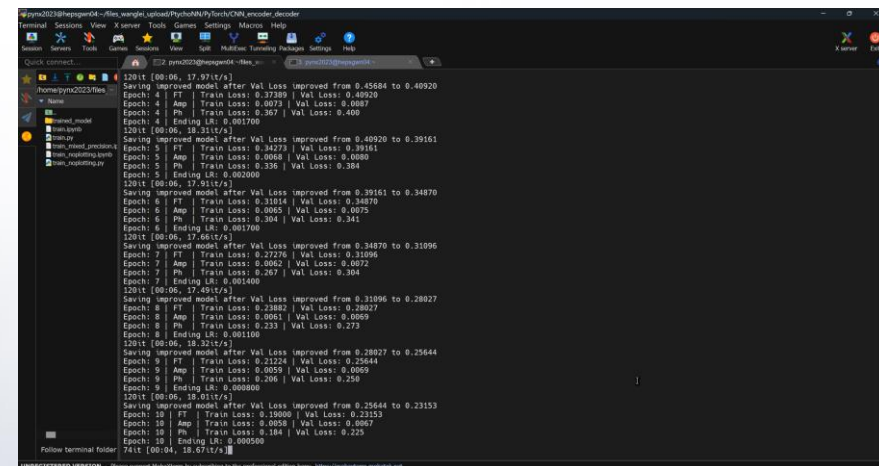
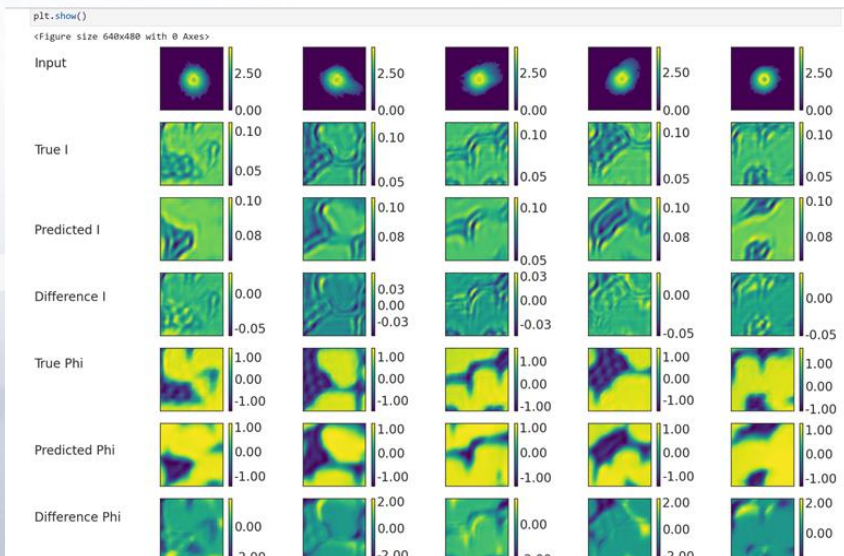


PXCT

Ptychographic X-ray Computed Tomography



DCU算力使用率为90%以上
训练速度为12 iters/s



A100的算力使用率为60%
训练速度为18 iters/s



中国科学院近代物理研究所
应用单位：(盖章)
年 月 日



基于Geant4的高能粒子输运模拟应用

应用意义： Geant4 (GEometry ANd Tracking, 几何和跟踪) 是由 CERN (欧洲核子研究组织) 基于C++面向对象技术开发的蒙特卡罗应用开源软件包, 在高能物理、空间技术和核医学等领域有广泛应用。Hunt软件基于Geant4解决高能粒子输运的计算瓶颈问题, 支撑了我国高能水下中微子望远镜和高海拔宇宙线观测站LHAASO等大科学装置项目研究。

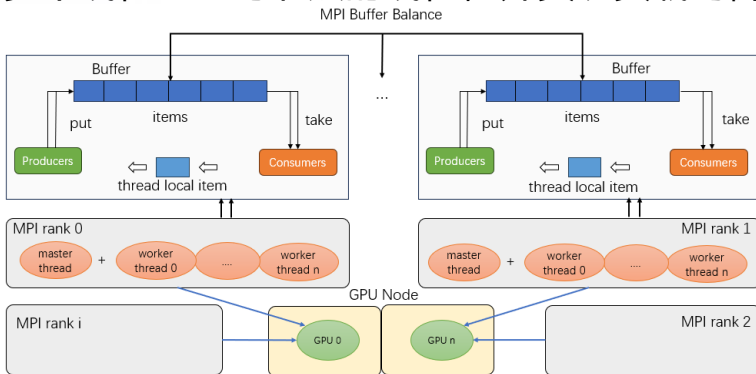
软件模块： Hunt软件包括G4ART和G4DMT模块, G4ART实现了一套基于DCU的光线追踪库, 支持Geant4参数化光线和Cerenkov光线追踪的异构计算加速; G4DMT实现了事件内的并行化, 将多级次粒子计算任务划分为多线程和MPI多进程并行。Hunt软件能支持Geant4高能初级粒子的大规模模拟并具有线性扩展能力。

研究方法:

G4DMT将单个初级粒子产生的多级次粒子追踪任务上细粒度并行, 将多级次粒子计算任务划分到多个线程甚至跨节点的线程, 并实现负载均衡;

G4ART从头设计了适配光学光线追踪模块, 适配CUDA和HIP, 支持多线程和多Stream并行加速, 支持GPU端单精度和双精度两种精度计算。

G4ART可结合G4DMT实现跨节点多GPU的异构计算, 实现Geant4大规模光线追踪并行计算。



性能结果

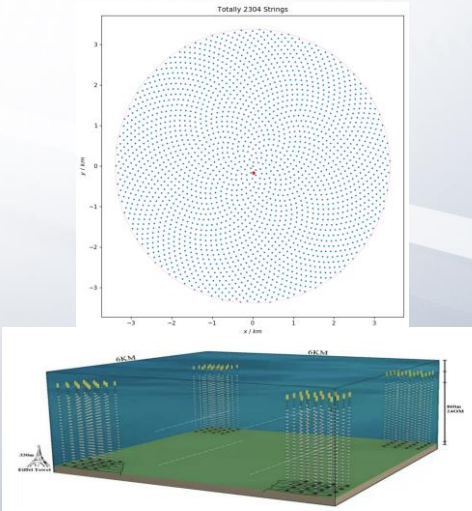
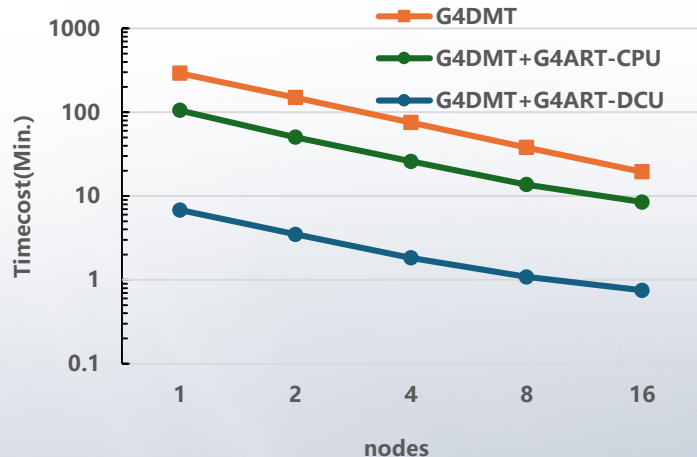
- 完成全部关键算法在 DCU 平台上的优化, 软件DCU 版本的性能相对于 CPU版本提升1-2个数量级;
- 单卡比单核心加速比超过70倍, 实现整个模式性能单卡超单颗处理器 (32核心);
- 实现了100 PeV高能量初级粒子输运模拟, 多节点的并行效率可超过78%, 支持千节点的大规模并行。

示范应用

- 中国科学院高能物理所: 高能水下中微子望远镜实验计算模拟
- 四川天府宇宙线研究中心: 宇宙线粒子输运模拟GPU光线追踪加速
- 中山大学: 高能中微子探测计算模拟应用NEON

成果产出

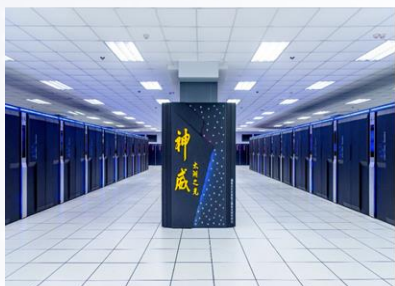
- 发布《高能水下中微子望远镜概念设计报告》HUNT软件设计概要
- 论文1篇、开源代码1套、提交专利申请1项



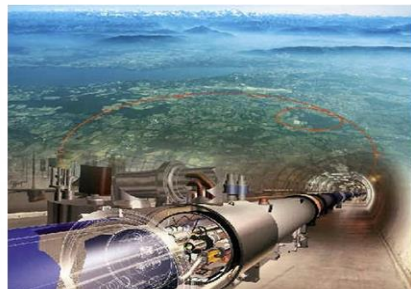
格点QCD移植与优化

格点QCD 是用来研究Quark之间强相互作用
格点QCD是基于量子场论中路径积分的思想，它即方法论也是世界观！

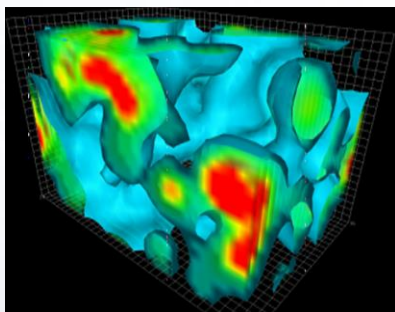
格点QCD类比粒子物理加速器实验



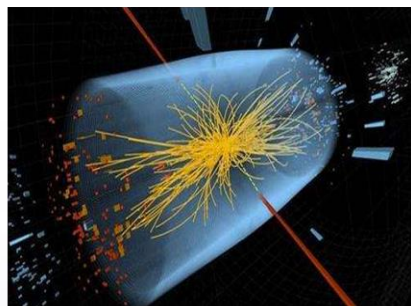
超级计算机



粒子加速器



QCD真空 (组态)



对撞事例

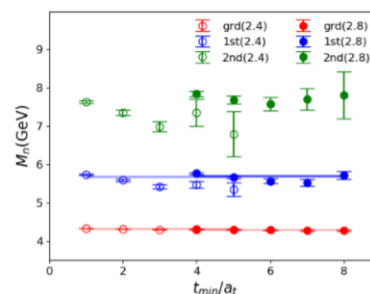
格点QCD要处理核心计算问题: 求解方程 $AX = b$, 难点在于A是一个百万维以上的超大稀疏矩阵, 现有的稀疏矩阵求解库难以满足需求。通常采用共轭梯度法 (conjugate gradient, CG) 求解。

实现部分与成熟软件QUDA相同的功能

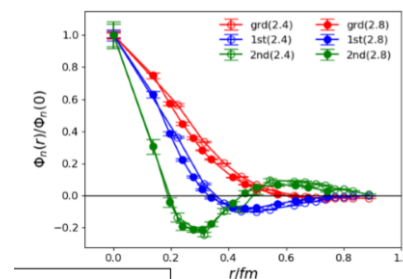
- (1) Dslash模块: 超大矩阵与矢量的乘法操作, 已完成多线程代码编写, 以及正确性检验。
- (2) CG算法求解器模块: 该模块实现的是求解大规模线性方程组 $AX = b$ 。已完成多线程并行代码编写, 以及正确性检验。
- (3) 各个模块的优化, 在代码中加入了国产GPU直连部分, 实现了代码的访存合并。

协助完成QUDA、GWU-Code等量子计算应用移植, 总移植代码量超20万行, 并进行大规模DCU并行计算验证, 其中Multigrid算法在1024卡DCU上进行并行加速验证。

粲偶素混杂态的内部结构



混杂态能谱



混杂态波函数

混杂态中的胶子自由度可以描述为围绕在夸克周围的色晕。与原子核外有电子云的图像相似。



格点QCD计算软件chromaxx

软件chromaxx基于开源的chroma软件框架，实现了格点QCD领域前沿的蒸馏（distillation）算法进行强子物理相关计算

本项目

chromaxx

蒸馏算法层

<https://github.com/IHEP-LQCD/chromaxx>

开源库

Chroma

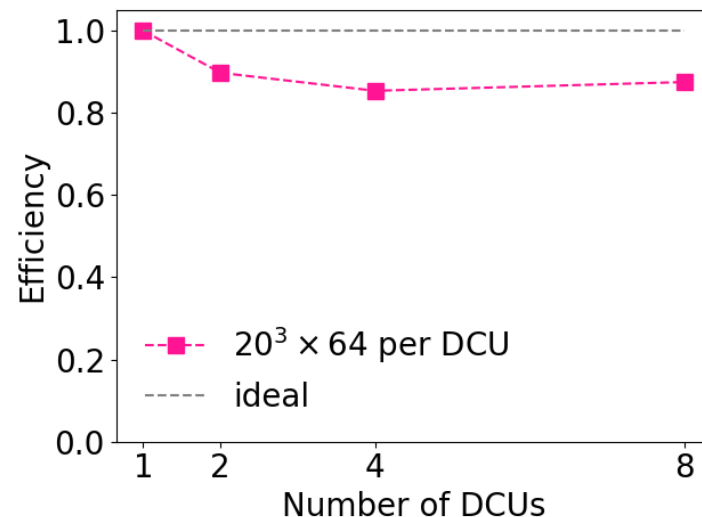
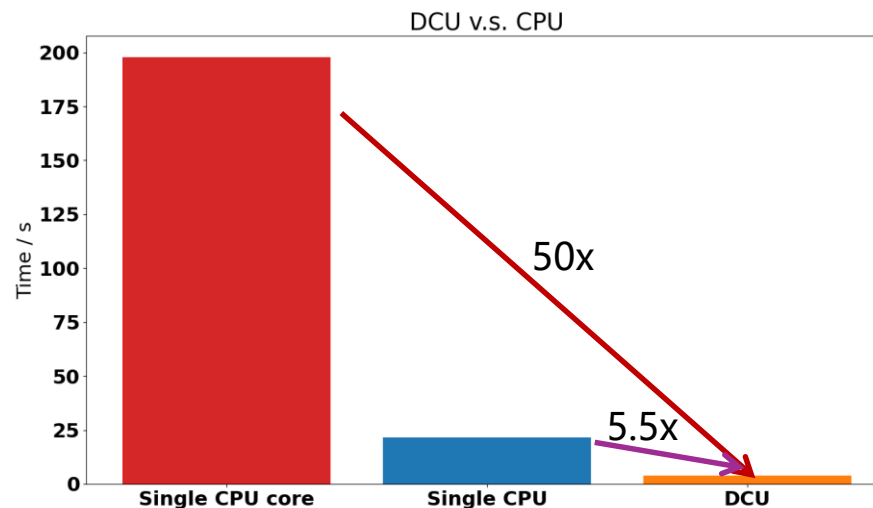
CG、BiCGStab等求解器

QDP-JIT

格点场的线性代数运算
通过LLVM JIT实现跨平台计算
expression template metaprogramming

QMP

MPI通信



弱扩展性：固定单DCU计算规模为 $20^3 \times 64$ ，8卡相比单卡的计算效率约为88%

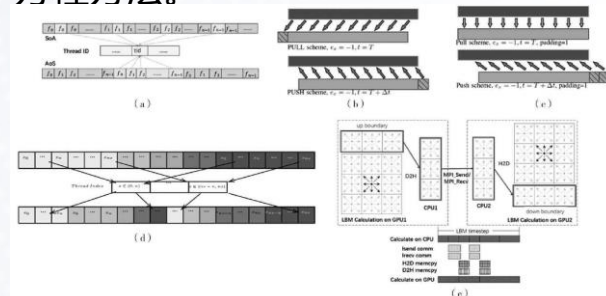


中国科学院
计算机网络信息中心
Computer Network Information Center,
Chinese Academy of Sciences

高能粒子空间天气灾害预警软件

太阳耀斑是产生GeV能级极端高能粒子最主要原因，它们随太阳风暴在行星际空间传播，是造成空间灾害天气最重要原因，不但对在轨飞行器安全产生严重影响，还会对包括电力设施在内的地面电磁环境产生灾难性破坏。

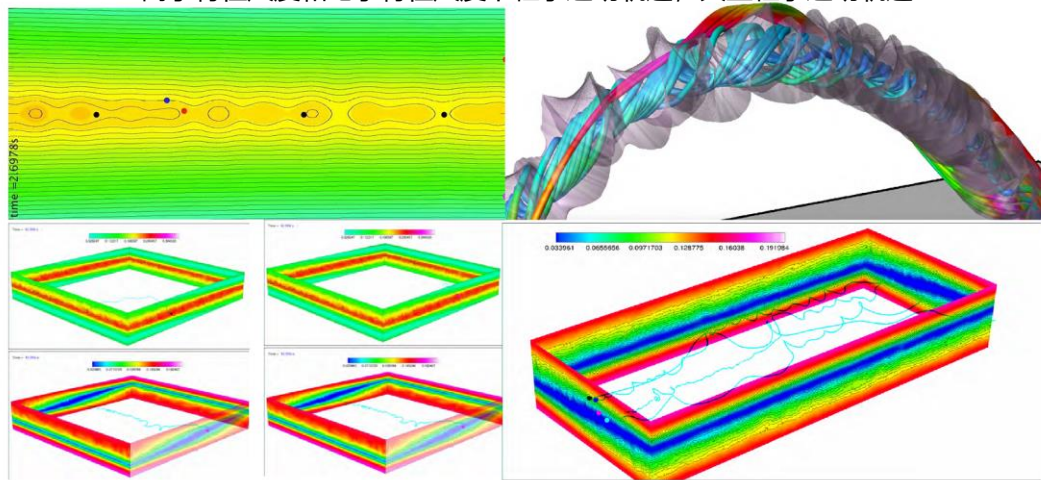
基于等离子体统计物理框架三维湍流磁重联多流体模型和具有自主知识产权考虑相对论效应的混杂粒子云网格玻尔兹曼程序(RHPIC-LBM)，不同于现有基于牛顿力学框架体系的求解磁流体动力学偏微分方程方法。



分布函数矩阵AoS方式向SoA方式优化
Push-Pull混合框架时空步骤优化
Push-Pull混合框架时空步骤优化(Padding模式)
矩阵同步拷贝(Async copy)
分布函数和数据交换模式

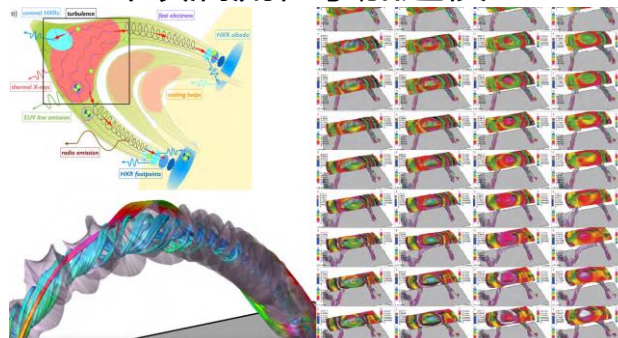
极端高能粒子运动轨迹数值模拟

2.5D典型粒子运动轨迹耀斑环内在磁场与流场相互；作用过程中高能粒子运动离子特征尺度和电子特征尺度下粒子运动轨迹；典型粒子运动轨迹

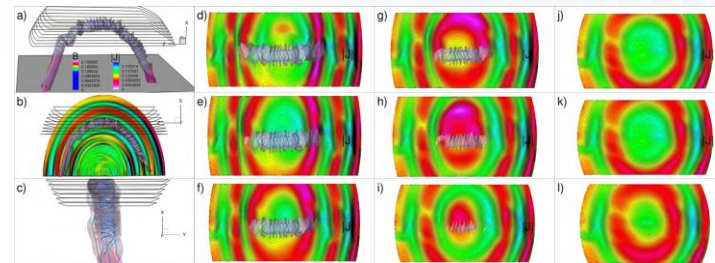


极端高能粒子起源数值模拟

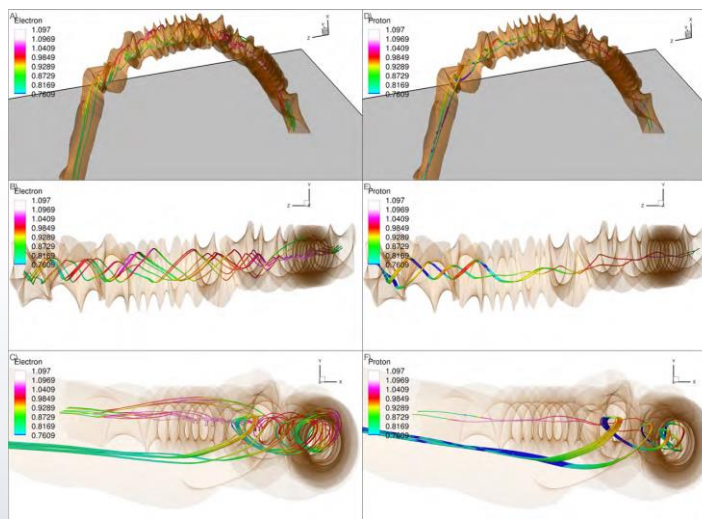
环顶湍流粒子加速模型



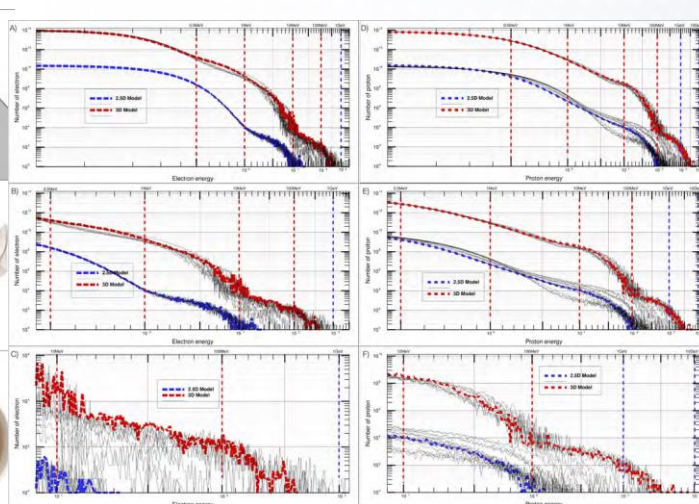
湍流引起的高能粒子加速过程



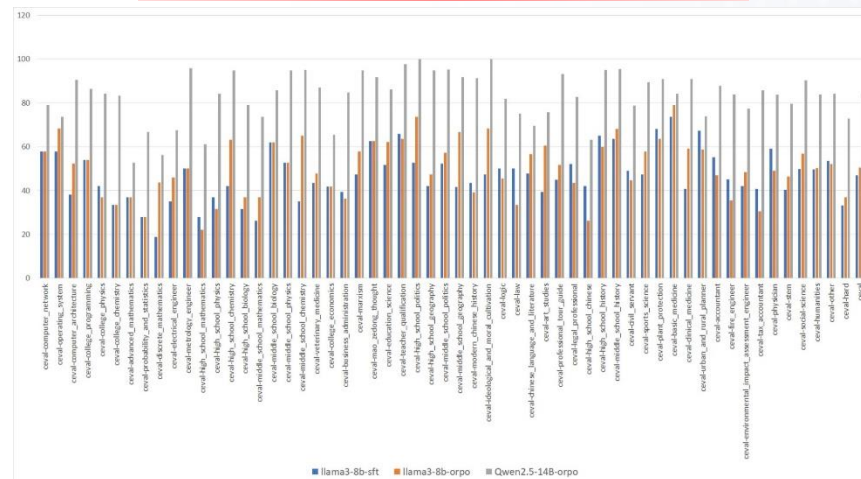
质子和电子运动轨迹



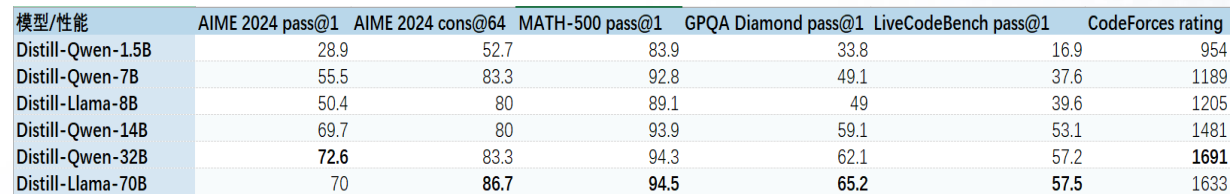
质子和电子不同能谱分析



ORPO策略显著提升推理能力



基模选择



科学大模型联合方案

基于海光DCU的科学大模型联合方案发布

★ 收藏

阅269.01W

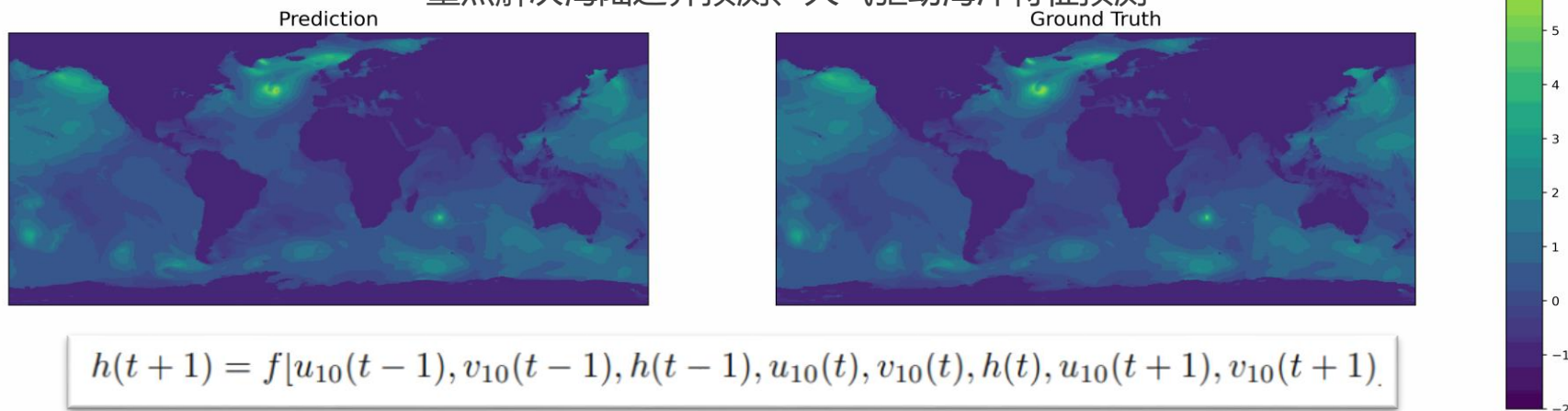
- ❑ 赛博士智能体的核心
- ❑ 当前基于LLaMA3，即将升级至DeepSeek，历史版本含LLaMA、LLaMA2
- ❑ 二次预训练与微调技术
- ❑ 原使用GPU-A100训练，现采用国产DCU-K100-AI
- ❑ 在高能物理问答与内部代码生成上显著优于基础模型

基于国产加速卡的地球物理流体模型

与中国海洋大学深度合作，发布海洋AI大模型 OceanCastNet

气象领域AI4S经验迁移拓展海洋AI预测场景

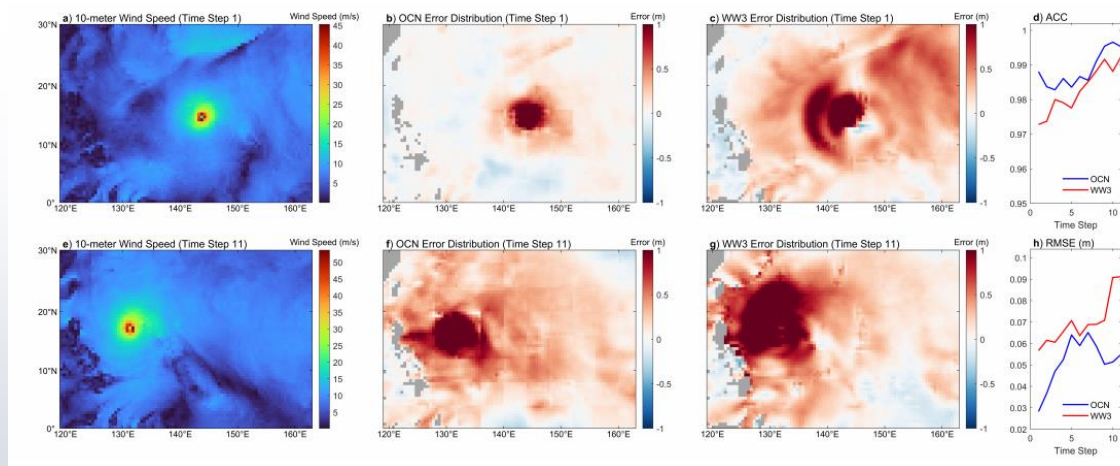
重点解决海陆边界预测、大气驱动海洋特征预测



台风天气：预测效果优于传统海浪模式WW3

采用自适应傅里叶神经算子 (AFNO) 作为模型的核心组件，能够直接在傅里叶空间中参数化积分核，实现对偏微分方程的高效求解。

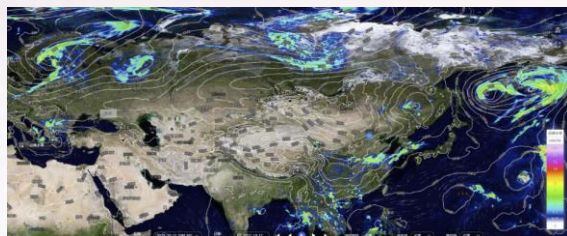
同时设计掩码损失函数，引入与海陆分布对应的掩码矩阵，在反向传播过程中掩盖陆地区域的误差，从而使模型聚焦于海洋区域预报。



加速科学计算，突破计算瓶颈

气象快速预报

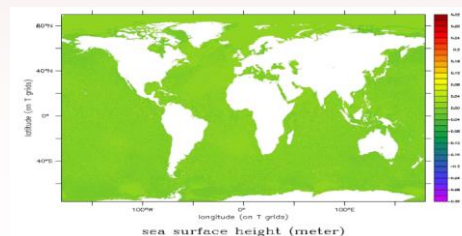
中科天机“准公里级集合预报模式”



- 可扩展至 768 节点以上
- 60.98 倍加速效果
- 聚焦全球公里-百米级预报

预测海洋环流

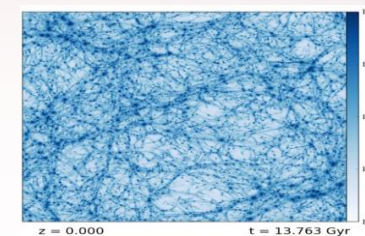
中科院大气所“气候系统海洋模式”



- 26200+ 张 DCU 卡
- 模拟分辨率提高到 3-5km
- 速度达到 1.04 模式年/天

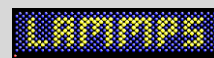
宇宙的演化

中科院天文台开发的“N体模拟”



- 24000 张+ DCU 卡
- 1.48万亿的计算模拟
- 数据密集和计算密集

分子动力



Lammps

GROMACS

Gromacs

NAMD

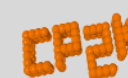
Namd



OpenMM



Amber



CP2K

材料计算



VASP



Octopus



bigDFT



MISA-MD



NWChem

.....

生命科学



AutoDock-GPU

BLAST

Blast

RELION

Relion3

Burrows-Wheeler Aligner

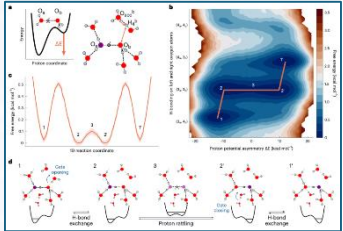
BWA

GenomeWorks

GenomeWorks

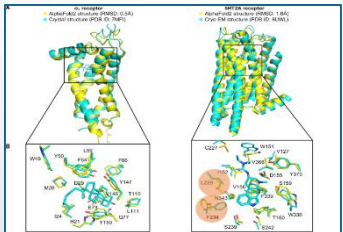
助力AI4S科研探索新范式

生物信息



深势科技DeePMD

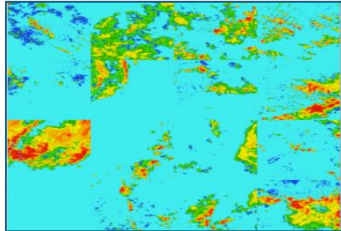
DeePMD在8192张国产GPU上，将分子动力学模拟的原子体系规模扩展至十亿量级，原子体系规模超过SC20 戈登贝尔奖的工作。



AlphaFold2/3

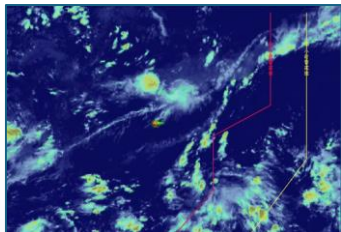
基于试验数据进行计算，实现蛋白质折叠研究的新路径，已经在基于国产GPU构建的平台实现了1800+张卡的大规模训练。

地球科学



国家气象中心TrajGRU

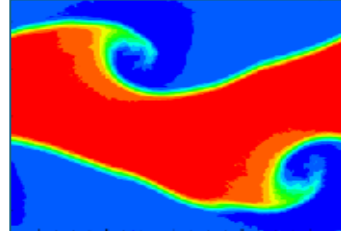
面向气象领域短临降水预报应用场景，基于短时强降水 AI 应用专项数据集和 TrajGRU深度学习雷达回波外推算法，构建短时强降水预报模型。



中科院网络中心AI-Earth

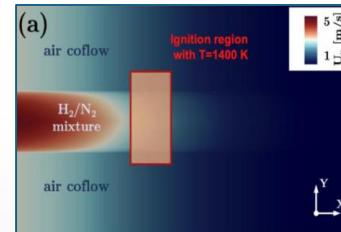
采用人工智能模型对海表面温度、海表面盐度、海面高程异常三个海洋环境变量进行短临预报。

流体力学



北航CAE-Informer

使用基于Informer的序列模型进行预训练，替代传统LSTM等模型。比现有的CAE-LSTM模型提升20%以上的性能，并在同等算力下提高一倍以上计算效率。



北京科学智能研究院DeepFlame

平台加速效果突出，能够实现万核级别的线性加速，计算速度相比传统求解方法提升两个量级；在可靠性与准确性上，成功捕捉到与传统方法完全一致的点火过程。

构筑大规模算力底座

总算力 2000 PFlops @ FP64

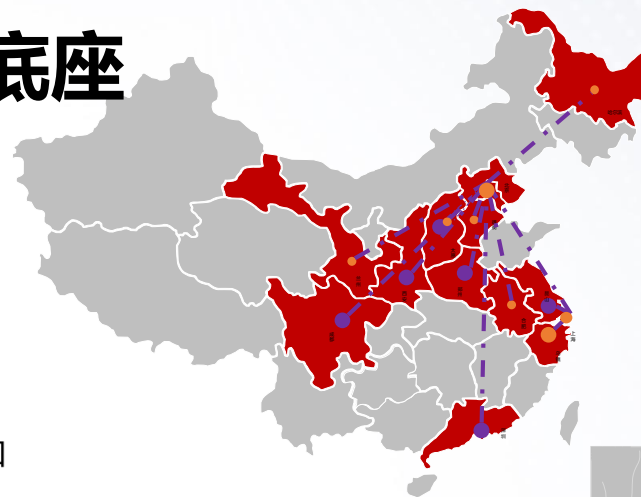
1,000,000+
物理核心

200,000+
异构芯片

100~200Gb/s
高速计算网络

EB 级
并行文件系统
及SSD存储资源

多链路接入
VPN、互联网专线、
科技网、国际互联网出口



乌镇

郑州

西安

长沙

宜昌

昆山

太原

成都

北京

重庆

谢谢大家