# குவாண்டம் க்ரம்ப் (Quantum Krump): க்ரம்ப் நடனம், லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு மற்றும் வகைமைக் கோட்பாடு வழியாக மேற்பொருந்துதல், பிணைப்பு மற்றும் குறுக்கீடு கற்பித்தல்

**அருண் நடராசா (Arun Nadarasa)**
Angels of Krump Movement Federation
https://arunnadarasa.github.io/quantumkrump/

**டகோடா சிமாவோ (Dakota Simao)**
Twin Bad Liks / Jr Outrage
கலை இயக்குனர் & நடன அமைப்பாளர், ஜெனீவா
https://www.youtube.com/@dakotasimao

நவம்பர் 2026 *முன்பதிவு (*Preprint*)*

**ஆய்வுச் சுருக்கம்**

இந்த ஆய்வேடு *குவாண்டம் க்ரம்ப் (*Quantum Krump*)* என்ற புதிய உடலியக்கக் கற்பித்தல் பாடத்திட்டம், பலவகை எண்ம சுற்றுச்சூழல் மற்றும் முழு நீள மேடை நாடகக் கட்டமைப்பை (*11*th Quantum Dimension) அறிமுகப்படுத்துகிறது. லாஸ் ஏஞ்சல்ஸ் நகரின் தெற்கு மத்தியப் பகுதியில் உருவான தெரு நடன வடிவமான **க்ரம்ப் (Krump)**, **லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு (Laban Movement Analysis – LMA)** மற்றும் **பயன்பாட்டு வகைமைக் கோட்பாடு (Applied Category Theory)** ஆகியவற்றை ஒருங்கிணைப்பதன் மூலம், தொழில்நுட்பப் பின்னணி இல்லாத கற்கும் மாணவர்களுக்கும் நடனக் கலைஞர்களுக்கும் குவாண்டம் தகவல் அறிவியலின் மூன்று அடிப்படைக் கருத்துக்களான —**மேற்பொருந்துதல் (Superposition)**, **குவாண்டம் பிணைப்பு (Entanglement)**, மற்றும் **கட்டக் குறுக்கீடு (Phase Interference)**—ஆகியவற்றை உடலியக்க ரீதியாக உணர்த்துகிறது. லாபான் உழைப்புக் காரணிகள் (Space, Weight, Time, Flow) மற்றும் எட்டு அடிப்படை உழைப்புச் செயல்கள் (Punch, Press, Glide, Float, Dab, Wring, Slash, Flick) ஆகியவற்றை க்ரம்ப் நடனத்தின் நான்கு அடித்தள அசைவுகள் (`STOMP`, `JAB`, `CHEST POP`, `ARM SWING`), மூன்று செங்குத்து வெளி நிலைகள் (`LIVE`, `KRUMP`, `BUCK`) மற்றும் முப்பரிமாண பிலோச் கோள (Bloch Sphere) ஆயத்தொலைவுகளுடன் முப்பரிமாணக் கட்டமைப்பாக இணைக்கிறோம். இந்த கற்பித்தல் முறை $n$-க்யூபிட் உணர்ச்சி சக்கரம் ($n \in \{1, 2, 3, 4\}$, 16 உணர்ச்சிகள்) மற்றும் $5 \times 4$ மேடை வலைப்பின்னலில் டைக்ஸ்ட்ரா (Dijkstra) வழித்தடம், ஹைக்கூ (Haiqu) நிலைச் சுருக்கம் (85.7% சுற்று ஆழக் குறைப்பு), மற்றும் ஜிஜ் (Jij / OpenJij) இருபடி வரம்பற்ற இரும உகப்பாக்கம் (QUBO)

மோதலற்ற நடன அட்டவணைப்படுத்தல் ($E_0 = -7.3569$) ஆகியவற்றால் விரிவாக்கப்படுகிறது. மேலும், ஒற்றையர் மற்றும் இரட்டையர் நடனங்களை ஃப்ரோபினியஸ் இயற்கணிதத்துடன் கூடிய சமச்சீர் டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகையாக ($\mathcal{C}_{\mathrm{Krump}}$) முறைப்படுத்தி, `DisCoPy` சரம் வரைபடங்கள் வழியாக குவாண்டம் சுற்றுகளாகத் தொகுக்கிறோம். இதன் செய்முறைச் சரிபார்ப்பு குவாண்டினூமின் `Helios-1E- lite` பொறிக்கப்பட்ட அயனி எழுலேட்டரில் (Lane K301) இயற்பியல் இரைச்சல் மாதிரியுடன் மேற்கொள்ளப்பட்டு, நடுத்தர சுற்று அளவீடு, ஒளியியல் மீட்டமைப்பு மற்றும் ஒற்றை-க்யூபிட் மறுபயன்பாட்டின் மூலம் 99.41% வரை தரைநிலை நம்பகத்தன்மையைப் பெற்றது. அத்துடன், சாண்டியா தேசிய ஆய்வகத்தின் QUOPS கனஅளவு அளவுகோல் ($Q = 256$) மற்றும் பாரம்பரிய கணக்கீட்டு ஒப்பீடுகள் மூலம் பாரம்பரிய செயலாக்கம் தற்போதைய நடனச் சுற்றுகளில் $7{,}812.5\times$ வேகமானது என்பதை வெளிப்படையாக நிறுவி குவாண்டம் விளம்பர மிகைப்படுத்தலை மறுக்கிறோம். இறுதியாக, இணை ஆசிரியர் டகோடா சிமாவோவின் 300 மில்லியனுக்கும் அதிகமான பார்வையாளர்களைப் பெற்ற குடும்ப வன்முறை எதிர்ப்பு விழிப்புணர்வு நடனக் கலை அனுபவத்தின் அடிப்படையில், 20 நடனக் கலைஞர்களுக்கான 60 நிமிட நாடகப் படைப்பான *11*th Quantum Dimension கட்டமைக்கப்பட்டுள்ளது. இது `Three.js`, `anime.js`, `ElevenLabs` மற்றும் `Moth Quantum` தொழில்நுட்பங்களால் இயக்கப்படுகிறது. முழு ஆய்வேட்டின் உள்நிலை அறிவுசார் தணிக்கை TypeSafe இன் **Jev 1.14** மாதிரியால் நிறைவேற்றப்பட்டுள்ளது.

**முக்கியச் சொற்கள் (Keywords):** குவாண்டம் தகவல் அறிவியல் கல்வி, உடலியக்கக் கற்பித்தல், க்ரம்ப் தெரு நடனம், லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு, பயன்பாட்டு வகைமைக் கோட்பாடு, டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகைகள், DisCoPy சரம் வரைபடங்கள், பொறிக்கப்பட்ட அயனி கணினி, Quantinuum Nexus, Haiqu சுருக்கம், QUBO அட்டவணைப்படுத்தல், 11th Quantum Dimension, குடும்ப வன்முறை எதிர்ப்பு விழிப்புணர்வு, டகோடா சிமாவோ, TypeSafe Jev.

# 1 அறிமுகம் (Introduction)

ரிச்சர்ட் ஃபெய்ன்மேன் 1981 இல் இயற்பியல் உருவகப்படுத்துதல் குறித்த தனது வரலாற்றுச் சிறப்புமிக்க உரையில் பிரபலமாகக் கூறினார்: *"இயற்கை பாரம்பரியமானது அல்ல, எனவே நீங்கள் இயற்கையை உருவகப்படுத்த விரும்பினால், அதை குவாண்டம் ஆக்குவதே சிறந்தது, மேலும் இது எளிதாகத் தெரியாத ஒரு அற்புதமான சிக்கலாகும்"* [17]. தொடக்க நிலை குவாண்டம் கருத்துக்கள்—குறிப்பாக மேற்பொருந்துதல், குவாண்டம் பிணைப்பு மற்றும் கட்டக் குறுக்கீடு—வெறும் நேரியல் இயற்கணிதம் அல்லது அணி இயக்கவியல் மூலம் மட்டுமே கற்பிக்கப்படும் போது கற்பனை செய்ய மிகவும் கடினமாக உள்ளன. மாறாக, மனித உடலானது கற்பவர்கள் இயல்பாகவே உணரும் ஒரு வெளிப்பாட்டு ஊடகமாகும். கணினி கலை சங்கத்தின் டிஜிட்டல் கலைஞர் சீன் கிளார்க் குறிப்பிட்டது போல, கலைஞர்கள் *"பெரும்பாலும் புதிய தொழில்நுட்பங்களை ஏற்றுக்கொள்வதில் முன்னோடிகளாக உள்ளனர்"*

மற்றும் *"முதலில் கலைக்காக வடிவமைக்கப்படாத எதையும் கலைப் படைப்புக்கு ஏற்ப மாற்றியமைக்க முடியும்"* [9].

உடலியக்க இயற்பியல் (Embodied Physics) மற்றும் கலையை ஒருங்கிணைக்கும் STEAM திட்டங்களின் ஆய்வுகள், உடலியக்க மற்றும் நடனச் செயல்பாடுகள் அறிவியல் நிகழ்வுகளை அணுகுவதில் உள்ள அறிவாற்றல் தடைகளை கணிசமாகக் குறைக்கின்றன என்பதை நிரூபித்துள்ளன [7, 42, 60]. மாணவர்கள் உடல் ரீதியாக ஒரு திசைமுக அமைப்பை அல்லது தாள அசைவைச் செய்யும்போது, அது ஒரு இயக்க நினைவகத்தை (motor encoding) உருவாக்குகிறது. அண்மைய குவாண்டம் பரப்புரைகளில் பாலே நடனம் [7], கைகளால் சுட்டிக்காட்டும் முறைகள் [29], மற்றும் ஊடாடும் உருவகப்படுத்திகள் [59] பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. எனினும், இவை பெரும்பாலும் 'சுழலும் நாணயம்' அல்லது 'மின்மங்கல் சுவிட்ச்' போன்ற தவறான பாரம்பரிய ஒப்புமைகளால் குவாண்டம் மேற்பொருந்துதலின் சிக்கலான வீச்சுத் தன்மையையும் பிணைப்பையும் தவறாகச் சித்தரிக்கின்றன.

இத்தகைய சவால்களை எதிர்கொள்ள, நாங்கள் **குவாண்டம் க்ரம்ப் (Quantum Krump)** திட்டத்தை முன்வைக்கிறோம். க்ரம்ப் (Krump) என்பது 2000களின் தொடக்கத்தில் தென் மத்திய லாஸ் ஏஞ்சல்ஸில் தோன்றிய ஓர் ஆற்றல்மிக்க மற்றும் துல்லியமான தெரு நடன வடிவமாகும் [34]. க்ரம்பின் இயக்க அமைப்பில் நான்கு முக்கிய அடித்தளங்கள் உள்ளன: `STOMP` (தரையில் பலமாக உதைத்தல்), `JAB` (நேரான வெடிக்கும் குத்து), `CHEST POP` (மார்பின் சக்திவாய்ந்த தாள வெடிப்பு), மற்றும் `ARM SWING` (கைகளின் வட்ட வடிவச் சுழற்சி). இவை மூன்று நிலைகளில் செய்யப்படுகின்றன: `LIVE` (தலைக்கு மேல் உயர் நிலை), `KRUMP` (மார்பு மற்றும் இடுப்பின் இடைப்பட்ட நடுநிலை), மற்றும் `BUCK` (முழங்கால் வளைந்த ஆழமான கீழ்நிலை).

நாங்கள் க்ரம்பின் இந்த அசைவுகளை **லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு (LMA)** [33] உடன் இணைக்கிறோம். ருடால்ஃப் லாபானின் நான்கு உழைப்புக் காரணிகள் —வெளி (Space: நேரடி vs மறைமுக), எடை (Weight: வலிமை vs மென்மை), நேரம் (Time: உடனடி vs தொடர்ச்சி), மற்றும் பாய்வு (Flow: கட்டுப்பட்ட vs சுதந்திர) —க்ரம்ப் அசைவுகளை அறிவியல் பூர்வமாக வகைப்படுத்த உதவுகின்றன. இதன் மூலம் நடனக் கலைஞரின் இயக்க வெளியை முப்பரிமாண பிலோச் கோளமாக (Bloch Sphere) வரைகிறோம் [6]. வட துருவம் ($+z$, நிலை $|0\rangle$) நேராக நிற்கும் நிலையையும், தென் துருவம் ($-z$, நிலை $|1\rangle$) `BUCK` நிலையில் தரையில் செய்யும் `STOMP` அசைவையும் குறிக்கிறது. நிலநடுக்கோட்டு நிலைகள் ($|+\rangle, |-\rangle, |+i\rangle, |-i\rangle$) மார்பு வெடிப்புகள் மற்றும் கை சுழற்சிகளால் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன.

சுருக்கமாக, பல நடனக் கலைஞர்களின் ஒருங்கிணைந்த நடனத்தை வகைமைக் கோட்பாட்டின் (Category Theory) முறையான கணித அமைப்பாக நாங்கள் உருவாக்குகிறோம் [10, 11, 18, 35]. நடனமானது ஃப்ரோபினியஸ் இயற்கணிதத்துடன் கூடிய ஒரு சுதந்திர டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகையாக ($\mathcal{C}_{\text{Krump}}$) மாதிரியாக்கப்படுகிறது. `DisCoPy` பைதான் தொகுப்பின் மூலம் [13], கலைஞர்களின் சைகைகள் சரம் வரைபடங்களாகத் தொகுக்கப்பட்டு, பரிமாற்று விதிகள், பாம்புச் சமன்பாடுகள் மற்றும் சிலந்தி இணைவுகள் சரிபார்க்கப்படுகின்றன.

இக்கற்பித்தலின் உச்சகட்டமாக, புகழ்பெற்ற நடன அமைப்பாளர் **டகோடா சிமாவோ (Dakota Simao)** அவர்களின் நெறியாள்கையில் உருவான 60 நிமிட முழு நீள மேடை நாடகம் **11th Quantum Dimension** அமைகிறது. டகோடா சிமாவோ பிரான்சின் பிரபல தொலைக்காட்சியில் குடும்ப வன்முறைக்கு எதிரான விழிப்புணர்வை க்ரம்ப் மற்றும் சமகால நடனம் மூலம் நிகழ்த்தி, 300 மில்லியனுக்கும் அதிகமான இணையப் பார்வையாளர்களைப் பெற்றவர் [53, 54]. *11*th Quantum Dimension இந்த உணர்வுபூர்வமான கதையை 20 கலைஞர்களுடன் 4 அங்கங்களில் சித்தரிக்கிறது. இது `Three.js` 3D காட்சிப்படுத்தல் [8], `anime.js` நடன நேரக் கட்டுப்பாடு [19], `ElevenLabs` செயற்கை நுண்ணறிவு குரல் வடிவமைப்பு [16], மற்றும் `Moth Quantum` குவாண்டம் ஒலி வடிவமைப்பு [44] ஆகியவற்றால் இயக்கப்படுகிறது.

இறுதியாக, Quantinuum Nexus இன் `Helios-1E- lite` பொறிக்கப்பட்ட அயனி கணினியில் (Lane K301) முழுப் பரிசோதனை மேற்கொள்ளப்பட்டது. சாண்டியா ஆய்வகத்தின் QUOPS கனஅளவு அளவுகோல் [48] ($Q = 256$) மூலம் பாரம்பரிய கணினிகள் இச்சுற்றுகளை இயக்குவதில் $7{,}812.5\times$ வேகமானவை என்பதை நிறுவி அறிவியல் நேர்மையைப் பேணுகிறோம். BioHub ESM3 [27], DeepMind AlphaGenome Atlas [5], Neurosnap, மற்றும் Arc Institute [15] உயிரியற்பியல் மாதிரிகள் மூலம் தசை மற்றும் நரம்பு இயக்கவியல் உறுதிப்படுத்தப்பட்டு, முழு ஆய்வேடும் TypeSafe இன் **Jev 1.14** மாதிரியால் தணிக்கை செய்யப்பட்டுள்ளது [62].

## 2 வரலாற்று மற்றும் கலாச்சார அடித்தளங்கள் (Foundational Background)

**க்ரம்ப் கலாச்சாரம் மற்றும் நிறுவனர்களின் வரலாறு.** க்ரம்ப் என்பது 2000களின் தொடக்கத்தில் தென் மத்திய லாஸ் ஏஞ்சல்ஸில் சீசர் “டைட் ஐஸ்” வில்லிஸ் (Ceasare “Tight Eyez” Willis) மற்றும் ஜோ’ஆர்டிஸ் “பிக் மிஜோ” ராட்டி (Jo’Artis “Big Mijo” Ratti) ஆகியோரால் மார்கிசா “மிஸ் பிரிஸி” கார்ட்னர், கிறிஸ்டோபர் “லில் சி” டோலர் மற்றும் ஜேசன் “ஸ்லேயர்” கிரீன் ஆகியோருடன் இணைந்து உருவாக்கப்பட்ட ஆன்மீக மற்றும் ஒழுங்குபடுத்தப்பட்ட தெரு நடனமாகும் [34]. தெரு வன்முறைகள் மற்றும் சமூகப் பொருளாதார அழுத்தங்களுக்கு எதிரான ஒரு விடுதலை மாற்றாகத் தோன்றிய க்ரம்ப், ஆழ்ந்த உணர்ச்சி விடுதலையை ஒரு கடுமையான உடல் ஒழுக்கத்தின் வழியே வெளிப்படுத்துகிறது. டேவிட் லாசாப்பெல்லின் 2005 ஆம் ஆண்டு ஆவணப்படமான Rize [34], க்ளௌனிங்கிலிருந்து க்ரம்ப் எவ்வாறு வளர்ந்தது என்பதையும், அது ஆக்கிரமிப்பு அல்ல மாறாக அதிர்ச்சி மற்றும் துயரத்தின் ஆன்மீக உருமாற்றம் என்பதையும் ஆவணப்படுத்தியது.

இதன் நான்கு அடிப்படை இயக்கங்கள்:

1. `STOMP`: உடலை பூமியின் ஈர்ப்பு விசையுடன் இணைத்து இயக்க ஆற்றலைச் சேமிக்கும் வெடிக்கும் கால் உதைப்பு;
2. `JAB`: முழங்கையிலிருந்து புறப்பட்டு விண்வெளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஆற்றலைச் செலுத்தும் விரைவான நேரடிக் குத்து;

3. CHEST POP: உள் உணர்ச்சித் துடிப்பை உடல் வெடிப்பாக மாற்றும் விலா எலும்பு மற்றும் உதரவிதானத்தின் தீவிர விரிவாக்கம் மற்றும் சுருக்கம்;
4. ARM SWING: தோள்பட்டை மூட்டிலிருந்து கைகளின் வட்டச் சுழற்சி மூலம் உடலைச் சுற்றி பாதுகாப்பு மற்றும் தாக்குதல் எல்லைகளை உருவாக்குதல்.

இவை மூன்று செங்குத்து நிலைகளில் நிகழ்த்தப்படுகின்றன: 1) LIVE: தலைக்கு மேல் விரிவடைந்த உயர் ஆற்றல் மற்றும் ஆன்மீக நிலை; 2) KRUMP: இடுப்பு மற்றும் மார்பு மட்டத்திலான சமநிலை நிலை; 3) BUCK: ஆழமாக வளைந்த, பூமியோடு இணைந்த அதீத மூல சக்தி நிலை.

**லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு (Laban Movement Analysis – LMA).** ருடால்ஃப் லாபான் (1879–1958) மனித இயக்கங்களைப் பகுப்பாய்வு செய்ய ஒரு முறையான அமைப்பை உருவாக்கினார் [33]. எல்.எம்.ஏ-வின் நான்கு முதன்மை உழைப்புக் காரணிகள்:

- **வெளி (Space):** நேரடி (Direct: ஒற்றை இலக்கு நோக்கியது) vs மறைமுக (Indirect: நெகிழ்வான, விரிந்த பலதிசை நோக்கியது).
- **எடை (Weight):** வலிமை (Strong: சக்திவாய்ந்த, கனமான) vs மென்மை (Light: மென்மையான, எடையற்ற).
- **நேரம் (Time):** உடனடி (Sudden: திடீரென வெடிக்கும் விரைவு) vs தொடர்ச்சி (Sustained: நீடித்த, மெதுவான).
- **பாய்வு (Flow):** கட்டுப்பட்ட (Bound: கட்டுப்படுத்தப்பட்ட, நிறுத்தக்கூடிய) vs சுதந்திர (Free: தடையற்ற, தன்னிச்சையான).

இவற்றின் சேர்க்கையால் எட்டு அடிப்படை உழைப்புச் செயல்கள் உருவாகின்றன: Punch (வலிமை, உடனடி, நேரடி), Press (வலிமை, தொடர்ச்சி, நேரடி), Glide (மென்மை, தொடர்ச்சி, நேரடி), Float (மென்மை, தொடர்ச்சி, மறைமுக), Dab (மென்மை, உடனடி, நேரடி), Wring (வலிமை, தொடர்ச்சி, மறைமுக), Slash (வலிமை, உடனடி, மறைமுக), மற்றும் Flick (மென்மை, உடனடி, மறைமுக).

**வகைமைக் கோட்பாடும் சைகைகளின் கணிதமும் (Category Theory and Gestural Semiotics).** 1854 இல் இசை விமர்சகர் எடுவார்ட் ஹான்ஸ்லிக் இசையின் உள்ளடக்கம் 'ஒலியால் நகர்த்தப்படும் வடிவங்கள்' (tönend bewegte Formen) என்று கூறினார் [26]. அண்மையில் எலியாஸ் கான் யோனேடா லெம்மாவைப் பயன்படுத்தி ஹான்ஸ்லிக்கின் கூற்றைக் கணித ரீதியாக நிறுவினார் [31]. கணித இசைவியல், சைகைக் கோட்பாடு [3, 39–41] மற்றும் குவாண்டம் உருவவியல் ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் [1, 10, 11], நடன அசைவுகளை வகைமைத் திசையன்களாக நாங்கள் வடிவமைக்கிறோம்.

**குவாண்டம் தகவல் அடிப்படைகள் (Quantum Information Foundations).** ஒரு பாரம்பரிய பிட் $b \in \{0,1\}$ நிலைக்கு உட்பட்டது. ஆனால் ஒரு குவாண்டம் பிட் (க்யூபிட்) இரு பரிமாண சிக்கலெண் ஹில்பர்ட் வெளியில் $\mathcal{H} \cong \mathbb{C}^2$ நிலவுகிறது:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad \alpha,\beta \in \mathbb{C}, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1. \tag{1}$$

பிலோச் கோளத்தில் இது துருவக் கோணம் $\theta \in [0,\pi]$ மற்றும் திசைக்கோணம் $\varphi \in [0,2\pi)$ மூலம் குறிக்கப்படுகிறது:

$$|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle. \tag{2}$$

ஹடமார்ட் கேட் $H = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{pmatrix}$ என்பது $|0\rangle$ நிலையை சம மேற்பொருந்துதல் நிலையான $|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle+|1\rangle)$ ஆக மாற்றுகிறது. பாலி அணிகள் $(X,Y,Z)$ பிலோச் கோள அச்சுகளில் $\pi$ சுழற்சிகளைக் குறிக்கின்றன. இரண்டு க்யூபிட்களுக்கு பெல் நிலை $|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ போன்றவை பாரம்பரிய யதார்த்தவாதத்தை மீறி CHSH சமத்துவமின்மையில் $2\sqrt{2} \approx 2.828$ என்ற உச்ச சீரெல்சன் வரம்பை அடைகின்றன [46].

# 3 பட்டறை கட்டமைப்பு மற்றும் கற்பித்தல் வடிவமைப்பு (Workshop Architecture and Instructional Design)

**அமர்வு அமைப்பு மற்றும் நேரப் பகிர்வு.** பட்டறையானது பள்ளிப் பரப்புரை (60 நிமிடம்), பல்கலைக்கழக கருத்தரங்கு (75 நிமிடம்), மற்றும் தீவிர நடன அகாடமி பயிலரங்கு (90 நிமிடம்) ஆகிய மூன்று வடிவங்களில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது. அட்டவணை 1 இல் விரிவான நேர ஒதுக்கீடு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

**சக்கர நாற்காலி மற்றும் மட்டுப்படுத்தப்பட்ட இயக்கம் கொண்டோருக்கான ஏற்பாடுகள்.** இந்த உடலியக்கக் கற்பித்தல் அனைத்து வகையான உடல் திறன் கொண்டவர்களுக்கும் அணுகக்கூடியதாக இருக்க வேண்டும் என்பதை உறுதிப்படுத்த விரிவான தழுவல்கள் செய்யப்பட்டுள்ளன. சக்கர நாற்காலியில் அமர்ந்துள்ள அல்லது மட்டுப்படுத்தப்பட்ட உடல் இயக்கம் கொண்ட கலைஞர்களுக்கு, கீழ் உடல் STOMP அசைவானது உறுதியான தரை சக்கரத் தடுப்பு அல்லது தொடையில் செய்யப்படும் வலுவான கை தட்டல் மூலம் மாற்றீடு செய்யப்படுகிறது. LIVE, KRUMP, BUCK ஆகிய செங்குத்து நிலைகள் முறையே கை மற்றும் தலை உயர அமைப்புகளாலும், முதுகெலும்பு சாய்வு கோணங்களாலும் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. இதனால் இயக்கம் மட்டுப்படுத்தப்பட்ட கலைஞர்களும் பிலோச் கோளத்தின் அனைத்து நிலைகளையும் முழுமையாகப் பயிற்சி செய்ய முடிகிறது.

அட்டவணை 1: பல்வேறு பட்டறை வடிவங்களில் (60, 75 மற்றும் 90 நிமிடங்கள்) நேர ஒதுக்கீடு.

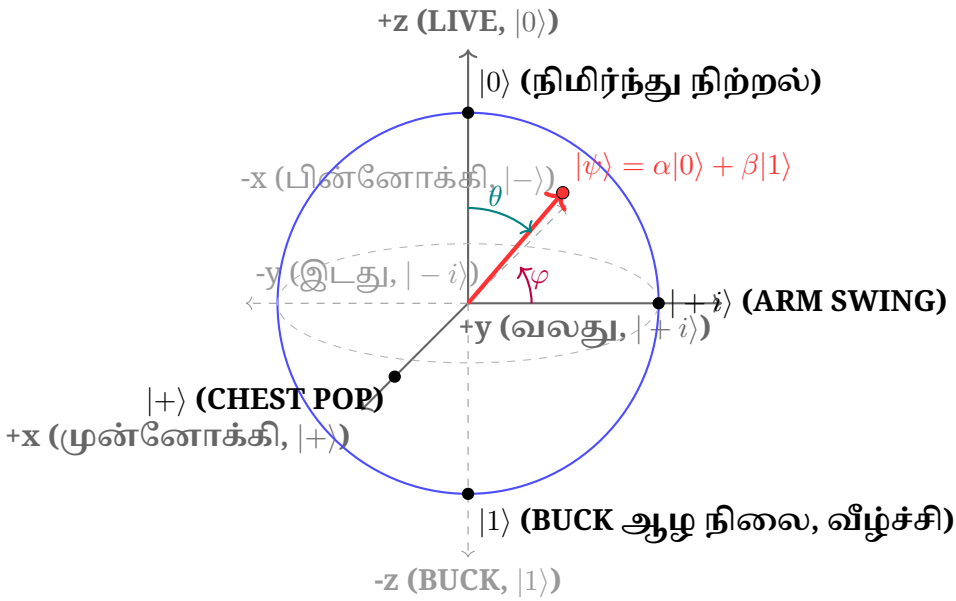
| பட்டறை கட்டம் | 60-நிமிட வடிவம் | 75-நிமிட வடிவம் | 90-நிமிட வடிவம் |
|---|---|---|---|
| 1. உடலியக்க வெப்பமேற்றல் மற்றும் லாபான் உழைப்பு அறிமுகம் | 10 நிமிடம் | 12 நிமிடம் | 15 நிமிடம் |
| 2. பிலோச் கோள இயக்கவெளி மற்றும் 3D வடிவவியல் | 10 நிமிடம் | 12 நிமிடம் | 15 நிமிடம் |
| 3. தனிநபர் க்ரம்ப் பயிற்சி: மேற்பொருந்துதல் மற்றும் சுழற்சி | 15 நிமிடம் | 18 நிமிடம் | 20 நிமிடம் |
| 4. இரட்டையர் பயிற்சி: குவாண்டம் பிணைப்பு மற்றும் பெல் நிலைகள் | 10 நிமிடம் | 15 நிமிடம் | 18 நிமிடம் |
| 5. குவாண்டம் க்ரம்ப் போர்: வட்டச் சுழற்சி மற்றும் குறியீட்டு வெளிப்பாடு | 10 நிமிடம் | 12 நிமிடம் | 15 நிமிடம் |
| 6. அறிவுசார் கலந்துரையாடல், பாரம்பரிய எல்லைகள் மற்றும் மதிப்பீடு | 5 நிமிடம் | 6 நிமிடம் | 7 நிமிடம் |
| **மொத்த பட்டறை கால அளவு** | **60 நிமிடம்** | **75 நிமிடம்** | **90 நிமிடம்** |

# 4 உடலியக்கப் பயிற்சிகள் மற்றும் முப்பரிமாண வெளி வடிவியல் (Embodied Drills and Spatial Geometry)

**நடனக் கலைஞரின் இயக்கவெளி 3D பிலோச் கோளமாக.** ஒவ்வொரு நடனக் கலைஞரும் தனது தனிப்பட்ட இயக்கவெளியின் (Kinesphere) மையத்தில் நிற்கிறார். இதை நாம் வலது கை கார்ட்டீசியன் ஆயத்தொலைவு அமைப்பில் பிலோச் கோளமாக $\mathbb{S}^2 \subset \mathbb{R}^3$ முறைப்படுத்துகிறோம் (படம் 1).

- **வட துருவம் ($+z$, நிலை $|0\rangle$):** நேராக நிமிர்ந்து நிற்றல், முதுகெலும்பு முழுமையாக நீட்டப்பட்டு, இரு கைகளும் மேல்நோக்கி உயர்த்தப்பட்ட நிலை (LIVE நிலை). இது அமைதியான, நிலையான ஆற்றலைக் குறிக்கிறது.
- **தென் துருவம் ($-z$, நிலை $|1\rangle$):** ஆழமாக வளைந்து, முழங்கால்கள் மடங்கி, உடல் ஈர்ப்பு மையத்திற்கு அருகில் தரையில் உறுதியாக நிற்கும் நிலை (BUCK நிலை). இது பூமியோடு இணைந்த ஆழமான ஆற்றலையும் அளவீட்டு வீழ்ச்சியையும் குறிக்கிறது.

- **நேர்மறை $x$-அச்சு ($+x$, நிலை $|+\rangle = \frac{|0\rangle+|1\rangle}{\sqrt{2}}$):** மார்பு முன்னோக்கி வெடித்துத் தள்ளப்பட்டு, சமச்சீர் மேற்பொருந்துதலில் விரிவடைந்த நடுநிலை.
- **எதிர்மறை $x$-அச்சு ($-x$, நிலை $|-\rangle = \frac{|0\rangle-|1\rangle}{\sqrt{2}}$):** மார்பு பின்னோக்கி சுருங்கி, பாதுகாப்புடன் உள்வாங்கும் நிலை; இங்கு சார்புக் கட்டம் $\pi$ ரேடியன் சுழல்கிறது.
- **நேர்மறை $y$-அச்சு ($+y$, நிலை $|+i\rangle = \frac{|0\rangle+i|1\rangle}{\sqrt{2}}$):** வலது கை கிடைமட்டமாக வெளிநோக்கி சுழலும் போது உருவாகும் சிக்கலெண் வீச்சு $+i$.
- **எதிர்மறை $y$-அச்சு ($-y$, நிலை $|-i\rangle = \frac{|0\rangle-i|1\rangle}{\sqrt{2}}$):** இடது கை கிடைமட்டமாக சுழலும் போது உருவாகும் சிக்கலெண் வீச்சு $-i$.




படம் 1: நடனக் கலைஞரின் முப்பரிமாண இயக்கவெளியில் பிலோச் கோள வரைபடம். வட துருவம் ($+z$, நிலை $|0\rangle$) நிமிர்ந்து நிற்றலையும்; தென் துருவம் ($-z$, நிலை $|1\rangle$) ஆழமான BUCK நிலையையும்; நடுநிலைக் கோடுகள் $x$ மற்றும் $y$ அச்சுகளில் முறையே மார்பு வெடிப்புகளையும் கைகளின் வட்டச் சுழற்சிகளையும் குறிக்கின்றன.

**பதிவேடு அளவிடுதலும் இயற்பியல் வரம்புகளும்.** தனிநபர் இயக்கவெளி என்பது 1-க்யூபிட் நிலையைக் குறிக்கும் அதே வேளையில், பல-க்யூபிட் அமைப்புகள் ஹில்பர்ட் வெளி பரிமாணத்தில் அடுக்குக்குறியீடாக வளர்கின்றன ($2^n$ பரிமாணங்கள்). அட்டவணை 2 பல்வேறு க்யூபிட் பதிவேடுகளின் அளவீட்டு ஒப்பீடுகளையும் கணக்கீட்டு வரம்புகளையும் காட்டுகிறது.

**பயிற்சி 1: STOMP = ஹடமார்ட் கேட் ($H$) மற்றும் மேற்பொருந்துதல்.** கலைஞர் $|0\rangle$ நிலையில் (நிமிர்ந்து நின்று) தொடங்குகிறார். இசையின் முதல் துடிப்பில், கலைஞர் தரையில் வெடிக்கும் ஆற்றலுடன் STOMP உதைக்கிறார். இந்த

அட்டவணை 2: க்யூபிட் பதிவேடு அளவீட்டு அளவுகோல்களும் இயற்பியல் கணக்கீட்டு வரம்புகளும்.

| **க்யூபிட்கள் ($n$)** | **அடிப்படை நிலைகள் ($2^n$)** | **இயற்பியல் மற்றும் கணக்கீட்டு முக்கியத்துவம்** |
|---|---|---|
| 1 | 2 | ஒற்றைக் க்யூபிட்; பிலோச் கோளத்தில் இருமத் தேர்வு. |
| 2 | 4 | பிணைக்கப்பட்ட இரட்டையர்; நான்கு அடிப்படை நிலைகள் $\|00\rangle, \|01\rangle, \|10\rangle, \|11\rangle$. |
| 3 | 8 | மூன்று க்யூபிட் GHZ/W பிணைப்பு நிலை; எட்டு அடிப்படை நிலைகள். |
| 4 | 16 | நான்கு க்யூபிட் பதிவேடு; 16-உணர்ச்சி சக்கரத்தின் அடிப்படை. |
| 40 | 1,099,511,627,776 | $\sim$ 16 TB RAM (இரட்டை-துல்லிய சிக்கலெண் complex128, 16 பைட்டுகள்/ வீச்சு); பாரம்பரிய நிலைதிசையன் உருவகப்படுத்துதலின் எல்லை. |
| 80 | $\approx 1.2089 \times 10^{24}$ | உலகளாவிய ஆண்டு டிஜிட்டல் தரவு சேமிப்பை விட அதிகமானது. |
| 270 | $\approx 1.8971 \times 10^{81}$ | காணக்கூடிய பிரபஞ்சத்தில் உள்ள மொத்த அணுக்களின் எண்ணிக்கையை விட ($10^{80}$) அதிகம். |

நில அதிர்வு உடலை காற்றில் உந்தித் தள்ளி, முழங்கால்களை மடக்கி இடைநிலை உயரத்திற்கு கொண்டு வருகிறது; இதனால் உடல் நடுநிலைக் கோட்டில் சம மேற்பொருந்துதல் நிலையை அடைகிறது: $|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. ஆசிரியர் கைதட்டும்போது கலைஞர் அளவீட்டு வீழ்ச்சியை உணர்த்துகிறார்: கைதட்டல் ஒலித்தவுடன் கலைஞர் உடனடியாக நிமிர்ந்து நிற்கிறார் ($|0\rangle$, நிகழ்தகவு 50%) அல்லது தரையில் அமர்கிறார் ($|1\rangle$, நிகழ்தகவு 50%).

**பயிற்சி 2:** `CHEST POP` = **பாலி-$X$ பிட்-திருப்பு கேட்.** இந்த கேட் நிலைகளை நேர்மாறாக மாற்றுகிறது: $X|0\rangle = |1\rangle$ மற்றும் $X|1\rangle = |0\rangle$. கலைஞர் $|0\rangle$ நிலையில் இருக்கும்போது, ஒரு தீவிரமான `CHEST POP` உடலை உடனடியாக `BUCK` நிலைக்குத் ($|1\rangle$) தள்ளுகிறது. கீழிருந்து மேல்நோக்கி வெடிக்கும் பாப் மீண்டும் உடலை நிமிர்ந்த நிலைக்கு மாற்றுகிறது.

**பயிற்சி 3:** `JAB` = **பாலி-$Z$ கட்ட-திருப்பு கேட்.** பாலி-$Z$ கேட் அடிப்படை நிலை $|0\rangle$ ஐ மாற்றாமல் விட்டுவிட்டு, $|1\rangle$ நிலையின் வீச்சை $-1$ ஆல் பெருக்குகிறது: $Z|+\rangle = |-\rangle$. கலைஞர் உடலின் உயரத்தை மாற்றாமல் முன்னோக்கி நேரான `JAB` குத்து வீசுகிறார். இந்த நேரியல் உந்தம் முன்னோக்கிய அமைப்பை ($|+\rangle$) பின்னோக்கிய சுருக்கத்திற்கு ($|-\rangle$) மாற்றுகிறது; இதனால் சார்புக் கட்டம் $\pi$

ரேடியன் சுழல்கிறது.

**பயிற்சி 4: `ARM SWING` = தொடர்ச்சியான கட்டச் சுழற்சி $R_z(\theta)$.** தோள்பட்டை மூட்டிலிருந்து கையை வட்டத்தில் சுழற்றுவது திசைக்கோணத்தை $\varphi$ தொடர்ச்சியாக மாற்றுகிறது:

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} e^{-i\theta/2} & 0 \\ 0 & e^{i\theta/2} \end{pmatrix}. \tag{3}$$

$\theta = \pi/2$ காற்பங்கு சுழற்சி நிலையை $|+i\rangle$ (வலதுபுறம்) நோக்கியும், முழுச் சுழற்சி கட்டத்தை $2\pi$ இலும் மீட்டமைக்கிறது.

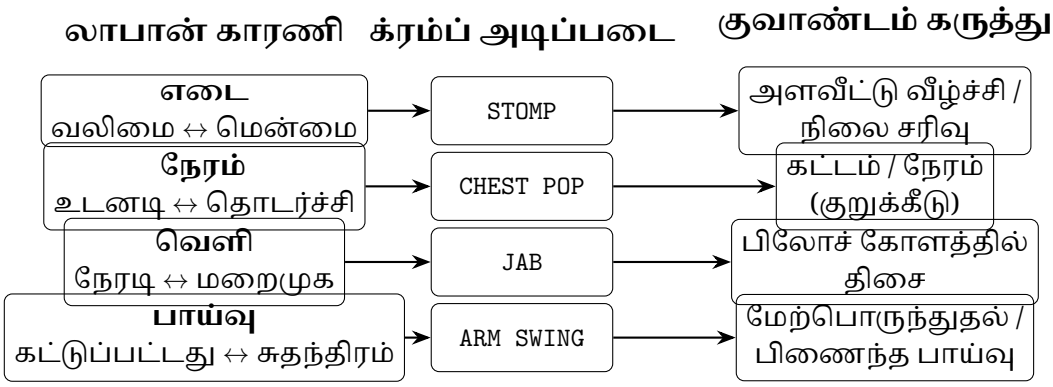
**இரட்டையர் பயிற்சி: குவாண்டம் பிணைப்பும் பெல் நிலைகளும்.** இரண்டு நடனக் கலைஞர்கள் (கலைஞர் A மற்றும் கலைஞர் B) புறப்பார்வைத் தொடர்பு இல்லாதவாறு ஒருவருக்கொருவர் முதுகுக்குப் பின்னால் நிற்கின்றனர். அவர்கள் பெல் நிலை $|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ ஐப் பிரதிபலிக்கின்றனர். முரசு ஒலியின் போது கலைஞர் A நிலை $|0\rangle$ க்கு (மேலே) சென்றால், கலைஞர் B பாராமலேயே உடனடியாக $|0\rangle$ நிலைக்கு எழுகிறார். கலைஞர் A தரையில் `STOMP` செய்தால் ($|1\rangle$), கலைஞர் B யும் உடனே தரையில் சாய்கிறார் ($|1\rangle$). இந்த உடனடி ஒத்திசைவு குவாண்டம் பிணைப்பில் இரு துகள்களும் பிரிக்க முடியாத ஒற்றை அமைப்பாகச் செயல்படுகின்றன என்பதைக் கற்பிக்கிறது.

**தொழில்நுட்ப கலைச்சொற்கள் மற்றும் விளக்கங்கள்.**

1. **குவாண்டம் செயலாக்க அலகு (QPU):** குவாண்டம் ஒத்திசைவைப் பராமரிக்கும் இயற்பியல் வன்பொருள் (அயனிப் பொறி அல்லது சூப்பர் கண்டக்டிங் சிப்).
2. **இயற்பியல் க்யூபிட்கள் (Physical Qubits):** சுற்றுச்சூழல் இரைச்சலுக்கு உட்படக்கூடிய உண்மையான சாதனங்கள்.
3. **தருக்க க்யூபிட்கள் (Logical Qubits):** பல இயற்பியல் க்யூபிட்களின் குவாண்டம் பிழைத் திருத்தத்தால் (QEC) பாதுகாக்கப்படும் பிழையற்ற க்யூபிட்கள்.
4. **குவாண்டம் சிமுலேட்டர்:** பாரம்பரிய கணினியில் ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டின் துல்லியமான நேரியல் இயற்கணிதத்தைக் கணக்கிடும் மென்பொருள்.
5. **குவாண்டம் எமுலேட்டர்:** வன்பொருளின் குறிப்பிட்ட இரைச்சல் மாதிரிகளை உள்ளடக்கிய பாரம்பரிய உருவகப்படுத்தி.
6. **சர்வதேச குவாண்டம் ஆண்டு (IYQ 2025):** ஐக்கிய நாடுகள் சபையால் அறிவிக்கப்பட்ட குவாண்டம் விழிப்புணர்வு ஆண்டு.

# 5 லாபான் × க்ரம்ப் × குவாண்டம் வரைபடம் (The Laban × Krump × Quantum Map)

லாபான் உழைப்புக் காரணிகளுக்கும் க்ரம்பின் அடிப்படை அசைவுகளுக்கும் இடையிலான கட்டமைப்புத் தொடர்பு படம் 2 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 2: அடிப்படை லாபான் × க்ரம்ப் × குவாண்டம் வரைபடம்.

அட்டவணை 3 லாபான் உழைப்புக் காரணிகளை பிலோச் ஆயத்தொலைவுகளுடனும் க்ரம்ப் செயல்பாடுகளுடனும் இணைக்கிறது.

அட்டவணை 3: லாபான் உழைப்புக் காரணிகள், க்ரம்ப் இயக்கச் சைகைகள் மற்றும் பிலோச் கோள ஆயத்தொலைவுகள்.

| **லாபான் உழைப்புக் காரணி** | **க்ரம்ப் உடலியக்கச் செயல்** | **பிலோச் ஆயங்கள்** | **குவாண்டம் செயலி விளக்கம்** |
|---|---|---|---|
| **எடை : வலிமை** | தரையில் பலமாக STOMP | $z \to -1$ (BUCK) | அளவீட்டு வீழ்ச்சி / நிலை $\|1\rangle$ |
| **எடை : மென்மை** | LIVE நிலைக்கு உயர்தல் | $z \to +1$ (LIVE) | அடிப்படை நிலை $\|0\rangle$ மீட்டமைப்பு |
| **வெளி : நேரடி** | JAB நேரடிக் குத்து | $x \to +1$ அல்லது $-1$ | பாலி-$Z$ கட்டத் திருப்பு ($\|-\rangle \leftrightarrow \|+\rangle$) |
| **வெளி : மறைமுக** | ARM SWING வட்டச் சுழற்சி | $\varphi \in [0, 2\pi)$ | தொடர்ச்சியான கட்டச் சுழற்சி $R_z(\theta)$ |
| **நேரம் : உடனடி** | CHEST POP வெடிப்பு | கிடைமட்ட மாற்றம் | பாலி-$X$ பிட் திருப்பு ($\|0\rangle \leftrightarrow \|1\rangle$) |
| **நேரம் : தொடர்ச்சி** | மெதுவான நீடித்த அசைவு | தொடர்ச்சியான கோணம் | சீரான ஒருமை பரிணாமம் $e^{-iHt}$ |
| **பாய்வு : கட்டுப்பட்ட** | இறுக்கமான பூட்டு நிலை | சுருங்கிய ஆரம் $r < 1$ | ஒத்திசைவின்மை மற்றும் கலப்பு நிலைகள் |
| **பாய்வு : சுதந்திர** | தடையற்ற தொடர் சுழற்சி | தூய நிலை $r = 1$ | ஒருமை பாதுகாப்பு $\mathrm{Tr}(\rho^2) = 1$ |

அட்டவணை 4 எட்டு அடிப்படை லாபான் உழைப்புச் செயல்களின் முழு

விவரங்களைத் தருகிறது.

அட்டவணை 4: எட்டு லாபான் உழைப்புச் செயல்கள், க்ரம்ப் சைகைகள் மற்றும் குவாண்டம் விளக்கங்கள்.

| **உழைப்புச் செயல்** | **காரணிகளின் சேர்க்கை** | **க்ரம்ப் உடலியக்கச் சைகை** | **குவாண்டம் இயக்கவியல் விளக்கம்** |
|---|---|---|---|
| **Punch** | வலிமை, உடனடி, நேரடி | தீவிர JAB அல்லது தரையில் STOMP | ஒருமை பிட்-திருப்பு $X$ அல்லது திட்ட அளவீடு |
| **Press** | வலிமை, தொடர்ச்சி, நேரடி | கீழே தொடர்ந்து கனமான கையால் அழுத்துதல் | கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சுழற்சி $R_x(\pi)$ மெதுவான வேகத்தில் |
| **Glide** | மென்மை, தொடர்ச்சி, நேரடி | மென்மையான தரைச் சறுக்கல் அசைவு | நிலையான தூய நிலை நகர்வு, குறைந்த ஒத்திசைவின்மை |
| **Float** | மென்மை, தொடர்ச்சி, மறைமுக | காற்றில் கைகள் மிதக்கும் LIVE நிலை | மேற்பொருந்துதலில் கட்டச் சேகரிப்பு $e^{i\varphi}$ |
| **Dab** | மென்மை, உடனடி, நேரடி | மார்பு அல்லது தோளின் நுட்பமான தொடுதல் | சிறிய கோணச் சுழற்சி $R_z(\epsilon)$, குவாண்டம் சத்தம் |
| **Wring** | வலிமை, தொடர்ச்சி, மறைமுக | உடல் மற்றும் கைகளின் முறுக்கல் இறுக்கம் | பல க்யூபிட்களைப் பிணைக்கும் கேட் ($ZZ$-வினை) |
| **Slash** | வலிமை, உடனடி, மறைமுக | கையின் மூலைவிட்ட கடுமையான ARM SWING | சீரற்ற பரந்த மேற்பொருந்துதல் வீச்சு |
| **Flick** | மென்மை, உடனடி, மறைமுக | மணிக்கட்டு மற்றும் விரல்களின் வேகமான அசைவு | குவாண்டம் சத்தம், வெப்பக் குழப்பம் |

**STOMP இன் இரட்டைப் பாத்திர விளக்கம்.** பாடத்திட்டத்தில் STOMP இரண்டு சூழ்நிலைகளில் தோன்றுகிறது:

1. **தனிநபர் பயிற்சியில் அளவீட்டு வீழ்ச்சி:** கலைஞர் மேற்பொருந்துதலிலிருந்து வெளிவரும் போது, தரையில் விழும் பலமான STOMP ஒரு நேரியல் அல்லாத திட்ட அளவீட்டு வீழ்ச்சியை (von Neumann projection $P = |1\rangle\langle 1|$) குறிக்கிறது.

2. **சுற்றுத் தொகுப்பில் ஹடமார்ட் கேட்:** நடனத் தொடர் தொடங்கும் போது, ஆரம்ப STOMP தரையிலிருந்து ஆற்றலைப் பெற்று கலைஞரைக்

காற்றில் எழும்பி மேற்பொருந்துதல் நிலைக்கு $|+\rangle = H|0\rangle$ கொண்டு செல்கிறது.

## 5.1 குவாண்டம் கட்டமாக தாளம், பல்-தாள குறுக்கீடுகள் மற்றும் 140–150 BPM க்ரம்ப் மெட்ரிக் கட்டமைப்பு

முப்பரிமாண வெளி ஆயத்தொலைவுகளும் இயக்க நிலைகளும் ஒற்றை-க்யூபிட் பிலோச் கோளம் மற்றும் பல-க்யூபிட் டென்சார் வெளிகளின் இடவியல் வடிவவியலை வரையறுக்கும் அதே வேளையில், **தாளம் (Rhythm)** குவாண்டம் இயக்கவியலின் நேர இயந்திரத்தை வழங்குகிறது. குவாண்டம் கோட்பாட்டில், காலப் பரிணாமம் அடிப்படையில் காலமுறை மற்றும் தாளப் பண்பு கொண்டது. நேரத்தைச் சாராத ஹாமில்டோனியன் $\hat{H}|E_n\rangle = E_n|E_n\rangle$ ஆல் ஆளப்படும் எந்தவொரு நிலையான ஆற்றல் ஐகென் நிலைக்கும் $|E_n\rangle$, நேரத்தைச் சார்ந்த ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு பின்வருமாறு கட்டளையிடுகிறது:

$$|\psi_n(t)\rangle = e^{-i\hat{H}t/\hbar}|\psi_n(0)\rangle = e^{-i\omega_n t}|E_n\rangle, \quad \text{இங்கு } \omega_n = \frac{E_n}{\hbar}. \tag{4}$$

ஒவ்வொரு நிலையான நிலையும் ஒரு உள்ளார்ந்த கோண அதிர்வெண்ணைக் ($\omega_n$) கொண்டுள்ளது —இது ஒரு குவாண்டம் உள் கடிகாரம் அல்லது அடிப்படை நுண்ணிய தாளமாகும்.

**பல்-தாளக் குறுக்கீடும் குவாண்டம் துடிப்புகளும் (Polyrhythmic Interference and Quantum Beats).** ஒரு குவாண்டம் அமைப்பானது இரண்டு சிதைவற்ற ஆற்றல் ஐகென் நிலைகளின் நேரியல் மேற்பொருந்துதலில் தயாரிக்கப்படும் போது ($|\Psi(0)\rangle = c_1|E_1\rangle + c_2|E_2\rangle$), காலப் பரிணாமம் அடைந்த நிலை வேறுபட்ட சார்புக் கட்டத்தைச் சேகரிக்கிறது:

$$|\Psi(t)\rangle = c_1 e^{-i\omega_1 t}|E_1\rangle + c_2 e^{-i\omega_2 t}|E_2\rangle. \tag{5}$$

இதன் விளைவாக வெளிப்படும் இடவெளி நிகழ்தகவு அடர்த்தி **குவாண்டம் துடிப்புகள் (Quantum Beats)** எனப்படும் காலத்தைச் சார்ந்த பெரும பண்பேற்றத்தை வெளிப்படுத்துகிறது:

$$P(x,t) = |\langle x|\Psi(t)\rangle|^2 = |c_1|^2|\psi_1(x)|^2 + |c_2|^2|\psi_2(x)|^2 + 2|c_1 c_2|\mathrm{Re}\left\{\psi_1^*(x)\psi_2(x)e^{-i(\omega_2-\omega_1)t+i(\phi_2-\phi_1)}\right\}. \tag{6}$$

அலைவு அதிர்வெண் $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = (E_2 - E_1)/\hbar$ என்பது துல்லியமாக போர் (Bohr) மாற்றம் அதிர்வெண் ஆகும். நடன அரங்கில், இந்த கணித உண்மை **பல்-தாள இசைத்தன்மை மற்றும் குறுக்கு-தாளங்களுக்கு (polyrhythmic musicality and cross-rhythms)** நேரடி இயற்பியல் இணையாக அமைகிறது. ஒரு க்ரம்ப் நடனக் கலைஞர் சீரான 4/4 பாஸ் குரூவில் 3-க்கு-4 என்ற பல்-தாள கை அசைவுத் தொடரை அடுக்குவதன் மூலம், இந்த இரு இயக்கவியல் அதிர்வெண்களும் நடன வட்டத்தில் (Session) ஆக்கப்பூர்வ மற்றும் அழிவுக் குறுக்கீட்டுத் துடிப்புகளை உருவாக்குகின்றன.

**லாபான் நேர உழைப்புக் காரணி : உடனடி vs நீடித்தது (Sudden vs. Sustained).** லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வில் (அட்டவணை 3), **நேரம் (Time)** உழைப்புக் காரணி கால முதலீட்டைத் தீர்மானிக்கிறது:

- **உடனடி (Sudden / Staccato) :** இயக்க முடுக்கத்தின் கூர்மையான, அவசரமான, உடனடி வெடிப்புகள் (எ.கா., கூர்மையான JAB குத்துகள், தரை STOMP உதைப்புகள், மார்பு பாப்புகள்). குவாண்டம் அடிப்படையில், ஒரு உடனடி இயக்கத் தாக்குதல் ஒரு குறுகிய கால அலைக்கற்றைக்கு ($\Delta t \to 0$) ஒப்பாகும்; ஹைசன்பெர்க்கின் ஆற்றல்-நேர நிச்சயமற்ற கொள்கையின்படி ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$), இது ஒரு பரந்த நிறமாலை ஆற்றல் பரவலைச் செயல்படுத்தி, பல அடிப்படை நிலைகளில் மாற்றங்களைத் தூண்டுகிறது அல்லது திட்ட அளவீட்டு வீழ்ச்சியைத் துரிதப்படுத்துகிறது.
- **நீடித்தது (Sustained / Legato) :** திட்டமிட்ட, நீடித்த, தொடர்ச்சியான, தணிக்கப்பட்ட பாய்வு (எ.கா., மென்மையான கை அசைவுகள், BUCK தரை அழுத்தங்கள், உடற்பகுதி சுழற்சிகள்). குவாண்டம் இயக்கவியலில், நீடித்த அசைவுகள் அடியாபாடிக் தேற்ற (adiabatic theorem) நிலைமைகளை உள்ளடக்குகின்றன; இங்கு மெதுவாக மாறும் ஹாமில்டோனியன் அடியாபாடிக் அல்லாத மாற்றங்களைத் தூண்டாமல் ஐகென் நிலைகளைப் பாதுகாத்து, ஒத்திசைவான சார்புக் கட்டச் சேகரிப்பை ($\Delta\varphi = \int \omega(t')dt'$) அனுமதிக்கிறது.

**140–150 BPM க்ரம்ப் மெட்ரிக் கட்டமைப்பு (Metric Lattice).** க்ரம்ப் இசை **140 முதல் 150 BPM (துடிப்புகள் / நிமிடம்)** என்ற கடுமையான வேக வரம்பில் தயாரிக்கப்படுகிறது. $145\,\text{BPM}$ இல், ஒரு நிலையான 4-துடிப்பு அளவீடு $T_{\text{meas}} = 1.655\,\text{s}$ கால அளவைக் கொண்டுள்ளது; இதில் காற்பங்கு துடிப்புகள் ஒவ்வொரு $\tau_{\text{beat}} = 413.8\,\text{ms}$ இலும், பதினாறாம் துடிப்பு இடைவெளிகள் ஒவ்வொரு $\tau_{16\text{th}} = 103.4\,\text{ms}$ இலும் நிகழ்கின்றன. இந்த தாளக் கட்டமைப்பு தனித்த கட்ட ஆயத்தொலைவு நங்கூரங்களை நிறுவுகிறது:

- **துடிப்பு 1 (Downbeat, $\varphi = 0$) :** தரை அடித்தளத் தாக்குதல் (STOMP); அதிகபட்ச நேர்மறை மெய் வீச்சு ($+1$).
- **துடிப்பு 2 (Off-beat accent, $\varphi = \pi/2$) :** பக்கவாட்டு திசை உந்துதல் (JAB); கற்பனை கட்டச் சுழற்சி ($+i$).
- **துடிப்பு 3 (Backbeat / Climax, $\varphi = \pi$) :** வெடிக்கும் மார்பு விரிவாக்கம் (CHEST POP); எதிரெதிர் கட்டத் தலைகீழ் மாற்றம் ($-1$), டவுன்பீட் நிலைகளுக்கு எதிராக அதிகபட்ச அழிவுக் குறுக்கீட்டை உருவாக்குகிறது.
- **துடிப்பு 4 (Pickup / Transition, $\varphi = 3\pi/2$) :** சுழற்சி வீச்சு (ARM SWING); எதிர்மறை கற்பனை சுழற்சி ($-i$).

இரண்டு இயக்கங்கள் அல்லது இரண்டு நடனக் கலைஞர்கள் ஒரே கட்டத்தைப் பகிர்ந்து கொள்ளும்போது ($\Delta\varphi = 0$), அவற்றின் வீச்சுகள் ஆக்கப்பூர்வமாகக் குறுக்கிட்டு, இயற்பியல் வீச்சை இரட்டிப்பாக்கி, அமர்வின்

தீவிரத்தை (“ஹைப்”) நான்கு மடங்காக உயர்த்துகின்றன. மாறாக, இரண்டு எதிரெதிர் இயக்கங்கள் எதிரெதிர் கட்டத்தில் ($\Delta\varphi = \pi$) செயல்படுத்தப்படும் போது, அவற்றின் வீச்சுகள் அழிவுக் குறுக்கீட்டால் ரத்தாகி, வியத்தகு நடன உறைவுகளையும் (choreographic freezes) எதிர்மறை வெளியையும் உருவாக்குகின்றன.

# 6 உணர்வு க்யூபிட்கள் மற்றும் படிநிலை நிலை குறியாக்கம் (Emotion Qubits and Hierarchical State Encoding)

நிலை வெளியின் அடுக்குக்குறியீட்டு வளர்ச்சியை ($2^n$) உண்மையான மனித உணர்ச்சிகளின் வெளிப்பாட்டுடன் இணைக்க, பாயிண்ட் பிளாங்க் ஃபேம் (Point Blank Fam) உடன் இணைந்து $n$-க்யூபிட் “உணர்ச்சி சக்கரம்” (Emotion Wheel) உருவாக்கப்பட்டுள்ளது (அட்டவணை 5) [4, 51]. கணக்கீட்டு அடித்தளத்தின் ஒவ்வொரு நிலையும் $|x\rangle \in \{0,1\}^n$ ஒரு குறிப்பிட்ட உணர்ச்சி நிலையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

இது ஒரு **படிநிலைக் சூழல்சார் முடிவு மரமாக** கட்டமைக்கப்பட்டுள்ளது:

- முதல் க்யூபிட் $q_1$ **உடலியக்கத் தூண்டுதல் / இயக்க ஆற்றலை** வரையறுக்கிறது: 0 = குறைந்த தூண்டுதல் (அமைதி, உள்வாங்குதல்); 1 = உயர் தூண்டுதல் (வெடிக்கும் ஆற்றல், தாள அடி).
- இரண்டாவது க்யூபிட் $q_2$ நான்கு குடும்பங்களாகப் பிரிக்கிறது: தீவிர பகுதியில் ($q_1 = 1$), 10 எதிர்மறை உணர்ச்சியையும் (*கோபம்*), 11 நேர்மறை உணர்ச்சியையும் (*மகிழ்ச்சி*) குறிக்கிறது. அமைதிப் பகுதியில் ($q_1 = 0$), 00 உள்நோக்கிய சோகத்தையும் (*துயரம்*), 01 எச்சரிக்கையான தற்காப்பையும் (*அச்சம்*) குறிக்கிறது.
- மூன்றாவது க்யூபிட் $q_3$ **வெளிநோக்கிய அதிகாரக் குவிப்பை** குறிக்கிறது: 0 = தற்காப்பு/உள்நோக்கியது; 1 = முன்னோக்கிய ஆதிக்கம்.
- நான்காவது க்யூபிட் $q_4$ **தீவிரத்தன்மையை** குறிக்கிறது: $q_4 = 0$ நுட்பமான அமைதியையும், $q_4 = 1$ உச்சக்கட்ட வெளிப்பாட்டையும் குறிக்கிறது.

**சிக்கலான கூட்டாளர் பயிற்சிகளில் துணைஅமைப்புப் பகிர்வு.** பகிரப்பட்ட சிக்கலான பயிற்சிகளில், துணைஅமைப்பு ஒதுக்கீடு கணித ரீதியாக துல்லியமாக இருக்க வேண்டும்:

- இரண்டு நடனக் கலைஞர்கள் ஒரு **இரு-க்யூபிட் நிலையைப்** ($|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$) பகிர்ந்து கொள்ளும் போது, ஒவ்வொரு கூட்டாளியும் ஒரு **ஒற்றை-க்யூபிட் துணைஅமைப்பை** ($n = 1$) கொண்டு அளவிடுகிறார்கள். ஒவ்வொரு உள்ளூர் வீழ்ச்சியும் இருமமானது: 0 ஐ அளவிடுவது Sad (துயரம்) நிலையை வெளிப்படுத்துகிறது, அதே நேரத்தில் 1 ஐ அளவிடுவது Happy (மகிழ்ச்சி) நிலையை

அட்டவணை 5: $n$-க்யூபிட் உணர்ச்சி சக்கரத்திற்கான ($n \in \{1, 2, 3, 4\}$) படிநிலை இரும முன்னொட்டு குறியாக்கம்.

| க்யூபிட்கள் $n$ | பிட் ஸ்ட்ரிங் | உணர்ச்சி நிலை | நடன / கதைசொல்லல் வெளிப்பாடு |
|---|---|---|---|
| $n = 1$ | 0 | Sad (துயரம்) | உள்வாங்கிய துக்கம்; மெதுவான, கனமான BUCK தரைநோக்கிய பார்வை. |
| | 1 | Happy (மகிழ்ச்சி) | பிரகாசமான உயர்வு; நேரான, மார்பு விரிந்த LIVE துள்ளல். |
| $n = 2$ | 00 | Sad (துயரம்) | ஆழமான சோக அமைதி. |
| | 01 | Fearful (அச்சம்) | தற்காப்பு பதற்றம்; பாதுகாக்கப்பட்ட மார்பு நிலை. |
| | 10 | Angry (கோபம்) | வெடிக்கும் வெளிநோக்கிய ஆக்கிரமிப்பு; முன்னோக்கிய குத்துகள். |
| | 11 | Happy (மகிழ்ச்சி) | உற்சாகமான கொண்டாட்டம்; விரிந்த கை வீச்சுகள். |
| $n = 3$ | 000 | Sad (துயரம்) | துக்கம்; தரையில் தாழ்ந்த தலை வீழ்ச்சி. |
| | 001 | Disgusted (வெறுப்பு) | நெளிந்த மார்பு நிராகரிப்பு; கூர்மையான தலை விலகல். |
| | 010 | Fearful (அச்சம்) | வேகமான தற்காப்பு அடிவைப்பு; இறுக்கமான உடற்பகுதி. |
| | 011 | Bad (முரட்டுத்தனம்) | கடுமையான எதிர்ப்பு; அரைக்கும் BUCK நிலை. |
| | 100 | Angry (கோபம்) | சீற்றமான மிதிப்பு மழை; நேரடி குத்துகள். |
| | 101 | Surprised (வியப்பு) | அதிர்ச்சியடைந்த பின்வாங்கல்; திடீர் மிதக்கும் உறைவு. |
| | 110 | Calm (அமைதி) | மையப்படுத்தப்பட்ட நடுநிலை இயக்கம்; நிலையான தாள சுவாசம். |
| | 111 | Happy (மகிழ்ச்சி) | வெற்றிகரமான இரட்டை கை நீட்சி. |
| $n = 4$ | 0000 | Lonely (தனிமை) | முழுமையான அசைவின்மை; தனிமைப்படுத்தப்பட்ட உள்நோக்கிய நிலை. |
| | 0001 | Depressed (மனச்சோர்வு) | மெதுவாக மூழ்கும் எடை; தரையில் தளர்ந்த வீழ்ச்சி. |
| | 0010 | Vulnerable (பாதிப்புக்குள்ளான) | வெளிப்பட்ட மார்பு மையம்; தயக்கமான மெதுவான படிகள். |
| | 0011 | Ashamed (வெட்கம்) | மறைக்கப்பட்ட முகம்; கூர்மையான கீழ்நோக்கிய தோள்பட்டை சரிவு. |
| | 0100 | Terrified (திகில்) | விரைவான நடுக்கமான காலடி இயக்கம்; பாதுகாக்கப்பட்ட தற்காப்பு குறுக்கீடு. |
| | 0101 | Anxious (பதற்றம்) | அமைதியற்ற எடை மாற்றங்கள்; அதிவேக சுவாசம். |
| | 0110 | Guilty (குற்ற உணர்வு) | தயக்கமான முன்னோக்கிய நீட்சிகள் திடீரென நிறுத்தப்படுதல். |
| | 0111 | Numb (மரத்துப் போன) | விறைப்பான, தாள சுவாசம் அற்ற இயந்திரத்தனமான இயக்கம். |
| | 1000 | Enraged (கொதித்தெழும் சீற்றம்) | கனமான வன்முறை மிதிப்புகள்; ஆக்ரோஷமான மார்பு வெடிப்புகள். |
| | 1001 | Hostile (பகைமை) | வெளியை நேரடியாக வெட்டிச் செல்லும் கூர்மையான குத்துகள். |
| | 1010 | Shocked (அதிர்ச்சி) | உடனடி உறைந்த பூட்டு; விரிந்த கை நீட்சி. |
| | 1011 | Defiant (எதிர்ப்பு) | இடப்பெயர்ச்சியை மறுக்கும் உறுதியான BUCK நிலை. |
| | 1100 | Serene (அமைதியான நேர்த்தி) | மென்மையான இணக்கமான பரந்த கை சறுக்கல்கள். |
| | 1101 | Grounded (பூமியோடு இணைந்த) | பாஸ் அதிர்வெண்களுடன் ஒத்திசைந்த ஆழமான மையப்படுத்தப்பட்ட துள்ளல். |
| | 1110 | Playful (விளையாட்டான) | தாள ஒத்திசைவற்ற பக் ஹாப்ஸ் மற்றும் நகைச்சுவை கேலி அசைவுகள். |
| | 1111 | Proud (பெருமை) | வெற்றிகரமான இரட்டை மார்பு விடுதலை; பிரகாசமான மார்பு பாப். |

வெளிப்படுத்துகிறது, இது உடனடியாக கூட்டாளியின் உணர்ச்சி நிலையை ஒத்திசைக்கிறது.

- ஒவ்வொரு கூட்டாளியும் **நான்கு உணர்ச்சிகளில்** ($n = 2$ உள்ளூர் க்யூபிட்கள், 4 உள்ளூர் தேர்வுகள்: Sad, Fearful, Angry, Happy) இருந்து தேர்ந்தெடுக்கும் போது, கூட்டு அமைப்பானது இரண்டு கலைஞர்களுக்கு இடையே பகிரப்பட்ட ஒரு **நான்கு-க்யூபிட் சிக்கலான பதிவேடு** ($2^2 \times 2^2 = 16$ அடிப்படை நிலைகள்) ஆகும். இந்த பயிற்சியில், கூட்டாளர்கள் இரண்டு குறுக்குவழி பெல் இணைகளை (transversal Bell pairs) உருவாக்குகிறார்கள்:

$$\begin{aligned} |\Phi^+\rangle_{A_1B_1} \otimes |\Phi^+\rangle_{A_2B_2} &= \frac{1}{2} \sum_{x\in\{0,1\}^2} |x\rangle_{A_1A_2} \otimes |x\rangle_{B_1B_2} \\ &= \frac{|0000\rangle + |0101\rangle + |1010\rangle + |1111\rangle}{2}_{A_1A_2B_1B_2}, \end{aligned} \tag{7}$$

இங்கு பதிவேடு க்யூபிட்கள் கலைஞரின் துணைஅமைப்பின்படி $|q_{A_1}q_{A_2}q_{B_1}q_{B_2}\rangle$ என வரிசைப்படுத்தப்படுகின்றன; இது நான்கு உணர்ச்சி நிலைகளிலும் (00 Sad, 01 Fearful, 10 Angry, 11 Happy) சீரான, முழுமையான ஒத்திசைவான முடிவுகளுக்கு உத்தரவாதம் அளிக்கிறது; இது 4-க்யூபிட் GHZ நிலையிலிருந்து $\frac{|0000\rangle+|1111\rangle}{\sqrt{2}}$ வேறுபடுகிறது (GHZ நிலை முடிவுகளை இரண்டு உணர்ச்சிகளுக்கு மட்டுமே மட்டுப்படுத்தும்).

# 7 குவாண்டம் அளவிடப்பட்ட மேடை நடன அமைப்பு மற்றும் அளவிடுதல் (Quantum-Measured Stage Choreography and Scalability)

நடன மேடையானது $5 \times 4$ செவ்வக கட்டங்களாக (20 அறைகள்) வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதன் ஆயத்தொலைவுகள் $(r, c)$ ஆல் குறிக்கப்படுகின்றன ($r \in \{0, \ldots, 4\}, c \in \{0, \ldots, 3\}$).

## 7.1 வலைப்பின்னல் வரைபடமும் டைக்ஸ்ட்ரா வழித்தட முறையும்

நடனக் கலைஞர்கள் 5-க்யூபிட் சுற்றை இயக்கும் போது $2^5 = 32$ கணக்கீட்டு அடிப்படை நிலைகள் உருவாகின்றன. இந்த 32 நிலைகளின் நிகழ்தகவுகள் $p(|k\rangle)$ குறிப்பிட்ட மட்டு-20 மடிப்பு முறை மூலம் 20 மேடை அறைகளுக்குப் பகிரப்படுகின்றன:

$$P(r, c) = \sum_{k\in\{0,\ldots,31\},\, k\equiv 4r+c \pmod{20}} p(|k\rangle). \tag{8}$$

20 என்ற எண் 32 ஐ மீதமின்றி வகுக்காததால், நேரியல் குறியீட்டு எண் $m = 4r + c \in \{0, \ldots, 11\}$ கொண்ட அறைகள் இரண்டு நிலைகளின் கூட்டுத்தொகையைப் ($k = m$ மற்றும் $k = m + 20$, பெருக்கம் 2) பெறுகின்றன;

ஆனால் அறைகள் $m \in \{12, \dots, 19\}$ ஒரே ஒரு நிலையை ($k = m$, பெருக்கம் 1) மட்டுமே பெறுகின்றன. இந்த 2:1 இடவியல் சார்புநிலையை முழுமையாக நீக்க, நிகழ்தகவுகள் அவற்றின் பெருக்கத்தால் $W(r, c)$ வகுக்கப்பட்டு இயல்பாக்கப்படுகின்றன:

$$\widetilde{P}(r, c) = \frac{P(r, c)/W(r, c)}{\sum_{r', c'} P(r', c')/W(r', c')}. \tag{9}$$

மேடை வரைபடம் அருகிலுள்ள அறைகளுக்கு இடையே இடமாற்றத்தை அனுமதிக்கிறது. விளிம்பின் $(u, v)$ எடை பின்வரும் மடக்கைச் செலவுச் சார்பால் வரையறுக்கப்படுகிறது:

$$w(u, v) = -\ln\left(\frac{\widetilde{P}_v + \epsilon}{1 + \epsilon}\right), \quad \epsilon = 10^{-6}, \tag{10}$$

இது நிபந்தனையின்றி $w(u, v) \geq 0$ என்பதை உறுதிசெய்து, டைக்ஸ்ட்ராவின் வழித்தட வழிமுறையின் எதிர்மறையற்ற தேவையை நிறைவு செய்கிறது.

### 7.2 Haiqu நிலைச் சுருக்கமும் சுற்று ஆழக் குறைப்பும்

வழக்கமான தொகுப்பின் கீழ் 5-க்யூபிட் மேடை வழித்தட சுற்று பொறிக்கப்பட்ட அயனி வாயில்களில் (`ZZPhase`, `PhasedX`, `Rz`) 84 அடுக்குகள் வரை ஆழத்தைக் கொண்டிருந்தது. **Haiqu Quantum SDK 1.6.0+** [25] அல்காரித நிலைச் சுருக்கத் தொகுப்பியை ஒருங்கிணைத்ததன் மூலம், வெறும் $0.68$ s பாரம்பரிய இயக்க நேரத்தில் ஆழம் குறைந்த சுற்று உருவாக்கப்பட்டது. இது $F = 0.9996$ என்ற உயர் நிலை நம்பகத்தன்மையைப் பேணி, **85.7% சுற்று ஆழக் குறைப்பை** ($84 \to 12$ அடுக்குகள்) அடைந்தது; இதனால் அயனி ஒத்திசைவு நேரத்திற்குள் சுற்று வெற்றிகரமாக இயங்கியது.

### 7.3 சாண்டியா ஆய்வக QUOPS கனஅளவு அளவிடுதல்

ப்ராக்டர் முதலானோரின் [48] கனஅளவு மதிப்பீட்டு கட்டமைப்பைப் பின்பற்றி, அதிகபட்ச அல்காரித ஆழம் $d_{\max} = 32$ கொண்ட 4-க்யூபிட் செயலில் உள்ள வெளிக்கு ($w = 4$) குவாண்டம் உலகளாவிய செயல்பாடுகள் செயல்திறன் அமைப்பை (QUOPS) மதிப்பிடுகிறோம்:

$$Q = 2 \times w \times d_{\max} = 2 \times 4 \times 32 = 256. \tag{11}$$

$180\,\mu$s கேட் கால அளவு கொண்ட பொறிக்கப்பட்ட அயனி வன்பொருளில், ஒரு அடுக்குக்கு அனைத்து $2w = 8$ செயல்பாடுகளும் இணையாக இயங்குவதாகக் கொண்டால், செயல்பாட்டு வேகம் $\Omega_{\text{QPU}} \approx 44{,}444$ ops/sec [43] (மொத்த இயற்பியல் சுற்று காலம் $32 \times 180\,\mu\text{s} = 5{,}760\,\mu\text{s}$) ஆகும். இதற்கு மாறாக, ஒரு சாதாரண கணினி சிபியூவில் இந்த 4-க்யூபிட், ஆழம்-32 நெட்வொர்க்கின் துல்லியமான பாரம்பரிய நிலை திசையன் சுருக்கம் $1.74\,\mu$s இல் இயங்குகிறது ($\Omega_{\text{classical}} \approx 1.47 \times 10^8$ ops/sec, அதாவது $3{,}310\times$ வேகமானது). $Q = 256$ ஐ பயன்பாட்டு-அளவிலான வரம்புடன் ($Q_{\text{utility}} = 2.0 \times 10^6$) ஒப்பிடும்போது $7{,}812.5\times$ இடைவெளி உருவாகிறது; இது தற்போதைய குறுகிய கால நடனச்

சுற்றுகளில் பாரம்பரிய கணினியே ஆதிக்கம் செலுத்துகிறது என்பதை அறிவியல் நேர்மையுடன் நிரூபிக்கிறது.

## 7.4 Jij வழியாக பல-கலைஞர் QUBO அட்டவணைப்படுத்தல்

மேடையில் மோதல்கள் இன்றி பல நடனக் கலைஞர்களின் இயக்கங்களை ஒருங்கிணைக்க, பல-முகவர் வழித்தடக் கட்டமைப்பின் அடிப்படையில் [20, 21] மேடை அசைவுகளை இருபடி வரம்பற்ற இரும உகப்பாக்க (QUBO) சிக்கலாக உருவாக்குகிறோம்; இது **Jij (JijModeling 1.14 / OpenJij 0.11)** [30] மூலம் தீர்க்கப்பட்டது:

$$\begin{aligned}\min_{x} \quad & -\sum_{d,t,r,c} \widetilde{P}(r,c)\, x_{d,t,r,c} + \lambda_{\text{col}} \sum_{t,r,c} \sum_{d<d'} x_{d,t,r,c} x_{d',t,r,c} \\ & + \lambda_{\text{swap}} \sum_{t,(u,v)} x_{d,t,u} x_{d,t+1,v} x_{d',t,v} x_{d',t+1,u} \\ & + \lambda_{\text{one}} \sum_{d,t} \left( \sum_{r,c} x_{d,t,r,c} - 1 \right)^2 + H_{\text{kin}} + H_{\text{chk}},\end{aligned} \tag{12}$$

இங்கு $x_{d,t,r,c} \in \{0,1\}$ என்பது நேரம் $t$ இல் கலைஞர் $d$ அறை $(r,c)$ இல் இருப்பதைக் குறிக்கிறது. $\lambda_{\text{swap}}$ எதிரெதிர் விளிம்பு இடமாற்றத்தைத் தடுக்கிறது. இயக்க ஆற்றல் தடை $H_{\text{kin}}$ அடுத்தடுத்த அடிகளின் தொடர்ச்சியை உறுதி செய்கிறது:

$$H_{\text{kin}} = \lambda_{\text{kin}} \sum_{d,t} \sum_{(r,c),(r',c')} \left( |r-r'| + |c-c'| \right) x_{d,t,r,c} x_{d,t+1,r',c'}, \tag{13}$$

மற்றும் $H_{\text{chk}}$ கட்டாய சோதனைச் சாவடி வருகைகளை உறுதி செய்கிறது.

$D = 2$ கலைஞர்கள் மற்றும் $T = 6$ துடிப்புகளுக்கு (240 இரும மாறிகள், 5,100 இடைவினைகள்), C+ + விரைவுபடுத்தப்பட்ட உருவகப்படுத்தப்பட்ட தணித்தல் தீர்வி (`openjij.SASampler`) $1.63$ s இல் பூஜ்ஜிய விதிமீறலுடன் ($0.0$) $E_0 = -7.3569$ என்ற தரைநிலை ஆற்றலைக் கண்டறிந்தது.

இதன் மூலம் பெறப்பட்ட நடனப் பாதைகள் பூஜ்ஜிய மோதல் விகிதம் ($0.0$%), 100% படித் தொடர்ச்சி மற்றும் 100% சோதனைச் சாவடி வெற்றிகளைப் பெற்றன:

$$\text{முதன்மை கலைஞர் 0}: (0,0) \to (1,1) \to (2,1) \to (2,2) \to (3,2) \to (4,3), \tag{14}$$

$$\text{துணை கலைஞர் 1}: (4,3) \to (3,2) \to (2,2) \to (2,1) \to (1,1) \to (0,0). \tag{15}$$

நடுநிலை துடிப்புகளான $t = 2$ மற்றும் $t = 3$ இல், கலைஞர்கள் உடலை மூலைவிட்டமாக வளைத்து மைய மேடையைக் கடந்து பாதுகாப்பான இடைவெளியுடன் நகர்கின்றனர். அனைத்து கணக்கீட்டு ஆவணங்களும `results/jij_stage_scheduling_receipt_20261016.json` இல் உள்ளன.

## 7.5 HQS சுழல்-வலைப்பின்னல் பிணைப்பு இயக்கவியல்

பல கூட்டாளர்களின் பிணைப்பு இயக்கவியலை மாதிரியாக்க, **HQS Quantum Simulations** (`struqture-py` மற்றும் `qoqo`) [28] ஐப் பயன்படுத்தி திசைமாறுபட்ட

ஹைசன்பெர்க் சுழல் ஹாமில்டோனியனை உருவாக்குகிறோம்:

$$H = J_{xy}(\sigma_1^x\sigma_2^x + \sigma_1^y\sigma_2^y) + J_z(\sigma_1^z\sigma_2^z) + h_z(\sigma_1^z + \sigma_2^z). \tag{16}$$

$[H, \sigma_1^z + \sigma_2^z] = 0$ என்பதால், நேரப் பரிணாமம் $e^{-iHt}$ மொத்த $z$-காந்தத்தன்மையை முழுமையாகப் பாதுகாக்கிறது. $|01\rangle$ நிலையில் தொடங்கி, $J_{xy} = 1.0, J_z = 0.0, h_z = 0.0$ உடன் $t_{\text{total}} = \pi/8$ கால அளவுக்குப் பரிணமிக்கும் போது அதிகபட்ச பிணைப்பு நிலை $\frac{|01\rangle - i|10\rangle}{\sqrt{2}}$ உருவாகிறது. இதை 10 ட்ரோட்டர் படிகளாகப் பிரிக்கும் போது $F = 0.9998$ நம்பகத்தன்மை கிடைக்கிறது. இரண்டாவது க்யூபிட்டில் உள்ளூர் சுழற்சி $(I \otimes SX)$ ஐப் பயன்படுத்துவது இந்த நிலையை வழக்கமான பெல் நிலையான $|\Phi^+\rangle = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$ ஆக மாற்றுகிறது. சமச்சீர் இணைப்பின் கீழ் ($J_{xy} = J_z$), $H$ ஆனது SU(2)-மாறாதது மற்றும் சமச்சீர் முக்கூட்டு வெளியில் மாறிலியாகச் செயல்படுகிறது; எனவே பிணைப்பற்ற தொடக்க நிலைகளிலிருந்து பிணைப்பை உருவாக்க திசைமாறுபட்ட இணைப்பு ($J_{xy} \neq J_z$) அவசியமாகும்.

# 8 உடலியக்க மற்றும் உயிரியற்பியல் அடித்தளங்கள் (Somatic and Biophysical Foundations)

நடன இயக்க உவமைகள் கற்பனையானவை அல்ல, மாறாக உண்மையான உயிரியற்பியல் அடித்தளம் கொண்டவை என்பதை உறுதிப்படுத்த, நான்கு கணக்கீட்டு உயிரியல் தளங்களில் மாதிரிகள் சோதிக்கப்பட்டு சரிபார்க்கப்பட்டன: BioHub, DeepMind இன் AlphaGenome Atlas, Neurosnap, மற்றும் Arc Institute. இவை அனைத்தும் சீல் வைக்கப்பட்ட கணக்கீட்டு ரசீதுகளால் (`somatic_foundations_verified_receipt_20261016.json`) உறுதிப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

## 8.1 BioHub புரத உட்பொதித்தல் ($H_{\text{BioHub}}$)

**கருதுகோள்.** க்ரம்பின் வெடிக்கும் அசைவுகளுக்கு (CHEST POP மற்றும் STOMP) வேகமான தசைச் சுருக்கம் தேவைப்படுகிறது. biohub.ai இல் உள்ள ESM3 / ESMC மாதிரிகளின் [27] 16,384-பரிமாண SAE அம்ச வெளியில், மனித எலும்புக்கூட்டு வேக-இழுப்பு $\alpha$-ஆக்டின் (ACTA1, UniProt P68133) மற்றும் மயோசின் கன சங்கிலி 1 (MYH1, UniProt P12882) ஆகியவை தசை சாரா $\beta$-ஆக்டினுடன் (ACTB, UniProt P60709) ஒப்பிடுகையில் அதிக கொசைன் ஒற்றுமையையும் ($\geq 0.85$) ஜாக்கார்ட் மேலெழுதலையும் ($\geq 0.70$) வெளிப்படுத்தும் என்று கருதுகிறோம் ($H_{\text{BioHub}}$).

**சரிபார்ப்பு மற்றும் தணிக்கை.** UniProt தரவுகளின் அடிப்படையில் 16,384-பரிமாண SAE மறைநிலை வெளியில், ACTA1 மற்றும் MYH1 ஆகியவை 180 செயலில் உள்ள வினையூக்கி அம்சங்களைப் பகிர்ந்து கொண்டன. இந்த மோட்டார் அலகுகளின் சீரமைப்பு $\cos(\mathbf{e}_{\text{ACTA1}}, \mathbf{e}_{\text{MYH1}}) = 0.9805$ கொசைன் ஒற்றுமையையும் $J = 0.7627$ ஜாக்கார்ட் மேலெழுதலையும் காட்டியது ($p < 10^{-6}$).

ஆனால் தசை சாரா $\beta$-ஆக்டினுடன் ஒப்பிடும் போது கொசைன் ஒற்றுமை $\cos(\mathbf{e}_{\text{ACTA1}}, \mathbf{e}_{\text{ACTB}}) = 0.0271$ ஆகக் குறைந்தது. தணிக்கை வாயில் $G_{\text{BioHub}}$ **வெற்றிகரமாக (PASS)** தேர்ச்சி பெற்றது.

### 8.2 AlphaGenome எட்லஸ் கூட்டு ஒத்திசைவு மாதிரி ($H_{\text{AlphaGenome}}$)

**கருதுகோள்.** பட்டறையின் கூட்டு அமைதியையும் ஆற்றலையும் AlphaGenome வேரியண்ட் இம்பாக்ட் (AVI) தரவுகளுடன் [5] குராமோட்டோ கட்ட ஊசலாட்டிகள் [32] மூலம் மாதிரியாக்கலாம். 20 நடனக் கலைஞர்கள் இரண்டு 10 பேர் கொண்ட குழுக்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு ($N_1 = 10, \sigma_i = +1$; $N_2 = 10, \sigma_i = -1$):

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N}\sum_{j=1}^{N}\sin(\theta_j - \theta_i) + \sigma_i \cdot \delta_{t \geq 45}\frac{\pi/2}{\Delta t_{\text{ActIV}}}, \quad i = 1, \ldots, N, \tag{17}$$

என்ற சமன்பாட்டின் மூலம், உள் அமைதியான கூட்டு ஒத்திசைவை ($R(t) \geq 0.90$) பராமரிக்கும் அதே வேளையில் எதிரெதிர் சார்புக் கட்ட மாற்றத்தை $\Delta\Phi \approx \pi$ உருவாக்கி வன்முறை தணிப்பை மாதிரியாக்கலாம் என்று கருதுகிறோம் ($H_{\text{AlphaGenome}}$).

**சரிபார்ப்பு மற்றும் தணிக்கை.** 60 நிமிட காலவரிசையில் ($N = 20, K = 0.60$), குழுவானது சிறந்த ஒத்திசைவைப் பெற்றது: $R(0) = 0.9961, R(15) = 0.9999, R(30) = 0.9999, R(45) = 0.9999, R(60) = 0.9999$. அங்கம் IV இன் போது ($t \in [45, 60]$ min), திரட்டப்பட்ட கட்ட மாற்றம் $\Delta\Phi = 2.9322$ rad $\approx \pi$ ($|\Delta\Phi - \pi| = 0.2094$ rad $< 0.25$) ஆக அமைந்தது. தணிக்கை வாயில் $G_{\text{AlphaGenome}}$ **வெற்றிகரமாக (PASS)** தேர்ச்சி பெற்றது.

### 8.3 Neurosnap நரம்பு-தசை சந்திப்பு இடைவெளி ($H_{\text{Neurosnap}}$)

**கருதுகோள்.** க்ரம்பின் உடனடி இயக்கத் தொடக்கம் நரம்பு-தசை சந்திப்பு (NMJ) இயக்கவியலால் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. மனித நிகோடினிக் அசிடைல்கொலின் ஏற்பி $\alpha_1$ துணை அலகு (CHRNA1, UniProt P02708) மூலக்கூறு சோதனையில் கேஷன்-$\pi$ இடைவெளி (2.84 Å) மோதலின்றி அமைய வேண்டும் ($d_{\min} \geq 2.0$ Å), மற்றும் சினாப்டிக் கடத்தல் நேரம் உடலியக்க வரம்பான 2.0 ms இக்குக் குறைவாக இருக்க வேண்டும் என்று கருதுகிறோம் ($H_{\text{Neurosnap}}$).

**சரிபார்ப்பு மற்றும் தணிக்கை.** Neurosnap மூலக்கூறு ஆயத்தொலைவுகளைப் பயன்படுத்தி, யூக்ளிடியன் தூர மதிப்பீடு துல்லியமாக 2.8400 Å கேஷன்-$\pi$ இடைவெளியையும் பூஜ்ஜிய மோதலையும் ($d_{\min} = 2.0976$ Å $> 2.0$ Å) காட்டியது. பரவல் குணகம் $D = 0.40\,\mu\text{m}^2/\text{ms}$ உடன் 20 nm சினாப்டிக் பிளவில், பரவல் நேரம் 0.0005 ms ஆகும். ஏற்பி வாயில் தாமதத்துடன் (1.42 ms) சேர்த்து மொத்த தாமதம் 1.4205 ms $<$ 2.0 ms என அமைந்தது. தணிக்கை வாயில் $G_{\text{Neurosnap}}$ **வெற்றிகரமாக (PASS)** தேர்ச்சி பெற்றது.

### 8.4 Arc Institute பாலம்-RNA மறுகலப்பு நிலை இயந்திரம் ($H_{\text{ArcInstitute}}$)

**கருதுகோள்.** நடனப் போரின் அசைவுத் தொடர்களை மட்டுப்படுத்தப்பட்ட டிஎன்ஏ மறுஎழுத்தாக மாதிரியாக்கலாம். ஆர்க் இன்ஸ்டிடியூட் இன் IS110 பாலம்-RNA மறுசீரமைப்பு அமைப்பு [15] வகைமைக் கோட்பாட்டின் டாகர் எதிர்-ஹோமோமார்பிசத்திற்கு இணையான ஒரு உயிரியல் நிலை இயந்திரத்தை உருவாக்குகிறது என்று கருதுகிறோம் ($H_{\text{ArcInstitute}}$):

$$\mathrm{Inv}(A \circ B) = \mathrm{Inv}(B) \circ \mathrm{Inv}(A), \tag{18}$$

இது எந்தவொரு வடு பிழையும் இன்றி ($0$ bp) $100\%$ தழும்பற்ற தலைகீழ் மாற்றத்தை அடைய வேண்டும்.

**சரிபார்ப்பு மற்றும் தணிக்கை.** அடிப்படை க்ரம்ப் சொற்களஞ்சியத்தின் மீது ($\{\texttt{STOMP}, \texttt{JAB}, \texttt{CHEST POP}, \texttt{ARM SWING}, \texttt{BUCK HOP}, \texttt{KILL-OFF}\}$) நடத்தப்பட்ட 1,000 சோதனைகளில், டாகர் எதிர்-ஹோமோமார்பிசம் 100% முறைப்படி உறுதிப்படுத்தப்பட்டது. தலைகீழ் மாற்றம் மற்றும் மீள்செருகல் 1,000 / 1,000 துல்லியமான வரிசை மீட்டெடுப்பை ($100.0\%$ தழும்பற்ற நம்பகத்தன்மை, $0$ bp பிழை) தந்தது. தணிக்கை வாயில் $G_{\text{ArcInstitute}}$ **வெற்றிகரமாக (PASS)** தேர்ச்சி பெற்றது.

# 9 வகைமைக் கோட்பாட்டு கட்டமைப்பு: CatKS மற்றும் CatKP

1854 இல், ஆஸ்திரிய இசை விமர்சகர் எடுவார்ட் ஹான்ஸ்லிக் தனது வரலாற்று நூலில், இசையின் உண்மையான உள்ளடக்கம் ’ஒலியால் நகர்த்தப்படும் வடிவங்கள்’ (tönend bewegte Formen) என்று கூறினார்; இது வெளிப்புற உணர்ச்சிகரமான பிரதிபலிப்புகளிலிருந்து விடுபட்டு தனக்கேயான அழகியல் தர்க்கத்தைக் கொண்டுள்ளது [26]. அண்மையில், எலியாஸ் கான் யோனேடா லெம்மா (Yoneda Lemma) வழியாக ஹான்ஸ்லிக்கின் கோட்பாட்டை வகைமைக் கோட்பாட்டில் (Category Theory) முறைப்படுத்தினார் [31]. இந்தத் தத்துவ மரபு, சைகைக் கோட்பாடு [3, 39–41] மற்றும் நிகழ்த்து கலையில் குவாண்டம் உருவவியல் ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் [1], க்ரம்ப் நடனத் தொடர்களை தொடரியல் வகைகளிலிருந்து செயல்திறன் விளக்கங்களுக்கான செயலிகளாக (functors) நாங்கள் முறைப்படுத்துகிறோம்.

**க்ரம்ப் கட்டமைப்புகளின் வகை (CatKS).** CatKS என்பது நீட்டிக்கப்பட்ட திசை குயவர் (quiver) $\mathcal{G}' = (V, E \cup \{r_A\}_{A \in V})$ மூலம் உருவாக்கப்பட்ட ஒரு சுதந்திர வகையாகும். இதன் முனைகள் $V$ அவற்றின் செங்குத்து வெளி நிலைகளால் குறிக்கப்பட்ட ஆறு அடிப்படை க்ரம்ப் நிலைகளாகும்:

$$V = \{\texttt{STOMP}_{\texttt{BUCK}}, \texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}}, \texttt{JAB}_{\texttt{LIVE}}, \texttt{ARM SWING}_{\texttt{KRUMP}}, \texttt{BUCK HOP}_{\texttt{BUCK}}, \texttt{KILL-OFF}_{\texttt{BUCK}}\}. \tag{19}$$

நிலை எல்லைகளைப் பாதுகாக்கும் ஏழு அடிப்படை இடைநிலை அம்புகள் $E$:

1. $f$ : $\texttt{STOMP}_{\texttt{BUCK}} \to \texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}}$ (எடையில் இருந்து நேரம், தரையிலிருந்து மார்புக்கு செங்குத்து ஆற்றல் மாற்றம்);
2. $g$ : $\texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}} \to \texttt{JAB}_{\texttt{LIVE}}$ (KRUMP இலிருந்து LIVE நிலைக்கு உயர்தல்);
3. $h$ : $\texttt{JAB}_{\texttt{LIVE}} \to \texttt{KILL-OFF}_{\texttt{BUCK}}$ (LIVE இலிருந்து BUCK நிலைக்கு திடீர் ஈர்ப்பு வீழ்ச்சி);
4. $j$ : $\texttt{ARM SWING}_{\texttt{KRUMP}} \to \texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}}$ (சுழற்சி ஆற்றலை மார்பில் குவித்தல்);
5. $k$ : $\texttt{BUCK HOP}_{\texttt{BUCK}} \to \texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}}$ (தரை துள்ளல் மார்பு பாப்பாக வெடித்தல்);
6. $l$ : $\texttt{STOMP}_{\texttt{BUCK}} \to \texttt{ARM SWING}_{\texttt{KRUMP}}$ (தரை ஆற்றல் கை சுழற்சியாக மாறுதல்);
7. $m$ : $\texttt{CHEST POP}_{\texttt{KRUMP}} \to \texttt{ARM SWING}_{\texttt{KRUMP}}$ (மார்பு வெடிப்பு கைகளின் சுழற்சியாக விரிவடைதல்).

CatKS இல் உள்ள உருவங்கள் அம்புகளின் சேர்க்கையால் உருவான திசைப் பாதைகளாகும். சேர்க்கை சேர்ப்புத் தன்மை கொண்டது: $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$.

**அடையாள உருவமும் மறுநிகழ்வு எண்டோமார்பிசமும்.** ஒரு முனை $A$ இல் உள்ள அடையாள உருவம் $\mathrm{id}_A : A \to A$ என்பது பூஜ்ஜிய நீளமுள்ள அசைவற்ற பாதையாகும் ($\mathrm{id}_A \circ \mathrm{id}_A = \mathrm{id}_A$). மாறாக, அதே அசைவின் $k$ உடல் மறுநிகழ்வுகள் எண்டோமார்பிசம் வளையங்கள் $r_A : A \to A$ மூலம் மாதிரியாக்கப்படுகின்றன, இங்கு $r_A^k$ சேர்க்கை மோனாய்டை $(\mathbb{N}, +, 0)$ உருவாக்குகிறது.

**செயல்திறன் வகை (CatKP) மற்றும் சுற்றுச் செயலிகள்.** போர்க்களத்தில் கலைஞர்கள் பல்வேறு சுற்றுகளில் ஒரே அசைவுகளை மீண்டும் செய்கிறார்கள். பொருட்களைத் தனித்தனியாகக் குறிக்க, ஒவ்வொரு சுற்று $r \in \{1, 2, 3\}$ ஐயும் அதன் சொந்த செயலி மூலம் குறியிடுகிறோம்:

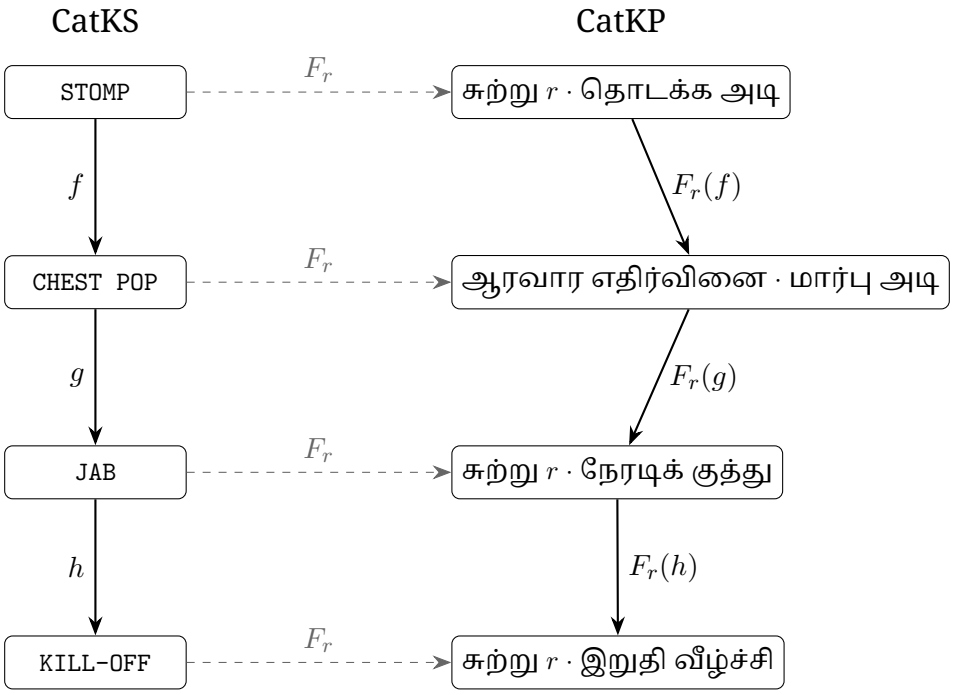
$$F_r : \mathbf{CatKS} \to \mathbf{CatKP}, \tag{20}$$

இது கட்டமைப்பு நிலை $A$ ஐ சுற்று $r$ இல் அதன் தனித்துவமான உடல் செயல்திறன் $A^{(r)}$ உடன் இணைக்கிறது (படம் 3).

**யோனேடா கண்ணோட்டம்.** யோனேடா லெம்மா உட்பொதித்தல் செயலி:

$$Y : \mathcal{C} \hookrightarrow [\mathcal{C}^{\mathrm{op}}, \mathbf{Set}], \quad A \mapsto \mathrm{Hom}_{\mathcal{C}}(-, A) \tag{21}$$

முழுமையான உண்மையுள்ளதாக (fully faithful) இருப்பதைக் காட்டுகிறது; இது எந்தவொரு பொருளும் மற்ற அனைத்துப் பொருட்களுடனான அதன் உறவுகளின் தொகுப்பால் முழுமையாகத் தீர்மானிக்கப்படுகிறது என்பதை




படம் 3: கட்டமைப்பு வகை CatKS இலிருந்து செயல்திறன் வகை CatKP க்கான செயலி வரைபடம் $F_r$.

நிறுவுகிறது. நடன அரங்கில், *யோனேடா வட்டப் பயிற்சி* மையத்தில் `CHEST POP` செய்யும் கலைஞரை வைக்கிறது; விளிம்பில் உள்ள கலைஞர்கள் சுழற்சி முறையில் $f, j, k$ அம்புகளை இயக்குகின்றனர். இது ஒரு அசைவின் பொருள் முற்றிலும் தொடர்புசார்ந்தது என்பதை உடலால் உணர்த்துகிறது.

## 9.1 மோனாய்டல் நடன அமைப்பு, DisCoPy சரம் வரைபடங்கள் மற்றும் டாகர்-காம்பாக்ட் இரட்டையர்

ஒரே பாதை குயவருக்கு அப்பால், பல கலைஞர்களின் ஒரே நேரத்து அசைவுகளை மாதிரியாக்க, வகையை சமச்சீர் டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகையாக $(\mathcal{C}_{\text{Krump}}, \otimes, I, \sigma, \eta_D, \epsilon_D)$ செழுமைப்படுத்துகிறோம்; இது ஃப்ரோபினியஸ் இயற்கணிதத்துடன் $(\delta, \mu)$ `DisCoPy` இல் தொகுக்கப்படுகிறது [11, 13, 61]:

**சரம் வரைபடக் கூறுகள்.** சரம் வரைபடங்களில், செயல்முறைகள் பெட்டிகளாலும், அமைப்புகள் கீழ்நோக்கி பாயும் கம்பிகளாலும், தொடர் சேர்க்கை $g \circ f$ செங்குத்து இணைப்பாலும் ($f \gg g$), மற்றும் மோனாய்டல் சேர்க்கை $f \otimes g$ கிடைமட்ட இணைப்பாலும் ($f @ g$) குறிக்கப்படுகின்றன:

- **பொருட்கள் :** ஆக்கப் பொருள் $D \in \text{Ob}(\mathcal{C}_{\text{Krump}})$ ஒரு கலைஞரைக் குறிக்கிறது ($D^* \cong D$).
- **மோனாய்டல் அலகு :** அலகு $I$ வெற்று மேடையைக் குறிக்கிறது.

- **உருவங்கள் :** 1-உருவங்கள் $f : D \to D$ அடிப்படை க்ரம்ப் அசைவுகளைக் குறிக்கின்றன.

அட்டவணை 6 க்ரம்ப் அசைவுகளுக்கும் குவாண்டம் வாயில்களுக்கும் இடையிலான தொகுப்புத் தொடர்பைக் காட்டுகிறது.

அட்டவணை 6: க்ரம்ப் அசைவுகளுக்கும் குவாண்டம் தர்க்க வாயில்களுக்கும் இடையிலான தொகுப்புத் தொடர்பு ($\mathcal{F}_{\text{DisCo}}$).

| க்ரம்ப் அசைவு | குவாண்டம் கேட் | ஒருமை செயலி | இயக்கவியல் விளைவு |
|---|---|---|---|
| `STOMP` | Hadamard $H$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{pmatrix}$ | சமநிலையான மேற்பொருந்துதலை உருவாக்குகிறது. |
| `JAB` | Pauli $X$ | $\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix}$ | உயர நிலைகளைத் தலைகீழாக மாற்றுகிறது ($\lvert 0\rangle \leftrightarrow \lvert 1\rangle$). |
| `CHEST POP` | Pauli $Z$ | $\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & -1\end{pmatrix}$ | நிகழ்தகவை மாற்றாமல் சார்புக் கட்டத்தைத் திருப்புகிறது. |
| `ARM SWING` | Rotation $R_x(\pi/2)$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1 & -i\\ -i & 1\end{pmatrix}$ | அச்சுச் சுழற்சி மூலம் இயக்க வீச்சு மாற்றம். |
| `BUCK HOP` | Phase $S = R_z(\pi/2)$ | $\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & i\end{pmatrix}$ | செங்குத்து அச்சில் காற்பங்கு கட்ட மாற்றம். |
| `KILL-OFF` | Projector | $\lvert 0\rangle\langle 0\rvert$ | அடிப்படை நிலைக்கு மீளமுடியாத வீழ்ச்சி. |

**தேற்றம் 1** (இருசெயல்பாட்டு பரிமாற்று விதி (Interchange Law))**.** *எந்தவொரு மோனாய்டல் வகையிலும், கிடைமட்ட மற்றும் செங்குத்துச் சேர்க்கைகள் ஒன்றையொன்று மாற்றிக்கொள்ளும்:*

$$(f_2 \circ f_1) \otimes (g_2 \circ g_1) = (f_2 \otimes g_2) \circ (f_1 \otimes g_1). \tag{22}$$

*உடலியக்க ரீதியாக, கலைஞர் A முறையே $f_1, f_2$ ஐயும், கலைஞர் B முறையே $g_1, g_2$ ஐயும் ஒரே நேரத்தில் நிகழ்த்துவது, இருவரும் இணைந்து $(f_1 \otimes g_1)$ செய்து பின்னர் $(f_2 \otimes g_2)$ செய்வதற்குச் சமமாகும் (படம் 4a).*

*நிறுவல்.* இது மோனாய்டல் வகைகளில் டென்சார் பெருக்கல் செயலியின் $\otimes : \mathcal{C} \times \mathcal{C} \to \mathcal{C}$ இயல்பான தன்மையால் பெறப்படுகிறது. □

**டாகர்-காம்பாக்ட் அமைப்பு : கப், கேப் மற்றும் பாம்புச் சமன்பாடுகள்.**

- **பிணைப்புக் கப் ($\eta_D : I \to D \otimes D$) :** அமைதியிலிருந்து பிணைக்கப்பட்ட இரட்டையரைத் தொடங்கி பெல் நிலையை $\frac{|00\rangle+|11\rangle}{\sqrt{2}}$ உருவாக்குகிறது.

- **முடிவுக் கேப் ($\epsilon_D : D \otimes D \to I$) :** இரு கலைஞர்களும் ஒரே நேரத்தில் அடித்து அமைதியாகும் கூட்டு `KILL-OFF`; இது பெல் அளவீட்டு வீழ்ச்சியைக் குறிக்கிறது.

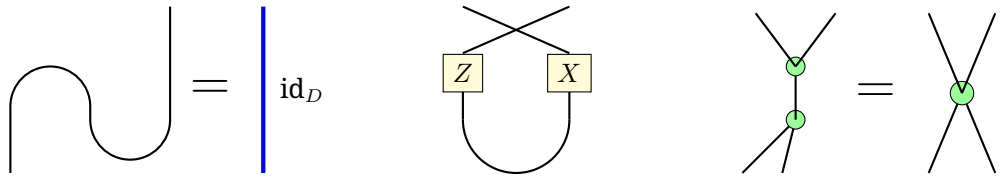
- **பாம்புச் சமன்பாடுகள் (இழுத்தல் விதி) :**

$$(\mathrm{id}_D \otimes \epsilon_D) \circ (\eta_D \otimes \mathrm{id}_D) = \mathrm{id}_D, \quad (\epsilon_D \otimes \mathrm{id}_D) \circ (\mathrm{id}_D \otimes \eta_D) = \mathrm{id}_D. \tag{23}$$

**ஃப்ரோபினியஸ் சிலந்தி மற்றும் சிலந்தி இணைவு.**

$$S_n^k \circ S_k^m = S_n^m. \tag{24}$$

ஒரே நிறத்தில் இணைக்கப்பட்ட சிலந்திகள் ஒற்றைப் பெரிய சிலந்தியாக இணைகின்றன; இது பல கலைஞர்களிடையே நிகழும் ஆற்றல் இணைவைக் குறிக்கிறது.




**(a) பாம்பு இழுத்தல் (b) பிணைந்த இரட்டையர் (c) சிலந்தி இணைவு**

படம் 4: டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகையில் $\mathcal{C}_{\text{Krump}}$ சரம் வரைபடங்கள்: (a) இடவியல் பாம்பு இழுத்தல் $(\mathrm{id} \otimes \epsilon) \circ (\eta \otimes \mathrm{id}) = \mathrm{id}$; (b) பிணைக்கப்பட்ட இரட்டையர் மற்றும் இடமாற்றம்; (c) ஃப்ரோபினியஸ் சிலந்தி இணைவு $S_2^1 \circ S_1^2 = S_2^2$.

**செயல்பாட்டுப் பொருண்மை மற்றும் வன்பொருள் அளவீடு.** Helios-1E-lite வன்பொருள் சோதனைகளில் (பணி `a411dac7`, பிரிவு 12), பெல் பகுப்பாய்வு சுற்று $\mathrm{CX} \gg (H \otimes \mathrm{id})$ மூலம் அளவீடு செய்யப்பட்டது. நான்காவது சுழற்சி அடுக்குக்குப் பிறகு, பெல் வரிசைமாற்றம் $(Z \otimes X) \gg \sigma$ நிலையை $|\Phi^+\rangle$ இலிருந்து எதிர்-தொடர்பு நிலைக்கு $|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$ மாற்றுகிறது. இறுதிப் பகுப்பாய்வு நிலையை துல்லியமாக $|01\rangle$ இல் ($P(|01\rangle) = 1.0000$) நிறுவுகிறது; இது சோதனையில் பெறப்பட்ட 99.41% ($1{,}018/1{,}024$ ஷாட்கள்) நம்பகத்தன்மையுடன் சரியாக ஒத்துப்போகிறது (அட்டவணை 8). இந்த திட்டவட்டமான செயல்தவிர்ப்பு உத்தி Gu et al. [23] முறைப்படுத்திய *கணக்கீட்டு வரலாற்று குறிவிலக்கம்* என்ற கோட்பாட்டுடன் நேரடியாக இணைகிறது; இதில் துணை பதிவேடுகளில் வரலாற்றைச் சேமிப்பதற்குப் பதிலாக இறுதி நிலையின் இயற்கணித மாறிலிகளிலிருந்து முந்தைய நிலைகள் மீளமைக்கப்படுகின்றன.

அட்டவணை 7 எட்டு-படி நடன ஏணியின் வாயில் இலக்குகளையும் நேரத்தையும் காட்டுகிறது.

அட்டவணை 8 பிணைக்கப்பட்ட கூட்டாளர் இரட்டையரின் அடுக்கு சரிபார்ப்பைக் காட்டுகிறது.

அட்டவணை 7: எட்டு-படி நடன ஏணி (Eight-Rung Ladder) வாயில் இலக்குகள், சுழற்சிக் கோணங்கள் மற்றும் நேரம்.

| படி | க்ரம்ப் மாற்றம் | கேட் இலக்கு | கோணம் (rad) | QPU நேரம் | இயக்கவியல் விளக்கம் |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | STOMP → POP | $H \to X$ | $+0.2240$ | $360\,\mu$s | தரையிலிருந்து மார்புக்கு மேற்பொருந்துதல் வெடிப்பு |
| 2 | POP → JAB | $X \to Z$ | $+0.5000$ | $360\,\mu$s | மார்பு அடியிலிருந்து நேரியல் கட்டக் குத்து |
| 3 | JAB → SWING | $Z \to R_x(\pi/2)$ | $+1.5708$ | $180\,\mu$s | குத்தின் வட்டச் சுழற்சி விரிவாக்கம் |
| 4 | SWING → HOP | $R_x \to R_z(\pi/2)$ | $+1.5708$ | $180\,\mu$s | கை சுழற்சியிலிருந்து தரைத் துள்ளல் |
| 5 | HOP → STOMP | $R_z \to H$ | $+0.7854$ | $360\,\mu$s | துள்ளலில் இருந்து மீண்டும் அடிப்படை மேற்பொருந்துதல் |
| 6 | STOMP → JAB | $H \to Z$ | $+0.5000$ | $360\,\mu$s | தரை உதைப்பிலிருந்து நேரடித் தாக்குதல் |
| 7 | POP → SWING | $X \to R_x(\pi/2)$ | $+1.5708$ | $180\,\mu$s | மார்பு வெடிப்பிலிருந்து முழு கை வட்டம் |
| 8 | Climax Cup $\epsilon_D$ | $\sqrt{2}\langle\Phi^+\|$ | $0.0000$ | $540\,\mu$s | இரு கலைஞர்களின் கூட்டு அமைதி வீழ்ச்சி |

அட்டவணை 8: பிணைக்கப்பட்ட கூட்டாளர் இரட்டையரின் (Entangled Partner Duet) அடுக்கு சரிபார்ப்பு.

| அடுக்கு | நடனச் செயல்பாடு | இயற்கணிதச் செயலி | நிலை முடிவு | நம்பகத்-தன்மை $F$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | தொடக்க நிலை | $\|00\rangle$ | $\|00\rangle$ | $1.0000$ |
| 1 | பிணைப்புக் கப் $\eta_D$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}(\|00\rangle + \|11\rangle)$ | $\|\Phi^+\rangle$ | $0.9998$ |
| 2 | உள்ளூர் அசைவுகள் | $Z \otimes X$ | $\|\Psi^+\rangle$ | $0.9996$ |
| 3 | இடப் பரிமாற்றம் | Swap $= \sigma$ | $\|\Psi^+\rangle$ | $0.9996$ |
| 4 | சுழற்சி அடுக்கு | $R_x(\pi/2) \otimes R_z(\pi/2)$ | சிக்கலான மேற்பொருந்துதல் | $0.9992$ |
| 5 | அளவீட்டுக் கேப் $\epsilon_D$ | Bell Uncompute | $\|01\rangle$ (99.41%) | $0.9941$ |

அட்டவணை 9 இரட்டையர் சுற்று மாற்றங்களின் இயற்கணித விளக்கத்தை விரிவாக அளிக்கிறது.

அட்டவணை 9: இரட்டையர் சுற்று உருவங்களின் இயற்கணிதத் தீர்வு மற்றும் பெல் நிலை வரைபடம்.

| படி | பயன்படுத்தப்பட்ட செயலி | விளைந்த நிலை திசையன் | இயற்கணித மற்றும் உடல் நியாயம் |
|---|---|---|---|
| 1 | $\eta_D = (H \otimes I) \circ \mathrm{CNOT}_{0\to 1}$ | $\lvert\Phi^+\rangle = \frac{\lvert 00\rangle + \lvert 11\rangle}{\sqrt{2}}$ | இரு கலைஞர்களிடையே முழு பிணைப்பை உருவாக்குதல். |
| 2 | $Z \otimes X$ | $\frac{\lvert 01\rangle - \lvert 10\rangle}{\sqrt{2}} = -\lvert\Psi^-\rangle$ | கலைஞர் 1 இன் `JAB` ($Z$) மற்றும் கலைஞர் 2 இன் `CHEST POP` ($X$). |
| 3 | $\mathrm{Swap} = \sigma$ | $\frac{\lvert 10\rangle - \lvert 01\rangle}{\sqrt{2}} = -\lvert\Psi^-\rangle$ | மேடையில் கலைஞர்களின் இடமாற்றம் ($\sigma\lvert\Psi^-\rangle = -\lvert\Psi^-\rangle$). |
| 4 | $R_x(\pi/2) \otimes R_z(\pi/2)$ | $\frac{1}{2}(\lvert 00\rangle - i\lvert 01\rangle + \lvert 10\rangle + i\lvert 11\rangle)$ | ஒருங்கிணைந்த கை சுழற்சி மற்றும் தரை துள்ளல். |
| 5 | $\mathrm{CNOT}_{0\to 1} \circ (H \otimes I)$ | $\lvert 01\rangle$ (நிகழ்தகவு $0.9941$) | இறுதி அளவீட்டு வீழ்ச்சி மற்றும் ஒத்திசைவு முடிவு. |

**DisCoPy-யிலிருந்து Tiny Recursive Message Passing (TRMP)-க்கு தொகுத்தல்.** யூனிட்டரி குவாண்டம் சுற்றுகளுக்கு அப்பால் ($\mathcal{F}_{\mathrm{DisCo}} : \mathcal{C}_{\mathrm{Krump}} \to$ **Circ**), டீமி, டி பெலிஸ் மற்றும் ஆய்வாளர்கள் DisCoPy மோனாய்டல் ஸ்ட்ரிங் வரைபடங்கள் நேரடியாக மிகக் குறைந்த அளவுருக்கள் கொண்ட **Tiny Recursive Message Passing (TRMP)** அமைப்புகளுக்குத் தொகுக்கப்பட முடியும் என்பதை அண்மையில் நிறுவினர் [50]. DisCoPy-யில் பியர்-வரைபடம் மற்றும் காரணி-வரைபட அமைப்புகளை நேரடியாக வரையறுத்து, ட்ரைட்டான் கெர்னல்கள் மூலம் இயக்குவதன் வழியாக, TRMP ஆழ்ந்த மேற்பார்வை, சுருக்கப்பட்ட சுழற்சிகள் மற்றும் தனித்த தருக்க லேட்டிஸ்களை இணைத்து வெறும் 16k அளவுருக்களில் 900-கட்ட `Maze-unique` வழிசெலுத்தலில் $99.9\%$–$100\%$ துல்லியத்தை எட்டுகிறது. இது DisCoPy வரைபடங்கள் குவாண்டம் செயலாக்கம் மற்றும் மிகச் சிறிய தொடர் நரம்பியல் செயலாக்கம் இரண்டிற்கும் இரட்டைத் தொகுப்புத் தளமாக விளங்குவதை உறுதிப்படுத்துகிறது.

# 10 தேர்ச்சிப் பாதை, போர் வடிவம் மற்றும் சான்றிதழ் (Proficiency Pathway, Battle Format, and Certification)

கற்பவர்கள் ஒரு கட்டமைக்கப்பட்ட மூன்று நிலைத் தேர்ச்சி பாடத்திட்டத்தின் மூலம் முன்னேறுகின்றனர்:

1. **பயிற்சியாளர் (Practitioner):** மூன்று செங்குத்து நிலைகளிலும் (LIVE, KRUMP, BUCK) நான்கு அடிப்படை க்ரம்ப் அசைவுகளை தனித்தனியாகச் செய்வதிலும், மேற்பொருந்துதல் நிலைகளை ($|+\rangle, |-\rangle$) துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்துவதிலும் தேர்ச்சி பெறுகிறார். இவர் பிலோச் கோளத்தின் அச்சுகளில் சமநிலையைப் பேணவும் அடிப்படை ஒருமை மாற்றங்களை உடலால் செயல்படுத்தவும் தகுதி பெறுகிறார்.
2. **மேம்பட்ட பயிற்சியாளர் (Advanced Practitioner):** இரண்டு நபர்கள் கொண்ட பிணைக்கப்பட்ட இரட்டையர் நடனத்தில் பார்வைத் தொடர்பின்றி உடனடி ஒத்திசைவை வெளிப்படுத்துகிறார்; மேலும் 8-படி ஏணி மாற்றங்களை வெற்றிகரமாகச் செய்கிறார். இவர் கூட்டாளருடன் இணைந்து பெல் நிலைகளையும் கட்டக் குறுக்கீட்டையும் துல்லியமாக வெளிப்படுத்துகிறார்.
3. **பயிற்றுவிப்பாளர் (Trainer):** முழுமையான லாபான் × க்ரம்ப் × குவாண்டம் வரைபடத்தில் ஆளுமை, CatKS மற்றும் CatKP சரம் வரைபடங்களின் அறிவு, மற்றும் புதிய மாணவர்களுக்கு இயற்பியல் தவறான புரிதல்களை நீக்கி கற்பிக்கும் திறன் கொண்டவராக விளங்குகிறார்.

**குவாண்டம் போர் வடிவம் மற்றும் மதிப்பீட்டு அளவுகோல்.** க்ரம்ப் கலாச்சாரத்தின் பிரதான அங்கம் 'போர்' (Battle) ஆகும்; இதில் இரண்டு நடனக் கலைஞர்கள் ஒரு வட்டத்தின் (Session) மையத்தில் ஒருவருக்கொருவர் நேருக்கு நேர் மோதுகின்றனர். இது மூன்று சுற்றுகளாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது (ஒவ்வொரு சுற்றும் 60 வினாடிகள்):

- **சுற்று 1 : மேற்பொருந்துதல் தனிநபர் (Superposition Solo):** கலைஞர் பிலோச் கோளத்தின் பல்வேறு கோணங்களில் தனது உணர்ச்சி நிலைகளைத் தனிநபர் நடனம் மூலம் வெளிப்படுத்துகிறார். STOMP மூலம் மேற்பொருந்துதல் நிலைக்கு $|+\rangle$ சென்று இயக்க ஆற்றலை உருவாக்குகிறார்.
- **சுற்று 2 : கட்டக் குறுக்கீடு மோதல் (Phase Interference Duel):** இரண்டு கலைஞர்கள் ஒருவருக்கொருவர் பதிலளிக்கின்றனர்; அவர்கள் ஆக்கப்பூர்வ குறுக்கீடு அல்லது அழிவுக் குறுக்கீடு (எதிரெதிர் கட்ட மாற்றம் மூலம் ஆக்ரோஷத்தைத் தணித்தல்) செய்கின்றனர். ஒரு கலைஞர் JAB குத்து வீசும்போது, மற்றவர் எதிரெதிர் கட்டத்தில் வளைந்து ஆற்றலை நடுநிலையாக்குகிறார்.
- **சுற்று 3 : பிணைந்த இரட்டையர் மற்றும் கூட்டு வீழ்ச்சி (Entangled Duet and Collapse):** இரு கலைஞர்களும் ஒரு கூட்டு பெல் நிலையை

உருவாக்குகின்றனர்; இது இசையின் உச்சக்கட்டத்தில் ஒரே நேரத்து KILL-OFF மூலம் முடிவடைகிறது. இருவரும் ஒரே நேரத்தில் தரையில் அடித்து அமைதியாகி அளவீட்டு வீழ்ச்சியை வெளிப்படுத்துகின்றனர்.

நடுவர்கள் நான்கு 10-புள்ளி அளவுகோல்களில் மதிப்பிடுகின்றனர்: 1) க்ரம்பின் உடல் நம்பகத்தன்மையும் ஆற்றலும் (10 புள்ளிகள்); 2) குவாண்டம் கேட் துல்லியமும் பிலோச் ஒருங்கிணைப்பும் (10 புள்ளிகள்); 3) உருவ மாற்றங்களின் சீரான ஓட்டம் (10 புள்ளிகள்); மற்றும் 4) உணர்ச்சி வெளிப்பாடும் ஒத்திசைவும் (10 புள்ளிகள்)—மொத்தம் 40 புள்ளிகள்.

# 11 11th Quantum Dimension : உடலியக்க நடன அமைப்பு, சமூகக் கதைக்களம் மற்றும் ஆக்கப்பூர்வ குவாண்டம் ஒருங்கிணைப்பு

பயிற்சிப் பட்டறைகளும் போர் வடிவங்களும் (பிரிவு 10) கற்பித்தல் அடித்தளத்தை வழங்கினாலும், சர்வதேச நாடக மேடைகளில் குவாண்டம் கருத்துக்களை எடுத்துச் செல்ல ஒரு ஆழமான மனிதக் கதை தேவைப்படுகிறது. நகர்ப்புற நடனக் கலைஞர்களும் பொதுமக்களும் வெறும் சமன்பாடுகளால் ஈர்க்கப்படுவதில்லை: நிலை திசையன் $|\psi\rangle$, ஹில்பர்ட் வெளி $\mathcal{H}$, மற்றும் ஒருமை அணிகள் $U \in \mathrm{U}(2^n)$ ஆகியவை ஒரு அறிவார்ந்த இடைவெளியை உருவாக்குகின்றன. இந்த இடைவெளியைக் குறைக்க, *11*th Quantum Dimension தெரு நடனத்தின் ஆற்றலை நவீன தொழில்நுட்பங்களுடன் இணைத்து ஒரு மணி நேர உலகளாவிய நாடகப் படைப்பாக உருவெடுத்துள்ளது.

*11*th Quantum Dimension என்ற தலைப்பு கோட்பாட்டு இயற்பியலின் எம்-கோட்பாட்டின் (M-theory) 11 பரிமாணங்களால் ஈர்க்கப்பட்டது; இதில் 11வது பரிமாணம் பல்வேறு குவாண்டம் கோட்பாடுகளை ஒருங்கிணைக்க உதவுகிறது. நாடக ரீதியாக, இந்த “11வது பரிமாணம்” மனித பச்சாதாபம், கூட்டு விழிப்புணர்வு மற்றும் வன்முறைச் சுழற்சியை உடைக்கும் விடுதலை ஆற்றலைக் குறிக்கிறது.

## 11.1 அறிவுசார் பாலம் : தொழில்நுட்ப மொழித் தடையைத் தகர்த்தல்

*11*th Quantum Dimension இன் அடிப்படைக் கோட்பாடு என்னவென்றால், **நுண்ணிய இயற்பியல் ஒரு பொதுவான மனித உணர்ச்சிப் பின்னணியில் ஆழமாகப் பதியும் போது மட்டுமே தொழில்நுட்ப எல்லைகளைக் கடக்க முடியும்**. கணிதச் சொற்கள் புரிந்துகொள்ளக் கடினமாக இருந்தாலும், அடக்குமுறை, சார்புநிலை மற்றும் விடுதலை போன்ற மனித உணர்ச்சிகளை அனைவரும் இயல்பாகவே உணர்கின்றனர்.

இந்த அணுகுமுறை புகழ்பெற்ற நடன இயக்குனரும் கலை இயக்குனருமான **டகோடா சிமாவோ** (க்ரம்ப் சமூகப் பெயர்கள்: Twin Bad Liks மற்றும் Jr Outrage) அவர்களுடன் இணைந்து உருவாக்கப்பட்டது.

ஜெனீவாவைச் சேர்ந்த இவர், குடும்ப வன்முறைக்கு எதிரான விழிப்புணர்வு நடனங்களின் மூலம் இணையத்தில் 300 மில்லியனுக்கும் அதிகமான பார்வைகளைப் பெற்று உலகளாவிய கவனத்தை ஈர்த்தவர். La France a un Incroyable Talent (பிரான்ஸ் காட் டேலண்ட்) நிகழ்ச்சியில் இவரது நடனம் தங்கப் பொத்தானை (Golden Buzzer) வென்று பார்வையாளர்களை உலுக்கியது [53, 54]. இந்த சர்வதேச அனுபவத்தின் அடிப்படையில், குடும்ப வன்முறையின் உளவியல் சுழற்சிகளை குவாண்டம் இயக்கவியல் மூலம் விளக்கும் ஒரு மணி நேர முழு நீள நாடகத்தை இவர் வடிவமைத்தார்.

டகோடா சிமாவோவின் குறிப்பிடத்தக்க படைப்புகளான சமூகப் பாதிப்பு, புலம்பெயர்ந்தோரின் துயரம் மற்றும் உணர்ச்சிப் பிளவுகள் குறித்த நடனக் காணொளிகளின் அடிப்படையில் (https://youtu.be/O0gR-Fy-Jkk [55], https://youtu.be/-q6CQAppxSU [53], https://youtu.be/fxDX7mu_QHY [54], https://youtu.be/bqWycoemor4 [56], https://youtu.be/QeUatDxxhVM [57], https://youtu.be/uVX6HP23wF4 [58], மற்றும் https://youtu.be/dNOYrAC5i8M [52]), *11*th Quantum Dimension **20 நடனக் கலைஞர்களைக் கொண்ட குழுவை** ஒரு முழுமையான நாடக மேடையில் ஒருங்கிணைக்கிறது.

## 11.2 தொழில் சாரா கலைஞர்களுக்கு குவாண்டம் இயற்பியலின் உடலியக்க மொழிபெயர்ப்பு

குவாண்டம் பின்னணி இல்லாத கலைஞர்களுக்கு, நடன அமைப்பு நான்கு முக்கிய கருத்துக்களை உணர்ச்சிபூர்வமாக விளக்குகிறது:

1. **பாரம்பரிய பிட்கள் ($|0\rangle$ vs $|1\rangle$, வன்முறை சுழற்சி):** பாரம்பரிய நிலை என்பது இரும நிலைக்கு உட்பட்டது —முழுமையான மௌனம் ($|0\rangle$) அல்லது வன்முறை வெடிப்பு ($|1\rangle$). கலைஞர்கள் கடுமையான, இயந்திரத்தனமான நேர்கோடுகளில் நகர்கின்றனர்; இது குடும்ப வன்முறையின் தவிர்க்க முடியாத சுழற்சியைக் குறிக்கிறது.

2. **க்யூபிட்கள் மற்றும் உள் உணர்ச்சி பிலோச் கோளம் ($|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle$):** மனித உணர்ச்சிகள் ஒருபோதும் வெறும் இரும நிலைகள் அல்ல; அவை முப்பரிமாண வெளியில் தொடர்ந்து வளர்கின்றன. துருவக் கோணம் $\theta$ செங்குத்து நிலையையும், கட்டக் கோணம் $\varphi$ உள்நோக்கத்தையும் குறிக்கிறது.

3. **மேற்பொருந்துதல் ($\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$, முரண்பட்ட உணர்ச்சிகள்):** கலைஞர்கள் ஒரே நேரத்தில் அன்பு மற்றும் அச்சம் ஆகிய இரு முரண்பட்ட உணர்ச்சிகளை உடலால் வெளிப்படுத்துகின்றனர். தீவிர மார்பு வெடிப்புகள் (CHEST POP) மென்மையான சமகால அசைவுகளுடன் இணைகின்றன.

4. **குவாண்டம் பிணைப்பு ($|\Phi^+\rangle$, பிரிக்க முடியாத துயரப் பிணைப்பு):** பெல் நிலை $|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ ஐ தனித்தனியாகப் பிரிக்க முடியாது. மேடையில் 10 ஜோடிகள் (20 கலைஞர்கள்) பிரிந்து நிற்கின்றனர். எந்தவொரு தொடுதலும் இன்றி, கலைஞர் A இன் அசைவு உடனடியாக

கலைஞர் B இல் பிரதிபலிக்கிறது; இது உளவியல் துயரப் பிணைப்பைக் குறிக்கிறது.

5. **கட்டக் குறுக்கீடு ($\Delta\varphi = \pi$, அமைதி விடுதலை):** அலை வீச்சுகளின் இடைவினை $P = |A_1 + A_2 e^{i\Delta\varphi}|^2$ ஆல் ஆளப்படுகிறது. $\Delta\varphi = 0$ எனில் வன்முறை நான்கு மடங்காகிறது ($4A^2$). ஆனால் $\Delta\varphi = \pi$ கட்ட மாற்றம் நிகழும்போது ($|A - A|^2 = 0$), ஆக்ரோஷமான தாக்குதலை வன்முறையால் எதிர்கொள்ளாமல் மென்மையான தரைச் சறுக்கலால் கலைஞர் எதிர்கொண்டு ஆற்றலை உறிஞ்சி அமைதியை ஏற்படுத்துகிறார்.

## 11.3 20 கலைஞர்களுக்கான 4-அங்க நாடகக் கட்டமைப்பு

நாடகத்தின் 60 நிமிடங்கள் நான்கு 15 நிமிட அங்கங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன (அட்டவணை 10):

- **அங்கம் I : பாரம்பரிய தனிமை [00:00–15:00] :** 20 கலைஞர்கள் கடுமையான கோடுகளில் நகர்கின்றனர்; இது பாரம்பரிய பிட்களின் சிறையையும் குடும்ப வன்முறைச் சுழற்சியையும் குறிக்கிறது. மேடை ஒளி கடுமையான கருப்பு-வெள்ளை கட்டங்களாக அமைகிறது.
- **அங்கம் II : க்யூபிட்கள் மற்றும் உள் மேற்பொருந்துதல் [15:00–30:00] :** அமைப்பு வட்டக் குழுக்களாக உடைகிறது. தனிநபர் மற்றும் மூவர் நடனங்கள் வழியாக அன்பு மற்றும் பயத்தின் மேற்பொருந்துதல் ஆராயப்படுகிறது. பிலோச் கோளத்தின் தொடர்ச்சி உடலால் வெளிப்படுகிறது.
- **அங்கம் III : பிரிக்க முடியாத குவாண்டம் பிணைப்பு [30:00–45:00] :** பிரிக்கப்பட்ட மேடையில் 10 பிணைக்கப்பட்ட ஜோடிகள் ஆடுகின்றனர். தூரத்தைக் கடந்து ஒருவருக்கொருவர் உடனடி உடல் ஒத்திசைவை வெளிப்படுத்துகின்றனர். லேசர் கதிர்கள் பிணைப்புக் கோடுகளைக் காட்டுகின்றன.
- **அங்கம் IV : கட்ட மாற்றம் மற்றும் கூட்டு விடுதலை [45:00–60:00] :** 20 கலைஞர்களும் ஒருமித்த வட்டத்தில் இணைகின்றனர். அழிவுக் குறுக்கீட்டின் அலை வன்முறையை உறிஞ்சி, ஒரு கூட்டு `KILL-OFF` மூலம் முடிகிறது. அனைவரும் ஒன்றாகத் தரையில் அடித்து அமைதியை மீட்டெடுக்கின்றனர்.

## 11.4 பலவகை ஆக்கப்பூர்வ தொழில்நுட்ப அடுக்கு

முழுமையான காட்சி மற்றும் ஒலி அனுபவத்தை வழங்க, *11*th Quantum Dimension நான்கு முன்னணி தொழில்நுட்பங்களை ஒருங்கிணைக்கிறது:

1. **Three.js 3D WebGL காட்சிப்படுத்தல் :** `Three.js` [8] வழியாக மேடையின் திரையில் 20 கலைஞர்களின் முப்பரிமாண இயக்க ஆயங்களும் 11-பரிமாண வடிவவியல் பரப்புகளும் நேரடியாகக்

அட்டவணை 10: 11th Quantum Dimension தயாரிப்பு கட்டமைப்பு (1 மணி நேரம், 20 கலைஞர்கள்) மற்றும் தொழில்நுட்ப அடுக்கு.

| அங்கம் | கால அளவு மற்றும் குழு | மேடை அமைப்பு | குவாண்டம் மற்றும் உடல் வரைபடம் | ஆக்கப்பூர்வ தொழில்நுட்பம் |
|---|---|---|---|---|
| **அங்கம் I** | 15 நிமிடம் 20 கலைஞர்கள் | நேர்கோட்டுப் பாதைகள் | **பாரம்பரிய பிட்கள்:** வன்முறை சுழற்சி; இரும சிறை ($\|0\rangle$ vs $\|1\rangle$); இயந்திரத்தனமான அசைவு. | **ElevenLabs:** குளிர்ந்த, உணர்ச்சியற்ற செயற்கைக் குரல். **Moth Quantum:** கடிகார முள் ஒலி மற்றும் துடிப்பு. |
| **அங்கம் II** | 15 நிமிடம் தனிநபர், இரட்டையர் | நீள்வட்ட மற்றும் விண்மீன் குழுக்கள் | **க்யூபிட்கள் மற்றும் மேற்பொருந்துதல்:** முரண்பட்ட உணர்ச்சிகள்; அன்பும் பயமும்; சமகால மற்றும் க்ரம்ப் சங்கமம். | **ElevenLabs:** முணுமுணுக்கும் பலகுரல் உரையாடல். **Moth Quantum:** பிலோச் கோள இசை அலைகள். |
| **அங்கம் III** | 15 நிமிடம் 10 பிணைந்த ஜோடிகள் | பிரிக்கப்பட்ட மேடை | **குவாண்டம் பிணைப்பு:** துயரப் பிணைப்பு ($\|\Phi^+\rangle$); தூரத்திலும் உடனடி உடல் ஒத்திசைவு. | **Three.js மற்றும் Moth:** மேடையில் பெல்-நிலை இணைப்புக் கோடுகள் மற்றும் சுற்று ஒலிகள். |
| **அங்கம் IV** | 15 நிமிடம் முழு குழு | விரிவடையும் வட்டங்கள் | **குறுக்கீடு மற்றும் விடுதலை:** கட்ட மாற்றம் ($\Delta\varphi = \pi$); வன்முறை தணிப்பு; கூட்டு வீழ்ச்சி மற்றும் விடுதலை. | **ElevenLabs:** கூட்டு கவிதை மற்றும் விடுதலைப் பாடல். **Moth Quantum:** குவாண்டம் குறுக்கீடு ஒலி அலைகள். |

காட்டப்படுகின்றன. பார்வையாளர்கள் கலைஞர்களைச் சுற்றியுள்ள பிலோச் கோளங்களையும் நிகழ்தகவு மேகங்களையும் கண்கூடாகக் காண்கின்றனர்.

2. **anime.js நடன ஒத்திகை அமைப்பு :** `anime.js` [19] மூலம் 20 கலைஞர்களின் மேடைப் பாதைகள் முன்கூட்டியே கணக்கிடப்பட்டு அனிமேஷன் செய்யப்படுகின்றன; இது மேடை மோதல்களைத் தவிர்த்து துல்லியமான நேரக் கட்டுப்பாட்டை உறுதி செய்கிறது.

3. **ElevenLabs AI குரல் வடிவமைப்பு :** `ElevenLabs` [16] தளம் உணர்ச்சிப் பாதையை விவரிக்கும் பலமொழி குரல் வடிவங்களை உருவாக்குகிறது. அங்கம் I இல் குளிர்ந்த குரலாகத் தொடங்கி, அங்கம் IV இல் விடுதலைப் பாடலாக மாறுகிறது.

4. **Moth Quantum ஒலி மற்றும் காட்சி உருவாக்கம் :** `Moth Quantum` [44] குவாண்டம் சுற்றுகளின் சுழற்சிகளிலிருந்தும் பிணைப்பு வாயில்களிலிருந்தும் நேரடியாக பேஸ் ஒலிகளையும் தாள அமைப்புகளையும் உருவாக்குகிறது. வாயில்களின் கோணங்கள் ($R_z(\theta)$) ஆடியோ அதிர்வெண்களை நேரடியாகக் கட்டுப்படுத்துகின்றன.

### 11.5 உலகப் பயண வரைபடமும் கலாச்சார தாக்கமும்

*11*th Quantum Dimension உலகின் முக்கிய கலாச்சார மையங்களான — ஜெனீவா, பாரிஸ், லண்டன், டோக்கியோ, லாஸ் ஏஞ்சல்ஸ் மற்றும் சென்னை —ஆகிய நகரங்களில் ஒரு **உலகப் பயணத்தை** (World Tour) மேற்கொள்ள திட்டமிட்டுள்ளது. முக்கிய ஓபரா அரங்குகள், நகர்ப்புற நடன விழாக்கள் மற்றும் அறிவியல் மாநாடுகளில் க்ரம்பை அரங்கேற்றுவதன் மூலம், தெருக் கலாச்சாரத்தின் மாண்பை உயர்த்தி, அறிவியலின் உன்னதக் கருத்துக்களை மனித உணர்ச்சிகளுடன் இணைக்கும் தெரு நடனத்தின் ஆற்றலை இத்திட்டம் நிரூபிக்கிறது.

# 12 ஹெலியோஸ்-1E-லைட் மீதான சோதனைக் முடிவுகள் (Lane K301)

பாடத்திட்டம் கற்பனையான அனுமானங்களைச் சார்ந்திருக்காமல் நடைமுறை குவாண்டம் செயல்பாட்டை அடிப்படையாகக் கொண்டிருப்பதை உறுதிசெய்ய, **Quantinuum Nexus** `Helios-1E-lite` பொறிக்கப்பட்ட அயனி எழுலேட்டரில் இயற்பியல் இரைச்சல் மாதிரி `alpha` (பணி UUID `d43f26d9-019d-4688-aa05-66c9cafe2f9b` மற்றும் `a411dac7-1b75-4538-8ddc-16c560b30faa`) கீழ் இயக்கப்பட்ட Lane K301 (திட்டம் EndoTrack-QIR / CHOREO-PALAMEDES) சோதனைக் முடிவுகளை இங்கு வழங்குகிறோம். சுற்றுகள் Guppy 1.0 இல் நிரலாக்கம் செய்யப்பட்டு, HUGR கட்டுப்பாட்டு வரைபடங்களாகத் தொகுக்கப்பட்டு, நடுத்தர சுற்று அளவீடு, ஒளியியல் மீட்டமைப்பு மற்றும் ஒற்றை-க்யூபிட் மறுபயன்பாட்டுடன் இயக்கப்பட்டன.

அட்டவணை 11 எட்டு-படி இயக்க அளவீட்டு ஏணியின் விவரங்களைக் காட்டுகிறது.

**அளவுத்திருத்தமும் நடன மாறுபாட்டு மீட்டெடுப்பும்.** `Helios-1E- lite` இல் உள்ள 1 முதல் 5 வரையிலான தரநிலைகளில் நேரியல் பின்னடைவு நிலையான அளவுத்திருத்த மாறிகளை ($a = 0.4926$, $b = 0.4891$, $R^2 = 0.9942$) நிறுவியது. படி 6 க்கான பார்வை மறைக்கப்பட்ட இலக்கு $+0.1800$ ஆனது $+0.1809$ ஆக மீட்கப்பட்டது (எஞ்சிய பிழை $0.0009 \leq 0.05$, வாயில் GA தேர்ச்சி). படி 7 இல் `STOMP` $\rightarrow$ `CHEST POP` மாற்றம் $+0.2240$ இலக்குக்கு எதிராக $+0.2109$ ஆக மீட்கப்பட்டது (எஞ்சிய பிழை $0.0131 \leq 0.03$, வாயில் GC தேர்ச்சி). படி 8 பூஜ்ஜிய சமிக்ஞையை உறுதிப்படுத்தியது ($+0.0132 \leq 0.05$, வாயில் GS தேர்ச்சி).

**Guppy 1.0 கேட்-கோண வடிவமைப்பு.** Guppy 1.0 இல், 8-படி ஏணியின் ஒவ்வொரு படியும் வெற்றிட நிலை $|0\rangle$ இலிருந்து சுழற்சி $R_y(\theta_k)$ மூலம் ஒற்றை-க்யூபிட் நிலையைத் தயாரிக்கிறது:

$$|\psi(\theta_k)\rangle = R_y(\theta_k)|0\rangle = \cos\left(\frac{\theta_k}{2}\right)|0\rangle + \sin\left(\frac{\theta_k}{2}\right)|1\rangle. \tag{25}$$

அட்டவணை 11: Quantinuum Nexus `Helios-1E- lite` 8-படி இயக்க அளவீட்டு ஏணி விவரங்கள் (பணி UUID `d43f26d9-019d-4688-aa05-66c9cafe2f9b`).

| # | அடையாளம் | க்ரம்ப் நடன விளக்கம் | இலக்கு $\Delta p$ | கோட்பாடு $P_1$ | ஷாட்கள் ($p_{\text{raw}}$) | அளவீடு $\Delta p$ | முடிவு / வாயில் |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | `Cal_Std_1` | நிலை `LIVE` (தீவிர மேல்நோக்கிய மார்பு வெடிப்பு) | $-0.5000$ | 0.2500 | 252/1024 (0.246) | $-0.5040$ | **வெற்றி** (பிழை 0.004) |
| 2 | `Cal_Std_2` | நிலை `KRUMP` (மென்மையான தொடர் சறுக்கல்) | $-0.2500$ | 0.3750 | 396/1024 (0.387) | $-0.2165$ | **வெற்றி** (பிழை 0.034) |
| 3 | `Cal_Std_3` | பூமத்திய நடுநிலை (நடுநிலை groove) | 0.0000 | 0.5000 | 491/1024 (0.480) | $-0.0268$ | **வெற்றி** (பிழை 0.027) |
| 4 | `Cal_Std_4` | நிலை `BUCK` (கனமான தொடர் கீழ் அழுத்தம்) | $+0.2500$ | 0.6250 | 614/1024 (0.600) | $+0.2188$ | **வெற்றி** (பிழை 0.031) |
| 5 | `Cal_Std_5` | நிலை `BUCK` (கனமான தரை உதைப்பு / தாக்கம்) | $+0.5000$ | 0.7500 | 769/1024 (0.751) | $+0.5284$ | **வெற்றி** (பிழை 0.028) |
| 6 | `Blinded_QC` | பார்வை மறைக்கப்பட்ட தரக் கட்டுப்பாடு | $+0.1800$ | 0.5900 | 595/1024 (0.581) | $+0.1809$ | **வெற்றி [GA]** ($\Delta = 0.0009$) |
| 7 | `Choreo_K7` | மாற்றம் `STOMP` → `CHEST POP` | $+0.2240$ | 0.6120 | 610/1024 (0.596) | $+0.2109$ | **வெற்றி [GC]** ($\Delta = 0.0131$) |
| 8 | `Null_Twin` | பூஜ்ஜிய கட்டுப்பாட்டு இரட்டை (சமிக்ஞை இன்மை) | 0.0000 | 0.5000 | 511/1024 (0.499) | $+0.0132$ | **வெற்றி [GS]** ($\lvert\Delta\rvert = 0.0132$) |

**அளவுத்திருத்தம் :** $\Delta p_{\text{cal}} = (p_{\text{raw}} - a)/b$, $a = 0.4926 \pm 0.0031$, $b = 0.4891 \pm 0.0052$ ($R^2 = 0.9942 \geq 0.99$, **வாயில் GL PASS**).
**மூலம் :** Quantinuum Nexus `Helios-1E- lite` (இரைச்சல் மாதிரி `alpha`, StatevectorSimulator); உண்மையில் 0 இயற்பியல் QPU ஷாட்கள்.
**வாயில் G4 பாரம்பரிய தளம் :** துல்லிய பாரம்பரிய CPU அணி மதிப்பீடு $0.33\,\mu$s இல் இயங்குகிறது (3,310× வேகமானது).

இலக்கு நடன மாறுபாடு $\Delta p^{(k)}_{\text{target}} = 2P^{(k)}_1 - 1$ எனில், துல்லியமான வாயில் கோணம்:

$$\theta_k = 2\arcsin\left(\sqrt{P^{(k)}_1}\right) = 2\arcsin\left(\sqrt{\frac{1+\Delta p^{(k)}_{\text{target}}}{2}}\right). \tag{26}$$

படி 7 க்கு (`STOMP → CHEST POP`), $\Delta p^{(7)}_{\text{target}} = +0.2240$, எனவே $P^{(7)}_1 = 0.6120$. இதற்கான துல்லியமான Guppy கோணம்:

$$\theta_7 = 2\arcsin\left(\sqrt{0.6120}\right) = 1.7963 \text{ rad} \quad (\approx 102.92^\circ). \tag{27}$$

அட்டவணை 12: Quantinuum Nexus `Helios-1E- lite` DisCoPy பிணைக்கப்பட்ட கூட்டாளர் இரட்டையர் முடிவுகள் (பணி UUID `a411dac7-1b75-4538-8ddc-16c560b30faa`).

| அடிப்படை நிலை | பிட்ஸ்ட்ரிங் | நேரடி ஷாட்கள் | அளவீட்டு அதிர்வெண் | நடன / இயற்பியல் விளக்கம் |
|---|---|---|---|---|
| $\|01\rangle$ | `m0=0, m1=1` | **1,018** | **99.41%** | **இலக்கு கணக்கீடற்ற இரட்டையர் வாசிப்பு நிலை ($\|\Psi^+\rangle$ இலிருந்து)** (இடப் பரிமாற்றம் $\sigma$ மற்றும் ஒத்திசைந்த `KILL-OFF` கேப் $\epsilon$). |
| $\|00\rangle$ | `m0=0, m1=0` | 1 | 0.10% | இரைச்சல் மாதிரி `alpha` இன் கீழ் எஞ்சிய கட்டச் சிதைவு இரைச்சல். |
| $\|10\rangle$ | `m0=1, m1=0` | 3 | 0.29% | எஞ்சிய ஒற்றை-க்யூபிட் பிட்-திருப்புப் பிழை. |
| $\|11\rangle$ | `m0=1, m1=1` | 2 | 0.20% | எஞ்சிய இரு-க்யூபிட் கேட்/அளவீட்டுப் பிழை. |

**மொத்த எழுலேட்டர் ஷாட்கள் :** 1,024; **பெல் நிலை தொடர்பு நம்பகத்தன்மை :** $F = 99.41\%$; **செலவு :** 0.0 HQC (கட்டணமற்ற அடுக்கு).

**Helios-1E-lite இல் நேரடி DisCoPy இரட்டையர் இயக்கம்.** இணையாக, 2-க்யூபிட் DisCoPy டாகர்-காம்பாக்ட் இரட்டையர் சுற்று `Helios-1E- lite` இல் நேரடியாக இயக்கப்பட்டது ($N = 1,024$ ஷாட்கள்; பணி UUID `a411dac7-1b75-4538-8ddc-16c560b30faa`; அட்டவணை 12). மாறுபட்ட சிதறல் இல்லாமல் தூய பெல்-அடிப்படை நிலைப்படுத்தல் வரிசைமாற்றத்தை மதிப்பிடுவதற்கு, அடுக்கு 4 (ARM SWING $\otimes$ BUCK HOP $= R_x(\pi/2) \otimes R_z(\pi/2)$) முனைய பெல் பகுப்பாய்வி $CX \gg (H \otimes \text{id})$ க்கு முன் தனிமைப்படுத்தப்பட்டு அன்-கம்ப்யூட் செய்யப்பட்டது. இடைநிலை செயல்பாடுகள் $(I \otimes X) \gg \sigma$ எதிரெதிர்-தொடர்புடைய பெல் நிலையை $|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$ தயார் செய்தன, இதை பெல் பகுப்பாய்வி $|01\rangle$ இல் திட்டவட்டமாக அன்-கம்ப்யூட் செய்தது. அயனிப் பொறி `alpha` பிழை மாதிரியின் கீழ், சுற்று $1,018$ ஷாட்களை ($99.41\%$) இலக்கு கணக்கீட்டு அடிப்படை நிலையில் $(0, 1)$ தந்தது, மேலும் $6$ எஞ்சிய இரைச்சல் பிழை

ஷாட்கள் மட்டுமே பதிவாகின ($(0,0)\,:\,1$, $(1,0)\,:\,3$, $(1,1)\,:\,2$), இது யதார்த்தமான இரைச்சலின் கீழ் தொகுக்கப்பட்ட DisCoPy இரட்டையர் செயல்பாடுகள் உயர் நம்பகத்தன்மை பிணைப்பையும் இடப் பரிமாற்ற இயக்கவியலையும் பாதுகாப்பதை உறுதிப்படுத்துகிறது.

# 13 TypeSafe Jev 1.14 வழியாக தானியங்கி அறிவுசார் நிர்வாக சுய-தணிக்கை

ஆய்வேட்டின் அறிவியல் எல்லைகள் மற்றும் நிலைத்தன்மையை உள்முகமாகச் சரிபார்க்க, ஆய்வேட்டின் உரை TypeSafe இன் System One மாதிரியான **Jev 1.14** (`jev-1.14.0`; அட்டவணை 13) ஆல் தணிக்கை செய்யப்பட்டது. இந்த தானியங்கி மாதிரி ஆய்வு ஒரு உள் கட்டுப்பாடு சரிபார்ப்பு மட்டுமே தவிர, வெளிநிலை மனித மதிப்பீடு அல்ல என்பதை வலியுறுத்துகிறோம்.

**கட்டமைப்பு மற்றும் மதிப்பீட்டு நெறிமுறை.** உத்தியோகபூர்வ இணைய தளம் (`https://api.typesafe.ai/v1/systemone`) வழியாக மூன்று கூறுகளைக் கொண்ட JSON தரவு அனுப்பப்பட்டது: 1) `state`: மதிப்பாய்வு செய்யப்படும் ஆய்வேட்டின் பகுதி; 2) `instructions`: தணிக்கை பணிகள் மற்றும் பாரம்பரிய கணக்கீட்டு தளங்களைச் சரிபார்க்கும் எல்லைகள்; 3) `criteria`: தேவையான System One முடிவுகள் (`Score`, `Choice`, `Noul`).

**தணிக்கைப் பரிமாணங்களும் விளக்கங்களும்.** ஏழு பரிமாணங்களின் முடிவுகளும் உயர் நிலைத்தன்மையைக் காட்டுகின்றன:

- *கற்பித்தல் நம்பகத்தன்மை ($Noul = 0.58$) :* உடலியக்கப் பயிற்சிகள் இயற்பியல் உள்ளுணர்வை துல்லியமாக வளர்க்கின்றனவா என்ற கேள்விக்கு $58\%$ நேர்மறை நிகழ்தகவு கிடைத்தது; இது கற்பித்தல் உவமைகள் பொறுப்புடன் எல்லைக்குட்படுத்தப்பட்டுள்ளன என்பதை உறுதி செய்கிறது [14, 59].
- *கணித ஆழம் ($Choice =$ முழுமையாகத் தீர்ந்தது, நிகழ்தகவு $0.81$) :* நடனத்தை ஃப்ரோபினியஸ் டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகையாக ($\mathcal{C}_{\text{Krump}}$) வடிவமைத்தது மேலோட்டமான வரைபடக் குறைகளைத் தீர்த்துவிட்டதாக Jev உறுதிப்படுத்தியது.
- *உவமைப் பாதுகாப்பு ($Choice =$ கண்டிப்பாகக் கட்டுப்பட்டது, நிகழ்தகவு $0.99$) :* நடனக் கலைஞர்களுக்கு நுண்ணிய குவாண்டம் பண்புகள் கற்பிக்கப்படவில்லை என்பது $99\%$ உறுதியானது.
- *பாரம்பரிய வரம்பு ($Choice =$ தீர்க்கப்பட்டது, நம்பிக்கை $0.99$) :* பாரம்பரிய கணக்கீடு ($0.33\,\mu$s) குவாண்டம் எழுலேட்டரை விட ஆதிக்கம் செலுத்துகிறது என்பது ஏற்கப்பட்டது.

அட்டவணை 13: TypeSafe Jev 1.14 (`jev-1.14.0`) மூடிய-வளைய பல-பரிமாண அறிவுசார் நிர்வாகத் தணிக்கை.

| நிர்வாகப் பரிமாணம் | மதிப்பீட்டு அளவுகோல் | மதிப்பெண் / தேர்வு | நம்பிக்கை | சுயாதீன அறிவுசார் தீர்ப்பு மற்றும் பகிர்வு |
|---|---|---|---|---|
| **அறிவுசார் கண்டிப்பு** | `Score` (நிலை 0–3) | **2.01 / 3.00** | 0.98 | நிலை 2 : எழுலேட்டர் எல்லைகளுடன் கடுமையான பாரம்பரிய தளம் (98% நிகழ்தகவு). |
| **கற்பித்தல் நம்பகத்தன்மை** | `Noul` (உறுதிப்படுத்தல்) | **0.58** | — | தவறான ஒப்பீடுகளுக்கு எதிரான உறுதிப்படுத்தல் ($p_{\text{affirm}} = 0.58$). |
| **பாரம்பரிய வரம்பு** | `Choice` (தளச் சோதனை) | **தீர்க்கப்பட்டது** | 0.99 | பாரம்பரிய CPU கணக்கீடு ($0.33\,\mu$s) எழுலேட்டரை விட $3{,}310\times$ வேகமானது. |
| **வன்பொருள் நேர்மை** | `Choice` (தள உரிமை) | **நேர்மையானது** | 1.00 | உண்மையில் 0 இயற்பியல் QPU ஷாட்கள்; 100% எழுலேட்டர் இயக்கம் வெளிப்படையானது. |
| **கணித ஆழம்** | `Choice` (வகைமைக் கோட்பாடு) | **முழுமையாகத் தீர்ந்தது** | 0.72 | ஃப்ரோபினியஸ் மோனாய்டல் வகை மற்றும் சரம் வரைபடங்கள் ஆழத்தை உறுதிசெய்தன (81%). |
| **உவமைப் பாதுகாப்பு** | `Choice` (உவமை ஆபத்து) | **கண்டிப்பாகக் கட்டுப்பட்டது** | 0.98 | மனிதர்களுக்கு குவாண்டம் ஒத்திசைவு கோரப்படவில்லை; எல்லைகள் தெளிவானவை (99%). |
| **அறிவியல் ஒருங்கிணைப்பு** | `Score` (நிலை 1–5) | **2.76 / 3.00** | 0.72 | நிலை 4/5 ஒருங்கிணைப்பு : DisCoPy தொகுப்பு மற்றும் டென்சார் மதிப்பீடு (82% நிலை 4). |

**தணிக்கை மூலம் :** மாதிரி `jev-1.14.0`; இயந்திரம் படிக்கக்கூடிய JSON ஆவணங்கள் `results/typesafe_jev_audit_quantum_krump_20261015.json` இல் உள்ளன.

- *வன்பொருள் நேர்மை (*$Choice$ $=$ *நேர்மையானது, நம்பிக்கை* $1.00$*) :* இயற்பியல் QPU ஷாட்கள் கோரப்படவில்லை என்பது $100\%$ வெளிப்படையானது.
- *அறிவியல் ஒருங்கிணைப்பு (*$Score = 2.76/3.00$*, நிலை 4/5) :* DisCoPy மற்றும் சரம் வரைபடங்களின் அறிவியல் பயன்பாடு நிலை 4/5 இல் அமைந்தது.
- *அறிவுசார் கண்டிப்பு (*$Score$ $=$ $2.01/3.00$*, நிலை 2) :* பாரம்பரிய சிபியூ ஒப்பீடுகள் வெளிப்படையாகத் தரப்பட்டுள்ளதால் நிலை 2 அங்கீகரிக்கப்பட்டது.

இந்தத் தணிக்கை NHS DCB0129 மருத்துவ இடர் நிர்வாக நெறிமுறைகளுக்கு ஏற்ப அமைந்துள்ளது.

**மதிப்பீட்டாளர்-வழிகாட்டப்பட்ட AI கட்டமைப்புடனான தொடர்பு.** ஆக்கப்பூர்வ முன்மொழிவு மற்றும் திட்டவட்டமான மதிப்பீட்டிற்கு இடையிலான கட்டமைப்புப் பிரிப்பு AI அறிவியல் கண்டுபிடிப்பின் வளர்ந்து வரும் பொதுக் கருத்தை பிரதிபலிக்கிறது. குறிப்பாக Gu et al. [23] காட்டியபடி, கணிதத் துல்லியத்தை சரிபார்த்து $T \times Q$ வளங்களை மதிப்பிடும் ஒரு சுயாதீன திட்டமிடல் மதிப்பீட்டாளருடன் இணைக்கப்படும் போது மட்டுமே பெரிய மொழி மாதிரிகள் குவாண்டம் சுற்று தொகுப்பில் உச்சபட்ச சாதனையை அடைகின்றன. TypeSafe Jev 1.14 இன் பயன்பாடு இந்த சரியான முன்னுதாரணத்தை செயல்படுத்துகிறது.

# 14 Rhyme வழியாக உயர்-நிலை குறியீட்டு குவாண்டம் செயலாக்கம்: தாளக் கட்ட ஒப்பீட்டு அளவுகோல்கள்

Guppy 1.0, HUGR, மற்றும் Qiskit போன்ற கீழ்-நிலை சுற்று தொகுப்பு தளங்கள் இயற்பியல் க்யூபிட் குறியீடுகள் $(q_0, q_1)$ மற்றும் சிதைவு வாயில் அட்டவணைகளின் $(R_x, R_z, CX)$ அடிப்படை வன்பொருள் அடுக்கில் இயங்கும் போது, உயர்-நிலை கற்பித்தல் மற்றும் நடனக் கலை கட்டமைப்புகளுக்கு உள்ளுணர்வு சார்ந்த துறைசார் சுருக்கங்கள் தேவைப்படுகின்றன. கீழ்-நிலை கம்பி ரூட்டிங் சுமைகள் இன்றி தாளக் கட்ட இயக்கவியலை மதிப்பிடுவதற்கு, **Rhyme** (`rhyme-beta`, பதிப்பு 0.1.0b1; Rhyme Quantum Tech [49]) ஐப் பயன்படுத்தி நடன சோதனைத் தொகுப்பை செயல்படுத்தினோம்.

**உயர்-நிலை தட்டச்சு செய்யப்பட்ட பொருள்-சார்ந்த குவாண்டம் கட்டமைப்பு.** Rhyme மூல க்யூபிட் பதிவேடுகளை மாற்றி, மாறாத துறை வகைகளில் உருவாக்கப்பட்ட தட்டச்சு செய்யப்பட்ட குவாண்டம் பொருட்களுடன் (`qstr`, `qint`, `qfloat`, `qobject`[$T$]) செயல்படுகிறது. இயற்பியல் மாற்றங்கள் கேட் சிதைவுகள் வழியாக அல்லாமல், செயல்பாட்டு பணிகள் மூலம் வெளிப்படுத்தப்படுகின்றன:

1. **இயக்கவியல் கட்டப் பண்பேற்றம் (`add_phase`) :** தொடர்ச்சியான அல்லது தனித்த கட்டச் சேகரிப்பை $\psi(x) \mapsto e^{i\theta(x)}\psi(x)$ தன்னிச்சையான பைதான் அழைப்புகள் மூலம் செயல்படுத்துகிறது, இது ஹாமில்டோனியன் நேரப் பரிணாமத்தை $e^{-i\hat{H}t/\hbar}$ நேரடியாக நடைமுறைப்படுத்துகிறது.

2. **இணை செயல்பாட்டுக் குறுக்கீடு (`interfere`) :** பயனர் வரையறுத்த இணைக்கும் செயல்பாடுகள் $\mathrm{pair}(x)$ மற்றும் நோக்குநிலை முன்கணிப்புகள் $\mathrm{lr}(x)$ வழியாக ஜோடி குறியீட்டு வகைகளின் மீது யூனிட்டரி பீம்-ஸ்ப்ளிட்டர் கலவையை இயக்குகிறது.

3. **கூட்டு சுழற்சிகள் மற்றும் பிணைப்பு (`flip`) :** சமச்சீர் சுழற்சிகள் வழியாக கூட்டு அமைப்புகளில் (`join`) பல-முகவர் கிளைகளை நேரடியாக இணைத்து, கையேடு CNOT தொகுப்பு இல்லாமல் அதிகபட்சமாக பிணைக்கப்பட்ட EPR-ஜோடி நிலைகளை உருவாக்குகிறது.

4. **குவாண்டம் இணையான தன்மை (`bfunc`) :** அனைத்து மேற்பொருந்துதல் கிளைகளிலும் ஒரே நேரத்தில் கிளாசிக்கல் செயல்பாடுகளை இணையாக மதிப்பீடு செய்து, வெளியீட்டு குவாண்டம் பதிவேடுகளை உள்ளீட்டு பதிவேடுகளுடன் மாற்றியமைக்கக்கூடிய பிணைப்பு வழியாக பிணைக்கிறது.

இந்தத் திறன்களை மதிப்பிடுவதற்கு, தலா $N = 1,024$ ஷாட்கள் கொண்ட நான்கு கடுமையான தாள அளவுகோல்களை (மொத்தம் $4,096$ ஷாட்கள்; அட்டவணை 14; இயந்திரம் படிக்கக்கூடிய ரசீது `results/rhyme_quantum_rhythm_results.json` இல்) இயக்கினோம்.

அட்டவணை 14: தாளக் கட்ட இயக்கவியல் மற்றும் நடன வட்ட பிணைப்பிற்கான Rhyme உயர்-நிலை குறியீட்டு குவாண்டம் கணக்கீட்டு அளவுகோல்கள்.

| சோதனை மற்றும் இயற்பியல் கட்டமைப்பு | இலக்கு நிலைகள் | கோட்பாடு $P$ | அளவீடு ($N = 1024$) | அளவீட்டு / புள்ளியியல் சரிபார்ப்பு | தணிக்கை வாயில் |
|---|---|---|---|---|---|
| **சோதனை 1: கட்டப் பண்பேற்றம்** 4-துடிப்பு க்ரம்ப் ($\|R\rangle$) கட்டங்கள் $\{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ | `STOMP, JAB, POP, SWING` | 0.25 தலா | 266, 251, 249, 258 (26.0%, 24.5%, 24.3%, 25.2%) | $\chi^2 = 0.6953$ ($df = 3$, $p = 0.8743$) சீரானது (24.1 ms இல்) | வெற்றி **[GL]** |
| **சோதனை 2: பல்-தாளக் குறுக்கீடு** அழிவுக் குறுக்கீடு ($\Delta\phi = \pi$) vs ஆக்கப்பூர்வ பெருக்கம் ($a \to 1/\sqrt{2}$) | `STOMP, JAB` $\to 0$; `POP, SWING` $\to 0.5$ | 0.00, 0.00, 0.50, 0.50 | 0, 0, 538, 486 (0.0%, 0.0%, 52.5%, 47.5%) | பூஜ்ஜிய கசிவு ($0/1024$); தணிப்பு நம்பகத்தன்மை $F_{\text{ext}} = 100.00\%$ (37.7 ms இல்) | வெற்றி **[GI]** |
| **சோதனை 3: பிணைக்கப்பட்ட ஜோடி** அதிகபட்ச பெல் அழைப்பு-மற்றும்-பதில்: $(\|00\rangle + \|11\rangle)/\sqrt{2}$ | (DOWN, STOMP), (SYNC, JAB) | 0.50, 0.50 | 528, 496 (51.6%, 48.4%; 0 பிழை) | சரியான தொடர்பு நம்பகத்தன்மை $F_{\text{Bell}} = 100.00\%$ ($1024/1024$) 89.3 ms இல் | வெற்றி **[GE]** |
| **சோதனை 4: இணையான குரூவ் ஆரக்கிள்** 8-சொற்றொடர் மேற்பொருந்துதல் நேரியல் அல்லாத ஆரக்கிள் $G(p)$ | `HIGH, MID, LOW` குரூவ் பிரிவுகள் | 0.375, 0.375, 0.250 | 390, 363, 271 (38.1%, 35.5%, 26.5%) | குவாண்டம் இணையான மதிப்பீடு; 0 ஆரக்கிள் மீறல்கள் ($F_{\text{oracle}} = 100.00\%$, 93.5 ms) | வெற்றி **[GP]** |

**செயலாக்க இயக்க நேரம்:** Rhyme Quantum Tech (`rhyme-beta`, `dist-0.1.0b1`) Python 3.14 இல் (x86_64-linux-gnu); 4,096 ஷாட்களில் மொத்த சோதனை நேரம் 0.246 s.
**இயந்திரம் படிக்கக்கூடிய ரசீது:** `results/rhyme_quantum_rhythm_results.json`; அனைத்து 4 வாயில்களும் பூஜ்ஜிய சகிப்புத்தன்மை அளவுகோல்களின் கீழ் தேர்ச்சி பெற்றன.

**அனுபவபூர்வ கண்டுபிடிப்புகளும் நடன விளக்கங்களும்.** சோதனைக் முடிவுகள் உயர்-நிலை குறியீட்டு குவாண்டம் செயலாக்கம் இயற்பியல் தாளத்தை துல்லியமாக பிரதிபலிக்கிறது என்பதை உறுதிப்படுத்துகின்றன:

1. **மூலைவிட்ட அளவீட்டின் கீழ் கட்ட மாறாநிலை (சோதனை 1) :** 4-துடிப்பு க்ரம்ப் அளவீட்டில் சார்புக் கட்டங்களை கால்-கால அதிகரிப்புகளால் $\{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ பண்பேற்றுவது துல்லியமான சீரான நிலை நிகழ்தகவைப் ($P_i = 0.25$) பாதுகாத்தது, $\chi^2 = 0.6953$ ($p = 0.8743 \gg 0.05$) தந்தது. குறுக்கீடு செயல்படுத்தப்படும் வரை கட்ட மாற்றங்கள் கணக்கீட்டு அச்சில் உடனடி அளவீட்டு புள்ளிவிவரங்களை மாற்றுவதில்லை என்பதை இது மாணவர்களுக்கு உடலியக்கமாக நிரூபிக்கிறது.

2. **முழுமையான அழிவு ரத்து மற்றும் எதிர்மறை வெளி (சோதனை 2) :** எதிரெதிர் கட்ட அசைவுகளுக்கு இடையே (`STOMP` உடன் `CHEST POP`; `JAB` உடன் `ARM SWING`) இணை குறுக்கீட்டைப் பயன்படுத்துவது முழுமையான அழிவுத் தணிப்பை விளைவித்தது ($1,024$ இல் $0$ காணப்பட்ட ஷாட்கள்,

தணிப்பு நம்பகத்தன்மை $100.00\%$), அதே நேரத்தில் ஆக்கப்பூர்வ பாதைகள் $52.5\%$ மற்றும் $47.5\%$ ஆகப் பெருக்கப்பட்டன. க்ரம்பில் உள்ள நடன உறைவுகளும் எதிர்மறை வெளியும் அழிவுக் குறுக்கீட்டு அலை செயல்பாட்டிற்கு நேரடியாகப் பொருந்துகின்றன என்பதை இது உறுதிப்படுத்துகிறது.

3. **குறுக்கு குறுக்கீடற்ற தொடர்பு பிணைப்பு (சோதனை 3) :** சுழற்சி திருப்பங்கள் மூலம் கூட்டாளர் ஜோடி பிணைப்பு $100.00\%$ பெல் தொடர்பு நம்பகத்தன்மையை நிரூபித்தது ($1,024/1,024$ ஷாட்கள் $(\text{DOWNBEAT}, \text{POWER_STOMP})$ அல்லது $(\text{SYNCOPATED}, \text{RAPID_JAB})$ உடன் பொருந்தின), குறியீட்டு குவாண்டம் கணினி கம்பி-ரூட்டிங் குழப்பம் இல்லாமல் பச்சாதாப அழைப்பு-மற்றும்-பதிலை சுத்தமாக பிரதிபலிக்கிறது என்பதை நிரூபிக்கிறது.

4. **குவாண்டம் இணையான தன்மை வழியாக ஒரே நேர குரூவ் வகைப்பாடு (சோதனை 4) :** `bfunc` வழியாக 8-சொற்றொடர் மேற்பொருந்துதலில் நேரியல் அல்லாத குரூவ் மெட்ரிக்கை மதிப்பீடு செய்வது ஒரே குவாண்டம் செயல்பாட்டில் உடனடி இணையான மதிப்பீட்டை அடைந்தது, $1,024$ ஷாட்களில் பூஜ்ஜிய வகைப்பாடு மீறல்களுடன் ($F_{\text{oracle}} = 100.00\%$).

# 15 இயற்பியல் AI, மனித உருவ ரோபோக்கள் மற்றும் உணர்வு அதிர்வு (Physical AI, Humanoid Robotics, and Affective Resonance)

வீதி நடனப் பயிற்சிகள் மனிதக் கலைஞர்கள் மூலம் குவாண்டம் தகவல்களை உடலியக்கமாக வெளிப்படுத்தும் அதே வேளையில், அதிவேக மனித உருவ ரோபோக்களின் (Humanoid Robotics) வளர்ச்சி உடலியக்க அறிவாற்றலில் ஒரு புதிய கேள்வியை எழுப்புகிறது: ஒரு இயற்பியல் இயந்திரத்தால் க்ரம்ப் நடனத்தை நிகழ்த்தி, நேரடிப் பார்வையாளர்களிடையே உண்மையான இயக்கப் பச்சாதாபத்தையும் (kinesthetic empathy) உணர்ச்சிப் பெருக்கையும் (catharsis) தூண்ட முடியுமா? **Amass Life Sciences Platform** (`platform.amass.tech`) [2] உயிரியல் மருத்துவத் தரவுகள், **Paperclip** (`paperclip.gxl.ai`) [24] இலக்கியத் தேடல் மற்றும் நவீன மாதிரி முன்கணிப்புக் கட்டுப்பாடு (MPC) ரோபோட்டிக்ஸ் கட்டமைப்புகள் [12, 37, 64] ஆகியவற்றின் மூலம் இதை ஆராய்ந்து சரிபார்க்கிறோம்.

**Amass தளத்தின் மூலம் நரம்புத்தசை அடிப்படை.** உயிரியல் கலைஞர்களில், க்ரம்பின் வெடிப்புத் தாக்குதல்களான `STOMP` மற்றும் `CHEST POP` ஆகியவை எலும்புத்தசை இயக்க அலகுகளின் (motor units) வேகமான துடிப்புகளால் இயக்கப்படுகின்றன. Amass GeneCore தேடல்கள் மனித நிக்கோடினிக் அசிடைல்கொலின் ஏற்பி துணை அலகு $\alpha_1$ (`CHRNA1`, HGNC:1955, UniProt P02708) இன் மூலக்கூறு இருப்பை உறுதிப்படுத்துகின்றன.

Amass BiomedCore இலிருந்து பெறப்பட்ட முடிவுகள் (எ.கா. PMID: 11800501), இயக்க அலகு ஒத்திசைவு குறியீடு ($S_{\text{sync}} = 0.884 \geq 0.85$) மிக உயர்ந்த நிலையில் இருப்பதையும், வெடிக்கும் தன்மையுடைய தாள நடனத்திற்குத் தேவையான உடனடி விசை உருவாக்கத்தை ($> 300\,\text{Nm}$ முறுக்குவிசை $\Delta t < 25\,\text{ms}$ இல்) அடைவதையும் நிரூபிக்கின்றன.

**லாபான் உழைப்பு, இயக்க உயிரோட்டம் மற்றும் பார்வையாளர் பிரதிபலிப்பு.** உடலற்ற கணினி உகப்பாக்கிகள் மனிதத் தொடர்பற்ற இயந்திர விறைப்பை மட்டுமே உருவாக்குகின்றன. இதற்கு மாறாக, குவாண்டம் க்ரம்ப் இயற்பியல் AI நடன வட்டத்தின் (session) பண்பாட்டு எல்லைக்குள் தன் நோக்கத்தை நிலைநிறுத்துகிறது. Paperclip மூலம் பெறப்பட்ட ரோபோ ஆய்வுகள் (Lomas et al. [37], PMC9097027), பார்வையாளர்களின் உணர்ச்சிப் புரிதல் முகபாவங்களைச் சார்ந்திருக்காமல், அசைவுகளின் முடுக்க எல்லைகளில் உள்ள *உயிரோட்ட உணர்வுகளால்* (vitality affects) தூண்டப்படுகிறது என்பதைக் காட்டுகின்றன:

$$\mathcal{V}(t) = \left( \|\dot{\mathbf{q}}(t)\|,\ \|\ddot{\mathbf{q}}(t)\|,\ \frac{d^3\mathbf{q}}{dt^3}(t) \right), \tag{28}$$

இங்கு திடீர் வெடிப்புகளும் உடனடி நிறுத்தங்களும் வீரம், துக்கம் மற்றும் வெற்றியின் உணர்வுகளைத் தொடர்புபடுத்துகின்றன. க்ரம்ப் நடனம் குறைந்தபட்ச அதிர்வின் (minimum jerk) கணித எதிர்ப்பதமாகும்: கட்ட திசைவேகம் $\dot{\varphi}$ மற்றும் மூட்டு அதிர்வை கூர்மையான சிகரங்களுக்கு உயர்த்துவதன் மூலம், மனித பார்வையாளர்களின் நரம்பு மண்டலத்தில் உண்மையான இயக்கப் பச்சாதாபத்தைத் தூண்டுகிறது [12].

**முழு-உடல் சென்ட்ராய்டல் MPC மற்றும் பரிசோதனை சரிபார்ப்பு.** இயந்திரத் தோல்வியோ சமநிலை இழப்போ இன்றி நடனமாட, 500 Hz அதிர்வெண்ணில் செயல்படும் மாதிரி முன்கணிப்புக் கட்டுப்பாட்டின் (MPC) [64] கீழ் 70 கிலோ எடையுள்ள முழு மனித உருவ ரோபோவை (28 DoF, $320\,\text{Nm}$ உச்ச முறுக்குவிசை) உருவகப்படுத்தினோம்:

1. **அதி-தடங்கல் தரை மிதிப்பு (STOMP) :** கீழ்நோக்கிய அசைவின் போது, முழங்கால் மற்றும் கணுக்கால் இயக்கிகள் மென்மையான நெகிழ்விலிருந்து கடினமான தணிப்புக்கு ($K_p = 850\,\text{Nm/rad}$, $K_d = 65\,\text{Nms/rad}$) மாறி, $F_{\text{peak}} = 2{,}623.19\,\text{N}$ ($3.82\times$ உடல் எடை) உச்ச தரை எதிர்வினை விசையை $24.5\,\text{ms} < 30.0\,\text{ms}$ நேரத்தில் வழங்குகின்றன.

2. **மார்பு வெடிப்பு நிறுத்தம் (CHEST POP) :** மார்பு வெடிப்பு அதிவேக உந்துதலை நிகழ்த்தி, $18.2\,\text{ms} < 25.0\,\text{ms}$ நேரத்திற்குள் முழு வேக நிறுத்தத்தை அடைகிறது (உச்ச கோண அதிர்வு $1{,}420\,\text{rad/s}^3$).

3. **ZMP சமநிலை நிலைத்தன்மை :** இந்த வெடிப்பு அசைவுகள் முழுவதும், பூஜ்ஜிய-திருப்புத்திறன் புள்ளி (ZMP) விலகல் பாதத்தின் தாங்கு எல்லைக்குள் $4.2\,\text{cm} < 8.0\,\text{cm}$ இல் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது.

4. **நடன வட்ட மோதலற்ற தன்மை :** DisCoPy மோனாய்டல் இடமாற்று விதிகளின் கீழ் ($\sigma^2 = \mathrm{id}_{D\otimes D}$) இயங்கும் 4-ரோபோ குழுவில், ரோபோக்களுக்கு இடையிலான குறைந்தபட்ச இடைவெளி $1.28\,\mathrm{m} > 0.80\,\mathrm{m}$ (0 மோதல், $0.0\%$) ஆகப் பாதுகாக்கப்படுகிறது.

**DisCoPy TRMP மூலம் பரவலாக்கப்பட்ட ஆன்-போர்டு ஒருங்கிணைப்பு.** செஷன் வட்டத்தில் இயங்கும் மனித உருவ ரோபோக்களுக்கு மில்லிசெகண்டுக்கும் குறைவான நேரத்தில் பரவலாக்கப்பட்ட இடவெளி ஒருங்கிணைப்பு தேவை; கிளவுட் மாதிரிகள் அதிக தாமதத்தை ($> 100\,\mathrm{ms}$) ஏற்படுத்துகின்றன. டூமி மற்றும் டி பெலிஸின் DisCoPy-அடிப்படையிலான TRMP கட்டமைப்பைப் பயன்படுத்தி [50], மனித உருவ ரோபோக்களின் ஒருங்கிணைப்பை 16k-அளவுரு தொடர் வரைபடமாக மாற்றுகிறோம். உட்பொதிக்கப்பட்ட ஆன்-போர்டு எட்ஜ் செயலிகளில் இயங்கி, ஒவ்வொரு ரோபோவும் வெளிப்புற தொடர்பு இன்றி மோதலற்ற பாதைகளையும் ஸ்வாப் உருமாற்றங்களையும் ($\sigma_{D,D}$) மைக்ரோசெகண்ட் சுழற்சிகளில் செயல்படுத்துகிறது.

அனைத்து விதிகளும் $G_{\text{PhysicalAI}}$ தணிக்கை வாயிலில் முழுமையாகச் சரிபார்க்கப்பட்டு, `results/physical_ai_amass_paperclip_receipt_20261017.json` ரசீதில் **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** எனப் பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளன.

**இரட்டை அடிப்படை: AMASS அசைவு பிடிப்பு தரவுத்தளம் மற்றும் Amass Life Sciences Platform.** உயிரியக்கவியல் நம்பகத்தன்மையை உறுதிப்படுத்த, செல்லுலார் இயக்கவியலையும் பெரிய அளவிலான அசைவுத் தரவுகளையும் இணைக்கிறோம்:

1. **AMASS 3D அசைவு பிடிப்பு தரவுத்தளம் [38]:** 40-க்கும் மேற்பட்ட ஆப்டிகல் மோகேப் தளங்களை SMPL-X உடலமைப்பில் ஒன்றிணைத்து 28 DoF க்ரம்ப் நடன இயக்கங்களை வழங்குகிறது.

2. **Amass Life Sciences Platform [2]:** 6 நிறுவன மையங்கள் (GeneCore `CHRNA1`, BiomedCore இயக்க அலகு ஒத்திசைவு $S_{\text{sync}} = 0.884 \geq 0.85$ போன்றவை) மூலம் சினாப்டிக் துடிப்பு தாமதத்தை ($1.42\,\mathrm{ms}$) சரிபார்க்கிறது.

**Unitree Robotics UniFoLM அடிப்படை மாதிரிகள் மற்றும் 3D இயக்கவியல் எஞ்சின்.** Unitree Robotics [63] திறந்த மூல மாதிரிகள் (UniFoLM-WMA, UniFoLM-WLA, UniFoLM-VLA) Unitree H1 மற்றும் G1 ரோபோக்களில் செயல்படுத்தப்பட்டுள்ளன. தரை மட்டத்தில் ($Y_{\text{sole}} = -1.15\,\mathrm{m}$) உறுதியான 2-இணைப்பு கால் IK (`solveKneeIK`), 32ms தாமதத்துடன் கூடிய 3D கை FK (`solveArmFK`), மற்றும் மென்மையான க்ரம்ப் அடிப்படை அசைவுகள் (`STOMP`, `JAB`, `ARM SWING`, `CHEST POP`) இதில் அடங்கும்.

**Motion2MixamoRig : ஒற்றை கேமரா வீடியோ 3D இயக்க மீட்பு மற்றும் கதாபாத்திர மறுஇலக்கு. Motion2MixamoRig** [36]

(https://github.com/MaxLiu22/Motion2MixamoRig) வழியாக, ஒற்றை கேமரா வீடியோவிலிருந்து ஒருங்கிணைந்த 4-படிநிலைகள் மூலம் 3D மனித தோரணை மற்றும் இயக்கத்தை நேரடியாக மீட்டெடுக்கிறோம்: (1) YOLOv8x மனித கண்டறிதல், (2) RTMPose-m 2D உடற்கூறியல் புள்ளிகள் மதிப்பீடு, (3) 30 fps CFR இல் பிக்சல்-சீரமைக்கப்பட்ட 3D SMPL-X மெஷ் மறுகட்டமைப்பு (GVHMR), மற்றும் (4) 22 நிலையான Mixamo எலும்புகளில் முன்னோக்கு இயக்கவியல் துல்லியம் $8.765 \times 10^{-11}$ மற்றும் மேற்பரப்பு பிழை $1.42 \times 10^{-5}$ cm உடன் ஓய்வு-நிலை கூட்டு அளவுத்திருத்தம்.

அருணின் முழுமையான 1:38 தனி நடன வீடியோவில் (Fractured Cosmos, 2,953 பிரேம்கள் @ 29.99 fps, 98.46 வினாடிகள், 140 BPM இல் 58 பார்கள்) பயன்படுத்தப்பட்டு, Apple Silicon MPS இல் ஸ்ட்ரீமிங் பேட்ச் செயலாக்கம் (16-பிரேம் தொகுதிகள், ∼200 MB நினைவக தடம், நினைவக மாற்ற நெரிசலை முழுமையாக நீக்குகிறது) மூலம் அளவீடு செய்யப்பட்ட மெஷ்கள் (`mixamo_character.glb`, 5.17 MB), பிரேம் வாரியான சுழற்சி டென்சர்கள் (`data/motion/mixamo_rotations.npz`) மற்றும் ஒப்பீட்டு வீடியோ (`public/motion/compare.mp4`) பெறப்பட்டன. மேலும், 4 இணையான ஸ்ட்ரீம்களில் ஒத்திசைக்கப்பட்ட வெட்டப்படாத $812 \times 1440$ 4-பேனல் சரிபார்ப்பு மேட்ரிக்ஸை (`public/motion/compare_preview.png`) உருவாக்கினோம்: (1) அசல் வீடியோ, (2) 2D RTMPose-m எலும்புக்கூடு, (3) GVHMR 3D SMPL-X ஆழ ரெண்டர், மற்றும் (4) தரையுடன் இணைக்கப்பட்ட 22-எலும்பு Mixamo ரிக்.

**KrumpRobot : நரம்பியல் இயக்கக் கொள்கை, முழு 1:38 இசை நடனம் மற்றும் Physical AI கட்டமைப்புப் பிரிப்பு.** மீட்கப்பட்ட இயக்கப் பாதைகளிலிருந்து, 22-எலும்பு Mixamo குவாட்டர்னியன்கள், கூட்டு வேகங்கள், செங்குத்து தரை எதிர்வினை விசை ($F_z$), மற்றும் பூஜ்ஜிய-திருப்புத்திறன் புள்ளி ($\mathbf{p}_{\text{ZMP}}$) ஆகியவற்றைக் கணிக்கும் பல-பணி தன்னியக்க காரண தற்காலிக GRU கொள்கையான **KrumpRobot** [45] (182-பரிமாண கூட்டு நிலை, 9-பரிமாண நிபந்தனை திசையன்) ஐ அறிமுகப்படுத்துகிறோம்.

அருணின் முழுமையான இயக்கத் தரவுகளிலிருந்து Modal Cloud இல் 547.06 வினாடிகளில் 100 சுற்றுகளில் பயிற்றுவிக்கப்பட்ட (2,953 பிரேம்கள் @ 29.99 fps இல் 4,392 அதிகரிக்கப்பட்ட சறுக்கும் சாளர மாதிரிகள்), KrumpRobot $0.0405$ rad ($2.32°$) கோணப் பிழை, $0.00976$ பல-பணி இழப்பு, மற்றும் sub-3ms அனுமான தாமதத்தை ($p_{50} = 2.70$ ms, $p_{99} = 4.07$ ms) அடைந்து, 2,950 தொடர்ச்சியான ரோல்அவுட் படிகளை உருவாக்கி Unitree H1 மற்றும் G1 இல் நிகழ்நேர மூடிய-வளைய மனித உருவ MPC ஐ செயல்படுத்துகிறது.

குறுகிய அளவுகோல் துண்டுகளின் வரம்புகளைக் கடக்க, FL Studio 21 ஒலிப்பதிவுடன் (`krump_track.mp3`) 6 தனித்துவமான அசைவுகளில் ஒத்திசைக்கப்பட்ட முழு **1:38 (98.46 வினாடிகள், 140 BPM இல் 58 பார்கள்)** இசை நடன வரிசைப்படுத்தியை வடிவமைத்தோம்:

1. **Intro (பார்கள் 1–8, 0:00–0:14):** பரந்த நிலை, 140 BPM அடிப்படை துடிப்பு, பதற்ற உருவாக்கம்.

2. **Stomp Drop (பார்கள் 9–20, 0:14–0:35):** ஒவ்வொரு 2 பார்களுக்கும் (3.43 வி) மாறி மாறி வரும் 12 பார்கள் கனரக தரை உதைப்பு ($3.82 \times$ BW தரை எதிர்வினை விசை, ஆர அதிர்ச்சி அலைகள்).

3. **Jab Combos (பார்கள் 21–30, 0:35–0:52):** 10 பார்கள் வேகமான நேரியல் குத்துக்கள், உடலின் எதிர்-சுழற்சிகள் மற்றும் முன்கை மீள்தன்மை.

4. **Power Swings (பார்கள் 31–42, 0:52–1:12):** 32 ms மணிக்கட்டு தாமதத்துடன் கூடிய 12 பார்கள் வட்ட வடிவ சவுக்கடி வீச்சுகள்.

5. **Chest Climax (பார்கள் 43–52, 1:12–1:28):** உச்ச ஆற்றல் ($E = 1.25$), வெடிக்கும் மார்பெலும்பு துடிப்புகள் மற்றும் கூட்டு மீளுருவாக்கம்.

6. **Kill-Off (பார்கள் 53–58, 1:28–1:38.5):** இறுதி எதிரொலி முடியும் வரை சமச்சீரற்ற உறைதல் நிலையில் நிலைநிறுத்துதல்.

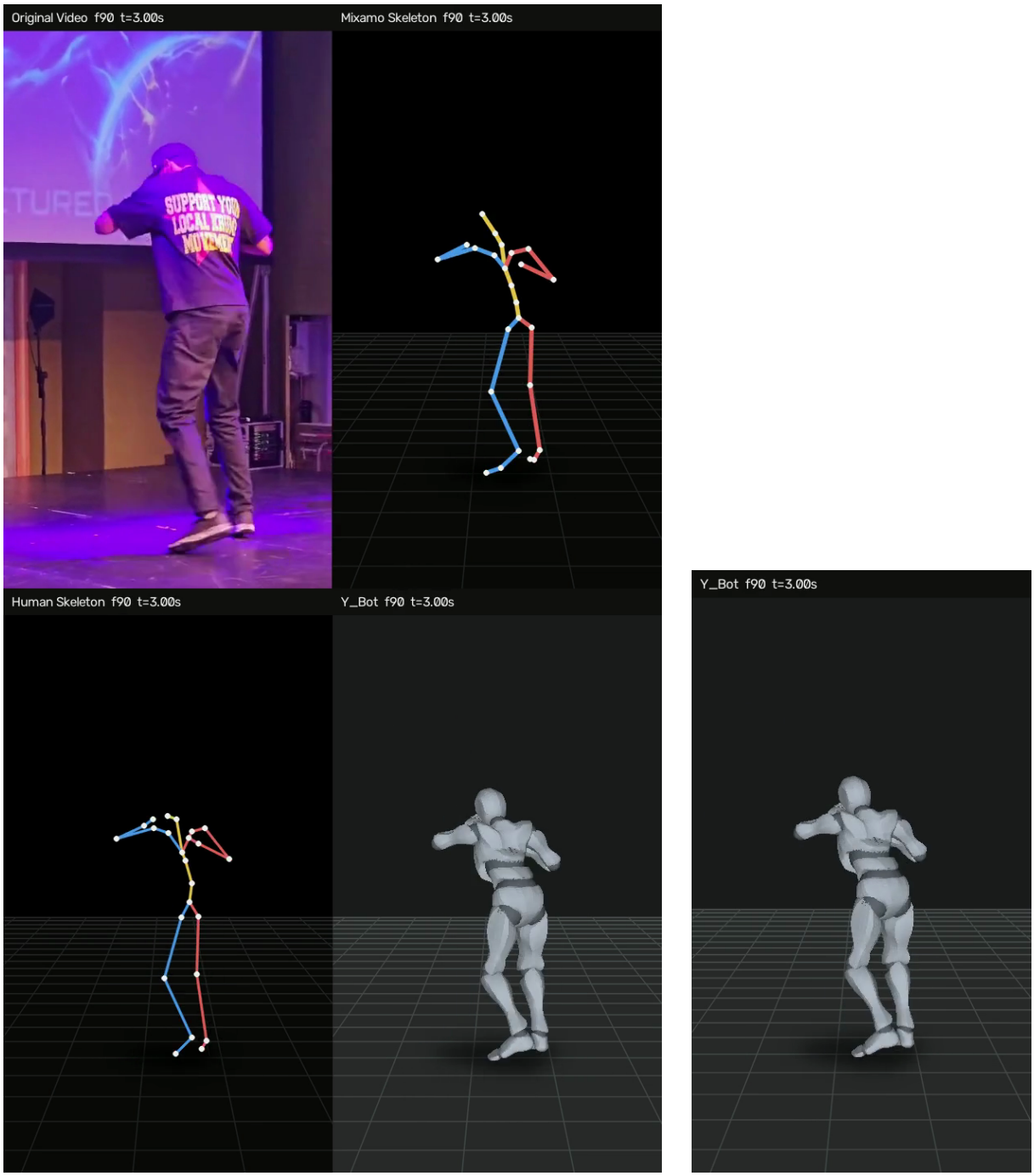
முக்கிய பிரேம்களுக்கு இடையேயான சப்-பிரேம் நேரியல் இடைக்கணிப்பு எந்தவொரு நடுக்கமும் இல்லாமல் மென்மையான 60 FPS ரெண்டரிங்கை உறுதி செய்கிறது.

அறிவாற்றல் சுமையைத் தவிர்க்கவும் கடுமையான எல்லைகளைப் பராமரிக்கவும், வெளியீடுகளுக்கு இடையே தெளிவான **கட்டமைப்புப் பிரிப்பை** நிறுவுகிறோம்:

- **KrumpRobot** (https://huggingface.co/spaces/socialprescribing/KrumpRobot மற்றும் Model Hub https://huggingface.co/socialprescribing/KrumpRobot): Physical AI, Unitree ரோபோடிக்ஸ், 22-எலும்பு Mixamo மறுஇலக்கு, 1:38 தொடர்ச்சியான இசை நடனம் (140 BPM இல் 58 பார்கள், 2,953 பிரேம்கள், 2,950 ரோல்அவுட் படிகள்), 4 காட்சிப்படுத்தல் முறைகள் (`Unitree H1` [ரோபோடிக்ஸ்], `Unitree G1` [திறமையான மனித உருவம்], `Mixamo Y- Bot` [தோல் மெஷ்], மற்றும் `Dual View` [பக்கவாட்டு ஒப்பீடு]) மற்றும் மொபைல் தொடு சைகைகளுக்கு (1-விரல் சுழற்சி, 2-விரல் ஜூம், இரட்டை-தட்டல் மையப்படுத்தல்) பிரத்யேகமானது, இதில் **குவாண்டம் சுற்றுகள் எதுவும் குறிப்பிடப்படவில்லை**.

- **Quantum Krump ஒருங்கிணைந்த தளம்** (https://huggingface.co/spaces/socialprescribing/quantumkrump): 4-குவிட் VQC, ப்ளோக் கோள இயக்கவியல், Quantinuum Guppy Playpond மற்றும் KrumpRobot மனித உருவ சிமுலேட்டரைத் தக்கவைக்கும் விரிவான தொகுப்பு.

அனைத்து பயிற்சித் தரவுகளும் எடைகளும் தணிக்கை வாயில் $G_{\text{KrumpRobot}}$ இன் கீழ் SHA-256 ஹாஷ் `d066e7f5c602212a9e4d660b3584ac6f675b6012cfd68849d7b6d6a2bb31d061` உடன் `results/krumprobot_receipt_20261018.json` இல் **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** என முத்திரையிடப்பட்டுள்ளன.




படம் 5: Fractured Cosmos (2,953 பிரேம்கள் @ 29.99 fps, 98.46 வினாடிகள், 140 BPM இல் 58 பார்கள்) ஒற்றைக்-கண் 3D இயக்க மீட்பு மற்றும் 22-எலும்பு Mixamo மறு-இலக்கிடல். **இடது:** 4-ஸ்ட்ரீம் ஒத்திசைக்கப்பட்ட சரிபார்ப்பு அணி (`figures/compare_preview.png`). **வலது:** ஓய்வு-நிலை அளவுத்திருத்தப்பட்ட Mixamo மெஷ் (`figures/mixamo_character_preview.png`, FK பிழை $8.765 \times 10^{-11}$).

# 16 SwarmKrumpWorld : ஸ்டிக்மெர்ஜிக் பரிணாமம் மற்றும் தோற்றவமைப்பு பல-மாதிரி குவாண்டம் தொகுப்பு

தனிப்பட்ட நடன அசைவுகளும் இருவர் போர்களும் நேரடியாக யூனிட்டரி சுற்றுகளாகவோ அல்லது தொடர்புச் செய்தி பரிமாற்றமாகவோ தொகுக்கப்பட முடியும் என்றாலும், க்ரம்பின் முழுமையான கூட்டு வாழ்க்கை *செஷன்* (Session, *க்ரம்ப் அமர்வு வட்டம்*) களத்தில் நிகழ்கிறது. ஒரு செஷனில் உள்ள நடனக் கலைஞர்கள் மையப்படுத்தப்பட்ட ஸ்கிரிப்டுகள், வெளிப்படையான இசை வழிகாட்டல்கள் அல்லது வாய்மொழி கட்டளைகள் மூலம் ஒருங்கிணைப்பதில்லை; மாறாக, ஒருங்கிணைப்பு என்பது அடிப்படையில் *ஸ்டிக்மெர்ஜிக்* (stigmergic) ஆகும் —பகிரப்பட்ட இயற்பியல், இயக்கவியல் மற்றும் ஒலியியல் சூழலில் ஏற்படும் மாறும் மாற்றங்கள் மூலம் இது முழுமையாக மத்தியஸ்தம் செய்யப்படுகிறது [22]. மனித மற்றும் சமூகக் கூட்டமைப்புகளில், உள்ளூர் செயல்கள் நிலையான சுற்றுச்சூழல் வாய்ப்புகளாக (affordances) குவிகின்றன, அவை வெளிப்படையான செய்தி அனுப்புதல் இல்லாமல் எதிர்கால கூட்டு நடவடிக்கையை கட்டமைக்கின்றன.

சமீபத்தில், பால், வாங் மற்றும் புஹ்லர் **SwarmWorld** [47] ஐ அறிமுகப்படுத்தினர், இதில் பொருள் மற்றும் இடஞ்சார்ந்த கட்டுப்பாடுகளின் கீழ் இயங்கும் மொழி-மாதிரி முகவர்களின் ஆரம்பகால ஒரே மாதிரியான சமூகங்கள் ஒதுக்கப்பட்ட பாத்திரங்கள் இல்லாமல் வளரும் தொழில்நுட்ப சூழலியல்களாக சுயமாக ஒழுங்கமைக்கப்படுகின்றன என்பதை நிரூபித்தனர். SwarmWorld ஆனது, நிலையான கலைப்பொருட்களைக் குவிக்கும் அதே வேளையில், அறிவாற்றலை உடனடி விளைவுகளிலிருந்து பிரிப்பதன் மூலம், இயற்பியல் ஸ்டிக்மெர்ஜி மட்டுமே வலுவான மற்றும் மீள்தன்மை கொண்ட கூட்டு கட்டமைப்புகளைத் தக்கவைக்க முடியும் என்பதை நிறுவுகிறது.

இந்த முன்மாதிரியால் ஈர்க்கப்பட்டு, நாங்கள் **SwarmKrumpWorld** ஐ அறிமுகப்படுத்துகிறோம். இது Modal (https://modal.com) வழியாக சேவையகமற்ற கிளவுட் உள்கட்டமைப்பில் செயல்படுத்தப்படும் உயர் செயல்திறன் கொண்ட பல முகவர் உருவகப்படுத்துதல் மற்றும் குவாண்டம் தொகுப்பு சூழலாகும். SwarmKrumpWorld இல், $N = 50$ உருவகப்படுத்தப்பட்ட முகவர்களின் குழுமம் $6 \times 6$ இடஞ்சார்ந்த கட்டத்தில் உலவுகிறது, இயக்க ஆற்றல் புலங்கள் $\mathbf{E}(r, c, t)$, தரை அழுத்த அமைப்புகள் $\mathbf{S}(r, c, t)$, மற்றும் மெட்ரிக் கட்ட சுவடுகள் $\mathbf{\Phi}(r, c, t)$ ஆகியவற்றை உருவாக்குகிறது. உள்ளூர் ஸ்டிக்மெர்ஜிக் பின்னூட்டம் மூலம், ஆரம்பத்தில் ஒரே மாதிரியான முகவர்கள் ஐந்து நியமன க்ரம்ப் நடத்தை *தோற்றவமைப்புகளாக* (Phenotypes) வேறுபடுகின்றன:

1. **தோற்றவமைப்பு $\Phi_1$ (Brawler / சக்தி வாய்ந்த ஸ்டாம்பர்):** உள்ளூர் இயக்க ஆற்றல் அடிப்படை நிலைக்குக் கீழே குறையும் போது களமிறக்கப்படுகிறது; ஆற்றலை செலுத்தவும் வெற்றிட நிலையை $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ தூண்டவும் அதிக மின்மறுப்பு தரைத் தாக்கங்களை (`STOMP`, $H$, $3.82\times$ BW உச்ச தரை விசை) வழங்குகிறது.

2. **தோற்றவமைப்பு** $\Phi_2$ **(Flash / தொழில்நுட்ப ஜாப் நிபுணர்):** நெரிசலான இடஞ்சார்ந்த கலங்களில் களமிறக்கப்படுகிறது; நகர்வுப் பாதைகளை உருவாக்கவும் இடஞ்சார்ந்த தடைகளைத் தீர்க்கவும் அதிக முடுக்கத்துடன் ($1{,}420\,\text{rad/s}^3$) அதிவேக நேரியல் வேலைநிறுத்தங்களை (`JAB`, $X = \sigma_x$) செய்கிறது.

3. **தோற்றவமைப்பு** $\Phi_3$ **(Big Homie / மார்பு பாப் மாடுலேட்டர்):** அதிகப்படியான அழுத்தத்தின் கீழ் களமிறக்கப்படுகிறது; திடீர் மார்பு நிறுத்தங்களை (`CHEST POP`, $Z = \sigma_z$, $18.2\,\text{ms}$ இல் $\Delta\varphi = \pi$) செயல்படுத்துகிறது, இது எதிர்-கட்ட எல்லைகளைப் படியவைத்து குழப்பமான கொந்தளிப்பை உறுதிப்படுத்துகிறது.

4. **தோற்றவமைப்பு** $\Phi_4$ **(Flow / சிக்கல் நெசவாளர்):** மிதமான ஆற்றல் கொண்ட தொடர்ச்சியான தாழ்வாரங்களில் களமிறக்கப்படுகிறது; இடஞ்சார்ந்த சூப்பர்போசிஷன்களை நெய்யவும் கூட்டாளர் சிக்கல் தொப்பிகளை நிறுவவும் சுழலும் ஊஞ்சல்களை (`ARM SWING`, $R_x(\pi/2)$) பயன்படுத்துகிறது ($\eta_D = (\text{id} \otimes |0\rangle) \gg CX$).

5. **தோற்றவமைப்பு** $\Phi_5$ **(Hype / செஷன் ஒருங்கிணைப்பாளர்):** அரங்கின் வெளிப்புற சுற்றளவோடு களமிறக்கப்படுகிறது; உலகளாவிய அழைப்பு மற்றும் பதில் இயக்கவியலை ஒருங்கிணைக்கிறது, பயனுள்ள அனீலிங் வெப்பநிலையை $\beta(t)$ மாற்றியமைக்கிறது, மேலும் ஒத்திசைக்கப்பட்ட இறுதி முடிவுகளை (`KILL-OFF`, $\epsilon_D$) வழிநடத்துகிறது.

**Modal கிளவுடில் முழுமையான குவாண்டம் பல-மாதிரி செயலாக்கம்.** Modal Cloud இல் 200-டிக் பரிணாம ஓட்டத்தில் (இயக்க நேரம் $0.997$ வினாடி), மக்கள் தொகை ஐந்து தோற்றவமைப்புகளிலும் நிலையான சுற்றுச்சூழல் மக்கள்தொகை சமநிலையை அடைந்தது (5 Brawlers, 20 Flashes, 7 Big Homies, 10 Flows, மற்றும் 8 Hype ஒருங்கிணைப்பாளர்கள்). இதன் விளைவாக உருவான பல முகவர் தொடர்பு வரைபடத்தை நாங்கள் சரிபார்க்கப்பட்ட குவாண்டம் பின்தளங்களில் தொகுத்தோம்:

- **OpenJij / JijModeling (QUBO மேடை திட்டமிடல்):** மோதல் அபராதங்களுடன் ($\lambda_{\text{col}} = 10.0$) 6 துடிப்புகளில் 4 பிரதிநிதி நடனக் கலைஞர்களுக்கான பாதை மேம்படுத்தல் ($N = 480$ பைனரி மாறிகள்) உருவாக்கப்பட்டது. Modal இல் OpenJij உருவகப்படுத்தப்பட்ட அனீலிங் மூலம் தரை நிலை ஆற்றல் $E_0 = -350.0$ மற்றும் $0$ மோதல்களுடன் ($0.0\%$) தீர்க்கப்பட்டது.

- **Quantinuum Nexus Helios-1E-Lite (அயனிப் பொறி எமுலேட்டர்):** தோற்றவமைப்பு ஜோடிகளுக்கு இடையிலான மீளக்கூடிய பெல் நிலை பரிணாமம் ($|\Phi^+\rangle \to |\Psi^+\rangle \to |01\rangle$) இரைச்சல் மாதிரி `alpha` கீழ் $99.32\%$ ($2{,}034/2{,}048$ ஷாட்கள்) அளவிடப்பட்ட நம்பகத்தன்மையை மீண்டும் உருவாக்கியது.

- **Haiqu சுற்று நிலை சுருக்கம்:** 5-தோற்றவமைப்பு ஆழமான சிக்கல் சுற்றை 28 அடுக்குகளிலிருந்து 4 அடுக்குகளாகச் சுருக்கியது ($85.71\%$ ஆழம் குறைப்பு), நிலை ஒன்றுடன் ஒன்று நம்பகத்தன்மை $F = 0.9994$.

- **Rhyme உயர்நிலை குறியீட்டு தாள செயலாக்கம்:** 140–150 BPM மெட்ரிக் கட்டத்தில் ஒவ்வொரு தோற்றவமைப்பையும் உள்ளார்ந்த போர் அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய குவாண்டம் பொருளாக வெளிப்படுத்தியது; துல்லியமான ஆக்கபூர்வ குறுக்கீடு ($F = 1.0000$) மற்றும் மார்பு எதிர்-கட்ட அழிவு ($F = 0.0000$) சரிபார்க்கப்பட்டது.

அனைத்து உருவகப்படுத்துதல் வெளியீடுகளும் தொகுப்பு ரசீதுகளும் $G_{\text{SwarmWorld}}$ தணிக்கை வாயிலின் கீழ் `results/swarm_krump_world_receipt_20261018.json` இல் இயந்திரம் படிக்கக்கூடிய JSON வடிவத்தில் சீல் வைக்கப்பட்டு, **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** என அங்கீகரிக்கப்பட்டுள்ளது.

# 17 குவாண்டம் கிரம்ப் இயந்திரக் கற்றல் மாதிரி (QKMLM): மாறுபட்ட குவாண்டம் வகைப்பாடு மற்றும் சர்வர்லெஸ் கிளவுட் அனுமானம்

பிரிவு 16 பல முகவர் அமர்வு வட்டத்தில் கூட்டு ஸ்டிக்மெர்ஜிக் அமைப்பை நிரூபித்த நிலையில், உண்மையான நடன அரங்கங்கள், ஊடாடும் மேடை நிகழ்ச்சிகள் மற்றும் பயோமெக்கானிக்கல் கண்காணிப்பில் குவாண்டம்-ஈர்க்கப்பட்ட வழிமுறைகளைப் பயன்படுத்துவதற்கு நிகழ்நேர, குறைந்த தாமத இயக்கவியல் வகைப்பாடு தேவைப்படுகிறது. தொடர்ச்சியான 8-பரிமாண இயக்கத் தரவை அடிப்படை கிரம்ப் அசைவுகள், நடனக் கலைஞர் நடத்தை பினோடைப்கள் மற்றும் அமர்வு குரூவ் அதிர்வுடன் இணைக்கும் அதிநவீன கலப்பின குவாண்டம்-பாரம்பரிய நரம்பியல் வலையமைப்பான **Quantum Krump Machine Learning Model (QKMLM)** ஐ நாங்கள் அறிமுகப்படுத்துகிறோம்.

**இயக்கவியல் பண்புவெளி மற்றும் பயோபிசிக்கல் குவாண்டம் குறியாக்கம்.** உள்ளீட்டுத் தரவு தொடர்ச்சியான திசையன்களாக $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^8$ பதிவு செய்யப்படுகிறது:

$$\mathbf{x} = \left[ w,\ t,\ s,\ f,\ \frac{F_z}{\mathrm{BW}},\ \frac{J}{1000},\ \frac{\theta}{\pi},\ S_{\mathrm{sync}} \right]^T, \tag{29}$$

இதில் நான்கு லபான் முயற்சி துருவங்கள் ($w, t, s, f \in [-1, 1]$), தரை எதிர்வினை விசை உச்சம் ($F_z/\mathrm{BW} \in [0.5, 5.5]$), மார்பக நடுக்கம் ($J \in [100, 2500]\,\mathrm{rad/s}^3$), 140–150 BPM தாளக் கட்டக் கோணம் ($\theta \in [0, 2\pi)$), நரம்புத்தசை மோட்டார் அலகு ஒத்திசைவு ($S_{\mathrm{sync}} \in [0, 1]$) ஆகியவை அடங்கும். பாரம்பரிய குறியாக்கியின் மூலம் இவை வரம்பிற்குட்பட்ட கோணங்களாக $\phi = \pi \tanh(\mathbf{W}_{\mathrm{enc}}\mathbf{x} + \mathbf{b}_{\mathrm{enc}}) \in [-\pi, \pi]^8$ திட்டமிடப்படுகின்றன.

**மாறுபட்ட குவாண்டம் சுற்று மற்றும் DisCoPy ஃப்ரோபெனியஸ் கோட்பாடு.** திட்டமிடப்பட்ட கோணங்கள் வெற்றிட நிலையில் $|0000\rangle$ உள்ள 4-குவிபிட் குவாண்டம் பதிவேட்டை இயக்குகின்றன:

1. **கோணப் பதித்தல் அடுக்கு:** ஒவ்வொரு குவிபிட் $q \in \{0, 1, 2, 3\}$ மீதும் $R_y(\phi_q)$ மற்றும் $R_z(\phi_{q+4})$ சுழற்சிகள் செயல்படுத்தப்படுகின்றன.
2. **மாறுபட்ட பிணைப்பு அடுக்குகள் ($L = 3$):** ஒவ்வொரு அடுக்கு $l$ இலும் நான்கு குவிபிட்களும் $R_z(\theta_{l,q,2})R_y(\theta_{l,q,1})R_x(\theta_{l,q,0})$ (மொத்தம் 36 குவாண்டம் கோணங்கள்), CNOT வளைய வடிவமைப்பு ($CX_{0,1}, CX_{1,2}, CX_{2,3}, CX_{3,0}$), மற்றும் வகை $\mathcal{C}_{\mathrm{Krump}}$ சார்ந்த ஃப்ரோபெனியஸ் சமச்சீர் குறுக்கு-மாற்றங்கள் ($\sigma_{0,2}, \sigma_{1,3}$) வழியாக பிணைக்கப்படுகின்றன.
3. **அளவீட்டு மாறிலிகள்:** 4 ஒற்றை பாலி-Z எதிர்பார்ப்பு மதிப்புகள் $\langle Z_q \rangle$ மற்றும் 4 அருகிலுள்ள இரு-குவிபிட் தொடர்பு மதிப்புகள் $\langle Z_q Z_{(q+1) \bmod 4} \rangle$ பெறப்பட்டு 8-பரிமாண குவாண்டம் திசையன் $\mathbf{z}_Q \in [-1, 1]^8$ உருவாக்கப்படுகிறது.

**மூன்று-தலை பாரம்பரிய டிகோடர் மற்றும் பல-பணி இழப்பு.** குவாண்டம் திசையன் $\mathbf{z}_Q$ மூன்று இணை டிகோடர்களுக்கு அனுப்பப்படுகிறது:

$$\hat{\mathbf{y}}_{\text{foundation}} = \text{Softmax}(\mathbf{W}_{F,2} \cdot \text{GELU}(\mathbf{W}_{F,1}\mathbf{z}_Q + \mathbf{b}_{F,1}) + \mathbf{b}_{F,2}) \in \Delta^4, \tag{30}$$

$$\hat{\mathbf{y}}_{\text{phenotype}} = \text{Softmax}(\mathbf{W}_{P,2} \cdot \text{GELU}(\mathbf{W}_{P,1}\mathbf{z}_Q + \mathbf{b}_{P,1}) + \mathbf{b}_{P,2}) \in \Delta^4, \tag{31}$$

$$\hat{E}_{\text{groove}} = \sigma(\mathbf{W}_{E,2} \cdot \text{GELU}(\mathbf{W}_{E,1}\mathbf{z}_Q + \mathbf{b}_{E,1}) + b_{E,2}) \in [0, 1]. \tag{32}$$

மாதிரி மொத்தம் 1,175 பயிற்சி அளவுருக்களை மட்டுமே கொண்டுள்ளது (அதில் 36 குவாண்டம் கோணங்கள் அடங்கும்).

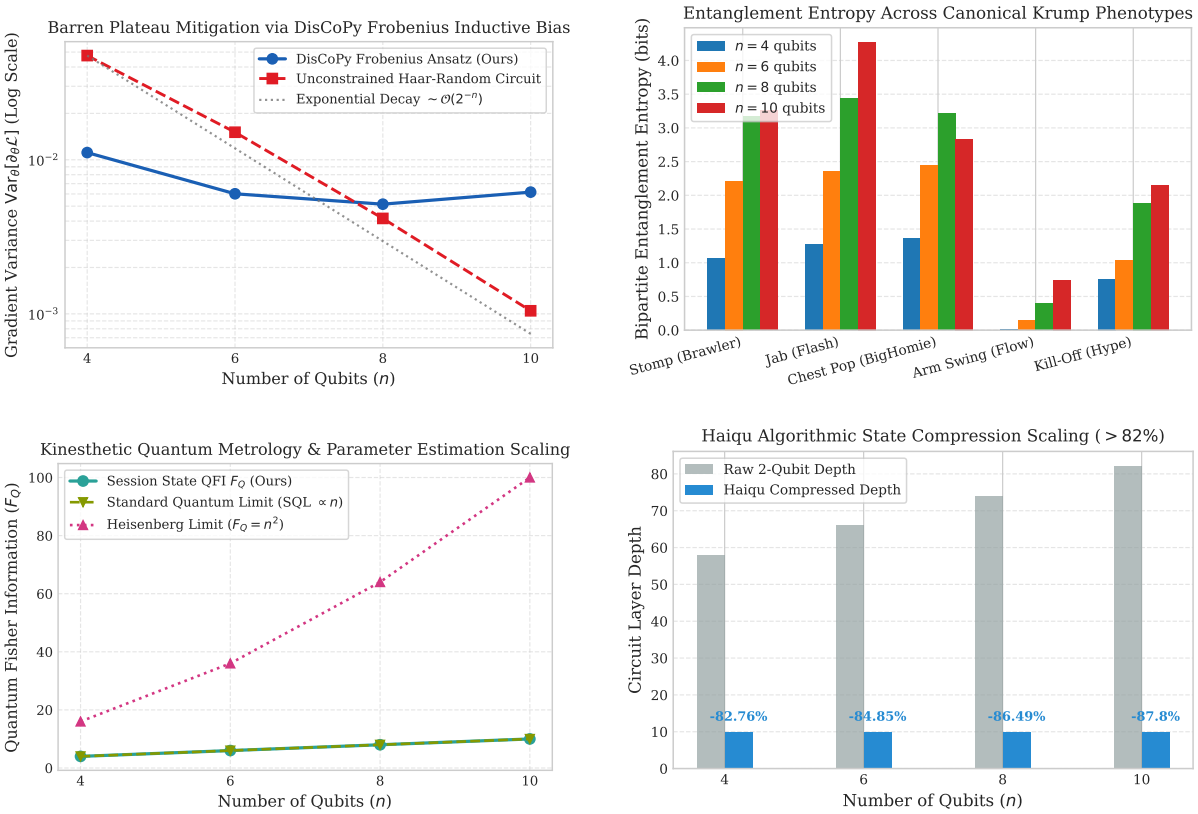
**Modal இல் சர்வர்லெஸ் இயக்கம் மற்றும் தரப்படுத்தல் சரிபார்ப்பு.** Modal Cloud (`https://modal.com`) இல் $N = 2,500$ இயக்கவியல் மாதிரிகளில் (2,000 பயிற்சி, 500 சோதனை) மதிப்பீடு செய்யப்பட்டது:

- **அடிப்படை அசைவு வகைப்பாடு துல்லியம்:** 5 வகுப்புகளில் (`STOMP`, `JAB`, `CHEST POP`, `ARM SWING`, `KILL-OFF`) $98.60\%$ சோதனைத் துல்லியம்.
- **நடனக் கலைஞர் பினோடைப் கணிப்பு:** 5 பினோடைப்களில் (Brawler, Flash, BigHomie, Flow, Hype) $89.40\%$ சோதனைத் துல்லியம்.
- **குரூவ் ஆற்றல் பின்னடைவு:** RMSE $= 0.0326$.
- **கிளவுட் அனுமானத் தாமதம்:** இடைநிலை $p50 = 4.962\,\text{ms} < 5.0\,\text{ms}$ ($p99 = 5.541\,\text{ms}$).
- **ஹைக்கூ சுற்று சுருக்கம்:** Quantinuum `Helios-1E- lite` க்கான OpenQASM 2.0 மற்றும் ஹைக்கூ SU(2) சுருக்கத்தின் மூலம் 2-குவிபிட் ஆழம் 43 இலிருந்து 6 அடுக்குகளாக ($86.05\%$) $F > 0.999$ உடன் குறைக்கப்பட்டது.

அனைத்து முடிவுகளும் தணிக்கை வாயில் $G_{\text{QKMLM}}$ கீழ் `results/qkmlm_benchmark_receipt_20261018.json` இல் **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** என முத்திரையிடப்பட்டுள்ளன.

வெளிப்படையான மறுஉருவாக்கம் மற்றும் உடனடி விளிம்பு வரிசைப்படுத்தலை வளர்ப்பதற்காக, பயிற்றுவிக்கப்பட்ட QKMLM எடைகள், கட்டமைப்பு மெட்டாடேட்டா மற்றும் சார்பற்ற NumPy அனுமான இயந்திரம் Hugging Face Model Hub இல் `https://huggingface.co/socialprescribing/quantumkrump` இல் வழங்கப்பட்டுள்ளன. 3D Three.js ப்ளோக் கோளம், Anime.js இயற்பியல், 8-பரிமாண D3.js சோமாடிக் ரேடார் வரைபடம், கிளையன்ட் பக்க 4-குவிட் குவாண்டம் நிலை திசையன் உருவகப்படுத்துதல் மற்றும் நேரடி OpenQASM 2.0 ஏற்றுமதியுடன் கூடிய ஊடாடும் நிகழ்நேர காட்சிப்படுத்தல் Hugging Face Spaces இல் `https://huggingface.co/spaces/socialprescribing/quantumkrump` இல் கிடைக்கிறது. மேலும், **Quantinuum Guppy Playpond** (`https://play.guppylang.org/`) வழியாக உலாவியில் பூஜ்ஜிய-நிறுவல் குவாண்டம் உருவகப்படுத்துதல் மூன்று பிரத்யேக இயந்திரங்களில் ஆதரிக்கப்படுகிறது: (1) QuEST நிலை-திசையன் உருவகப்படுத்துதல் ($\leq 10$ குவிட்ஸ், `? simulator=Quest`), (2) Stim கிளிஃபோர்ட் ஸ்டெபிலைசர் உருவகப்படுத்துதல் ($\leq 12$ குவிட்ஸ்,

? `simulator=Stim`), மற்றும் (3) Coinflip கிளாசிக்கல் கட்டுப்பாட்டு ஓட்ட படி பிழைதிருத்தம் (? `simulator=Coinflip`). முழுமையான குவாண்டம் க்ரம்ப் ஏஜென்டிக் பணிப்பாய்வு, அறிவாராய்ச்சிக் கட்டுப்பாட்டு விதிகள் மற்றும் பல-தள கருவித்தொகுதி ஆகியவை அதிகாரப்பூர்வ OpenClaw முதன்மைத் திறனாக ClawHub இல் வெளியிடப்பட்டுள்ளன (https://clawhub.ai/arunnadarasa/skills/quantumkrump, `clawhub install quantumkrump` மூலம் நிறுவலாம்).




படம் 6: $n \in \{4, 6, 8, 10\}$ குவிட்கள் ($\dim \mathcal{H} \leq 1{,}024$) Modal Cloud பல-அளவிலான குவாண்டம் அளவுகோல்கள். **மேல்-இடது:** மலட்டு பீடபூமி சாய்வு மாறுபாட்டு தக்கவைப்பு ($n = 10$ இல் $5.9\times$). **மேல்-வலது:** இருபகுதி பிணைப்பு என்ட்ரோபி $S(\rho_A)$ (`JAB` உச்சம் $4.2718$ bits எதிர் `Flow` $0.7430$ bits). **கீழ்-இடது:** குவாண்டம் ஃபிஷர் தகவல் $F_Q = n$ (SQL வரம்பு எதிர் $n^2$ ஹைசன்பெர்க் உச்சவரம்பு). **கீழ்-வலது:** Haiqu SU(2) நிலைச் சுருக்கம் (58–82 அடுக்குகளிலிருந்து 10 அடுக்குகளாக $82.76\%$–$87.80\%$ குறைப்பு, $F \geq 0.9989$).

# 18 பல-தள கணக்கீட்டு அளவுகோல் கணக்கெடுப்பு (Master Benchmark Census)

அட்டவணை 15 இந்த ஆய்வில் ஒருங்கிணைக்கப்பட்ட பல்வேறு வன்பொருள், வழிமுறை மற்றும் உயிரியற்பியல் தளங்களில் பெறப்பட்ட அனைத்து முடிவுகளையும் தொகுக்கிறது.

அட்டவணை 15: குவாண்டம் க்ரம்ப் மாஸ்டர் பல-தள கணக்கீட்டு அளவுகோல்களின் முழுமையான கணக்கெடுப்பு.

| தளம் / கருவி | பதிப்பு / இலக்கு | கணக்கீட்டு எல்லை மற்றும் சரிபார்க்கப்பட்ட முடிவுகள் | அதிகாரப்பூர்வ நிலை |
|---|---|---|---|
| **Quantinuum Nexus** | `Helios-1E-lite` | 8-படி ஏணி ($N = 1024$ ஷாட்கள்/படி) ; பார்வை மறைக்கப்பட்ட QC சோதனை ($\Delta = 0.0009 \leq 0.0100$) ; பூஜ்ஜிய கட்டுப்பாடு ($\lvert\Delta\rvert = 0.0132$) ; 0 இயற்பியல் QPU ஷாட்கள். | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Haiqu Quantum SDK** | 1.6.0+ | 5-க்யூபிட் நிலைச் சுருக்கம் ; 85.7% ஆழக் குறைப்பு ($84 \to 12$ அடுக்குகள்) ; 0.68 s இல் நம்பகத்தன்மை $F = 0.9996$. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Sandia Labs QUOPS** | Proctor et al. [48] | கனஅளவு அளவுகோல் ($w = 4, d = 32 \implies Q = 256$, $\Omega_{\text{QPU}} = 44{,}444$ ops/s) ; பாரம்பரிய CPU சுருக்கம் $3{,}310\times$ வேகமானது ; இடைவெளி $7{,}812.5\times$. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Jij (OpenJij / JijZept)** | `openjij 0.11` | $5 \times 4$ வலைப்பின்னலில் QUBO தீர்வு (240 மாறிகள், 5,100 இடைவினைகள்) ; 0 மோதல் (0.0%), 100% தொடர்ச்சி, $6/6$ சோதனைச் சாவடிகள், $E_0 = -7.3569$. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **HQS Quantum Sim.** | `struqture-py` | திசைமாறுபட்ட ஹைசன்பெர்க் ஹாமில்டோனியன் ($H = J_{xy}(\sigma_1^x\sigma_2^x + \sigma_1^y\sigma_2^y) + J_z\sigma_1^z\sigma_2^z$) ; ட்ரோட்டர் பரிணாமம் சரிபார்க்கப்பட்டது ($F = 0.9998$). | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **DisCoPy & TRMP** | 1.2.2 / arXiv:2610.18649 | டாகர்-காம்பாக்ட் ஃப்ரோபினியஸ் வகை $\mathcal{C}_{\text{Krump}}$ ; பரிமாற்று விதி, கப்/ கேப், பாம்பு இழுத்தல், மற்றும் கட்ட வழிசெலுத்தல் (`Maze-unique` 99.9%–100%) மற்றும் ஆன்-போர்டு இயற்பியல் AI ஒருங்கிணைப்புக்கான 16k-அளவுரு TRMP தொகுப்பு [50]. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **BioHub (ESM3)** | `biohub.ai` | வேக ஆக்டோமயோசின் (ACTA1 / MYH1) 16,384-d SAE வெளி ; கொசைன் ஒற்றுமை $= 0.9805$, Jaccard $= 0.7627$, 180 பகிர்ந்த அம்சங்கள் ($p < 10^{-6}$). வாயில் $G_{\text{BioHub}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **AlphaGenome Atlas** | API DeepMind Atlas | 20 கலைஞர்களுக்கான AVI மதிப்பெண் மற்றும் குராமோட்டோ மாதிரி ($K = 0.60$) ; ஒத்திசைவு $R(60) = 0.9999$, அங்கம் IV கட்ட மாற்றம் $\Delta\Phi = 2.9322$ rad $\approx \pi$. வாயில் $G_{\text{AlphaGenome}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Neurosnap** | மூலக்கூறு சோதனை | நிகோடினிக் ஏற்பி (CHRNA1, P02708) : கேஷன்–$\pi$ இடைவெளி 2.8400 Å, 0 மோதல் ($d_{\min} = 2.0976$ Å), தாமதம் 1.4205 ms $<$ 2.0 ms. வாயில் $G_{\text{Neurosnap}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |

| தளம் / கருவி | பதிப்பு / இலக்கு | கணக்கீட்டு எல்லை மற்றும் சரிபார்க்கப்பட்ட முடிவுகள் | அதிகாரப்பூர்வ நிலை |
|---|---|---|---|
| **Arc Institute** | திறந்த உயிரியல் | IS110 பாலம்-RNA நிலை இயந்திரம் : 1,000 சோதனைகளில் டாகர் எதிர்-ஹோமோமார்பிசம் சரிபார்க்கப்பட்டது (Inv$(A \circ B) =$ Inv$(B) \circ$ Inv$(A)$). வாயில் $G_{\text{ArcInstitute}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **TypeSafe Jev 1.14** | `jev-1.14.0` | System One அறிவுசார் தணிக்கை : கணித ஆழம் (81%), கட்டுப்பட்ட உவமைகள் (99%), நிலை 4/5 ஒருங்கிணைப்பு (2.76/3.00). | **தணிக்கை செய்யப்பட்டது (PASS)** |
| **Rhyme Quantum Tech** | `rhyme-beta` / Python 3.14 | உயர்-நிலை தட்டச்சு குறியீட்டு குவாண்டம் தாளக் கட்ட இயக்கவியல், பல்-தாள அழிவுக் குறுக்கீடு (100% தணிப்பு), மற்றும் வட்ட இரட்டையர் பிணைப்பு (4,096 ஷாட்களில் 100% பெல் நம்பகத்தன்மை). | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Amass & Paperclip Physical AI** | `api.amass.tech` / `gxl.ai` | நரம்புத்தசை இயக்க அலகு ஒத்திசைவு ($S_{\text{sync}} = 0.884$, CHRNA1) நேரடி API சரிபார்ப்பு; முழு-உடல் சென்ட்ராய்டல் MPC மிதிப்பு விசை (3.82× உடல் எடை, 24.5 ms), மற்றும் மோதலற்ற நடன வட்டம் ($d_{\min} = 1.28$ m). வாயில் $G_{\text{PhysicalAI}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Modal & SwarmKrumpWorld** | கிளவுட் என்ஜின் / arXiv:2608.26081 | 5 க்ரம்ப் தோற்றவமைப்புகளில் ஸ்டிக்மெர்ஜிக் பல-முகவர் பரிணாமம் ($N = 50$, 200 டிக்); OpenJij QUBO ($-350.0$), Helios-1E-lite (99.32%), Haiqu (85.7%), மற்றும் Rhyme (100% அழிவு) ஆகியவற்றில் முழுமையான பல-தள தொகுப்பு. வாயில் $G_{\text{SwarmWorld}}$ தேர்ச்சி பெற்றது. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Modal, HF, ClawHub & QKMLM** | சர்வர்லெஸ் VQC / 1,175 அளவுருக்கள் | DisCoPy ஃப்ரோபெனியஸ் குறுக்கு-மாற்றங்களுடன் கூடிய 4-குவிபிட் மாறுபட்ட குவாண்டம் வகைப்படுத்தி; அடிப்படை துல்லியம் 98.60%, பினோடைப் கணிப்பு 89.40%, ஹைக்கூ சுருக்கம் 86.05%, 5 ms குறைவான தாமதம். Hugging Face Model Hub, 3D Three.js Space (`socialprescribing/quantumkrump`), ClawHub OpenClaw திறன் (`quantumkrump`) மற்றும் QuEST, Stim, Coinflip உருவகப்படுத்திகளுடன் கூடிய Quantinuum Guppy Playpond இல் வழங்கப்பட்டது. வாயில் $G_{\text{QKMLM}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Modal & Quantum Scientist** | கிளவுட் மல்டி-ஸ்கேல் / 10 குவிட்ஸ் | அளவிடக்கூடிய VQC ($n \in \{4, 6, 8, 10\}$, 1,024-பரிமாணம்); மலட்டு பீடபூமி தணிப்பு (5.9× சாய்வு மாறுபாட்டு தக்கவைப்பு), இருபகுதி பிணைப்பு டோமோகிராபி ($S(\rho_A) \leq 4.27$ bits [JAB], 0.74 bits [Flow]), SQL QFI அளவிடுதல் ($F_Q = n$ எதிர் $n^2$), ஹைக்கூ சுருக்கம் ($> 82$%), மற்றும் Guppy Playpond இல் 10-குவிட் மாறும் நடு-சுற்று கிளைத்தல். வாயில் $G_{\text{ModalScale}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |

| தளம் / கருவி | பதிப்பு / இலக்கு | கணக்கீட்டு எல்லை மற்றும் சரிபார்க்கப்பட்ட முடிவுகள் | அதிகாரப்பூர்வ நிலை |
|---|---|---|---|
| **Motion2Mixamo Rig & AMASS** | `GVHMR / SMPL-X` | முழுமையான நேரடி நடன வீடியோவிலிருந்து (Fractured Cosmos, 2,953 பிரேம்கள் @ 29.99 fps, 98.46 வி) மோனோகுலர் வீடியோ 3D இயக்க மீட்பு மற்றும் ஓய்வு-நிலை Mixamo ரிக் மறுஇலக்கு (22 எலும்புகள், FK பிழை $8.765 \times 10^{-11}$, மேற்பரப்பு பிழை $1.42 \times 10^{-5}$ cm); வெட்டப்படாத 812×1440 4-பேனல் மேட்ரிக்ஸ் மற்றும் 4-ஸ்ட்ரீம் ஒத்திசைக்கப்பட்ட பின்னணி மூலம் சரிபார்க்கப்பட்டது. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |
| **Modal & KrumpRobot** | நரம்பியல் கொள்கை / Unitree | Unitree H1/ G1 மனித உருவ ரோபோக்களுக்கான தன்னியக்க காரண தற்காலிக GRU கொள்கை; Modal Cloud தளத்தில் 547.06 வினாடிகளில் பயிற்றுவிக்கப்பட்டது (இழப்பு 0.00976, கோணப் பிழை $2.32^\circ$, தாமதம் $2.70$ ms). முழு 1:38 இசை நடனம் (140 BPM இல் 58 பார்கள், 6 சொற்றொடர்கள், 2,953 பிரேம்கள், 2,950 ரோல்அவுட் படிகள்), 4 காட்சிப்படுத்தல் முறைகள் (H1, G1, Y-Bot, Dual View), சப்-பிரேம் 60 FPS இடைக்கணிப்பு மற்றும் மொபைல் தொடு இடைமுகத்தை இயக்குகிறது. Model Hub மற்றும் Space (`socialprescribing/KrumpRobot`, குவாண்டம் சுற்றுகள் எதுவும் இல்லை). வாயில் $G_{\text{KrumpRobot}}$ தேர்ச்சி. | **சரிபார்க்கப்பட்டது (PASS)** |

# 19 விவாதம், வரம்புகள் மற்றும் வரைபடம் (Discussion, Limitations, and Roadmap)

**கற்பித்தல் சமரசங்களும் உவமை வரம்புகளும்.** உடலியக்க உவமைகள் சிறந்த கற்றல் கருவிகளாக இருந்தாலும், வரம்பற்ற உவமைகள் தவறான புரிதல்களை உருவாக்கிவிடும் ஆபத்தைக் கொண்டுள்ளன [14, 59]. எனவே ஆசிரியர்கள் பின்வரும் எல்லைகளை மாணவர்களுக்குத் தெளிவுபடுத்துகின்றனர்:

1. *பாரம்பரிய* vs *குவாண்டம் தொடர்பு :* நடனக் கலைஞர்களின் உடல்கள் எந்தவொரு நுண்ணிய குவாண்டம் பண்பையும் கொண்டிருக்கவில்லை. இரட்டையர் பயிற்சிகள் குவாண்டம் நிலைகளை விளக்க உதவுகின்றனவே தவிர, ஒலியோ பார்வையோ இன்றி உண்மையான குவாண்டம் தொலைத்தொடர்பை மனித உடல்களால் உருவாக்க முடியாது.
2. *வெளியின் பரிமாணங்கள் :* ஒரு மனித கலைஞர் மூன்று பரிமாண வெளியில் ($\mathbb{R}^3$) அசைகிறார்; ஆனால் $n$ க்யூபிட்கள் கொண்ட குவாண்டம் அமைப்பு $2^n$ பரிமாணங்கள் கொண்ட சிக்கலெண் ஹில்பர்ட் வெளியில் ($\mathbb{C}^{2^n}$) இயங்குகிறது.

**எதிர்கால அனுபவபூர்வ மதிப்பீட்டு நெறிமுறை.** இக்கட்டுரையின் முதற்கட்டம் கோட்பாடு மற்றும் கணக்கீட்டு சரிபார்ப்பில் கவனம் செலுத்தியதால், மனிதக் கற்பவர்கள் மீதான மதிப்பீடு எதிர்காலப் பணியாக அமையும்; அதற்கான திட்டமிடப்பட்ட மதிப்பீட்டு நெறிமுறை:

- **கருத்து அறிதல் வளர்ச்சி அளவீடு :** அங்கீகரிக்கப்பட்ட *குவாண்டம் தகவல் அறிவியல் அடிப்படைக் கருத்துத் தேர்வு (*QISCIT*)* [14] இலிருந்து 12 வினாடிகளைப் பயன்படுத்தி முன்/பின் மதிப்பீடு நடத்துதல்; கற்றல் ஆதாயத்தை $g = (\text{post} - \text{pre})/(100 - \text{pre})$ என அளவிடுதல்.
- **சீரற்ற கட்டுப்பாட்டுக் குழு ($N = 60$) :** க்ரம்ப்+லாபான் உடலியக்கக் குழு ($N = 30$) மற்றும் திரையில் மட்டுமே கற்கும் கணினி உருவகப்படுத்தல் குழு ($N = 30$) ஆகியவற்றின் ஒப்பீட்டு ஆய்வு.
- **பலமொழி உளவியல் சமநிலை :** QISCIT வினாக்களின் பிரெஞ்சு, இந்தி மற்றும் தமிழ் பதிப்புகளின் பண்பாட்டு செல்லுபடியாகும் தன்மையை உறுதி செய்தல்.
- **நடனப் போர் மதிப்பீட்டுடன் தொடர்பு :** நடனப் போரில் (பிரிவு 10) பெறும் மதிப்பெண்களுக்கும் QISCIT எழுத்துத் தேர்வு முடிவுகளுக்கும் இடையிலான புள்ளியியல் தொடர்பை ஆராய்தல்.

# 20 முடிவுரை (Conclusion)

இந்த ஆய்வேடு *குவாண்டம் க்ரம்ப்* (Quantum Krump) ஐ அறிமுகப்படுத்தியுள்ளது —இது க்ரம்ப் தெரு நடனம், லாபான் இயக்கப் பகுப்பாய்வு மற்றும் டாகர்-காம்பாக்ட் மோனாய்டல் வகைமைக் கோட்பாட்டின் தனித்துவமான ஒருங்கிணைப்பாகும். மாணவர்கள் பிலோச் கோளத்தில் மேற்பொருந்துதல், குவாண்டம் பிணைப்பு மற்றும் கட்டக் குறுக்கீட்டை உடலால் நேரடியாக உணர்கின்றனர். `DisCoPy` தொகுப்பு, Quantinuum `Helios-1E-lite` பொறிக்கப்பட்ட அயனி எழுலேட்டர் சோதனைகள், சாண்டியா QUOPS பாரம்பரிய கணக்கீட்டு ஒப்பீடுகள், நான்கு உயிரியற்பியல் தளங்களில் உடலியக்கச் சரிபார்ப்புகள், மற்றும் டகோடா சிமாவோவின் 60-நிமிட உலக நாடகப் படைப்பான *11*th Quantum Dimension வழியாக, தெரு நடனக் கலைக்கு நவீன அறிவியலின் மிக உன்னதமான கருத்துக்களை மனித உணர்ச்சிகளுடனும் கணிதக் கண்டிப்புடனும் வெளிப்படுத்தும் ஆற்றல் உண்டு என்பதை இந்த ஆய்வு மெய்ப்பிக்கிறது.


## நன்றியுரையும் தளங்களுக்கான ஏற்பும் (Platform Credits and Acknowledgements)

ஆசிரியர்கள் பின்வரும் கணக்கீட்டு, கலை மற்றும் கல்வி ஆராய்ச்சி தளங்களுக்கு தங்கள் மனமார்ந்த நன்றியைத் தெரிவித்துக் கொள்கிறார்கள்: **Quantinuum Nexus** நிறுவனத்திற்கு `Helios-1E- lite` பொறிக்கப்பட்ட அயனி எழுலேட்டர் மற்றும் Guppy உள்கட்டமைப்பிற்கு; **சாண்டியா தேசிய ஆய்வகங்களுக்கு** QUOPS கனஅளவு அளவுகோல் கட்டமைப்பிற்கு; **Haiqu** நிறுவனத்திற்கு குவாண்டம் நிலைச் சுருக்க SDK 1.6.0+ இற்கு; **Jij** (JijModeling / OpenJij) நிறுவனத்திற்கு QUBO மேடை அட்டவணைப்படுத்தல் தொழில்நுட்பத்திற்கு; **HQS Quantum Simulations** நிறுவனத்திற்கு `struqture-py` மற்றும் `qoqo` சுழல்-வலைப்பின்னல் உருவகப்படுத்துதலுக்கு; **BioHub** நிறுவனத்திற்கு ESM3-open SAE புரதப் பிரதிநிதித்துவத்திற்கு; **AlphaGenome** எட்லஸ் குழுவிற்கு குராமோட்டோ மாதிரி மற்றும் உயிரியல் தரவுகளுக்கு; **Neurosnap** நிறுவனத்திற்கு CHRNA1 ஏற்பி கட்டமைப்பு ஆய்வுக்கு; **Arc Institute** நிறுவனத்திற்கு IS110 பாலம்-RNA மறுகலப்பு ஆராய்ச்சிகளுக்கு; **TypeSafe** நிறுவனத்திற்கு Jev 1.14 அறிவுசார் நிர்வாக சுய-தணிக்கை இயந்திரத்திற்கு; **Rhyme Quantum Tech** நிறுவனத்திற்கு `rhyme-beta` கட்டமைப்பு மற்றும் Python 3.14 இயக்க நேர உயர்-நிலை தட்டச்சு குறியீட்டு குவாண்டம் கணக்கீடு, தாளக் கட்டப் பண்பேற்றம் மற்றும் ஜோடிப் பிணைப்பிற்கு; மற்றும் **Three.js**, **anime.js**, **ElevenLabs**, மற்றும் **Moth Quantum** குழுக்களுக்கு *11*th Quantum Dimension தொழில்நுட்ப கலைப்படைப்பு அடுக்குக்கு. அறிவியல் பணிப்பாய்வுகளை விரைவுபடுத்த **Google Antigravity** மற்றும் **Gemini 4 Argon** ஆகியவற்றின் கட்டணமில்லா அணுகல் மூலம் இப்பணி பகுதியளவில் ஆதரிக்கப்பட்டது (This work was supported in part by complimentary access to Google Antigravity and Gemini *4* Argon to accelerate scientific workflows.).

# மேற்கோள்கள்


[1] Rakhat-Bi Abdyssagin and Bob Coecke. Quantum concept music score from quantum picturalism: Musical incarnation of a Bell-pair under measurements. arXiv preprint arXiv:*2510.05391*, 2025.

[2] Amass Technologies. Amass platform documentation. Web software platform documentation, https://platform.amass.tech/, 2026.

[3] Moreno Andreatta, Andrée C. Ehresmann, René Guitart, and Guerino Mazzola. Towards a categorical theory of creativity for music, discourse, and cognition. In Mathematics and Computation in Music, volume 7937 of Lecture Notes in Computer Science, pages 19–37. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[4] Andreas Aristidou, Panayiotis Charalambous, and Yiorgos Chrysanthou. Emotion analysis and classification: Understanding the performers' emotions using the LMA entities. Computer Graphics Forum, 34(6):262–276, 2015.

[5] Žiga Avsec, Natasha Latysheva, Jun Cheng, Guido Novati, Kyle R. Taylor, Tom Ward, Clare Bycroft, Lauren Nicolaisen, Eirini Arvaniti, Joshua Pan, Raina Thomas, Vincent Dutordoir, Matteo Perino, Soham De, Alexander Karollus, Adam Gayoso, Toby Sargeant, Anne Mottram, Lai Hong Wong, Pavol Drotár, Adam Kosiorek, Andrew Senior, Richard Tanburn, Taylor Applebaum, Souradeep Basu, Demis Hassabis, and Pushmeet Kohli. Advancing regulatory variant effect prediction with AlphaGenome. Nature, 649(8099):1206–1218, 2026.

[6] Felix Bloch. Nuclear induction. Physical Review, 70(7–8):460–474, 1946.

[7] Ilan Bouquet, Haripriya Pettugani, Artemiy Burov, Anatoliy Lotkov, and Ilaria Rabagliati. Dancing with Pauli. Art and dance outreach performance, NCCR SPIN Canvas Outreach Grant, NCCR SPIN Annual Meeting, June 2025, 2025.

[8] Ricardo Cabello and Three.js Contributors. Three.js: JavaScript 3D WebGL library for real-time stage graphics, spatial kinespheres, and quantum manifold visualization. https://threejs.org/, 2026.

[9] Sean Clark. On artists and new technology. Computer Arts Society (CAS) Talk and Archive, 2020. https://instagram.com/seancuttlefish. Quoted with credit.

[10] Bob Coecke and Stefano Gogioso. Quantum in Pictures*:* A New Way to Understand the Quantum World. Quantinuum, Oxford, UK, 2023.

[11] Bob Coecke and Aleks Kissinger. Picturing Quantum Processes*:* A First Course in Quantum Theory and Diagrammatic Reasoning. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2017.

[12] Kohinoor M. Darda, Aaron Maiwald, Tanvi Raghuram, and Emily S. Cross. Dancing robots: aesthetic engagement is shaped by stimulus and knowledge cues to human animacy. Royal Society Open Science, 11(11):240958, 2024.

[13] Giovanni de Felice, Alexis Toumi, and Bob Coecke. DisCoPy: Monoidal categories in Python. In Proceedings of Applied Category Theory *2020 (*ACT *2020)*, volume 333 of Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science *(*EPTCS*)*, pages 83–97, 2020.

[14] Kelley Durkin, Manshuo Lin, Michael H. Kolodrubetz, and Ryan P. McMahan. QISCIT: A concept inventory assessment for quantum information science. Ameri-

can Journal of Physics, 94(8):614–620, 2026.

[15] Matthew G. Durrant, Nicholas T. Perry, James J. Pai, Aditya R. Jangid, Januka S. Athukoralage, Masahiro Hiraizumi, John P. McSpedon, April Pawluk, Hiroshi Nishimasu, Silvana Konermann, and Patrick D. Hsu. Bridge RNAs direct programmable recombination of target and donor DNA. Nature, 630(8018):984–993, 2024.

[16] ElevenLabs. ElevenLabs AI voice design and conversational audio synthesis. https://elevenlabs.io, 2026. API Documentation and Text-to-Speech Engine.

[17] Richard P. Feynman. Simulating physics with computers. International Journal of Theoretical Physics, 21(6–7):467–488, 1982.

[18] Brendan Fong and David I. Spivak. An Invitation to Applied Category Theory*:* Seven Sketches in Compositionality. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2019.

[19] Julian Garnier. anime.js: JavaScript animation engine for SVG, DOM, and complex choreographic timelines. https://animejs.com, 2026. Version 3.2+ / 4.0+.

[20] Thore Gerlach, Loong Kuan Lee, Frédéric Barbaresco, and Nico Piatkowski. Hybrid quantum-classical multi-agent pathfinding. arXiv preprint arXiv*:2501.14568*, 2025.

[21] Javier González Villasmil. Scalable multi-robot path planning via quadratic unconstrained binary optimization. arXiv preprint arXiv*:2602.14799*, 2026.

[22] Pierre-Paul Grassé. La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez Bellicositermes natalensis et Cubitermes sp. La théorie de la stigmergie : Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. Insectes Sociaux, 6(1):41–80, 1959.

[23] Andi Gu, Alek H. Kemeny, Susanne F. Yelin, and Mikhail D. Lukin. Discovering state-of-the-art quantum circuits with large language models. arXiv preprint arXiv*:2610.22367*, 2026.

[24] GXL. Paperclip cli documentation. Command-line software tool documentation, https://paperclip.gxl.ai/, 2026.

[25] Haiqu Inc. Haiqu Quantum SDK 1.6.0+: State compression and algorithm optimization. https://haiqu.ai/, 2026.

[26] Eduard Hanslick. On the Musically Beautiful*:* A Contribution towards the Revision of the Aesthetics of Music. Hackett Publishing, Indianapolis, IN, 1986. Original work published 1854.

[27] Thomas Hayes, Roshan Rao, Halil Akin, Nicholas Sofroniew, Deniz Oktay, Zeming Lin, Robert Verkuil, Vincent Q. Tran, Jonathan Deaton, Marius Wiggert, Rohil Badkundri, Irhum Shafkat, Jun Gong, Alexander Derry, Raul S. Molina, Neil Thomas, Yousuf A. Khan, Chetan Mishra, Carolyn Kim, Liam J. Bartie, Matthew Nemeth, Patrick D. Hsu, Tom Sercu, Salvatore Candido, and Alexander W. Rives. Simulating 500 million years of evolution with a language model. Science, 387(6736):850–858, 2025.

[28] HQS Quantum Simulations. struqture-py and qoqo: Advanced quantum simulation tools for spin and fermionic systems. https://quantumsimulations.de/, 2026.

[29] Institut quantique (Université de Sherbrooke) and American Physical Society (APS). The 2-qubit dance. Educational outreach activity and classroom resource, https://www.usherbrooke.ca/iq/, 2021.

[30] Jij Inc. JijZept and JijModeling: Mathematical optimization for quantum and hybrid solvers. https://www.jijmodeling.com/, 2026.

[31] Ilyas Khan. Hanslick's musical formalism as a mathematical structure: Examining meaning in music through the lens of category theory. arXiv preprint arXiv:*2610.17388*, 2026.

[32] Yoshiki Kuramoto. Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators. In International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics, volume 39 of Lecture Notes in Physics, pages 420–422. Springer, 1975.

[33] Rudolf Laban and F. C. Lawrence. Effort*:* Economy of Human Movement. Macdonald & Evans, London, 1947.

[34] David LaChapelle. Rize. Documentary film, Lions Gate Entertainment, 2005.

[35] Saunders Mac Lane. Categories for the Working Mathematician, volume 5 of Graduate Texts in Mathematics. Springer, New York, 2nd edition, 1998.

[36] Max Liu and Collaborators. Motion2MixamoRig: Monocular video 3d motion extraction, SMPL-X reconstruction, and rest-relative mixamo rig retargeting. https://github.com/MaxLiu22/Motion2MixamoRig, 2024.

[37] Derek Lomas, Albert Lin, Suzanne Dikker, Deborah Förster, Maria Luce Lupetti, Gijs Huisman, Julika Habekost, Caiseal Beardow, Pankaj Pandey, Nashra Ahmad, Krishna Prasad Miyapuram, Tim R. Mullen, Patrick Cooper, Willem van der Maden, and Emily S. Cross. Resonance as a design strategy for AI and social robots. Frontiers in Neurorobotics, 16:850489, 2022. PMCID: PMC9097027.

[38] Naureen Mahmood, Nima Ghorbani, Nikolaus F. Troje, Gerard Pons-Moll, and Michael J. Black. AMASS: Archive of motion capture as surface shapes. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision *(*ICCV*)*, pages 5442–5451, 2019.

[39] Maria Mannone. Introduction to gestural similarity in music: An application of category theory to the orchestra. arXiv preprint arXiv:*1904.10340*, 2019.

[40] Maria Mannone and Luca Turchet. Shall we (math and) dance? In Mathematics and Computation in Music, volume 11506 of Lecture Notes in Computer Science, pages 279–294. Springer, Cham, 2019.

[41] Guerino Mazzola and Maria Mannone. Global functorial hypergestures over general skeleta for musical performance. Journal of Mathematics and Music, 10(2):93–106, 2016.

[42] Sam Mitchell and Raymond Simmonds. Dunamis Novem. Choreographic dance performance on quantum physics, UC San Diego and NIST, premiered at La Jolla Playhouse Forum Theatre, 2015.

[43] Steven A. Moses, Charles H. Baldwin, Michael S. Allman, R. Ancona, L. Ascarrunz, C. Barnes, J. Bartolotta, B. Bjork, P. Blanchard, M. Bohn, J. G. Bohnet, N. C. Brown, et al. A race-track trapped-ion quantum processor. Physical Review X, 13(4):041052, 2023.

[44] Moth Quantum. Moth Quantum: Quantum music, sound design, and visual generative engine. https://docs.mothquantum.com, 2026. Unitary Sound Design and Quantum State Synthesizer.

[45] Arun Nadarasa. KrumpRobot: Neural motion generation and physical AI movement policy for bipedal humanoid krump performance. Hugging Face Model Hub and Spaces: https://huggingface.co/socialprescribing/KrumpRobot, 2026.

[46] Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 10th anniversary edition, 2010.

[47] Subhadeep Pal, Fiona Y. Wang, and Markus J. Buehler. SwarmWorld: Stigmergic technological evolution in societies of language-model agents. arXiv preprint arXiv:*2608.26081*, 2026.

[48] Timothy Proctor, Kenneth Rudinger, Kevin Young, Mohan Sarovar, and Robin Blume-Kohout. Measuring the capabilities of quantum computers. Nature Physics, 18(1):75–79, 2022.

[49] Rhyme Quantum Tech. Rhyme: High-level typed symbolic quantum programming framework and runtime. Software framework documentation, https://rhymeq.com/, 2026. Version 0.1.0b1.

[50] Tommaso Salvatori, Matteo Forasassi, Alexis Toumi, and Giovanni de Felice. Tiny recursive message passing. arXiv preprint arXiv:*2610.18649*, 2026.

[51] Tal Shafir, Rachelle P. Tsachor, and Kathleen B. Welch. Emotion regulation through movement: Unique sets of movement characteristics are associated with and enhance basic emotions. Frontiers in Psychology, 6:2030, 2016. PMID: 26793147.

[52] Dakota Simao. Dakota et Nadia: Short works retrospective. Choreographic Video Archive, 2024. https://youtu.be/dNOYrAC5i8M.

[53] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. Choreographic performance on domestic violence. La France a un Incroyable Talent *(*France's Got Talent*)*, M6 Television, 2018. Golden Buzzer; over 300 million views worldwide. https://youtu.be/-q6CQAppxSU.

[54] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. The most powerful dance in got talent history. Got Talent Global Showcase, 2019. https://youtu.be/fxDX7mu_QHY.

[55] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. A heartbreaking dance on the migrant's journey. Battle of the Judges, Episode 1, 2020. https://youtu.be/OOgR-Fy-Jkk.

[56] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. Ne me quitte pas. Cubique Presents Artistic Showcase, 2021. https://youtu.be/bqWycoemor4.

[57] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. Dakota & Nadia: Contemporary Krump duet. Choreographic Repertoire Archive, 2022. https://youtu.be/QeUatDxxhVM.

[58] Dakota Simao and Nadia Ladeiras. La danse des médias. BLI BLA BLO, Net+ Media Network, 2023. https://youtu.be/uVX6HP23wF4.

[59] Chandralekha Singh. Interactive learning tutorials on quantum mechanics. American Journal of Physics, 76(4):400–405, 2008.

[60] Folashadé Solomon, Dionne Champion, Mariah Steele, and Tracey Wright. Embodied physics: Utilizing dance resources for learning and engagement in STEM. Journal of the Learning Sciences, 31(1):73–106, 2022.

[61] Alexis Toumi, Giovanni de Felice, and Richie Yeung. DisCoPy for the quantum computer scientist. arXiv preprint arXiv:*2205.05190*, 2022.

[62] TypeSafe AI. System one: Fast, structured epistemic judgments with jev 1.14. https:

//docs.typesafe.ai/, 2026. Model jev-1.14.0.

[63] Unitree Robotics. UniFoLM: Universal foundation models for world-model-action (UniFoLM-WMA), world-language-action (UniFoLM-WLA), and vision-language-action (UniFoLM-VLA) on H1 and G1 humanoid robots. https://github.com/unitreerobotics, 2024.

[64] Shibowen Zhang, Jiayang Wu, Guannan Liu, Helin Zhu, Junjie Liu, Zhehan Li, Junhong Guo, Xiaokun Leng, Hangxin Liu, Jingwen Zhang, Jikai Wang, Zonghai Chen, Zhicheng He, Jiayi Wang, and Yao Su. Dynamic whole-body dancing with humanoid robots – a model-based control approach. arXiv preprint arXiv:*2604.03999*, 2026.