LUND UNIVERSITY

# The Quantum Imperative

## Addressing the Legal Dimension of Quantum Computers

Jeutner, Valentin

*Published in:*
Morals & Machines

*DOI:*
10.5771/2747-5174-2021-1-52

2021

*Document Version:*
Other version

Link to publication

*Citation for published version (APA):*
Jeutner, V. (2021). The Quantum Imperative: Addressing the Legal Dimension of Quantum Computers. *Morals & Machines*, *1*(1), 52-59. https://doi.org/10.5771/2747-5174-2021-1-52

*Total number of authors:*
1

*Creative Commons License:*
CC BY-SA

**General rights**
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

**Take down policy**
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

# پیشگفتار مترجمان:

تمام وسایل الکترونیکی اطراف شما، با مجموعه ای از بیت‌های متشکل از صفر و یک کار می کنند. این بیت‌ها، بسیار ساده تعریف می‌شوند؛ اما رایانه کوانتومی، حالت جدیدی از پردازش اطلاعات را، با درنظر داشتن قوانین فیزیک کوانتوم ایجاد میکند. امروزه روش بهتر برای پردازش اطلاعات، بر اساس مکانیک کوانتومی است و این روش بسیار کارآمدتر از موارد دیگر است.

نظریه رایانه کوانتومی از سال ۱۹۸۲ توسط *ریچارد فاینمن*[1] مطرح شد. او اعتقاد داشت که محاسبات را بایستی از دنیای دیجیتال به دنیای کوانتوم انتقال داد. در سال ۱۹۹۴ *پیتر شور*[2] برای محقق کردن نظریه *فاینمن* دست بکار شد. دقیقا در شرایطی که رایانه های کلاسیک، بعضی از ایراداتشان پدیدار شد، پیتر در مقاله-اش نشان داد که از رایانه‌های کوانتومی میتوان برای حل این ایرادات استفاده کرد؛ از جمله آن مشکلات فاکتورگیری بود که رایانه های معمولی قادر به انجام آن نبودند که این مسئله در نوع خود بسیار مهم است. رایانه های کوانتومی قادر بودند از اعداد بیشماری و با سرعت بسیار بالایی فاکتور گیری کنند. بعد ها این نظریه کم کم در عمل نیز، توسط دانشمندان دیگر مورد توجه قرار گرفت.

حال به طور مختصر، تفاوت رایانه های معمولی و کوانتومی را بررسی می‌کنیم. **اول** اینکه باید توجه کرد که در رایانه های معمولی، از ترانزیستورها و مدارها استفاده میشود، اما در نوع کوانتومی، اتم ها و سایر ذرات ریز، مانند *نانوذراتِ نیمه‌رسانا* کارگذاشته میشود. **مورد دوم**، حل کردنِ مسائلِ غیرقابل حل توسط رایانه های کوانتومی، حتی بهتر از ابررایانه های[3] فعلی میباشد. **بخش سوم** مربوط به توانایی انتقال از راه دور اطلاعات توسط نوع کوانتومی است، که رایانه های معمولی قادر به انجام آن نیستند. بعلاوه در نوع کوانتومی، ترانزیستور ها ، اندازه و ابعادی همچون اتم پیدا میکنند و رفتار اتم ها را توضیح میدهند. در آخر نیز، نوع کوانتومی، میلیون

[1] Richard Feynman
[2] Peter Shor
[3] Supercomputers

ها بار سریع‌تر و قدرتمندتر از ابررایانه های فعلی کار میکنند، به علت اینکه کیوبیت ها در رایانه های کوانتومی چند حالت میپذیرند، این امر موجب انجام پردازش موازی توسط این رایانه ها میشود. این پردازش موازی، امکان کار کردن بر روی میلیون ها محاسبه در یک لحظه را فراهم میکند؛ در حالی که رایانه هایِ معمولیِ شما در منزل، تنها یک محاسبه را در لحظه انجام میدهد.

# درباره نویسنده:

Prof.Valentin Jeutner **دانشیار حقوق**(Associate Professor) **و پژوهشگر ارشدِ پروژه حقوق کوانتومی در دانشگاه لوند سوئد** (Lund University)**میباشند.**

**برای اطلاعات بیشتر میتوانید به پیوند(لینک) زیر مراجعه کنید.**

https://portal.research.lu.se/en/persons/valentin-jeutner/publications/

# مترجمان:

**ابوالفضل اوژن‌پور و امیررضا اثناعشری ، دانشجویان مقطع کارشناسی حقوق دانشگاه علامه طباطبایی، علاقه‌مند به بحث های حقوق کوانتوم.**

**راه های ارتباطی:**

asnaashariamirreza@gmail.com

https://www.linkedin.com/in/abolfazlozhanpour

abolfazl.ojan061@gmail.com

# بایسته‌های[۴] کوانتوم: پرداختن به جنبه حقوقی رایانه‌های کوانتومی


## چکیده:

رایانه‌های کوانتومی [5]جزو مسائل حقوقی می‌باشند که به طرز محسوسی بر زندگی‌مان تاثیر می‌گذارند. از این رو، کارکرد و توسعه آنها بایستی که تحت نظارت و کنترل قرار گیرد. بی گمان، پتانسیلِ تحول آفرینِ رایانشِ کوانتومی[۶]، چشمگیر و استثنایی است. اما شایان ذکر است که عدم کنترل و نظارت بر توسعه‌ی رایانه‌های کوانتومی باعث تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر سلطه قدرت حقوقی و همچنین بر روابط اجتماعی می‌شود. اصول حقوقی‌ای که می‌تواند راهنمای مقررات قانونی باشد نیز، بایستی که به منظور جلوگیری از خطرات مرتبط با توسعه رایانش کوانتومی، ارتقا پیدا کند. این مقاله، با مطرح کردن بحث بایسته‌های کوانتومی، در توسعه و ارتقا چنین اصولی(اصول حقوقی) تاثیر می‌گذارد. بایسته‌های کوانتوم، تصریح دارد که سامانگران[۷] و توسعه دهندگان[۸] باید در خصوص پیشرفت رایانه‌های کوانتومی اطمینان یابند که: ۱. باعث ایجاد یا تشدید نابرابری‌ها نمی‌شود ۲. استقلال اشخاص (حقیقی) را تضعیف نمی‌کند و دیگر اینکه ۳. بدون مشورت با کسانی که منافع آنها را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد، اتفاق نمی‌افتد.



**کلیدواژگان : حقوق کوانتومی، رایانش کوانتومی، مکانیک کوانتومی، بایسته‌های کوانتوم، اصول اخلاقی فناوری**


---

[٤] * منظور از بایسته در این مقاله، اصول و ضرورت‌هایی است که به هنگام توسعه رایانه‌های کوانتومی، بایستی که مدنظر قرار بگیرند. (بایسته=اصل=ضرورت و الزام)

[5] Quantum computers

[6] Quantum computing: عبارتی است که به هر نوع استفاده از رایانه در انجام امور به صورت عام اطلاق میشود (برای مثال، رایانش زیستی یعنی استفاده از رایانه، در مباحث مربوط به رشته زیست شناسی).

[7] Regulators

[8] developers

## ۱. مقدمه:

رایانه‌های کوانتومی جزو مسائل حقوقی عجیب، بحث‌برانگیز و در عین حال جالب هستند. اما گرایش به توصیف آنها در چنین عبارات پر رنگ و لعابی، نباید ما را از این واقعیت منحرف کند که در کل، رایانه‌های کوانتومی مسئله‌ای جادویی نیستند، بلکه ابزاری فناورانه هستند که به صورت ملموس، بر زندگی ما تاثیر می‌گذارند. بدین ترتیب، توسعه و عملکرد آنها، مجموعه‌ای از سوالات حقوقی را ایجاد می‌کند. بعضی از این سوالات، مربوط به روشی است که فناوری، رفتار انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هنجارهای فناورانه همچون هنجارهای حقوقی، می‌توانند از طریق تجویز روش‌های خاصی، همچون اعطای حقوق یا محدود کردن قدرت انتخاب، بر گزینش‌های انسان تاثیر بگذارند. سوالات حقوقی دیگری درارتباط با تمایل به این ابزارها (رایانش و ابزارهای کوانتومی) در طولانی مدت، به منظور افزایش قدرت بعضی افراد، و محروم کردن برخی دیگر به وجود می‌آید. بدیهی است که، توانایی دسترسی به ابزارها در دوران قدیم نیز مهم بوده است. همانطور که بعضی از اجداد ما می‌توانستند به ابزارها دسترسی داشته باشند و از کسانی که نمی‌توانستند دریغ می‌کردند.

شاید مبالغه باشد که رابطه‌ی بین آنهایی که به رایانه‌های کوانتومی دسترسی دارند و آنهایی که ندارند، با رابطه بین انسان‌های اولیه ای که می‌توانستند ابزارهای اولدوان[۹] بسازند و آنهایی که نمی‌توانستند را یکسان بپنداریم.

اما هیچ شکی نیست که پتانسیلِ قابل توجه رایانش کوانتومی، اگر بررسی و کنترل نشود، بر قدرتِ روابط اجتماعی، به طرز چشمگیری تاثیر خواهد گذاشت. به منظور جلوگیری از خطراتِ مرتبط با رایانش کوانتومی، اینکه اصول حقوقی را توسعه دهیم که بتوانند اقدامات تنظیمی در مورد رایانه‌های کوانتومی را هدایت کنند، از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این نوشته کمک به توسعه چنین اصولی، با مطرح کردن سه جنبه از

[۹] ابزار های اولدوان، اولین ابزار های (شناخته شده) سنگی هستند که توسط انسان ساخته شده است.

بایسته‌های کوانتومی می‌باشد. بایسته‌های کوانتومی مقرر می‌دارند که تنظیم کنندگان و توسعه دهندگان باید مطمئن شوند که توسعه رایانه‌های کوانتومی: ۱. ایجاد یا تشدید نابرابری نمی‌کند ۲ استقلال اشخاص (حقیقی) را تضعیف نمی‌کند ۳. بدون مشورت با کسانی که منافعشان را تحت تاثیر قرار می‌دهد، استفاده نمی‌شود.

قبل از پرداختن به بررسیِ مفصلِ بحثِ بایسته‌های کوانتومی در قسمت چهارم مقاله، خالی از لطف نیست که به طور مختصر ویژگی‌های ضروری رایانه‌های کوانتومی(قسمت ۲) و همچنین، مسائل حقوقی وابسته به توسعه و عملکرد آنها را مورد توجه قرار دهیم(قسمت ۳).

## ۲. ویژگی‌های رایانه‌های کوانتومی:

هنگام توصیف این ویژگی‌ها، باید با توضیح فرق بین کیوبیت‌ها و بیت‌ها[۱۰] شروع کنیم. اغلب اوقات، ارائه جزئیات فنی رایانه‌های کوانتومی، شناسایی سوالات اساسی حقوقی را دشوارتر می‌کند. بی شک، ساماندهی دقیق رایانه‌های کوانتومی، درک دقیقی از ویژگی‌های آنها را می‌طلبد. با این حال، به منظور درک اهداف این چشم انداز (سوالات جامع حقوقی) دانستن سه چیز کافی است. **نخست**، رایانه‌های کوانتومی از چندین پدیده مکانیک کوانتومی- از جمله بر هم نهش و درهم تنیدگی[۱۱]- برای انجام محاسبات بسیار پیچیده استفاده می‌کنند؛ **دوم**، ساخت و بهره برداری از رایانه‌های کوانتومی، مستلزم هزینه‌ها و تخصصی بالاست. **همچنین**، آنها نیاز به خلا فوق العاده بالا و دمای فوق العاده پایین( در مواردی که دما پایین است تا منفی ۲۷۳,۱۵ درجه سلسیوس نیز می‌رسد) دارند. این بدین معناست که بعید است رایانه‌های کوانتومی در آینده‌ای نزدیک به صورت گسترده در دسترس باشند. در آخر، برتریِ قابل توجهِ قدرت رایانشیِ[۱۲] رایانه های کوانتومی نسبت به رایانه های کلاسیک، فقط در مواردی خاص و محدود می‌باشد. این بدان معناست که رایانه‌های کوانتومی، جایگزین رایانه‌های کلاسیک نخواهند شد. اما آنها قادرند وظایف خاصی را انجام دهند که نوع کلاسیک نمی‌تواند یا زمان خیلی بیشتری می‌برد تا آن را

[۱۰] به زبانی ساده، بیت (bit) کوچکترین واحد برای پردازش اطلاعات کلاسیک (رایانه‌های کلاسیک) می‌باشد و فقط میتواند دو مقدار ثابت ۰ یا ۱ را داشته باشد؛ در حالی که بیت کوانتومی یا همان کیوبیت (qubit) علاوه بر ۰ یا ۱، میتواند هر دو مقدار ۰ و ۱ را بطور همزمان داشته باشد.

[۱۱] لغات تخصصی مکانیک و الکترونیک

[۱۲] محاسباتی

انجام دهد. برای مثال، گوگل مدعی شده است که رایانه‌ی کوانتومی می‌تواند یک مسئله ریاضی را، که رایانه‌های معمولی تقریباً ده هزار سال طول می‌کشد که آن را تکمیل کنند، در کمتر از چهار دقیقه حل کند.

نتیجتاً دولت‌ها و شرکت‌ها مبالغ قابل توجهی را در خصوص توسعه رایانه‌های کوانتومی سرمایه گذاری می‌کنند. اتحادیه اروپا، یک میلیارد و دولت آلمان نیز دو میلیارد یورو در زمینه فناوری رایانه‌های کوانتومی سرمایه‌گذاری کرده‌اند. ایالات متحده و چین نیز برای تسلط در این زمینه، با کمک برنامه‌های بودجه بلند پروازانه، و همکاری با شرکت‌های خصوصی از جمله گوگل، آی بی ام[۱۳]، علی بابا و بادیو[۱۴] در رقابت هستند. هنوز هم برای پیشبینی کاربردهای رایانه‌های کوانتومی به صورت کامل و جامع زود است؛ اما در مواردی برای حل مشکلات می‌توانند کمک کنند؛ برای مثال: ۱. بهینه سازی توزیع منابع محدود همچون واکسن‌ها (بهینه سازی کوانتومی[۱۵])، ۲. در زمینه ارتباطات، از رایانه‌های کوانتومی می‌توان برای انتقال اطلاعات به طریقی بهره برد که رمزگشایی آنها غیر ممکن باشد (ارتباطات کوانتومی[۱۶])؛ ۳. همچنین می‌توانند شبیه‌سازی مولکول‌ها را در زمینه تحقیقات پزشکی (شبیه‌سازی کوانتومی[۱۷]) تسهیل کنند و در آخر ۴. حس‌گر های کوانتومی که حساس‌تر از دستگاه‌های معمولی هستند، می‌توانند وسایل و ابزارهای دریانوردی (سنجش کوانتومی[۱۸]) را بهبود بخشند.

شکی نیست که رایانه‌های کوانتومی توانایی این را دارند که در تمام این چهارزمینه کاربردی(بهینه‌سازی کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، ارتباطات کوانتومی و سنجش کوانتومی)، مشارکت مثبتی در جامعه داشته باشند. با این حال از منظر حقوقی توسعه و عملکرد آنها با مشکلات زیادی روبه رو می‌شود. قبل از مطرح کردن بایسته‌های کوانتومی به عنوان یک استراتژی جهت پرداختن به این موضوعات در آخرین قسمت، در بخش بعدی توضیح خواهم داد که چرا این مسئله وجود دارد.

---

[13] IBM
[14] BAIDU
[15] Quantum optimization
[16] Quantum communication
[17] Quantum simulation
[18] Quantum sensing

## ۳. مسائل حقوقی مرتبط با توسعه و عملکرد رایانه‌های کوانتومی

به منظور توضیحِ اهمیتِ راهنمایی حقوقی در این زمینه، این بخش طرحی از ضروری‌ترین سوالات حقوقی مرتبط با توسعه (بخش اول) و عملکرد رایانه‌های کوانتومی(بخش دوم) را ارائه می‌دهد.

### بخش اول: حقوق و توسعه رایانه‌های کوانتومی

مهم‌ترین مسئله حقوقی در رابطه با توسعه رایانه‌های کوانتومی مربوط به استانداردهایِ بهینه سازیِ عملکردِ رایانه‌های کوانتومی است. توسعه رایانه‌های کوانتومی منطقی از پیش تعیین شده را دنبال نمی‌کند. این توسعه از تصمیمات بیشماری توسط افرادی که آنها را ساخته و برنامه‌نویسی کرده اند، شکل یافته است. اصولاً این تصمیمات هیچ‌گاه بی‌طرفانه نیستند و نتایجی بلند مدت دارند.

تصمیمات مربوط به طراحی فناوری هرگز بی طرفانه نیستند، زیرا بنا به ضرورت، با ارزش ها، اعتقاداتِ توسعه دهندگان، زمینه تاریخی و اجتماعی که در آن گنجانده شده است، تحت تاثیر قرار میگیرند. برای نمونه کشف دقیق ویژگی ها و ترکیب اتم، موجب ساخت بمب هسته ای نشد، بلکه نظر به جنگ جهانی سخت و شدید، سیاستمداران و دانشمندان ساخت بمب اتم را اقدامی مطلوب فرض کردند و به همین ترتیب بمب اتم ساخته شد. در ارتباط با رایانه های کلاسیک، برای مدتی طولانی حقیقت ترقی رایانه های مدرن در آمریکای شمالی، به معنای این بود که آداب و رسوم رایج اینترنت، تنها میتوانستند حروف الفبای استاندارد انگلیسی را، در مقابل نوشته های غیر لاتین یا حروف غیر انگلیسی الفبای لاتین استفاده کنند.

هیچ ضرورت و اجبار تخصصی‌ای، رعایت الفبای معیار انگلیسی را الزام نکرده بود. این فقط بازتابی از زبانی بود که برنامه‌نویسان نخستین از آن صحبت میکردند. پیامدهای تصمیم گیری جهت توسعه بمب هسته‌ای، البته که اساسی‌تر از محدودیت‌هایِ زبانیِ آداب و رسوم اینترنتی است، اما هر دوی این تصمیمات نوعی قضاوت ارزشی هستند و منافع تعداد قابل توجهی از ذینفعان را تحت تاثیر قرار میدهند. آنها تصمیماتی سیاسی و همچنین با

اهمیتِ حقوقی هستند، چونکه سوالاتی درباره چگونگی هماهنگ کردن منافع ضد و نقیض موجود در جامعه را ایجاد میکنند.

تصمیم‌گیری‌های مرتبط با طراحی فناوری می‌توانند پیامدهایی طولانی‌مدت داشته باشند؛ زیرا تصمیماتی که گرفته می‌شوند، به شدت با تجهیزات مادی، سرمایه گذاری اقتصادی و عادات اجتماعی در جامعه هماهنگ می‌شوند؛ بنابراین تصمیماتِ پیشگامانِ رایانش کوانتومی، به طرز اجتناب‌ناپذیری، توسعه و استفاده از رایانه‌های کوانتومی را در آینده شکل می‌دهد. هم اکنون نیز، مشاهده شده است که بازیگرانِ تجاری و اقتصادیِ درگیر در توسعه این رایانه‌ها، شروع به محافظت از پیشرفت‌های خود، با ثبت اختراع کرده‌اند و این امر تغییرات بعدی را دشوار می‌کند.

یکی از زمینه‌هایی که تعیین استانداردهای تنظیمی[۱۹] اهمیت ویژه‌ای در آن دارد، به این واقعیت مربوط می‌شود که محاسباتِ رایانه‌های کوانتومی، نتایجی صد در صدی را عرضه نمی‌کنند . به بیانی دیگر، آنها نتیجه‌ای که بیشترین احتمال صحت را دارد، به عنوان حاصل محاسبات خود ارائه می‌کنند. ذاتِ احتمالیِ رایانه‌های کوانتومی، به این معنی است که آنها گاها می‌توانند نتایج نادرستی ارائه کنند. بنابراین توسعه دهندگان رایانه‌ها و الگوریتم‌های کوانتومی، بایستی که مقرراتی در بابِ میزانِ مجازِ ضریب خطا و همچنین مقدار احتمال، وضع و تنظیم بکنند. در مواردی که خطرات کم هستند، قطعیت کمتری هم وجود دارد. اما در شرایطی دیگر، برای مثال بخش پزشکی، که خطرات زیادی وجود دارد، میزان بیشتری هم از اطمینان (میزان کمتری از ضریب خطا) نیاز است. در خصوص تصمیمات مرتبط با استانداردهای تنظیمی، توسعه‌دهندگان رایانه‌های کوانتومی می‌توانند میزان قابل توجهی از مقررات احتیاطی را اعمال کنند. از منظر حقوقی، این امر بسیار مهم است، چراکه این تصمیمات می‌توانند منافع دیگران را حتی در مراحل اولیه توسعه تحت تاثیر قرار دهند.

[۱۹] استانداردهای سامانگر و تنظیم‌کننده (Standard-setting)

## بخش دوم: حقوق و عملکرد رایانه‌های کوانتومی

برجسته‌ترین مسئله حقوقی در مورد استفاده از رایانه‌های کوانتومی، مرتبط با توانایی از پیش تعیین شده (برنامه ریزی شده) آنها جهت غلبه بر رمزگذاری‌های مرسوم می‌باشد. روش‌های رمزگذاری مرسوم از مسائل ریاضی استفاده می‌کنند که حل آن‌ها در یک جهت آسان اما در جهت مخالف دشوار است. مثال بارز چنین مشکلی، بحثِ تجزیه اعداد به عامل‌های اول[۲۰] میباشد که به صورت گسترده ای برای رمزگذاری داده‌ها استفاده می‌شود. برای روشن شدن مسئله به این مثال دقت کنید: تعیین حاصل‌ضرب این دو عدد اول[۲۱] (۴۵۱۳*۵۶۹۳) بسیار راحت است (=۲۵۶۹۲۵۰۹) (در یک جهت آسان!)؛ اما مشکل هنگامی است که بخواهیم دو عامل اول[۲۲] این حاصلضرب را تشخیص بدهیم (اما در جهت مخالف دشوار است!). با درنظر گرفتن اینکه در حال حاضر هیچ الگوریتم (غیر کوانتومی) شناخته شده‌ای وجود ندارد که بتواند این عوامل اول را در یک بازه زمانی معقول شناسایی کند؛ یکی از اولین الگوریتم‌های کوانتومی، معروف به "الگوریتم شور" [۲۳]، قادر است عوامل اول را حتی در اعداد بزرگ (مثل همان عدد بالا)، سریعاً تعیین کند[۲۴]. این ویژگی الگوریتم شور بدین معناست که رایانه‌های کوانتومی، دیر یا زود قادرند که ساز و کارهای رمزگذاری موجود را دور بزنند. این مسئله تهدیدی برای تضعیف یکپارچگی کدهای شناسایی می‌باشد، که از تراکنش‌های مالی، ارتباطات امن، تجارت الکترونیک[۲۵] و هویت و رای‌گیری الکترونیکی محافظت می‌کند. در نتیجه، منافع خصوصی افراد، مالکیت معنوی، منافع مالی شرکت‌ها و منافع امنیت ملی دولت‌ها در خطر خواهد بود.

اگرچه رایانه‌های کوانتومی در مقیاس گسترده هنوز وجود ندارند، با این حال خطرات مرتبط با رمزنگاری کوانتومی بسیار جدی است. چراکه الگوریتم‌های کوانتومی می‌توانند داده‌ها را رمزگشایی کنند. این بدان معناست

---

[20] Prime factorization
[21] Prime number
[22] Prime factor
[23] Shor's algorithm
[۲۴] این قسمت به همان برتریِ چشمگیر رایانه‌های کوانتومی در انجام محاسبات نسبت به نوع کلاسیک اشاره می‌کند.
[25] E-commerce

که در حال حاضر، رایانه‌های کوانتومی، تنها قادر به جمع آوری داده‌های رمزگذاری شدهِ مرسوم هستند و زمانی که به قدر کافی قدرتمند شدند (رایانه‌ها) و در دسترس عموم قرار گرفتند، رمزگشایی داده ها امکان پذیر می‌شود.

لازم به ذکر است که، به منظورِ ایجادِ محیطی که در آن، پیشرفت و عملکرد رایانه‌های کوانتومی منجر به وضعیتی که در ادامه توضیح خواهم داد نشود، ارتقا استراتژی‌ها و وضع مقرراتی نیاز خواهد بود. وضعیت مذکور بدین قرار است: از یک سو بازیگرانی وجود دارند که دسترسی نامحدودی به داده‌های محافظت شده قبلی دارند و می‌توانند به شکل رمزگذاری شده ای ارتباط برقرار کنند؛ که این مسئله به نوبه خود بسیار مهم است. از سوی دیگر، بازیگرانی که به فناوری کوانتومی دسترسی ندارند، و در مجموع، این فناوری در دست همان گروه اول است.

## ۴. بایسته‌های کوانتوم

با عنایت به شناخت ظرفیت و خطرات مرتبط با توسعه و فعالیت رایانه‌های کوانتومی، بایسته‌های کوانتومیِ مطرح شده در اینجا، مشخص می‌کند که سامانگران و توسعه دهندگان بایستی اطمینان یابند که توسعه رایانه‌های کوانتومی:

۱. باعث ایجاد یا تشدید نابرابری‌ها نمی‌شود.

۲. استقلال اشخاص (حقیقی) را تضعیف نمی‌کند.

۳. بدون مشورت با کسانی که منافع آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، اتفاق نمی‌افتد.

عنصر اول این بایسته به مشکلی می‌پردازد که در آن رایانش کوانتومی، مانند هر تکنولوژی دیگری، در وهله اول به افرادی که به آن دسترسی دارند، امتیازاتی می‌دهد. توانایی تحلیل‌کردن حجم بیشتری از داده‌ها، ساخت وسایل و ابزارآلات اندازه گیری بهتر، پیشرفت در حیطه واکسن یا انتقال اطلاعات با ایمنی بیشتر، تنها بخش کوچکی از مزایایی است که افراد در مقایسه با کسانی که فقدان دسترسی به رایانش کوانتومی دارند، خواهند داشت. این نابرابری می‌تواند میان اشخاص، میان افراد و شرکت‌ها، میان شرکت‌ها، میان شرکت‌ها یا افراد و کشورها

و یا در سطح ژئوپلیتیک [۲۶]میان کشورها رخ بدهد. با توجه به هزینه‌های بالا و تخصصِ دخیلِ در ساخت و فعالیت رایانه‌های کوانتومی، این خطر وجود دارد که تکنولوژی پیشرفته‌ی کشورهای نیم‌کره شمالی (نسبت به نیم‌کره جنوبی)، یک برتری استراتژیک[۲۷] قابل توجهی بدست بیاورد؛ در حالی که کشورهای دیگر گرفتار فقر کوانتوم[۲۸]می‌شوند. اینکه ظهور رایانه‌های کوانتومی به ایجاد یا تشدید نابرابری‌ها میان صاحبان امتیاز(طبقه ممتاز) و محرومان، میان فقیر و غنی، میان شمال و جنوب منجر نشود، سلسله اقداماتی را نیاز دارد؛ سرمایه‌گذاری در حوزه زیرساخت‌های کوانتومی به وسیله دو گروهِ کشورها و شرکت‌ها، می‌تواند راهی مناسب برای جلوگیری از عقب ماندن از این فناوری باشد؛ البته به شرط توانایی آنها برای انجام این امر.

هرچند، انجام اقداماتی برای اهدای دسترسی برابر به فناوری‌های کوانتومی، مهم‌ترین و استثنایی‌ترین پیامد عنصر اولِ بایسته‌های کوانتوم می‌باشد. این مسئله (دسترسی عادلانه) قابل دستیابی است، به عنوان نمونه، دادن دسترسی از طریق سرویس‌های خدمات ابری[۲۹]: شرکت‌ها، سازمان‌ها، و همچنین کشورهایی که دارای رایانه‌های کوانتومی می‌باشند، می‌توانند با ایجاد ظرفیت‌هایِ رایانه‌ایِ قابلِ دسترسی از طریق اینترنت در زمان‌های مشخص، این مهم را اجرا کنند. این امر، به طور ویژه ای جذاب است، چرا که دستیابی به رایانه‌های کوانتومی را از هر مکانی فراهم می‌کند. نمونه بارز این راه حل های ابری[۳۰]، می‌تواند تجربه کوانتوم آی بی ام [۳۱]باشد. البته این راه حل های ابری مشکل استاندارد سخت افزاری ایجاد شده به وسیله تعدادی از بازیگران را حل نمی‌کند، اما دست کم می‌تواند توزیعِ نابرابرِ سخت افزار را تا حدودی تعدیل کند و مشارکت دانشمندان / علاقه مندان را از تمام جهان در امر پژوهش و توسعه رایانه‌های کوانتومی، ممکن سازد.

---

[26] Geopolitical level
[27] Strategic advantage
[28] Quantum poverty
[29] Cloud services
[30] Cloud solutions
[31] IBM quantum experience (IBM: International Business Machines Corporation: برای ,(شرکت ماشین های تجاری بین‌المللی اطلاعات بیشتر میتوانید همین عبارت را گوگل کنید.

در مواردی که اشخاصِ دارای فناوری کوانتومی، به اختیار خود، امکان دسترسی به زیر ساخت‌هایشان را فراهم می‌کنند، شاید که اعمالِ اقدامات قانونی و نظارتی نیاز نباشد. هر چند، کشورها بایستی مسلماً آماده رسیدگی به این وضع و تصویب هنجارهای قانونی در این زمینه باشند. تجاربِ قبلیِ مرتبط با مدیریت و کنترل منابع عمومی (مشترک) در فضا، در اعماق دریا، و همچنین اخیرا مرتبط با واکسن کرونا، نشان می‌دهد تمایل انسان برای سودآوری در این زمینه نیز، باید از منظری حقوقی مورد بحث و بررسی قرار گیرد. نمونه‌هایی برای چنین اقدامات تعدیل کننده‌ای می‌تواند شامل محدود کردن گستره مادی و زمانی حقوق اختراعات، و یا الزامی کردن انتقال فناوری در مناطق معینی باشد.

عنصر دوم بایسته‌ها، سامانگران و توسعه دهندگان را وادار می‌کند که از یک مورد اطمینان یابند؛ اینکه ظهور فناوری‌های کوانتومی، توانایی افراد را در دستیابی به زندگی‌های خودکفا و مستقل تضعیف نمی‌کند. این عنصرِ دوم به این مسئله که استقلال افراد، به خودی خود، شایسته و سزاوار حمایت است تصریح می‌کند. همانطور که در بالا توضیح داده شد، غلبه بر ساز و کارهای رمزنگاری مرسوم[۳۲]، که موجب تهدید استقلال افراد می‌شود، توانایی به خصوص رایانه‌های کوانتومی می‌باشد. سامانگران باید اطمینان یابند که پتانسیلِ ارتباطات کوانتومی به وسیله دولت‌ها و یا گروه‌های غیر دولتی، جهت تضعیفِ زیرساخت‌های امنیتی و حفاظت داده ها، به کار گرفته نمی‌شود. فناوری‌های کوانتومی به دولت‌های استبدادی (درواقع هردولتی)، ابزارهای (وسایل) قدرتمندی جهت کنترل افراد ارائه می‌دهند، که علی‌الخصوص موجب به خطر انداختن فعالان جامعه مدنی می‌شود. اگر دولت‌ها از فناوری کوانتومی، جهت متلاشی کردن اینترنت جهانی، به وسیله راه اندازی بسترهای آنلاین و نفوذ ناپذیر استفاده کنند؛ در این صورت ظهور ارتباطات کوانتومی می‌تواند منجر به فقدان دسترسی به اطلاعات، شفافیت و صداقت کمتر و همچنین فقدان استقلال نیز گردد.

[32] Conventional encryption

اقدامات نظارتی برای جلوگیری از چنین پیشرفت‌هایی، باعثِ لزومِ دریافت مجوز جهتِ برخورداری از الگوریتم‌های کوانتومی خواهد شد. این الگوریتم‌ها توانایی غلبه بر رمزگذاری‌های مرسوم را دارند. از سوی دیگر، بایستی تامل در مورد محدودیت‌های صادراتی موجود بر سلاح‌ها و از این دست کالاها، برای پوشش فناوری‌های کوانتومی، گسترش یابد. دولت‌ها همچنین گام‌های اولیه ای در این مورد برداشته اند. ازجمله با افزودن برخی فناوری‌های کوانتومی، به لیست کالاهایی که صادرات آنها توسط مقررات توافق‌نامه واسنار[۳۳]کنترل می‌شود. با این حال توافق‌نامه واسنار، از لحاظ قانونی الزام‌آور نیست. این توافق‌نامه، تنها صادرات فناوری‌های کوانتومی را تنظیم می‌کند. به عنوان مثال، استفاده از فناوری‌های کوانتومی توسط دولت‌ها علیه منافع افراد کشور خود. بنابراین،انجام اقدامات بیشتری در آینده ضروری به نظر می‌رسد.

علاوه بر آنچه گفته شد، افراد و عموم مردم، تنها در صورتِ داشتنِ حداقل دانسته‌هایی در باب قدرت خود، می‌توانند در تعامل با فناوری‌های کوانتومی و همچنین پذیرشِ آن، گزینش هایی مستقل داشته باشند. نمونه‌های چنین انتخاب‌هایی شامل اطمینان یا عدم اطمینان به یک نرم افزار کاربردی کوانتوم محور، در حوزه مراقبت‌های بهداشتی؛ همچنین حمایت یا عدم حمایت از اختصاص بودجه و اموال عمومی برای توسعه رایانش کوانتومی می‌شود. فیزیکدان معروف ریچارد فاینمن [۳۴]زمانی بیان کرد: "کسی که مدعی فهم و درک نظریه کوانتوم می‌شود، آن را نفهمیده است". چنین توصیفاتی از رایانه‌های کوانتومی بی‌فایده است. این توصیفات، حائلی میان متخصصین و عموم افراد جامعه ایجاد می‌کند. کسانی که فناوری‌های کوانتومی را توسعه می‌دهند، باید تلاش زیادی در جهت توصیف ظرفیت و خطرات مرتبط با رایانش کوانتومی بکنند. تلاش‌هایی به منظور حمایت از توانایی افراد، برای داشتن گزینش‌هایی مستقل؛ آن هم در باب دیدگاه و ارتباطشان با رایانش کوانتومی. این موضوع را می‌توان بدون وارد شدن به مباحثِ پیچیده‌یِ مرتبط با مکانیک کوانتومی انجام داد: همانطور که گفته شد جهت

[33] Wassenaar Arrangement
[34] Richard Feynman

فهم و درک عواقب خانمان سوز بمب اتم، نیازی به دانستن نحوه عملکرد، شکافت وآزادسازی انرژی هسته‌ای[۳۵] نیست. نمونه‌هایی ممکن و عملی برای آموزش عموم مردم درمورد فناوری‌های کوانتومی، شامل این موارد می‌شود: ۱. برنامه‌های مهارت آموزی توسط موسسات علمی، ۲. تعلیم اصول اولیه فیزیک کوانتومی در مدارس و ۳. پویش‌های[۳۶] عمومی/خصوصی جهت آگاه سازی عمومی. مثالی مناسب در این موضوع، ابتکاری است که سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای[۳۷] به خرج می‌دهد. این سازمان مجموعه‌ای از سخنرانی‌های آنلاینِ رایگان را ارائه می‌دهد که افراد علاقه‌مند را با رایانه‌های کوانتومی آشنا می‌کند.

عنصر دوم بایسته‌های کوانتوم، ارتباط تنگاتنگی با سومین عنصردارد. عنصر سومی که تصریح می‌کند توسعه رایانه‌های کوانتومی نباید بدون مشورت با کسانی که منافعشان تحت تاثیر قرار میگیرد، رخ بدهد. این عنصر مشخصاً جوابگوی مشکلاتی است که پیش‌تر در مورد تنظیم استانداردهای فناورانه، توسط گروه منتخبی از بازیگران شناسایی و معرفی شده است. گستره شخصی این عنصر (سوم) به طرز عامدانه ای فراگیر است. در صورتی که بنا بر این باشد که پذیرشِ اجتماعیِ[۳۸] این رایانه‌ها حاصل شود، ضروری است که توسعه دهندگان به صِرفِ آموزش آنها بسنده نکنند؛ بلکه علاوه بر آن، به صورت آشکار، توانایی و خطرات رایانه‌های کوانتومی را بررسی کنند. همچنین باید اطمینان یابند که تیم‌های مهندسی و برنامه نویسانِ این رایانه‌ها، تنوع موجود در جوامع را به درستی منعکس می‌کنند.

همچنین، سامانگران باید اطمینان حاصل کنند که تصمیمات بنیادین درباره طراحی و عملکرد رایانه‌های کوانتومی، از نظارت و کنترل دموکراتیک خارج نمی‌شود. با بیان اینکه هنجارهای فنی، می‌توانند تاثیرات توانمند سازی یا محدودکننده هنجارهای حقوقی را داشته باشند، تشکیل و بنیان آنها نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

---

[35] Nuclear fission ( به زبانی ساده بدین معناست: تقسیم شدن هسته های اتمی به هسته های کوچکتر که باعث گسیل شدن نوترونها و آزاد شدن انرژی گرمایی میشود )

[36] Campaign

[37] CERN (برای اطلاعات بیشتر میتوانید همین عبارت را گوگل کنید.)

[38] Social acceptance (مقبولیت و پذیرش رایانه‌های کوانتومی در بطن جامعه)

این بدین معناست، که دولت‌ها باید مقررات بنیادی‌ای در نظر بگیرند، که امکان نظارت عمومی بر فرایندهای تصمیم گیری درباره توسعه رایانه‌های کوانتومی را فراهم کند. با در نظر گرفتن پیچیدگی‌های دو مسئله مطرح شده توسط رایانش کوانتومی، و همچنین رویکردهای تنظیمی درباره نوآوری، هنوز برای ارائه توصیه‌های دقیق در این زمینه زود است. یکی از رویکردهای ممکن، می‌تواند ایجاد نهادی باشد که قدرت مجوزدهی و نظارت بر کسانی که توسعه رایانه‌های کوانتومی به آنها واگذار شده است را داشته باشد. چنین تشکیلاتی می‌تواند برای سیستم‌های تنظیم کننده پزشکی و حقوقی موجود الگویی باشد. یک رویکرد جایگزین می‌تواند این باشد که، برای مثال نه تنها توسعه دهندگان، بلکه همچنین محصولات آنها را، با وادار کردن به انجام الزامات ثبت، بر روی سخت افزار یا نرم افزارشان تنظیم کنند. البته که باید همیشه مراقب بود و به این نکته توجه داشت که، اقدامات نظارتی، مانع توسعه رایانه‌های کوانتومی و یا سرمایه گذاری در این فناوری نشود. با این حال، با توجه به پتانسیلِ قابل ملاحظه‌یِ رایانه‌های کوانتومی در امرِ تشدید نابرابری‌ها و تضعیف استقلال افراد، اطمینان از این مورد که این رایانه‌ها از نظارت دموکراتیک خارج نمی‌شوند، ضروری است.

مسئله بایسته‌های کوانتوم، به صورت عامدانه، به هر دو گروه سامانگران و توسعه دهندگان رایانه‌های کوانتومی می‌پردازد. از دیدگاه حقوقی، مسئولیت اصلی اطمینان از تطابقِ توسعه و عملکرد رایانه‌های کوانتومی، با هنجارهای قانونی مرتبط، مسلماً برعهده‌ی قانونگذاران و دولت‌ها می‌باشد. با این حال با عنایت به پیچیدگی فنی موضوع مورد بحث، یک مسئله برای توسعه دهندگان و دانشمندان رایانه‌های کوانتومی حیاتی است؛ اینکه از مسئولیت‌های قابل توجهی که برای توسعه رایانش کوانتومی به عهده دارند، به نحوی که متناسب با وضع سیاسی، قانونی و اجتماعی باشد، آگاه باشند و مطابق با آن عمل کنند. به قول کارل فریدریش فون وایتسکر[۳۹]:«دانشمندان بایستی که همواره شرایط و بستر بزرگتری که در آن پیشرفت فنی-اقتصادی رخ می‌دهد را با دقت تمام در نظر

[39] Carl Friedrich von Weizsacker

داشته باشند.[۴۰]» این امر مستلزم تفکری جامع و کامل است. تفکری در باب دلایل توسعه یک دستگاه کوانتومی و کسانی که آن دستگاه بر منافعشان تاثیر می‌گذارد.

## ۵. نتیجه:

باید پذیرفت که بحث بایسته مطرح شده در این مقاله، تنها می‌تواند طرح اولیه‌ای از اصول کلیدی‌ای باشد که سامانگران و توسعه دهندگان بایستی مد نظر قرار دهند. به موازات ارتقا رایانه‌های کوانتومی، چهارچوب حقوقی حاکم بر توسعه و کارکرد آن، به صورت واضح تری آشکار خواهد شد، و این مسئله (ارتقا رایانه‌های کوانتومی) موجبِ تصویبِ هنجارهای نوین حقوقی می‌شود؛ اما، ممکن است گفته شود که سه عنصر بایسته‌های کوانتوم، هم اکنون نیز به خوبی در هنجارهای موجود، (از قبیلِ عدم تبعیض، برابری، ساختار حکمرانیِ دموکراتیک) وجود دارند. در هر صورت سوالات اساسی‌ای وجود دارد که باید به آنها پاسخ داده شود. سوالاتی در مورد آستانه تحمل[۴۱] نابرابری میان ذی نفعان متاثر از رایانش کوانتومی که این موضوع، موجب فهم بهتر از روشی می‌شود که رایانش، استقلال فرد را تقویت می‌کند و یا اینکه مانع آن می‌شود، و همچنین چگونگی برقراری توازن میان منافع تجاری و منافع عمومی. بایسته سوم، صریحاً تعامل و مداخله با سوالات مطروحه را ممکن می‌سازد. به طور ویژه، عنصر سوم بایسته، باعث ایجاد مسئله‌ای می‌شود که شاید جدای از برابری و استقلال، ارزش‌های مهم دیگری وجود داشته باشد، که بایستی به هنگام سامان بخشیِ رایانه‌های کوانتومی در نظر گرفته شود.

به هنگام تفکر در مورد ساماندهی رایانه‌های کوانتومی، شخص باید مد نظر داشته باشد که علی رغم نوپایی و تازگی آنها، بسیاری از مسائلی که مطرح می‌کنند تازگی ندارد. همانطور که در مقدمه اشاره شد، مسائل برخاسته از ذاتِ بحث‌برانگیز فناوری، از زمانی که اولین انسان‌ها ابزارهای اولیه را کشف کرده اند، وجود داشته

---

۴۰ ۱۱منظور این است که یک دانشمند، بایستی که فضا و بسترِ اِعمالِ دستاورد خود را بررسی کند، به بیانی دقیق‌تر، تمامِ جوانبِ کار خود را در محیط و جامعه ای بزرگ در نظر بگیرد.

41 Tolerable degree

است. بی شک، درست همانند مکانیک کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی" با راه و روشی جدید به مسائل قدیمی می‌پردازند". و تشخیص اینکه هنجارهای حقوقی موجود و مرتبط با عدم تبعیض یا برابری، تا چه اندازه می‌تواند بر مسئله رایانه‌های کوانتومی قابل اِعمال باشد، چالشی بسیار مهم است. اما شخص نباید در مورد ذات خارق العاده رایانه‌های کوانتومی، از یک دیدگاه حقوقی به طور اغراق‌آمیز صحبت کند. این توصیفات اغراق‌آمیز باعث زیر سوال رفتن هنجارهای دیرینه‌ای می‌شود که از استقلال فردی، ساماندهیِ عدم توازن قدرت و پرداختن به نابرابری‌ها در جامعه، محافظت می‌کنند.

در پایان، شخص می‌تواند استدلال کند که ارزیابیِ حقوقیِ خطراتِ مرتبط با رایانه‌های کوانتومی، اقدامی نامطلوب و ناشی از منفی‌نگری در این زمینه است. به طور قطع توسعه رایانه‌های کوانتومی می‌تواند تاثیر مثبتی بر جامعه داشته باشد. ظهور این رایانش کوانتومی می‌تواند برای اولین بار، تبادل اطلاعات بی نام و نشان و محرمانه را ممکن سازد، تحقیقات پزشکی را متحول کند، معاملات مالی را بهبود بخشد، و در آخر در بحث اجرا و اِعمال بهتر قانون به دولت‌ها یاری برساند. توجه شود که دنبال کردن این اهداف، هیچ تضادی با نگرانی‌های گفته شده در بالا ندارد؛ برعکس: باقی گذاشتن و رها کردن خطرات زیان آورِ مرتبط با این رایانه‌ها به نحوی بلاتکلیف، می‌تواند مانع درک کامل ما از پتانسیل مثبت رایانش کوانتومی شود. افراد، شرکت‌ها و کشورها، بیش از پیش پذیرای فناوری‌ای خواهند بود که تاثیرات فرعی و زیان آور آن، به وسیله بحث بایسته‌های کوانتوم، تصریح و محصور شده است.