

Alle fünf Anforderungen seien heute bereits qualitativ erfüllt. Es gebe sogar einige physikalische Verkörperungen von Qubits, die alle fünf Kriterien gleichzeitig erfüllen, z.B. Ionenfallen, supraleitende Qubits oder Elektronen in Quantendots.

Die klassische Datenverarbeitung wird nicht verschwinden, aber die Quantentechnologie hat das Potenzial, viele Branchen zu verändern. Es ist wichtig, die Stärken beider Technologien zu nutzen, um das volle Potenzial der Quantencomputer zu erschließen [5].

Die Verheißungen der Quanteninformatik sind zahlreich: Es könnte dazu beitragen, lebensrettende Medikamente in noch nie dagewesener Geschwindigkeit zu entwickeln, bessere Anlageportfolios für die Finanzwelt zu erstellen und eine neue Ära der Kryptografie einzuläuten [1].

Литература

1. Werden Quantencomputer ihre klassischen Gegenstücke ersetzen? [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://devworkplaces.com/article/werden-quantencomputer-ihre-klassischen-gegenstuecke-ersetzen> – Das Datum des Zugriffes: 17.03.2024.

2. So funktioniert ein Quantencomputer [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.quarks.de/technik/faq-so-funktioniert-ein-quantencomputer/> – Das Datum des Zugriffes: 16.03.2024.

3. Der Aufstieg Der Quantencomputer: Eine Revolution In Der Computertechnologie [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://beruhmstern.com/quantencomputer/> – Das Datum des Zugriffes: 17.03.2024.

4. Quantencomputer [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.studysmarter.de/schule/physik/quantenmechanik/quantencomputer/> – Das Datum des Zugriffes: 11.03.2024.

5. Fünf Kriterien für einen Quantenrechner [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.elektronikpraxis.de/fuenf-kriterien-fuer-einen-quantenrechner-a-e1a46f3e54fe4ed5483f70caec772706/> – Das Datum des Zugriffes: 16.03.2024.

METAMATERIALIEN: IHRE EIGENSCHAFTEN UND ANWENDUNGEN

Розум Я.Д.

Научный руководитель: Слинченко И.В.

Белорусский национальный технический университет

Metamaterialien zeichnen sich durch Eigenschaften aus, die in der Natur so nicht zu finden sind. Sie beeinflussen beispielsweise Lichtwellen auf eine andere Weise als Gegenstände natürlichen Ursprungs, was in diesem Fall daran liegt, dass die Anordnung ihrer Struktur kleiner ist als die Wellenlänge des Lichts. Durch ihre präzise Form, Geometrie, Größe, Ausrichtung und Anordnung können Metamaterialien so elektromagnetische oder mechanische Wellen manipulieren. Es gibt nicht nur optische Metamaterialien, sondern auch akustische, die Schall manipulieren, thermische, in denen die Wärmeleitung gelenkt wird und mechanische, zum Beispiel solche, die bewirken, dass sich Festkörper wie Flüssigkeiten verhalten [1].

Aus einer Kombination des griechischen Wortes $\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}$ (meta), das "jenseits" bedeutet, und dem lateinischen Wort *materia*, das für "Materie" oder "Material" steht, bezieht sich der Begriff "Metamaterialien" auf Materialien, die so mikrostrukturiert sind, dass ihre effektiven Eigenschaften in erster Linie durch diese in das Material eingebrachten Geometrien und nicht durch die Zusammensetzung des Grundwerkstoffes gesteuert werden. Der Begriff Metamaterial wurde 1999 von Rodger M. Walser von der University of Texas in Austin geprägt und ursprünglich definiert als "makroskopische Zusammensetzungen mit einer synthetischen, dreidimensionalen, periodischen zellularen Architektur, die eine optimierte, in der Natur nicht vorhandene Kombination von zwei oder mehr Reaktionen auf eine bestimmte Anregung erzeugen" [3].

Dass Metamaterialien überhaupt zu einem populären Forschungsthema geworden sind, könnte mit einer cleveren PR-Idee von zwei britischen Forschern zusammenhängen. Denn eigentlich wollten die Physiker John Pendry und Ulf Leonhardt Anfang der 2000er nur auf ein neues Forschungsgebiet aufmerksam machen. Um das hochgradig abstrakte Thema attraktiver zu machen, ersannen die Theoretiker aber eine fiktive Anwendung: Ein Material, das Licht um ein Objekt herumleitet – und es so unsichtbar macht. Denn solch ein Material gibt es in der Natur nicht.

Was muss man also tun, um Licht beliebig zu lenken? Man muss die Wellenfronten gezielt verformen. Das funktioniert, indem man dafür sorgt, dass das Material an verschiedenen Punkten verschiedene Materialeigenschaften – wie zum Beispiel dem Brechungsindex – hat. So kann man etwa komplett flache Linsen konstruieren. Damit das ganze praktisch nutzbar wird, müssen die elementaren Bausteine von Metamaterialien – die "Einheitszellen", aus denen das Quasi-Atomgitter aufgebaut ist – nur kleiner sein als die Wellenlänge der jeweiligen Welle. Bei sichtbarem Licht zum Beispiel sind das einige hundert Nanometer [2].

Für Metamaterialien gibt es vielseitige Anwendungsmöglichkeiten in praktisch jeder Branche. So haben inzwischen internationale Unternehmen Metamaterialien erfolgreich zu ihrem Produkt gemacht. Das britische Startup-Unternehmen Metaboards zum Beispiel ermöglicht das kabellose Aufladen mehrerer Geräte mit

kontrollierbarer Leistung über eine Ladefläche auf der Grundlage von Metamaterialien, ohne dass eine spezielle Positionierung oder Anordnung der Geräte erforderlich ist. Radi-Cool, ein in den USA ansässiges Startup-Unternehmen, entwickelt Metamaterialien in Form von dünnen Schichten, die Objekte passiv kühlen. Auf einer Oberfläche aufgebracht, kühlt der Metamaterialfilm das darunter liegende Objekt ohne Wasser- oder Stromverbrauch [1].

Das Konzept der Metamaterialien hat in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten zunächst auf dem Gebiet der elektromagnetischen Metamaterialien Karriere gemacht, zu denen auch die photonischen oder optischen Metamaterialien gehören: Wenn die sich wiederholenden Muster der Materialien kleiner sind als die auftreffenden Wellenlängen, rufen sie außergewöhnliche Reaktionen hervor, wie z. B. einen negativen Brechungsindex, künstlichen Magnetismus oder induzierte Transparenzeffekte [3].

Auch für die drahtlose Kommunikation ist die Fähigkeit, einen reflektierten Strahl durch intelligente Metastrukturen lenken zu können, ein entscheidender Fortschritt. Normalerweise erreicht eine von einem Sendemast ausgestrahlte Mikrowelle ihren vorgesehenen Endpunkt und geht dann zurück zur Telekommunikationsstation. Wenn man ein Gespräch mit einem Mobiltelefon führt, spricht und hört man deshalb nicht auf demselben Kanal, da sich die Signale überlagern würden und man seine eigene Stimme nicht mehr von der des Gesprächspartners unterscheiden könnte. Bei heutigen 5G-Verbindungen werden unterschiedliche Frequenzen oder dieselbe Frequenz mit geringer Zeitverschiebung verwendet, um diese Störungen zu vermeiden [1].

Inzwischen machen auch Metamaterialien Furore, deren mechanische Eigenschaften absolut ungewöhnlich sind. "So sind mechanische Metamaterialien bei bestimmten Verformungsarten extrem steif, während sie bei anderen Verformungsarten extrem weich sind. Eine geeignete Steuerung der Mikro- und Nanoarchitektur kann einzigartige Materialeigenschaften wie ultraleichtes, hochsteifes und hochfestes Material, negative Poissonzahl, negative Steifigkeit und negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten ermöglichen" [3].

Die Eigenschaft von Metamaterialien, Lichtwellen manipulieren zu können, wird auch für die Entwicklung hauchdünner Linsen genutzt. Bei einer normalen Linse lenkt eine gekrümmte Glasfläche von einigen Millimetern oder sogar Zentimetern Dicke die Lichtstrahlen auf einen gemeinsamen Brennpunkt. Um das Bild zu verbessern – zum Beispiel, um Verzerrungen zu beseitigen oder um sicherzustellen, dass verschiedene Wellenlängen des Lichts richtig fokussiert werden – muss man immer wieder neue Glasschichten hinzufügen. Das führt dazu, dass die Leistungsmerkmale von Kameras, Mikroskopen und Teleskopen zum Teil durch die Größe und das Gewicht der benötigten Linsen begrenzt sind. Linsen aus ultradünnen, lichtverformenden Metamaterialien werden diese

schwereren Glaslinsen ersetzen und somit Handykameras nicht nur verbessern, sondern auch dünner machen [1].

Höchstleistungen ganz anderer Art peilt Stefanie Kroker von der PTB an. Kroker, die an der Anwendung von Nanophotonik in der Messtechnik forscht, arbeitet unter anderem an speziellen Spiegeln für Gravitationswellendetektoren. "Gravitationswellen werden durch relative Längenänderungen nachgewiesen", erklärt Kroker. "Das Problem ist aber, dass diese Änderungen unvorstellbar klein sind. Wir sprechen von 10-21 Metern. Das ist deutlich kleiner als der Durchmesser eines Atomkerns". Zwar ist es – mit diversen technischen Tricks – internationalen Forscherteams bereits vor Jahren gelungen, solche unglaublich kleinen Signale zu messen. Doch je größer die Empfindlichkeit der Instrumente, desto mehr Gravitationswellen-Ereignisse können die Forscher nachweisen [2].

In den letzten Jahren haben sich Design- und Produktionsverfahren so weit entwickelt, dass der Einsatz von Metamaterialien in zahlreichen bedeutenden Anwendungen in naher Zukunft denkbar ist.

Sektoren wie die Automobilindustrie, die Telekommunikation und die Unterhaltungselektronik sind reif für einen Umbruch. Sobald Metamaterialien auf dem Markt sind, werden die konventionellen Produkte mit großer Wahrscheinlichkeit verdrängt.

Elektromagnetische und akustische Metamaterialien haben voraussichtlich die größten unmittelbaren und mittelfristigen Auswirkungen.

Bis 2025 soll demnach der Bereich Kommunikation mit einem Marktwert von 4 Mrd. \$ einen großen Anteil ausmachen und bis 2030 Anwendungen im Bereich Sensorik mit 5,5 Mrd. \$ das größte Marktsegment darstellen. Die Untersuchung konzentrierte sich auf die potenziell adressierbaren Märkte und die Wahrscheinlichkeit der Einführung von Metamateriallösungen auf der Grundlage verschiedener Faktoren wie Kosten, Reifegrad und Leistung [1].

Die breite technische Anwendung solcher Materialien wird allerdings – noch – durch eine Vielzahl an "technischen Fragen" gebremst. "Die ingenieurtechnische Entwicklung solcher Materialien ist eine sehr komplexe Aufgabe", sagt Heiko Andrä, der im Fraunhofer Cluster "Programmable Materials" und am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM an der Optimierung "programmierbarer Materialien" forscht. "Man muss nicht nur das Design der einzelnen Einheitszelle und deren Zusammenarbeit in zwei- und dreidimensionalen Gittern beherrschen, man muss auch die Herstellung sicherstellen, und dazu noch garantieren, dass das Material über viele Zyklen seine Funktion behält" [2].

Литература

1. Metamaterialien: Können wir Dinge zukünftig unsichtbar machen? [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://de.linkedin.com/pulse/metamaterialien-k%C3%B6nnen-wir-dinge-zuk%C3%BCnftig-unsichtbar-frank-thelen>. – Das Datum des Zugriffes: 22.02.2024.

2. Metamaterialien: Stoffe stellen die Physik auf den Kopf [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.heise.de/hintergrund/Materialien-Stoffe-stellen-die-Physik-auf-den-Kopf-6293527.html>. – Das Datum des Zugriffes: 10.03.2024.

3. Metamaterialien drängen in die Anwendung [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.springerprofessional.de/funktionsswerkstoffe/materialentwicklung/metamaterialien-draengen-in-die-anwendung/19886966>. – Das Datum des Zugriffes: 02.03.2024.

EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN BELARÚS

Рубаносов А.Д.

Научный руководитель: ст. преподаватель Королько О.В.

Белорусский национальный технический университет

Evolución de la transmisión Eléctrica en Belarús: tecnologías, retos y futuro.

Desde los principios del siglo XXI Belarús ha desarrollado activamente su red de líneas de transmisión, comenzando con sistemas locales de baja potencia y pasando gradualmente a sistemas de alta tensión más potentes y eficientes. Las mejores tecnológicas incluyen el uso de materiales avanzados para cables, el desarrollo de estructuras de soporte más robustas y la implementación de sistemas de monitoreo para garantizar que la red eléctrica funcione de manera estable.

Las innovaciones modernas en el campo de la transmisión eléctrica en Belarús incluyen la introducción de tecnologías digitales para el monitoreo remoto y la gestión de redes de transmisión de energía eléctrica. Las redes inteligentes le permiten optimizar el consumo de energía, predecir posibles fallas y mejorar la eficiencia energética de los sistemas.

A medida que aumenta el consumo de energía, también lo hace la importancia de garantizar la estabilidad y confiabilidad de la red eléctrica. Belarús está trabajando activamente para aumentar el nivel de preparación para emergencias de las redes de transmisión de energía mediante la introducción de sistemas automatizados de respuesta rápida a posibles interrupciones y la mejora de la infraestructura para la recuperación rápida después de las situaciones de emergencia.