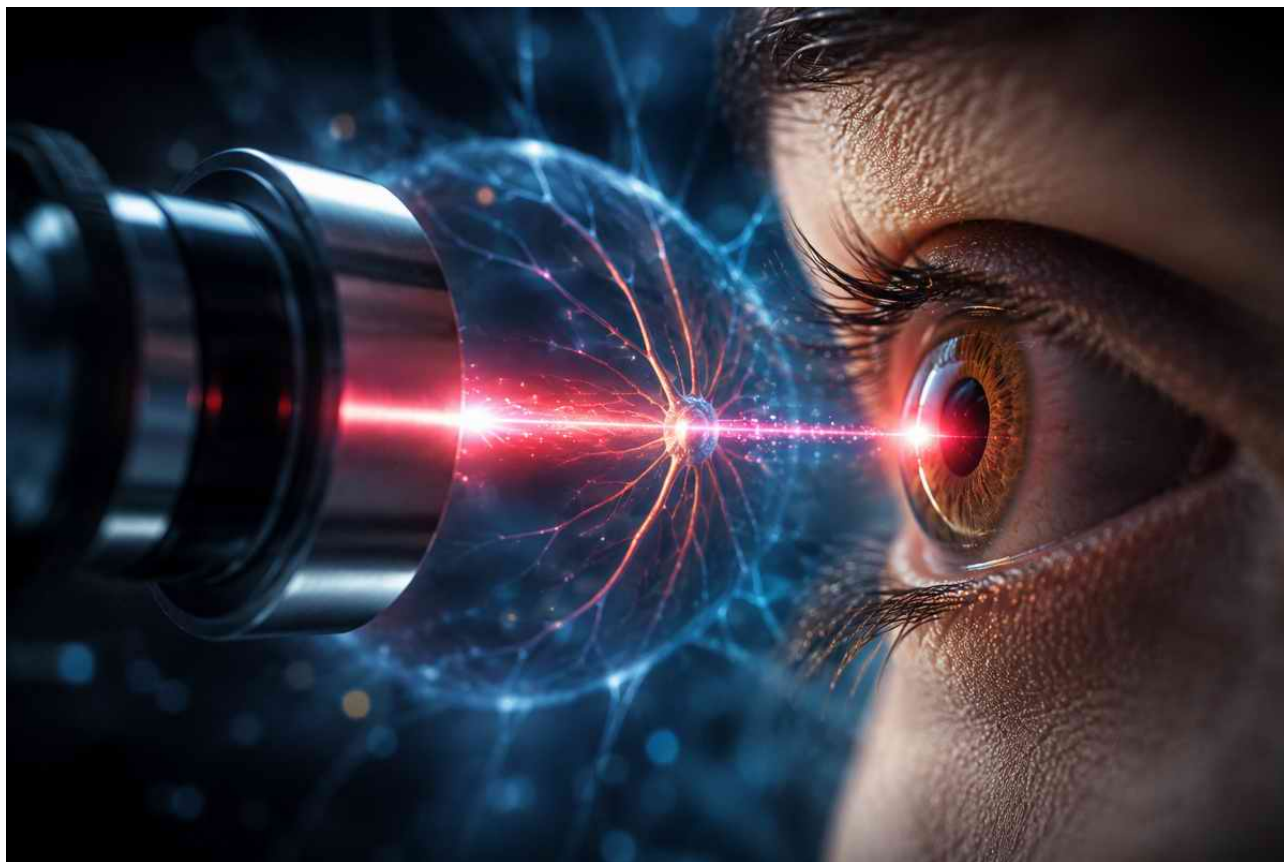


Человек способен видеть невидимый свет: ученые раскрыли пределы двухфотонного зрения



Дата публикации: 15.05.2026

Человеческое зрение традиционно считается ограниченным диапазоном видимого света — от фиолетового до красного. Все, что находится за этими пределами, включая инфракрасное излучение, обычно остается для нас невидимым. Однако современные исследования показывают, что человеческий глаз способен воспринимать даже тот свет, который формально выходит за пределы возможностей сетчатки. Новая работа ученых из International Centre for Translational Eye Research раскрывает, насколько необычным и сложным является этот феномен.

Речь идет о так называемом двухфотонном зрении — редком эффекте, при котором глаз начинает воспринимать ближний инфракрасный свет. Исследование, опубликованное в журнале Optica Publishing Group, показало, что способность видеть «невидимое» зависит не только от мощности лазерного импульса, но и от чрезвычайно точной геометрии светового луча.

В обычном зрении фоторецепторы сетчатки реагируют на отдельные фотоны

света, обладающие достаточной энергией для запуска зрительного сигнала. Инфракрасные фотоны по отдельности слишком слабы, чтобы активировать этот процесс. Однако при двухфотонном эффекте два инфракрасных фотона почти одновременно поглощаются одной молекулой фотопигмента. Их энергия суммируется, и глаз воспринимает сигнал так, словно это обычный видимый свет.

С точки зрения физики это крайне необычный процесс. Вероятность того, что два фотона попадут в одну точку сетчатки почти одновременно, очень мала. Именно поэтому двухфотонное зрение требует чрезвычайно высокой локальной концентрации света и исключительно точной фокусировки.

Исследователи изучали, как на восприятие инфракрасного света влияют диаметр лазерного луча и степень его расфокусировки. Для эксперимента использовались два типа излучения: инфракрасный свет с длиной волны 1040 нанометров и обычный зеленый свет с длиной волны 520 нанометров. Интересно, что участники эксперимента воспринимали оба стимула как зеленые, хотя один из них формально находился за пределами видимого спектра.

В исследовании приняли участие здоровые добровольцы с расширенными зрачками и временно отключенной аккомодацией — естественной способностью глаза изменять фокусировку. Ученые индивидуально настраивали оптическую систему для каждого участника, добиваясь максимально точного попадания света на сетчатку.

Эксперимент был чрезвычайно сложным с технической точки зрения. Диаметр лазерного пучка изменялся с помощью специальных линз, а степень расфокусировки контролировалась смещением оптических элементов. Участникам показывали мерцающие кольцевые стимулы в центре поля зрения и на периферии сетчатки. Измерения проводились как в полной темноте, так и при фоновом освещении.

Главный результат оказался очень показательным: для двухфотонного зрения диаметр светового луча имеет критическое значение. Если инфракрасный луч был идеально сфокусирован на сетчатке, изменение диаметра существенно влияло на порог видимости. Для обычного видимого света такого эффекта практически не наблюдалось.

Это означает, что в двухфотонном зрении геометрия луча становится одним из ключевых факторов восприятия. Чем точнее сконцентрирована энергия света в одной точке, тем выше вероятность того, что произойдет событие двойного поглощения фотонов.

Еще более интересным оказалось влияние расфокусировки. В обычном

зрении размытие изображения в первую очередь снижает четкость картинки. Однако при двухфотонном восприятии инфракрасный стимул вел себя иначе. Вместо постепенного размытия изображение очень быстро исчезало полностью.

Такое поведение показывает, что сетчатка в данном случае работает как нелинейный детектор света. Даже небольшое уменьшение плотности фотонов в точке фокусировки резко снижает вероятность двухфотонного поглощения. По сути, глаз перестает воспринимать сигнал не потому, что он становится нечетким, а потому, что сам физический механизм восприятия перестает работать.

Исследование имеет важное значение не только для фундаментальной науки, но и для медицины. Двухфотонное зрение рассматривается как перспективная основа для создания новых диагностических технологий, включая сверхточные системы исследования сетчатки и методы раннего выявления глазных заболеваний.

Подобные технологии могут использоваться при диагностике глаукомы, диабетической ретинопатии, возрастной макулярной дегенерации и других нарушений зрения. Поскольку двухфотонное восприятие чрезвычайно чувствительно к состоянию сетчатки и качеству фокусировки, оно потенциально может выявлять изменения, которые еще не заметны стандартными методами обследования.

Исследователи также рассматривают возможность создания новых типов дисплеев и оптических систем, использующих двухфотонный эффект. В будущем это может привести к появлению технологий отображения информации, основанных на стимуляции зрения инфракрасным светом.

Интересно и то, что меньшие диаметры лазерного луча оказались менее чувствительными к ошибкам фокусировки. Это особенно важно для практических медицинских применений, где идеальная оптическая настройка не всегда возможна.

Работа польских исследователей показывает, насколько сложными остаются пределы человеческого зрения. Глаз способен реагировать на стимулы, которые формально лежат за пределами видимого спектра, однако для этого требуется почти идеальное сочетание физических условий.

Современная оптика все чаще демонстрирует, что человеческое восприятие устроено гораздо сложнее, чем считалось раньше. То, что долгое время казалось абсолютной границей зрения, постепенно превращается в новую область исследований, где физика света напрямую соединяется с биологией человеческого мозга и сетчатки.

Ссылка: «Влияние диаметра лазерного луча на видимость двухфотонных стимулов» DOI: [10.1364/ol.589174](https://doi.org/10.1364/ol.589174).