

# Autonomy Nerdout 2021.10.18

- Geiger Mode Lidar
- <https://www.youtube.com/watch?v=Ad3Wy-XXMH7c>
- Princeton Lightwave wurde von Argo AI gekauft

## Geiger-Mode LiDaR

### Resources

- [https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/IGTF2017/Kostoulas\\_28.pdf](https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/IGTF2017/Kostoulas_28.pdf)
- <https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/publication/doc/geiger-mode-avalanche-photodiodes-three-aull-ja-7893.pdf>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Avalanche-Photodiode#Einzelphoton-Avalanche-Diode\\_\(SPAD\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Avalanche-Photodiode#Einzelphoton-Avalanche-Diode_(SPAD))

**Einzelphoton-Avalanche-Diode (SPAD)** [ Bearbeiten | Quelltext bearbeiten ]

Avalanche-Photodioden (APD), die speziell für den Betrieb oberhalb der Durchbruchspannung im so genannten Geiger-Modus entwickelt wurden, werden als **Einzelphoton-Avalanche-Diode** (kurz SPAD für engl. *single-photon avalanche diode*) oder auch **Geigermode-APD** (G-APD) bezeichnet. Sie erreichen eine kurzzeitige Verstärkung von bis zu  $10^8$ .<sup>[9][21]</sup> da ein durch ein einzelnes **Photon** erzeugtes **Elektron-Loch-Paar** auf Grund der Beschleunigung in der Multiplikationszone (hervorgerufen durch die hohe **elektrische Feldstärke**) mehrere Mio. Ladungsträger erzeugen kann. Durch eine entsprechende Beschaltung muss verhindert werden, dass die Diode durch den hohen Strom leitfähig bleibt (Selbsterhalt der Ladungsträgerlawine), was im einfachsten Fall durch einen Vorwiderstand realisiert wird. Durch den Spannungsabfall am Vorwiderstand senkt sich die Sperrspannung über der APD, welche dadurch wieder in den gesperrten Zustand übergeht (*passive quenching*). Der Vorgang wiederholt sich selbsttätig und die Stromimpulse können gezählt werden. Beim *active quenching* wird durch eine spezielle Elektronik die Sperrspannung beim Erkennen eines Durchbruchstromes innerhalb weniger Nanosekunden aktiv abgesenkt. Danach wird durch erneutes Anheben der Sperrspannung über die Durchbruchspannung die SPAD wieder aktiviert. Durch die Signalverarbeitung der Elektronik entstehen **Totzeiten** von ca. 100 ns und es lassen sich somit Zählraten von ca. 10 MHz realisieren. Experimentell wurden 2011 auch schon Totzeiten von 5,4 ns und Zählraten von 185 MHz mit *active quenching* erreicht.<sup>[22]</sup>

Neben durch Photonen erzeugten Elektronen-Loch-Paaren können auch thermisch generierte Ladungsträger einen Durchbruch in der SPAD erzeugen, der im Normalfall unerwünscht ist. Die Rate dieser Auslösungen wird als Dunkelzählrate (kurz DCR für engl. *Dark Count Rate*) angegeben und ist ein Hauptfaktor für das Rauschen einer SPAD. Der bisher geringste veröffentlichte Wert für die Dunkelzählrate ( $0,1 \text{ Hz}/\mu\text{m}^2$ ) wurde bei SPADs des Fraunhofer Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) gemessen.<sup>[23]</sup>

Die SPAD kann in der CMOS-Technologie gefertigt werden, sodass eine kostengünstige und hochintegrierte Herstellung ermöglicht wird.<sup>[24]</sup> Gewünschte Schaltungen (*active quenching*, *time-to-digital-converter*, Zähler usw.) können nah an dem aktiven SPAD-Bauelement realisiert werden, um eine hohe Packungsdichte und somit einen hohen Füllfaktor zu erreichen.

## Notes

Single Event Detection (single photon

200 kHz Emitter → 1500m round-trip → 750m max range

vs Linear Mode LiDaR: min 500 photons detection capability

Can we get the

$$\begin{aligned}
A_1 &= e * r_1 \\
A_2 &= e * t_1 * r_2 * t_1 \\
A_a &= e * (a_1 + t_1 a_2 + t_1 r_2 a_1) \\
r_i + t_i + a_i &= 1 \\
e &= \sum A_i + A_a
\end{aligned}$$

Assume  $t_2 = 0$ .  $\Rightarrow a_2 = 1 - r_2$  because it is at least not transmissive.

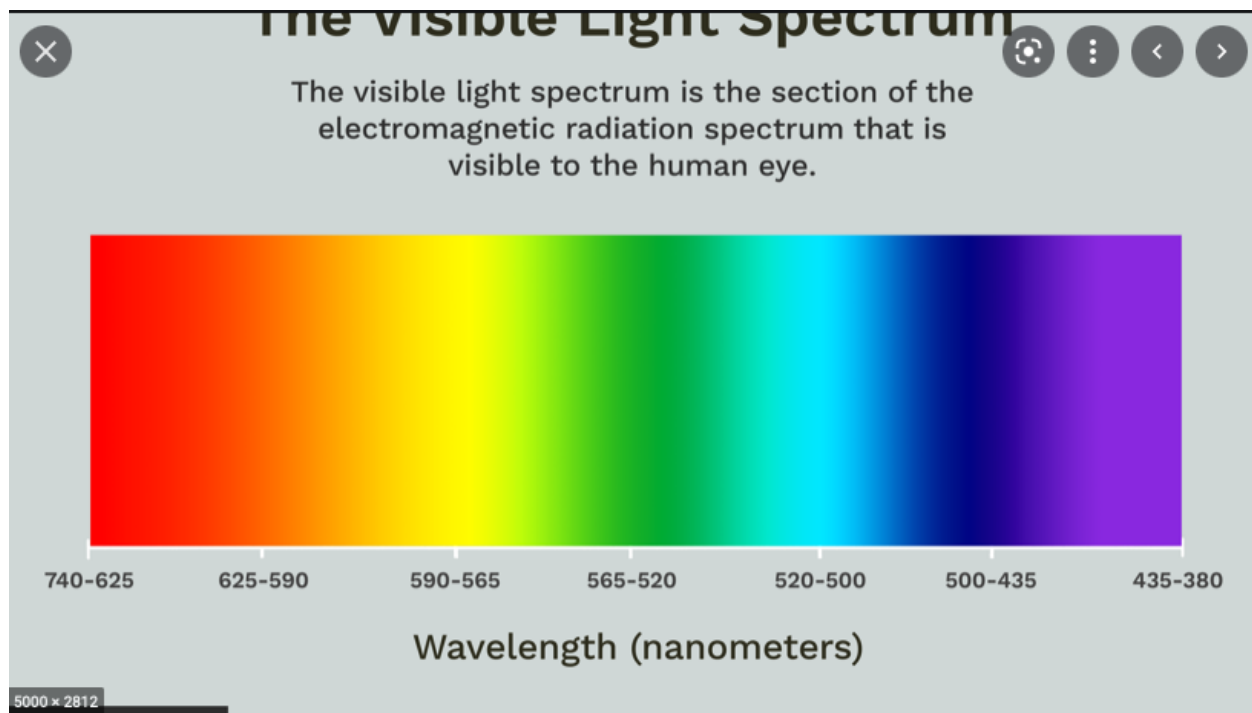
With  $A_i$  the answer,  $e$  the emission,  $r_i$  the reflectance of object  $i$ ,  $t_i$  the transmission and  $a_i$  the Absorption.

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>

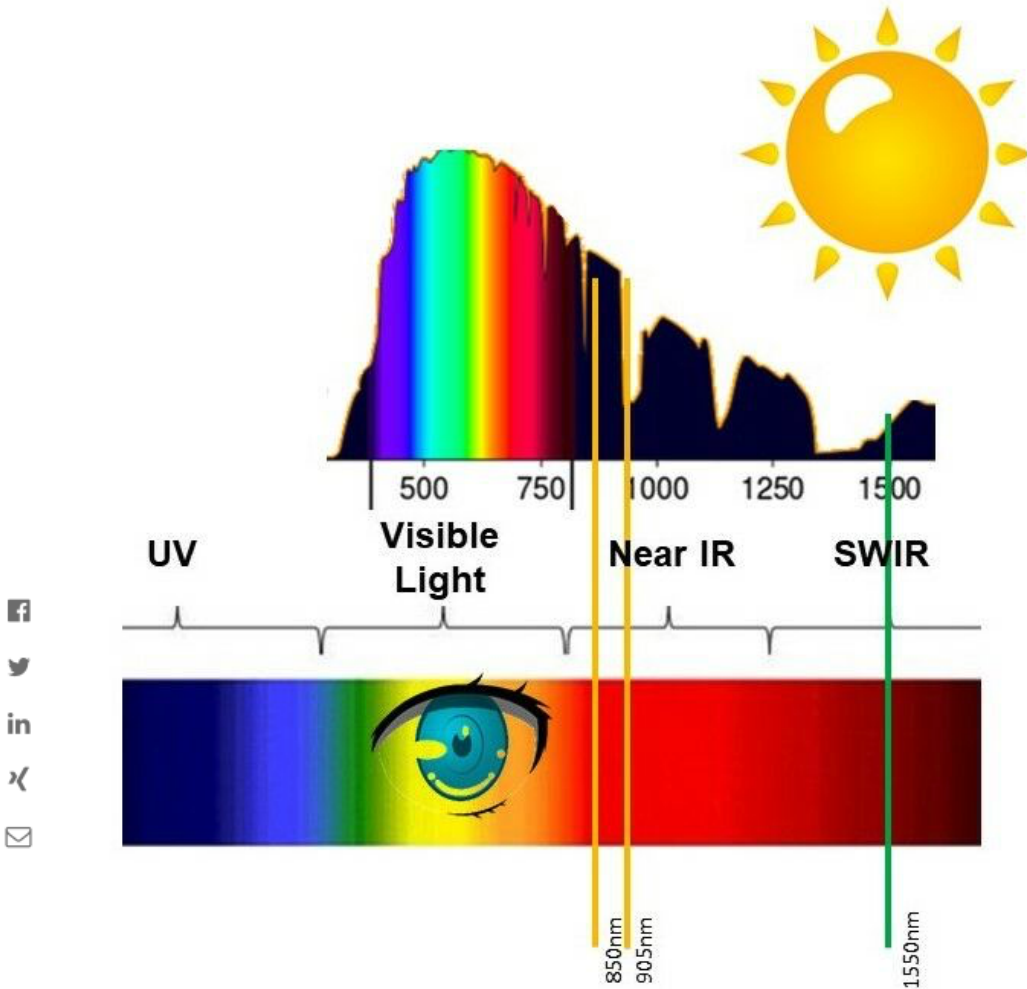
#### Commonly used sub-division scheme [[edit](#)]

A commonly used sub-division scheme is:<sup>[13][14]</sup>

Division name	Abbreviation	Wavelength	Frequency	Photon energy	Temperature <sup>[5]</sup>	Characteristics
Near-infrared	NIR, IR-A <i>DIV</i>	0.75–1.4 $\mu\text{m}$	214–400 THz	886–1,653 meV	3,864–2,070 K (3,591–1,797 °C)	Defined by water absorption, <sup>[clarification needed]</sup> and commonly used in <a href="#">fiber optic</a> telecommunication because of low attenuation losses in the SiO <sub>2</sub> glass (silica) medium. <a href="#">Image intensifiers</a> are sensitive to this area of the spectrum; examples include <a href="#">night vision</a> devices such as night vision goggles. <a href="#">Near-infrared spectroscopy</a> is another common application.
Short-wavelength infrared	SWIR, IR-B <i>DIV</i>	1.4–3 $\mu\text{m}$	100–214 THz	413–886 meV	2,070–966 K (1,797–693 °C)	Water absorption increases significantly at 1,450 nm. The 1,530 to 1,560 nm range is the dominant spectral region for long-distance telecommunications.
Mid-wavelength infrared	MWIR, IR-C <i>DIV</i> ; MidIR. <sup>[16]</sup> Also called intermediate infrared (IIR)	3–8 $\mu\text{m}$	37–100 THz	155–413 meV	966–362 K (693–89 °C)	In guided missile technology the 3–5 $\mu\text{m}$ portion of this band is the atmospheric window in which the homing heads of passive IR 'heat seeking' missiles are designed to work, homing on to the <a href="#">infrared signature</a> of the target aircraft, typically the jet engine exhaust plume. This region is also known as thermal infrared.
Long-wavelength infrared	LWIR, IR-C <i>DIV</i>	8–15 $\mu\text{m}$	20–37 THz	83–155 meV	362–193 K (89 – –80 °C)	The "thermal imaging" region, in which sensors can obtain a completely passive image of objects only slightly higher in temperature than room temperature - for example, the human body - based on thermal emissions only and requiring no illumination such as the sun, moon, or infrared illuminator. This region is also called the "thermal infrared".
Far infrared	FIR	15–1,000 $\mu\text{m}$	0.3–20 THz	1.2–83 meV	193–3 K (–80.15 – –270.15 °C)	(see also <a href="#">far-infrared laser</a> and <a href="#">far infrared</a> )



- What about simultaneous detections of two photons? Can this actually happen / is the laser built in a way that it cannot emit 2 photons at the same time?



<https://www.all-electronics.de/automotive-transportation/warum-fmcw-lidar-besser-ist-als-tof-lidar-nicht-nur-bei-automatisiertes-fahren-103.html>

- <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/3-common-two-techniques-laser-frequency-stabilization-frequency-modulation-fm-spectroscopy-q49757134>

Pulsed Lidar Equations

[https://www.thorlabs.com/images/tabimages/Laser\\_Pulses\\_Power\\_Energy\\_Equations.pdf](https://www.thorlabs.com/images/tabimages/Laser_Pulses_Power_Energy_Equations.pdf)

Princeton Lightwave Demos

- <https://www.youtube.com/watch?v=q4mKE9qjXSo>

## Argo AI

- <https://www.youtube.com/watch?v=CThWuJXQSgg>

## FMCW Lidar

## FSD Beta Videos

- Heavy rain: [https://www.youtube.com/watch?v=d56RPa\\_e4H4](https://www.youtube.com/watch?v=d56RPa_e4H4)
-