

「物理」

指先で光るLEDの謎

山形県立山形中央高等学校 文理科学部

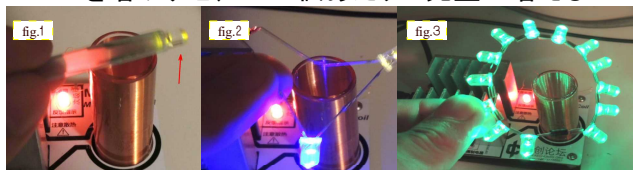
2年 片桐翔真・伊藤真徳・深水優之介

I はじめに

テスラコイルや、プラズマボール(以下PB)に蛍光灯やネオン管・LEDを近づけて光らせる実験がある。私達もショットバリアキダイオード(以下SBD)で逆電流から保護した複数のLEDを直列につけたリング(以下LEDリング)で実験していた所、2つの疑問に出逢えた。

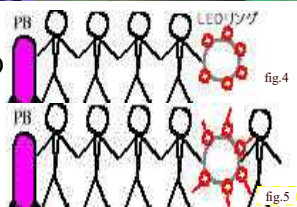
第1の疑問:

LEDを増やすと、LED1個あたりの光量が増える



第2の疑問:

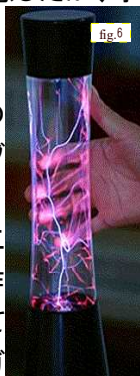
人体を通して離れた人の手にあるLEDリングが光る (Fig.4)。さらにLEDリングの先にもう一人追加すると、さらに強く光る (Fig.5 & 9)



以上のようなことが書かれた文献は無く、高校に上がったばかりで物理未履修の私達は困惑したが、予想を立て、調べることにした

II プラズマボール(以下PB)について

ガラス球に低圧のネオン、アルゴン等の混合ガスを封じたもので、中央の突起にブロッキング発振の昇圧回路で直流12Vを35kHz、2-5kVの交流として電圧をかけることで、ガスが電離してプラズマ放電を作る。PB内表面は、導電性塗料が塗られており、電極の役割を果たす。利点としてガラス管で覆われているため、人体への直接放電は無く、以後の実験は安全のためこれを用いた(Fig.6)



III 第1の疑問について

電力式 ($W=RI^2$) より、LEDが1個からn個に増えRがn倍になった状態を計算すると $RI_0^2=W=nRI^2$ より、 $I_0:I_1=n:\sqrt{n}$ と電流が低下し、LEDが光らなくなると考えられる。また光量の増加自体、エネルギー保存の法則に反する。私達は、テスラコイルやPBの高周波電界とこれを受け取るリングの形状に原因がないか調べることにした。

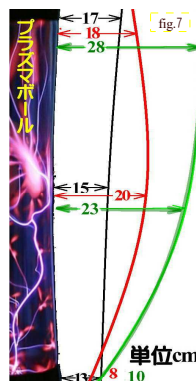
仮説:

- ① PBの内部放電は、内表面の導電塗料を一方の電極、ガラスを誘電体、ガラス外表面をもう一方の電極としてガラス外表面の電荷を頻繁に変えることで電磁波を放出している。

- ② 電磁波受信には「共振」が必要であるため、共振を起こしやすいリングの直径や形が重要である。

①について

電磁波測定器WT3121で測定した結果、明らかに電磁波が検出された。しかし、近づけると値が様々な変化し、エラー表示となった。



②について

測定器で測れないため、同一の線抵抗・LED数・LED間距離で測定することとした。すなわち、Fig.3の同一のLEDリングを円形○、縦楕円○、横楕円○に歪ませ、化学繊維の糸で吊り下げたもので、発光限界距離を調べた。結果、図のような違いが見られ、第1の疑問は電磁波を受け取る形の違いであるとわかった。(Fig.7)

加えてどのように共振しているか条件を変えた所、手で持つだけではなく、持つ位置でも、PBIに対する水平面での回転でも強く点灯するLEDや全体光量に変化した。光量は、複数の要因で決まると推測される。以後の課題としたい。

IV 第2の疑問について

平賀源内の「百人脅し」は閉回路で最初と最後の人に高電圧の端子を握らせるが、本実験では一方はプラズマボールに手をおくだけで、他方は空中に開いている (Fig.8・9)。そこで高周波を調べてみた。



PBは一般に 35kHz 2~5KVで駆動する。調べると『高周波は表面だけを流れる性質がある(表皮効果)』『高周波に対するヒトの閾値は約1kHzで10kHzを超えると0.1倍以下になる』とあり、これを利用して手術の電気メスは300kHz以上で無痛切開しているとあった。このため、非乾燥時は急に点で触れなければほぼ無自覚でいられるようだ。ではなぜ、何が流れているか。

仮説:

- ① 本実験では人体に推定35kHzの交流が存在する。
- ② 交流または交流が起こっている振動域は相対的に逆電位のグラウンドに向かって伝搬する。
- ③ 体表の交流を整流することで、給電や充電ができる

①について

写真ではLEDの上半分も下半分も点灯している。但し、LEDリングは直列接続であるため上半分と下半分では電流の方向が逆になっている。上下共に点灯するには頻繁に電流の方向が切り替わる交流でなければならない (Fig.10)。



また、PB内部では35kHz、2-5kVの交流がかかっており、Ⅲ-①よりガラス外表面はコンデンサーの電

極として働き、推定35 kHzで電荷が入れ替わっていると推定される。これに触れることで電荷の入れ替わりが人体表面でも起こったと推定される。

交流の周波数については、手持ちの測定器が狂うため測定できないが、肉眼では一様に光っているの、かなり高い頻度で電位は変化していると考えられる。尚、ビデオカメラで撮影すると、約0.31秒ごとに明滅して映る。これを利用して計算できないか考えている。

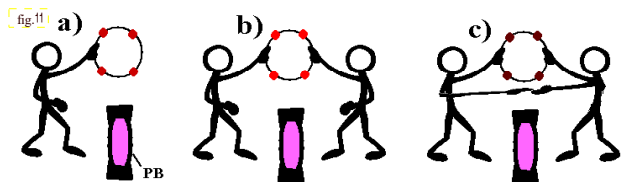
②について

高周波の例に電波がある。電波に関わるインピーダンスマッチングについて調べると、負荷端。本実験では断線部位で、入射波は反射波となり反射損失が生じることとなる。例えばテレビのアンテナではアイソレーターを入れて、入射波と反射波がぶつからないよう新たな終端へ反射波を逃がしている。

すなわち入射波が継続して先に進むような状態を作れば高周波域は先に進む。別の見方をすれば仮説通り、交流または交流が起こっている振動域は相対的に逆電位のグラウンド・終端に向かって伝搬すると考えることができる。実際Fig.4よりFig.5が強く光ったことは、新たに加わった人間がグラウンドとして働き、終端がLEDリングの先になったためと考えられ、これを確認するため新たに加わる人数を増やしたり、アースグラウンドとして期待される水道管に触れるなどと、さらに強くLEDが光ることで仮説は確認された。

すなわち、終端がLEDリングであれば、LEDリングで反射波が発生し、反射損失が起こる(Fig.4)。一方、新たに人が加われば、入射波はLEDリングを素通りし、新たに加わった人の反対側の手付近を終端として反射波が生じるため、LEDリング内の高周波域への影響は少ない(Fig.5)。加えて水道管に触れるなどすると終端は無遠慮に遠ざかり、反射損失がなくなりさらに光っていたと考えられた。

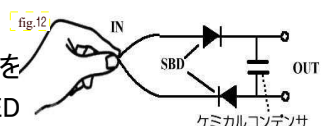
LEDリングが終端でなければよいのであれば、二人の間にLEDリングを置けばよい。そこで、次のような非接触給電を考えてみた(fig.11)。



- a)は第一の疑問と同じ条件で、弱く光った。
- b)では、両側の人間が終端となるため、LEDは強く光ると期待され、実際強く光った。
- c)は全く光らなかった。手をつないだため、LEDリングの両端が等電位となったためと考えられた。

③について

②よりPBの電子振動が手をつないだ人間の先にあるLEDリングまで伝搬していると考えられる。であれば、これを整流



すれば給電や充電ができる。そこでfig.12の回路で160W V・22000 μ Fのケミカルコンデンサーを接続した所、30秒の充電で26秒電子オルゴールを鳴らせた。尚、単3乾電池では30秒の充電で53秒だった。(n=3)。

V まとめ

本実験では用語や概念の理解が最大の難関でした。不適切な引用や用語があれば是非お教えください。

この発見は新たな電力供給の可能性を示すもので、眼鏡にコンピュータのデータを映すウェアラブル端末等への給電や、授業のICT化にともないわたしたちのタブレットへの充電がひとつの課題になっているが、この技術で「椅子に座るだけ」などのように、脱着も容易で特に配線することなく充電できる環境を作れるなど様々な応用できそう。付け加えると、測定器は狂うが、近くのスマートフォンやPCに異状は出ない。製品自体の電磁波ガードで十分対応できるようだ。

高校の設備では人体の安全性に対する調査やエネルギー効率測定はできないが、是非大学で深めてみたい。

仕組みを考えていて、気になることができた。「交流が流れる」と表現するが、実際の電子は直流と異なりその場に留まり揺れているだけで流れていない。これは海のうねりでイメージできる。そして、海のうねりは岸壁などで遮られると大きなエネルギーを生み、一方広い水面と接触すると状態を共有する。そしてこの現象は、本実験結果とよく似た部分がある。

PBに触れたり離したりしたときのLEDリングは素早く応答し点滅する。「流れている」のではないため、PBの状態が、手をつながる数m離れたLEDリングで共有されていると考えられる。ではなにが状態を伝搬しているのだろうか。

電気伝導に関わる速度を調べると、a 電界変化の伝わる速さ(=光速)、b 電子の速度(=フェルミ速度、約1000 km/秒)、c 電子の平均速度(0.1mm/秒/A程度)、d 同軸ケーブルを通る高周波信号の速度(光速の数十%程度)と4種類あった。PBはブロッキング発振で昇圧し35 kHzで電荷を変えている。ということは、aの電界変化が妥当であるが、実験中これが光速で体表を駆け巡っている実感は無い。

以上、まとまりのない文章となりお詫びします。最後に、貴重な示唆をくださった山形大学理学部の宮地義之先生への感謝を持って、結びます

参考文献

- オーディオの科学HP <https://qr.paps.jp/6dURu>
- ほくでんネットワークHP <https://qr.paps.jp/m7u6H>
- 科学技術発展のためにHP <https://qr.paps.jp/AqV0g>
- 智恵の楽しい実験HP <https://qr.paps.jp/tcTa1>