

新種の光線について (速報)

Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung)

Röntgen WC. Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Gessellschaft zu Würzburg. 132-141, 1895

1. ヒットルフ (Hittorf) 真空管, 充分排気したレーナルト (Lenard) 管あるいはクルックス (Crookes) 管などに, 大きめのリュムコルフ (Ruhmkorff) 誘導コイルで通電し, 真空管に薄い黒いボール紙を密着させて覆うと, 完全な暗室内で装置の近傍においたシアン化白金バリウムを塗布した紙面が, 薬剤の塗布面が装置の側, あるいはその反対側いずれにあっても, 放電のたびに明るく光る, すなわち蛍光を発する. 2m 離れた位置でも蛍光が認められる*.

この蛍光は, 放電装置から発するもので, 回路の他の部分からではないことは容易にわかる.

2. この現象については, 太陽や電気アークからの可視光線, 紫外線を遮蔽しうる黒いボール紙が, この蛍光を発生するものを透過させることは注目すべきことであり, まず他の物質が同様の性質を有するか否かを調べることにする.

全ての物質が, その程度には大きな差があるものの, 透過性*であることがただちにわかる. いくつか例をあげる. 紙は非常に透過性が高い. 約 1000 頁の本の後側でも蛍光板は明るく光った. 印刷インキは影響を与えない. 同様にトランプ 2 パックの後ろでも蛍光が認められた. 装置と蛍光板の間にカード 1 枚を置いても目視上ほとんど認識できない. 同様に, アルミニウム箔 1 枚もほとんど見えず, 数枚重ねてはじめて陰影がみえるようになる. 厚い木のブロックも非常に透過性が高い. 2~3cm 厚の樅板は僅かに吸収する. 厚さ 15mm のアルミニウム板はかなり減弱効果があるが, 蛍光を完全に消すには至らない. 光線**は, 厚さ数 cm の硬いゴム板を通過する. 同じ厚さのガラス板, 鉛を含有しているかどうかによって異なる. 鉛ガラス (フリントガラス) は, 鉛を含有していないものにくらべて遙に透過性が小さい. 放電装置と蛍光板の間に手を入れると, 暗い骨の陰影が, より薄い手全体の陰影の中にみえる. 水, 二硫化炭素などいくつかの液体を石英の容器にいれて試したところ, 非常に透過性が高かった. 水素が空気と比較して透過性が高いか否かについては未検である. 銅, 銀, 鉛, 金, 白金の板の後ろでも, 厚くない限りは明らかに蛍光が認められる. 0.2mm 厚

の白金は透過性で, 銀, 銅板はさらに厚くとも透過性である. 1.5mm 厚の鉛は事実上不透過で, この性質はしばしば利用できた. 一面を鉛で白く塗った 20mm 四方の木板は, 装置と蛍光板の間に置く方法によって結果が異なった. X 線の方向が塗布面と平行な場合は事実上効果がないが, 光線が塗布面を通過する場合は暗い陰影を形成した. 金属そのものと同じく, その塩類は固体, 溶液いずれであっても, 透過性の順序は同様であった.

3. 上記の実験結果およびその他の結果から, 様々な物質の透過性は, 同じ厚さであれば主に密度に依存するという結論に至る. その他の特性は, 少なくとも同じ程度には影響を及ぼさない.

しかし以下の実験が示す如く, 密度だけが決定因子ではない. ほぼ同じ厚さのガラス, アルミニウム, 方解石, 石英の板を比較したところ, これらの密度はほぼ同じであるが, 方解石は他にくらべてはるかに透過性が低く, その他は同程度であった. 方解石は, ガラスとくらべて特に蛍光が強いようには見えない (→ 6).

4. いずれの物質も, 厚さが増加すると透過性は低下する. 透過性と厚さの関係を知るために, 何枚ものスズ箔を次第に厚くなるように階段状に覆ったものを写真乾板上に置いて撮影した. 適当な濃度計が手に入れば計測してみたい.

5. 白金, 鉛, 亜鉛, アルミニウムの箔を, 透過性が同程度になるような厚さに圧延した. 下表は, 白金箔の厚さを 1 とするときの相対的な厚さ, 密度を示したものである.

| | 厚さ | 相対厚 | 密度 |
|-----|---------|-----|------|
| 白金 | 0.018mm | 1 | 21.5 |
| 鉛 | 0.05mm | 3 | 11.3 |
| 亜鉛 | 0.10mm | 6 | 7.1 |
| アルミ | 3.5mm | 200 | 2.6 |

この数値から, 異なる物質の透過性は, 厚さと密度の積が同じでも決して同一でないことがわかる. 積が小さくなると, 透過性はより急速に大きくなる.

6. X 線の作用は, 白金シアン化バリウムの発光だけではない. まず初めに述べておくべきことは, 他の物質, たとえば燐光物質として知られるカルシウム化合物, ウランガラス, 通常のガラス, 方解石, 岩塩なども発光する.

中でも特記すべきは, 写真乾板が X 線に感受性であ

* 物体の「透過性 (Durchlässigkeit)」は, 蛍光板を物体の直後に置いた場合と, 同じ条件下で物体を置かない場合の, 蛍光板の輝度の比と定義する.

** 簡単のため, 「光線 (Strahlen)」という言葉を用い, 特に他と区別するために「X 線 (X-Strahlen)」の名称を使用する (→ 14)

ることである。これにより、見誤りやすい現象を裏付けることが可能である。私は可能な限り、蛍光板上のすべての重要な観察を写真撮影して管理した。

このように、木、紙、錫箔などの薄層をほとんど遮蔽されずに透過する光線の特性は非常に有用である。その一方で、明室ではカセットに収めたり紙に包んだ写真乾板を使用するが、この特性のために通常のボール紙や紙に入れた未現像の乾板を放電装置の近くに少しでも置いておいてはならない。

X線が写真乾板上の銀塩の化学反応の直接的な原因か否か、という疑問がなお残る。この作用は、前述のようにガラス板あるいはゼラチン層内で発生した蛍光の結果である可能性がある。なお「フィルム」はガラス乾板と同じように利用できる。

X線が熱効果をもつことについては、実験的にはまだ証明できていないが、蛍光現象はX線が変容することを示すものであり、入射したX線がすべて物体から変化せずに出るわけではないことを考えると、熱効果があることは容易に推測されるところである。

目の網膜は、この光線に不感である。目を放電装置に近づけても何も知覚されない。経験から考えて、眼球内に包含されている物質は、この光線に透過性なのであろう。

7. 様々な厚い物体がこの光線に透過性であることを知り、X線がプリズム^{†1}を通過する際にどのような行動をとるか、すなわち屈折するか否かを知らうと考えた。水、二硫化炭素を石英の中にいれた屈折角約30度のプリズムは、蛍光板、写真乾板いずれにおいても屈折を示さなかった。対照として通常光線を同じ条件下で観察したところ、屈折した像が、屈折しないときとくらべてそれぞれ10mm、20mm離れたところに現われた。硬いゴム、アルミニウムからなる屈折角30度のプリズムでは、屈折像と思われる写真を得た。しかし、これは非常に不確実で、屈折があるとしてもそれは小さく、X線の屈折率はせいぜい1.05である。この場合も、蛍光板上では屈折像は見られなかった。

より高密度の金属プリズムの実験では、透過性が低く像の輝度が小さいために、まだ確実な結果は得られていない。

X線が1つの媒体から他の媒体を通過する際に屈折するかという重要な問題に関するこのような結果に鑑み、プリズムを使用しない別の方法でも実験することは好ましいことである。細かく粉状に砕いた物質を十分に厚い層にすると、入射光を散乱して、屈折および反射のために通過するのはその一部のみとなる。粉体がX線に対して通常の（等しい質量の）非粉体物質と同じように透過性であれば、有意な角度の屈折も規則的な反射も起こらないはずである。この実験を、細かい粉

状にした岩塩、電気分解により作った銀粉、および化学実験によく用いられる亜鉛の粉体で行った。いずれの場合も、粉体と非粉体の物質の間で、蛍光板、写真乾板ともに、透過性に差はなかった。

以上のことから、X線をレンズで集束することができないことは自明である。実際、大きな硬いゴム製のレンズ、ガラスレンズともに無効であった。円柱の陰影は、周辺部より中心部で高濃度であった。透過性の高い物質で充たした円管は、周辺部よりも中心部で低濃度であった。

8. 前述のことから、X線の反射の問題については、実験した物質のいずれにおいても通常の反射は起こらないという意味で解決されたと考えられる。ここでは省略するが、他の実験でも同様の結果が得られた。

しかし、一見して矛盾するようにみえる1つの観察について言及しなくてはならない。ガラス面を放電装置に向け、黒い紙で覆った写真乾板にX線を照射した。受光面は、小さな間隙を除いて磨いた白金、鉛、亜鉛、アルミニウムの薄板を星状に並べて覆った。現像したネガでは、白金、鉛、そして特に亜鉛の下では他の部分よりも明らかに濃く黒化していた。アルミニウムは効果がなかった。従って、3つの金属は光線を反射するように見える。しかし、黒化を増強する別の原因も考えられる。この点を確認するため、2つ目の実験として、紫外線には不透過性だがX線には透過性である薄いアルミニウム箔を受光面と金属板の間に置いた。結果は同じであったことから、前述の金属によるX線の反射は証明されたことになる。

この事実に加え、粉体が非粉体物質と同程度に透過性であること、さらに最後の実験で示したように表面の粗い物体と滑らかな物体がX線の透過性に関して同等であることを考え合わせると、規則的な反射は起こらないが、物体とX線は、不透明な媒体と光の関係と同じように作用すると結論できる。

さらに、X線が1つの媒体から他の媒体へと通過する際に屈折が認められなかったことから、すべての物質、特に普遍的に存在する粒子を含む物質の内部を等しい速度で移動するものと思われる。このような粒子はX線の伝播に対する障害となり、一般的に密度が高いほど大きな障害となる。

9. 従って物質内の粒子の配列が透過性に影響する可能性がある。例えば、同じ厚さの方解石でも、光線がその軸方向に入射するか、直角に入射するかで異なりうる。しかし、方解石、石英による実験ではそのような結果は得られていない。

10. レーナルトが行った、ヒットルフ陰極線を薄いアルミニウム箔を通過させるみごとな実験では、この光線はエーテル内の現象であり、すべての物質内で拡

散するという周知の結論を得ている。X線についても同様のことが言える。レーナルトはその最新の論文で、さまざまな物質による陰極線の吸収を測定し、特に大気圧の空気において、1cm厚に対して放電装置の真空度に応じて、4.10, 3.40, 3.10 という数値を報告している。私自身の実験も、放電間隙から推定される放電圧から判断して、概ね同程度の真空度で行われており、これより高い、あるいは低い場合は少ないと考えられる。L. Weber の光度計 (これ以上のものを持ち合わせていないので) による測定では、大気圧において、放電装置から約 100mm, 200mm 離れた位置においた蛍光板の蛍光を比較したところ、3 回の実験で非常に良い一致が得られ、蛍光の光度は蛍光板と放電管の距離の二乗に反比例した。従って、空気による X 線の吸収は陰極線に比べてずっと小さい。この結果は、放電装置から 2m 離れた位置でも蛍光が観察された事実とも完全に一致している。

一般的に、他の物質も空気と同様の性質を示す。すなわち、陰極線にくらべて X 線は透過性が高い。

11. 陰極線と X 線のもう 1 つの顕著な違いは、多くの試みにも関わらず、非常に強い磁場においても X 線の偏向が得られていないことである。

今のところ、磁石による偏向は陰極線に特異的な現象と考えられる。ヘルツ、レーナルトらは「蛍光の発生力、吸収性、磁石による偏向性の違いにより区別される」異なる陰極線が存在するとしている。しかし、彼らの実験ではいずれも偏向が認められており、この特性は十分な理由がない限り放棄されるべきではないと考える。

12. 放電装置のガラス壁で最も蛍光が強い場所が X 線放出の中心点で、ここから全ての方向に放射されることは、この問題に的を絞った実験により確実である。従って X 線は、いくつかの報告にあるように陰極線がガラス壁に入射する場所から発生する。磁石^{†1}によって陰極線を偏向すると、X 線も別の場所、すなわち陰極線の終点部位から発生することが観察される。

このことから、偏向されない X 線は、単にガラス壁によって変化することなく放射され、あるいは反射される陰極線とは異なるものであるといえる。レーナルトによれば、放電管の外のガラスの密度を大きくしても、偏向が大きく変化する原因とはならない。

従って、X 線は陰極線とは異なる、しかし放電管のガラス壁の内部で陰極線によって生成されると結論する。

13. この X 線生成はガラスだけでなく、アルミニウムの内部でも起こるもので、放電装置を覆って 2mm 厚のアルミニウムの窓を設けた状態で観察できている。他の物質については後日実験する予定である。

14. 放電装置の壁から放射されるものを「光線」と名付けることについては、装置と蛍光板、あるいは写真乾板の間に様々な透過性のものを置くと完全に規則的な陰影を生じることから妥当であると考えられる。

多くのこのような陰影を観察し、ときには写真に撮影しているが、中には非常に興味深いものもある。例えば、それぞれ放電装置、写真乾板を置いている 2 つの部屋の間のドアの輪郭、手の骨の陰影、木製の軸に巻いた針金、小さな箱にいれた分銅セット、磁針が完全に金属によって覆われた羅針盤などを撮影し、また金属片を撮影してその不均一が明らかとなった例^{†2} などがある。

X 線の直進性については、黒い紙で覆った放電装置で作ったピンホール写真において、弱いものではあったが明らかに正確な像を結んだことにより証明できた。

15. 干渉現象については何度も実験したが、不首尾に終わっている。これはおそらく強度が小さいだけの理由によるものであろう。

16. 静電力が X 線に影響するかについては、実験を始めているが、まだ完了していない。

17. X 線とは何か (陰極線とはことは明らかに異なるが)、という問いについては、一見してその蛍光作用、化学作用からまずは紫外線のように思うかも知れないが、ただちに重大な問題に直面する。すなわち、X 線が紫外線であるとすれば、次のような性質を備えていなければならない。

(a) 空気から水、二硫化炭素、アルミニウム、岩塩、ガラス、垂鉛などに入射するとき有意の屈折を示さない。

(b) このような物質によって有意の規則的反射を認めない。

(c) それ故、通常の方法では偏向できない。

(d) 密度以外の特性がその吸収を大きく左右しない。

言い換えればこの光線は、赤外線、可視光線、紫外線など、現在知られている光線と全く異なるふるまいを示すと言わざるを得ない。

この点についてはまだ決断できておらず、別の説明を考えた。

新しい光線と従来の光線には、ある程度の類似性がある。すなわち、少なくとも陰影の形成、蛍光の発生、化学作用は両者に共通するものである。エーテル中の光には横振動に加えて縦振動が存在しうことは以前から知られており、幾人かの物理学者は確実に存在すと述べている。しかしその存在はまだ完全には証明されておらず、その特性も実験的に研究されていない。

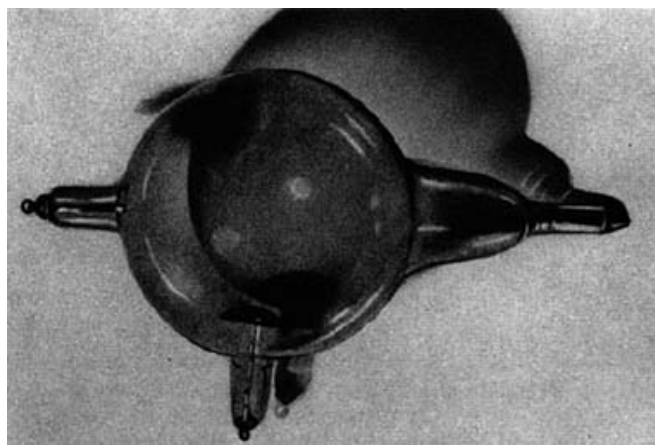
従って、新しい光線はエーテル中の縦振動として捉えられないだろうか？

一連の研究を通じて、私はますますこの考え方に傾いて、まだ更なる研究が必要であることを承知の上で、ここではこの説を表明しておきたい。

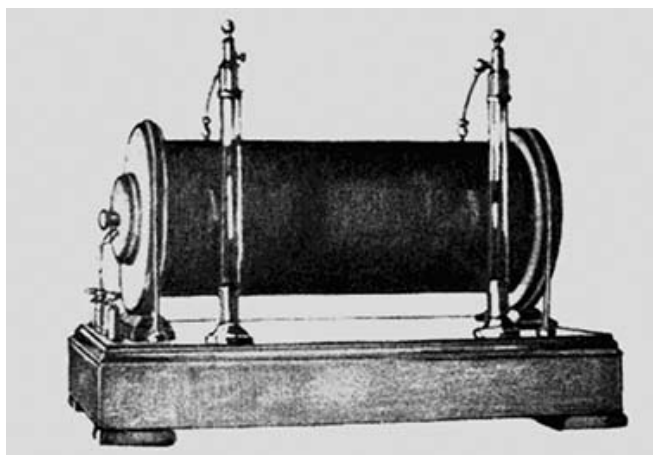
ヴェルツブルク大学物理学研究所

1895 年 12 月 28 日

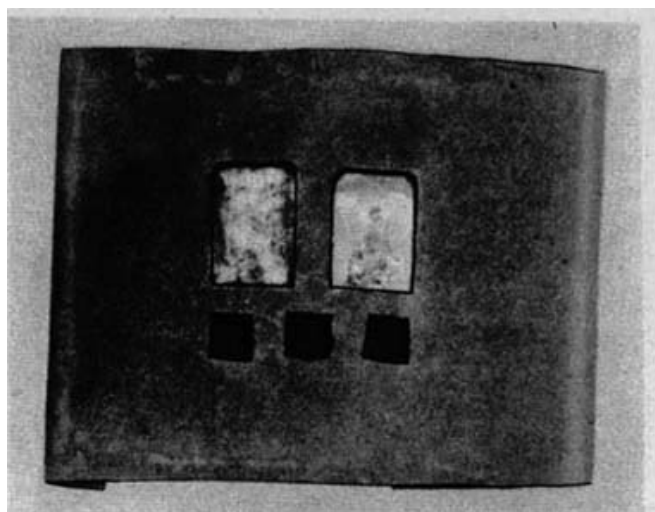
訳注 1[†]. レントゲンが使用した実験装置. 論文に写真はないが, ここに紹介する (いずれも Public Domain).



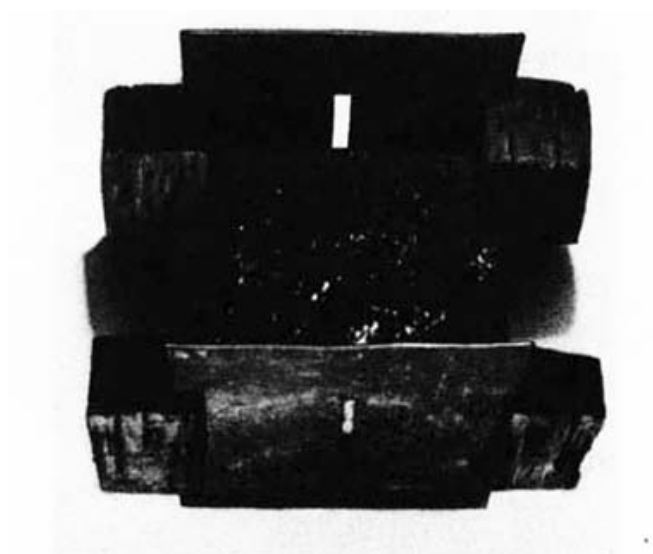
陰極線管



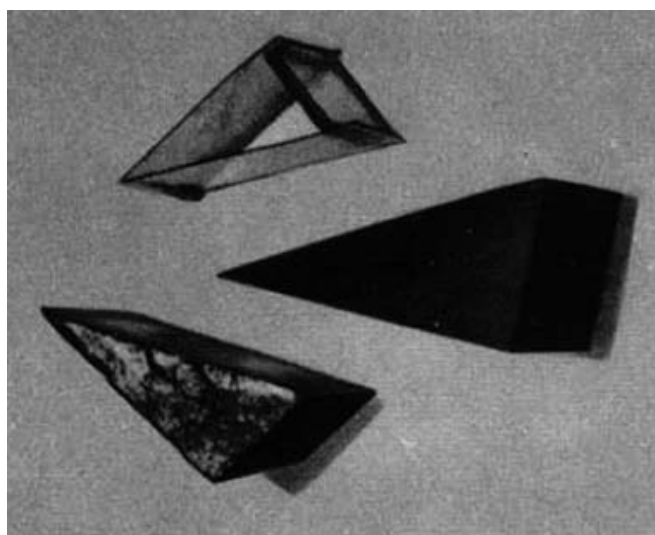
リュムコルフ誘導コイル



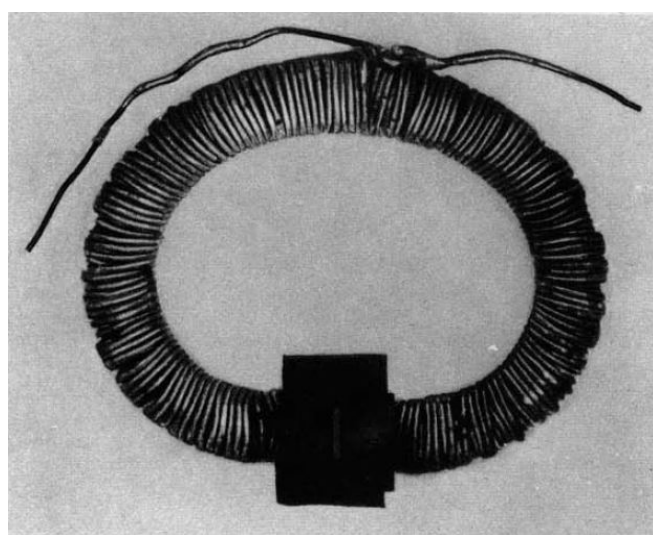
色々な物体の透過性を調べるために使用した窓をくりぬいた鉛板



プリズム実験に使用したスリット



屈折実験に使ったプリズム

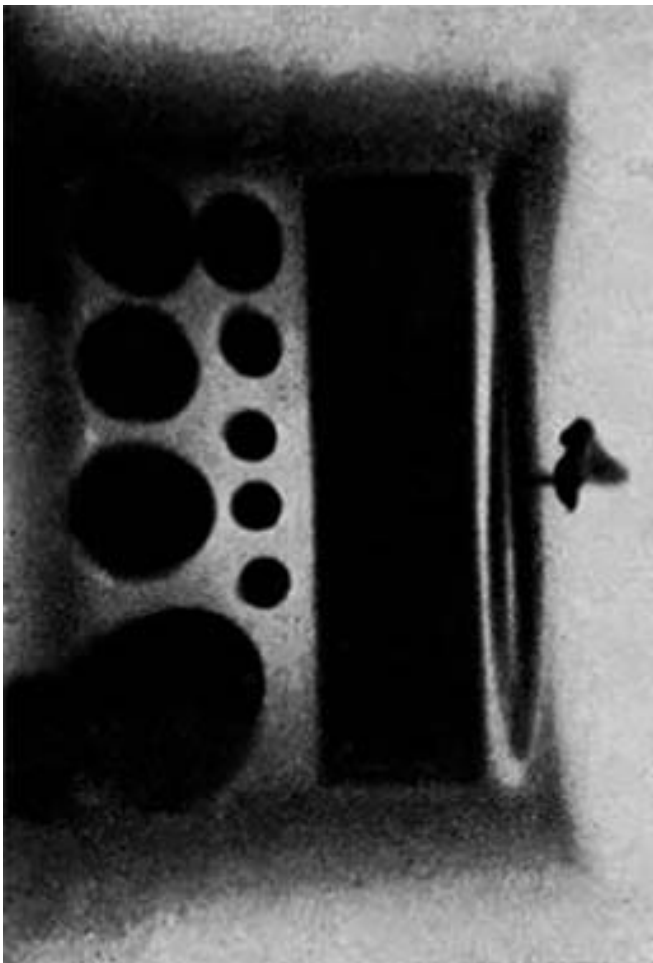


偏光実験に使った電磁石コイル

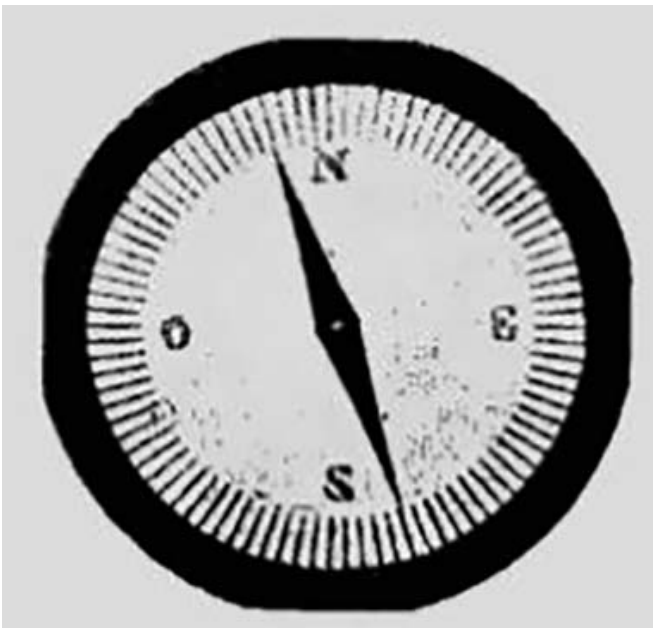
訳注 2[†]. 14 項に記載されているレントゲン写真は、実際の論文には掲載されていないが、その一部を下記に示す（いずれも Public Domain）.



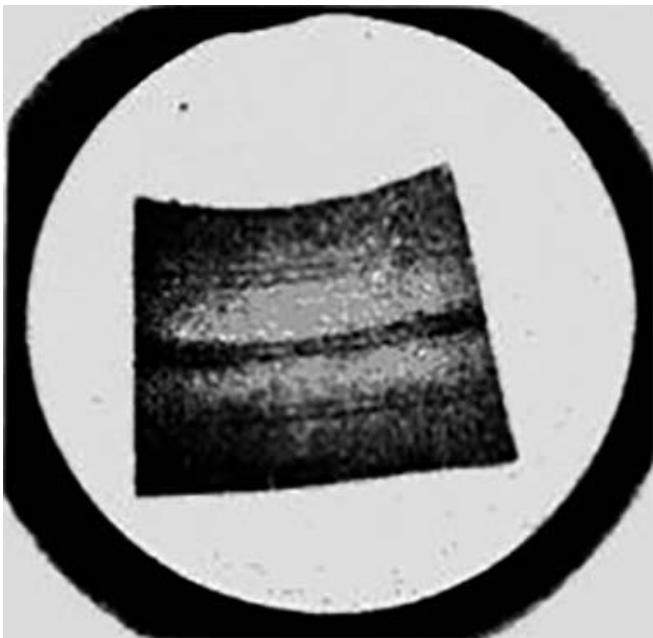
妻ベルタ夫人の手



箱に入った分銅セット



方向磁石



不均一な金属板