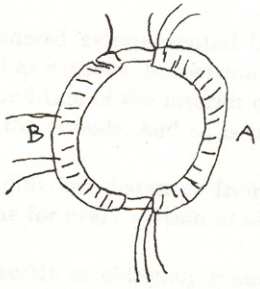
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخچه الکتریسیته و مغناطیس



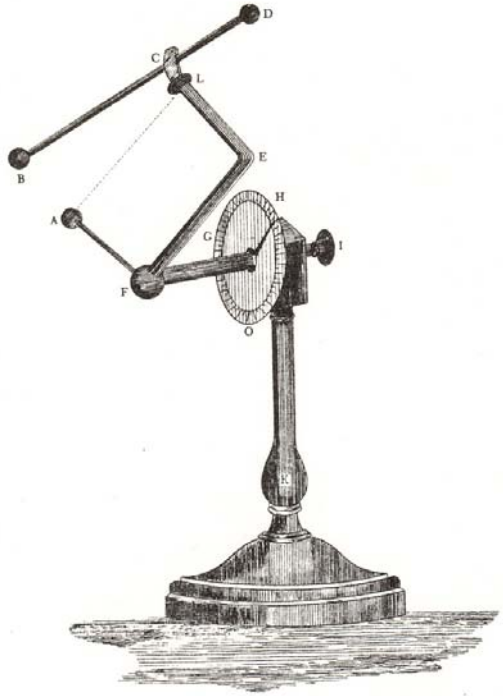


FIGURE 3.1 *Robison's apparatus.*

گردآوری ترجمه و تدوین
سید محسن ابوتراب

بهمن ماه ۱۳۸۸

با یاد استاد گرانقدر

شادروان استاد دکتر حسن مرشد

بسم الله الرحمن الرحیم هست کلید در گنج حکیم

درابتدا، برخود لازم میدانم که یاد استاد گرانقدر فقیدم ، مرحوم استاد دکترحسن مرشد ،که همه این علاقه بعلت شاگردی ایشان درمن ، وبسیاری دیگر از دوستان بوجود آمده ، را گرامی بدارم .

درسال ۱۳۶۹ مشغول یک بررسی کلی کتابهای کتابخانه بمنظور تهیه فهرستی از کتابهای گرایش موج و برخی دیگر از موضوعات مورد علاقه بودم (که آن فهرست هم تکثیر و دراختیار علاقمندان قرارگرفت) . همانطور که کتابها را ورق میزدم، بطور اتفاقی در یکی از کتابها به تاریخچه چند صفحه ای از الکترومغناطیس برخوردم . واین نقطه شروعی برای کنجکاوی در این زمینه شد.

از آن زمان، شاید حدود ۳ سال مشغول جستجو ی کتابها درمورد این تاریخچه شدم . درابتدا شروع به ترجمه هر قسمت کرده وسپس آنها را بر اساس زمان اتفاق وانجام ، مرتب وپشت سرهم کردم.

البته بعد از پایان تقریبی کار، کتابهای مفید دیگری از طرف برخی از دوستان که از موضوع با خبربودند ، بمن مرحمت شد که تا حدودی از آنها نیز استفاده کردم ولی اگر حوصله و وقت برای تکمیل این مختصر اجازه دهد ، با کاربری موضوعات یاد شده در آن کتابها ، حتما این تاریخچه بهتر خواهد شد.

اکنون که حدود ۱۲ سال از آن گردآوری و ترجمه و تدوین گذشته ، بالاخره موفق به تایپ و تکثیر آن برای علاقمندان شدم. کاملا واقفم که این مختصر دارای عیوب غیر قابل انکاری است . درواقع چنین کاری از عهده یکنفر با وقت محدود خارج است. دربعضی اوقات موضوع خیلی مختصر گفته شده وگاهی بنظر خیلی طولانی ، ویا بعضا ناقص است. این بعلت منابع متعدد و غیر متشابه و غیر هم سطحی است که در اختیار بوده وهمین طور کم حوصلگی ، و میزان فهم من از مطلب مربوط میشده است.

هرچه فکر کردم نتوانستم فصل بندی مشخصی تعیین کنم و بنابراین فقط بر اساس زمان ، آن هم اگر درست باشد و اشتباهی نشده باشد ، مطالب را مرتب کرده ام.

بهر حال برگ سبزی است ، با اذعان بهمهٔ اشکالات و نواقص. وفکر میکنم بودن چنین مجموعه ای بهتر از نبودن آن است.

ارائه نظریات ویا تصحیحات ، چه در مورد متن ویا اشکالات تایپی باعث خوشحالی وتشکر خواهد شد. امیدوارم که دیگران ، بخصوص دانشجویان عزیز علاقمند ، این کار را پیگیری کرده و تاریخچه واقعی ومناسبی تدوین کنند.

فروردین ۱۳۸۴
سید محسن ابوتراب
دانسکده برق
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین
طوسی

فهرست

زمان	موضوع	صفحه
۸۰۰- م	افسانه چوپانی بنام Magnes	۱
۶۰۰- م	اطلاعات تالس از کهربا وامبر	۱
۵۰۰- م	نظرات ارسطو ودیگران درمورد مغناطیس	۱
۱۲۰۰ م	کاربرد عقربه مغناطیسی در دریا نوردی توسط Neckman	۲
۱۲۶۹ م	بررسی علمی مغناطیس توسط Piere de maricourt	۲
۱۳۰۲ م	اختراع وتکمیل قطب نما توسط Amelfi	۲
۱۶۰۰ م	کشف مغناطیس بودن زمین توسط Gilbert	۲
۱۶۲۵ م	کشف انتقال وجذب الکتریکی و همین طور دفع الکتریکی توسط Cabeo	۳
۱۶۵۰ م	سنجش یکسان بودن قطبهای آهنربا	۳
۱۶۶۰ م	ساخت اولین دستگاه تولید الکتریسیته توسط مالش توسط گریکه	۳
۱۶۷۶ م	مشاهده نور از بالای فشارسنج توسط پیکارد	۳
۱۷۰۳ م	مشاهده جرقه الکتریکی توسط وال	۳
۱۷۰۵ م	آزمایشات ومشاهدات جدید الکتریسیته توسط هاوکسبی	۴
۱۷۲۰ م	کشف هدایت الکتریکی توسط گری	۵
۱۷۳۳ م	نظریه الکتریسیته دوسیالی توسط دوفی	۶
۱۷۳۶ م	طبقه بندی هادی وعا یق توسط دساگولیه	۶
۱۷۴۵ م	نظریه همزمانی ءافلونس و افلونس توسط آبه نوله	۷
۱۷۴۶ م	ساخت اولین لیدن جار توسط موشن بروک	۸
	نظریات جدید فرانکلین –الکتریسیته تک سیالی	
	ساخت آهنربای مصنوعی توسط کانتون	۱۲
۱۷۴۹ م	برق آسمان ونظر فرانکلین	۱۲
۱۷۵۰ م	اختراع برق گیر توسط فرانکلین	۱۳
	بدست آوردن قانون جذب قطبها ی مغناطیسی توسط میچل	۱۳
۱۷۵۱ م	گرازش شوک الکتریکی منجر به مرگ پرندگان توسط واتسون	۱۳
۱۷۵۲ م	القاء الکتریکی توسط کانتون و تعریف الکتریسیته مثبت و منفی توسط فرانکلین	۱۳
	آزمایش باد بادک فرانکلین	۱۴

۱۷۵۳ م	مرگ ریچمن دانشمند روسی در اثر برق آسمان	۱۴
۱۷۵۴ م	اختراع الکتروسکپ pit ball توسط کانتون	۱۵
	عایق با خازن هوا	۱۵
۱۷۵۹ م	نظریه اپینوس در مورد اتمسفر الکتریکی	۱۶
	نظریه القای اپینوس	۱۶
	نظریه دو سیالی سیمر	۱۷
	اساس الکتروفور	۱۸
۱۷۶۰ م	نظریات ولتا	۱۸
۱۷۶۲ م	شکست نظریه اتمسفر الکتریکی توسط ویلکه	۱۸
۱۷۶۵ م	تدوین کتاب تاریخ الکتریسیته توسط پریستلی	۱۹
۱۷۶۶ م	قانون جذب الکترو استاتیک توسط پریستلی	۱۹
۱۷۶۹ م	اصل جذب فقط ولتا	۱۹
	دستگاه سنجش رابیسون برای نیروی الکترواستاتیک	۲۰
۱۷۷۰ م	کتاب فیزیک آماتوری	۲۲
۱۷۷۱ م	نظریه تک سیالی کاوندیش	۲۲
۱۷۷۳م	دستگاه سنجش نیروی الکترواستاتیک کاوندیش	۲۳
	قانون جاذبه ودافعه کاوندیش	۲۵
	وابستگی نیرو به بار	۲۵
۱۷۷۴ م	تلگراف الکترواستاتیک توسط سیج	۲۶
	کشف موارد اتحاد الکتریسیته ومغناطیس	۲۶
۱۷۷۵ م	الکتروفور ولتا	۲۷
	ترازوب پیچشی کولمب	۲۷
۱۷۷۸ م	ظرفیت وتانسیون ولتا	۲۸
۱۷۸۰ م	مشاهدات الکتریسیته حیوانی توسط گالوانی	۲۹
۱۷۸۴ م	اندازه گیری نیروی دافعه الکترواستاتیک توسط کولمب	۳۰
۱۷۸۷ م	اندازه گیری نیروی جاذبه الکترواستاتیک توسط کولمب	۳۲
۱۷۸۹ م	وابستگی نیرو به میزان بار روی هادی توسط کولمب	۳۴
۱۷۹۱ م	نظریه پلاریزاسیون مولکولی کولمب در مغناطیس	۳۵
	نظریه الکتریسیته حیوانی گالوانی	۳۵
۱۷۹۲ م	مخالفت ولتا با نظریه گالوانی ومقدمات اختراع پیل ولتا	۳۵

۱۷۹۳ م	تعیین قدرت الکتروموتوری فلزات توسط ولتا	۳۶
۱۷۹۷ م	اختراع پیل ولتا وجایگزین برای لیدن جار	۳۶
۱۸۰۱ م	اثبات یکی بودن الکتریسیته ولتا والکترواستاتیک	۳۷
۱۸۰۲ م	گزارش انحراف عقربه مغناطیسی توسط جریان الکتریکی	۳۷
۱۸۱۲ م	بیان ریاضی الکترواستاتیک توسط پواسن	۳۹
۱۸۱۳ م	بیان معادله پواسن	۳۹
	ارتباط الکتریسیته ومغناطیس	۴۰
۱۸۱۶ م	ایجاد خط ۸ مایلی تلگرافی الکترواستاتیک	۴۱
۱۸۲۰ م	کشف اثر جریان الکتریکی روی عقربه مغناطیسی توسط ارستد	۴۱
	کشف اثر سیمهای جریاندار روی هم توسط آمپر	۴۲
	قوانین بیو و ساوار	۴۲
۱۸۲۱ م	تعریف ولتاژ و جریان توسط آمپر- اختراع گالوانومتر	۴۲
	تعریف الکترواستاتیک و الکترو دینامیک	۴۴
	نظریه آهنربای دائم	۴۵
	تعریف خطوط قوا توسط فاراده	۴۵
	تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی توسط فاراده-	۴۶
	خطوط قوای مغناطیسی	۴۷
۱۸۲۳ م	تلگراف گالوانومتری ۵ سیمه توسط شیلینگ	۴۷
	جریانهای هیدرو وترمو الکتریک	۴۸
۱۸۲۴ م	اختراع چرخ آراگو	۴۸
۱۸۲۵ م	آزمایشات مقدماتی فاراده برای القاء	۴۹
	نظریه های آمپر	۴۹
	آزمایشات اهم	۵۰
۱۸۲۶ م	مقالات مهم اهم وتصحیح گزارشات	۵۰
	القای الکترو مغناطیسی- الکترومغناطیسهای قوی توسط هانری	۵۱
۱۸۲۷ م	نظریه کامل اهم	۵۱
۱۸۳۱ م	موتور الکتریکی هانری وتلگراف الکترومغناطیسی	۵۲
	القاء الکترومغناطیسی	۵۲

تبدیل مغناطیس به الکتریسیته توسط فاراده وکشف ۵۳
دیناموی فاراده ورله هانری ۵۴
۱۸۳۲ م قانون القاء فاراده وخود القاء هانری ۵۴
۱۸۳۳ م مقاله فاراده در مورد الکترولیز ۵۵
قانون لنز ۵۶
خط تلگرافی گوس ۵۶
استفاده از زمین بعنوان سیم توسط اشتاینهال ۵۷
۱۸۳۴ م تاسیس ۲۳ ایستگاه اندازه گیری مغناطیس زمین توسط گاوس و وبر ۵۷
۱۸۳۵ م برقراری تلگراف ویتستون و کوک در انگلستان و مورس در آمریکا ۵۷
کشف مانک در مورد خاصیت هدایت پودر فلزات درمورد جرقه ۵۷
۱۸۳۷ م تاسیس تلگراف مورس در آمریکا ۵۷

۱۸۳۷ م بررسی ضریب دی الکتریک عایقها توسط فاراده و.... ۵۸
قطبی شدن مولکولها- سطل یخ- شیلدینگ ۵۹
فعالیت تلگرافی مورس ودیگران ۶۰
نظریه الکترواستاتیک بین مولکولی ۶۰
۱۸۳۸ م نظریه جدید الکتریسیته ۶۰
۱۸۳۹ م تعیین پتانسیل مغناطیسی زمین توسط گاوس ۶۱
۱۸۴۱ م قانون ژول – تشابه الکترواستاتیک وحرارت توسط تامسون ۶۱
۱۸۴۲ م نوسان در تخلیه لیدن جار واثرات در فواصل دور توسط هانری ۶۲
نظریه القای الکترواستاتیک ۶۳
۱۸۴۵ م گردش پلاریزاسیون نور توسط الکترومغناطیس توسط فاراد ۶۳
اجسام پارامغناطیس ودیا مغناطیس ۶۴
بیان مفهوم بردار پتانسیل مغناطیسی ۶۵
قوانین مداری کیرشف- سرعت محدود الکتریسیته توسط گاوس ۶۶
۱۸۴۷ م سرعت محدود الکتریسیته -تشابه قوانین الکتریکی والاستیسیته ۶۷

۱۸۵۰ م بررسی فضای تاریک کروکس ۶۸
۱۸۵۱ م قانون الکترو موتوری فاراده ۶۸
بوبین های رومکرف ۶۸
۱۸۵۲ م نظریه الکترومغناطیسی وبر ۶۸
۱۸۵۳ م عکسبرداری از نوسانات تخلیه لیدن جار توسط فدرسن ۶۹
۱۸۵۵ م انتشار اولین مقاله ماکسول ۶۹
۱۸۵۶ م نظریه جدید پدیده الکترومغناطیسی ماکسول ۷۱
توجیه مولکولی اثر فاراده ۷۲
۱۸۵۷ م تلاش برای ارتباط تلگرافی با کابل زیر دریائی ماورای اتلانتیک ۷۳
۱۸۶۱ م مقاله ماکسول با عنوان درباره خطوط فیزیک نیرو و.... ۷۳
نظریه ایجاد جریان الکتریکی در اثر تغییرات میدان مغناطیسی ۷۴
نظریه ایجاد میدان مغناطیسی توسط جریان ۷۵
نظره اجسام شارژ شده -هادی وعایق-جریان پلاریزاسیون عا یقها ۷۶
سرعت محدود انتشار-جریان جابجائی ۷۷
۱۸۶۳ م قوانین ومعادلات ریاضی موج در موسیقی توسط هلمهولتز ۷۸
۱۸۶۴ م مقاله ماکسول تحت عنوان تئوری دینامیکی- حرکت گردابی ۷۹
۱۸۶۷ م تئوری الکترو مغناطیسی لوزنز ۸۰
نظریه مدارهای رزنانسی ۸۰
۱۸۶۸ م تلگراف دوپلکس ۸۰
مقاله ماکسول در مورد نظریه عمل در مدارهای رزنانس ۸۰
۱۸۶۹ م کشف اشعه کاتودی ۸۱
۱۸۷۰ م مقاله طبقه بندی ریاضی کمیت های فیزیکی ماکسول ۸۲
مقدمه تاسیس آزمایشگاه کاوندیش ۸۲
قالب ریزی تئوریهای مختلف الکترودینامیک توسط هلمهولتز ۸۲
۱۸۷۱ م تاسیس آزمایشگاه کاوندیش در دانشگاه کمبریج بریاست ماکسول ۸۲
۱۸۷۳ م انتشار رساله الکترومغناطیس ماکسول ۸۴
تلگراف دوپلکس وپوپیناسیون ۸۵

۱۸۷۴ م خاصیت نیمه هادی در بعضی سولفید ها
۸۵
بررسی نیروهای سنجش پذیر و القائی ۸۵
افتتاح آزمایگاه کاوندیش
۸۶
۱۸۷۵ م رساله لورنتس در مورد نور الکترومغناطیسی ۸۷
۱۸۷۶ م تحقیقات رونالد و هلمهولتز و وبر ۸۸
اختراع تلفن توسط بل ۸۸
۱۸۷۷ م اختراع فونو گراف توسط ادیسون ۸۸
۱۸۷۸ م تولید امواج الکترومغناطیسی ویکسو کردن توسط هیوز ۸۸
جایزه هلمهولتز برای استنباط تئوری وبر ۸۸
۱۸۷۹ م دومین جایزه هلمهولتز درمورد مدارات باز ماکسول- کشف اثر
هال ۸۸
درگذشت ماکسول ۸۹
هدایت از میان اتمسفر -گزارش انتشار توسط هیوز ۸۹
۱۸۸۰ م ساخت میکروفون با پودر هادی ۹۰
۱۸۸۱ م رد نظریه عمل در فاصله توسط هلمهولتز ۹۰
۱۸۸۳ م پیشنهاد تولید امواج با دشارژ خازن ۹۰
۱۸۸۴ م تعریف بردار انتقال قدرت توسط پوینتینگ ۹۰
مشاهدات ادیسون در لامپها ومقدمه ساخت لامپ الکترونی
۹۰
امواج الکترومغناطیسی ۹۰
۱۸۸۷ م تشخیص امواج ساکن و هدایت شده ۹۰
ساخت کوهیرر ۹۲
اثبات تجربی معادلات ماکسول ۹۲
۱۸۸۸ م مقاله هرتز در مورد امواج الکترومغناطیسی و انعکاس آنها ۹۲
۱۸۸۹ م ساخت موتور القائی توسط تسلا وسوئیچ تلفنی اتوماتیک ۹۳
توسط استروگر
۱۸۹۰ م استفاده برانلی از کوهیرر و رله بعنوان گیرنده ۹۳
نظزیه هرتز در مورد تئوری ماکسول ۹۴
۱۸۹۲ م تئوری لورنتس در مورد تئوری الکترونی ونور ۹۶

	نظریات مختلف در مورد اتر	۹۶
۱۸۹۳ م	آزمایشات برای رد وجود اتر	۹۶
	ارسال ودریافت امواج	۹۷
	درگذشت هرتز – درگذشت هلمهولتز – کشف اشعه رونتگن	۹۷
۱۸۹۴ م	ارتباط بیسیم بافاصله زیاد توسط لاج- گیرنده برقگیر –	۹۷
	شروع کار مارکنی	۹۷
۱۸۹۵ م	مقاله پوپوف در مورد دریافت امواج – اختراع تلگراف	۹۸
	بیسیم توسط مارکنی	۹۸
	کشف الکترون توسط تامسون ومدل اتمی	۹۹
۱۸۹۶ م	ادامه تلاشهای مارکنی در انگلستان – رادیو تلگراف محرمانه	۱۰۰
	کاپیتان جکسون	۱۰۰
	اختراع نمره گیر تلفن توسط اریکسون	۱۰۰
۱۸۹۷ م	آنتن همراه با بالن – تاسیس شرکت تلگراف وسیگنال	۱۰۲
	بیسیم مارکنی	۱۰۲
	ارائه انتگرال پاکلینگتون برای حل مساله آنتن	۱۰۲
۱۸۹۸ م	کاربرد مدارات رزنانسی توسط مارکنی	۱۰۲
۱۹۰۰ م	اختراع مدارات تیونینگ لاج وبراون – مساله انحنای زمین	۱۰۴
۱۹۰۱ م	جشن انجمن مهندسین برق آمریکا برای مارکنی	۱۰۶
	پیش بینی طبقه یونیزه منعکس کننده امواج یا ایونسفر-	۱۰۶
	کوانتای انرژی	۱۰۶
۱۹۰۲ م	تزویج اندوکتیو انر ژی به آنتن	۱۰۸
۱۹۰۳ م	اولین اقدام برای کنترل بین المللی فرکانس	۱۰۹
	استفاده از رشته آنتن توسط براون	۱۰۹
۱۹۰۴ م	مقاله تبدیل لورنتس- لامپ ودیود فلمینگ – اولین رادار	۱۰۹
	تشخیص کشتی	۱۱۰
۱۹۰۵ م	آنتن جهت دار مارکنی وبراون – اختراع لامپ تریود	۱۱۰
	توسط دو فارست	
	شروع کار فرستنده سخن پراکنی توسط فسندن	۱۱۱
۱۹۰۷ م	ارتباط رادیوئی بین انگلستان و کانادا توسط مارکنی –	۱۱۱
	فرومغناطیسها	۱۱۲

۱۹۰۸ م کنتور گایگر – تلویزیون توسط کمپبل ۱۱۳
۱۹۰۹ م جایزه نوبل برای مارکنی وبراون ۱۱۳
۱۹۱۱ م نظریه ابر هادیها ۱۱۴
۱۹۱۲ م تاسیس انجمن مهندسین رادیو ۱۱۵
۱۹۱۴ م اسیلاتور لامپی بجای جرقه ۱۱۵
۱۹۱۵ م اختراع دستگاه سونار برای کشتی ۱۱۵
۱۹۱۸ م اسیلاتور های مایکروویو ۱۱۶
۱۹۲۳ م اولین فرستنده ارتباط همگانی انگلستان ۱۱۹
۱۹۲۴ م اختراع رادار توسط اپلتون ۱۱۹
۱۹۲۵ م رادیوی موج کوتاه – نویز حرارتی – آنتن یاگی ۱۲۰
۱۹۲۶ م رکتیفایر اکسید مسی اسیلاتور ترانزیستوری ۱۲۰
۱۹۲۸ م بیان نویز توسط نایکوست- تلویزیون رنگی ۱۲۰
رشته آنتن باینومیال – آنتن موج متحرک ۱۲۰
۱۹۳۰ م نویز اتمسفریک و کهکشانها ۱۲۰
۱۹۳۳ م رادیو استرونومی توسط جانسکی- امواج تروپسفریک ۱۲۰
۱۹۳۵ م اختراع مگنترون ۱۲۱
۱۹۳۶ م رصد خانه آرسیبو- نظریه معادل بودن شلکونوف ۱۲۲
۱۹۳۷ م سنتز رشته آنتن ها توسط دلف ۱۲۳
۱۹۳۸ م ارائه روش هالن –رشته آنتن وودیارد و هانزن – ۱۲۳
امواج کروی شلکونوف ۱۲۳
۱۹۳۹ م آنتن دی پل تاشده – ساخت کلایسترون توسط واریان – ۱۲۳
تکمیل مگنترون ۱۲۳
۱۹۴۰ م آنتن با رفلکتور زاویه ای کراس – انتن حلقوی ۱۲۳
۱۹۴۲ م تبدیلات موجبر به کواکسیال ۱۲۳
۱۹۴۳ م لامپ موج متحرک- تئوری ریاضیات رشته آنتن ها شلکونوف ۱۲۳
۱۹۴۴ م روش نیروی الکتروموتوری القائی برای امپدانس آنتنها ۱۲۳
دیاگرام اسمیت – موجبر کنگره دار ۱۲۴
۱۹۴۵ م پیشنهاد مخابرات ماهواره ای توسط کلارک ۱۲۴
۱۹۴۶ م آنتن هلیکال کراس- رشته آنتن دلف چپی چف – اصل بابینه ۱۲۴
تئوریهای کینگ ومیدلتون ۱۲۵
۱۹۴۷ م بکار بردن مدل برای پرتو آنتن هواپیما- هولوگرافی ۱۲۵

۱۹۵۰ م	روش دید مستقیم مایکروویو	۱۲۵
۱۹۵۱ م	رادیو تلسکوپ دانشگاه اوهایو	۱۲۵
۱۹۵۲ م	ساخت فریت در فرکانس بالا در آزمایشگاههای فیلیپس	۱۲۶
۱۹۵۳ م	رشته آنتن سوپر دایرکتیو	۱۲۶
۱۹۵۴ م	رادیوی ترانزیستوری – قضیه راکسیون رامزی	۱۲۶
۱۹۵۵ م	ساخت باطری خورشیدی	۱۲۶
۱۹۵۶ م	آنتن پارابولوئیدی ۱۱۰ متری دانشگاه اوهایو –	۱۲۷
	ساخت فریت ییگ	۱۲۷
۱۹۵۷ م	ماهواره اسپوتنیک- آنتن ها ی مستقل از فرکانس	۱۲۷
۱۹۶۱ م	استفاده از تلسکوپ کاسگرین برای آنتن ها	۱۲۸
۱۹۶۲ م	روش GTD توسط کلر	۱۲۸
۱۹۶۴ م	ماهواره اکو	۱۲۹
۱۹۶۵ م	حل مسائل اسکترینگ باکامپیوتر توسط ریچموند	۱۲۹
۱۹۶۷ م	کاربرد روش ممان توسط هارینگتون	۱۲۹
۱۹۷۷ م	آنتن های استریپ لاین	۱۲۹

بسم الله الرحمن الرحیم

تاریخچه الکتریسیته ومغناطیس

مغناطیس:

سابقه مغناطیس مربوط به قبل از تاریخ است. افسانه چوپانی بنام **مگنز** (**Magnes**) که هنگام چرای گوسفندان نوک آهنی چوب دستی ومیخ کفشش به سنگهای آهنربا که **لود استون (Load stone)** " نامیده میشد، میچسبد مربوط به ۸۰۰ سال قبل از میلاد است[۱] . آهنربا یا **لود استون** از ناحیه ای بنام **ماگنزیا (Magnesia)**درآسیای صغیر بدست میامده است،وکلمه مصطلح **مگنت (Magnet)** بعنوان سنگ **ماگنزیا (Stone of magnesia)**ازنام این منطقه گرفته شده است[۲] .

در ۶۰۰ سال قبل ازمیلاد **تالس(Tales)**- ودیگران میدانستند که وقتی **کهربا**(**Amber**) ویا **کهربای سیاه(Jet)** رامالش دهند،اجسام سبک را جذب میکنند. نام یونانی کهربا همان **الکترون (Electron)** است[۳].

ارسطو(Aristotle)- (۳۲۲-۳۸۴ ق م) ازحدود ۳۵۰ سال ق م، باتوجه به اقوال مردم در مورد گفته های تالس ،اورا معتقد به لزوم روح بعنوان عامل حرکت میداند ونتیجه میگیرد که مغناطیس که آهن راجذب میکند، دارای روح است [۴]. خاصیت آهنربائی مغناطیس را از خیلی قدیم میدانستند. **افلاطون(Plato)**-(۳۴۷-۴۲۸ ق م) به **سقراط (Socrates)** –(۳۹۹-۴۶۹ ق م)مینویسد:"این یک موهبت ،مانند قدرت الهی است که بتو داده شده است . مانند قدرتی که درسنگی بنام مغناطیس وجود دارد. این سنگ نه تنها قدرت جذب حلقه آهنی رادارد،بلکه به حلقه نیز نیروئی میدهد که میتواند حلقه های دیگر راجذب کند.به این ترتیب میتوان یک زنجیر تشکیل داد که قدرت حلقه ها به قدرت آهنربا وابسته است"[۵].

عقربه مغناطیسی:

سوزن یا عقربه مغناطیسی از قرون وسطی شناخته شده بود که تاریخ دقیق آن مشخص نیست ،ولی نمونه های اولیه مربوط به قرن ۱۲ م است.[۲ و۳]. **نکمن (A. Neckman)**(۱۲۱۷-۱۱۵۷ م) اولین کسی است که بیان کرد عقربه مغناطیسی را که روی چوب نصب شده وروی آب قرارمیگرفت، میتوان در دریانوردی مورد استفاده قرار داد[۴].

تالس فیلسوف طبیعی ،موسس مدرسه حقوق متفکران قدیمی یونان ونبوغش درنجوم معروف است. یکبار هنگام راه رفتن دراثر توجه زیاد به آسمان ،بچاه افتاد. برای اولین بار کسوف خورشید رااز نظرسال درحدود ۵۸۵ ق م پیش بینی کرد. قطر ظاهری خورشید را تعیین کرد وکاشف خاصیت نصف شدن دایره توسط قطر است. زمین رامانند چوبی برروی آب میدانست وآب را اصل واساس جهان.میگفت همه دانه های زنده مرطوبند وچیز بیجان خشک میشود[۶] .

کهربا صمغ درخت کاج است که میلیون هاسال پیش درحواشی دریای بالتیک میروئیدند وپس از گذشت قرنها، فشرده وباخاک پوشیده شده وپس از دوران یخ، سفت وبشکل فسیلی درآمده است. کهربا ترد وشکننده وبرنگ زرد مایل به قهوه ای کدروسخت است. بامالش الکتریسته دار میشود ومعتقدبودند که بیماریها را شفا میدهد.بیشتر از معدن استخراج شده وباوزن تاحدود ۱۵ پوند هم دیده شده است[۷].

ارسطو فیلسوف ودانشمند یونانی. در۱۷ سالگی به جمع شاگردان افلاطون پیوست[۶].

افلاطون فیلسوف یونانی . موسس آکادمی ومدرسه بزرگ فلسفه قدیم [۶].

سقراط فیلسوف یونانی[۶].

علم مغناطیس:

اولین کسی که در مورد خصوصیات مغناطیس مقاله نوشت ،**پیر دو ماری کورت *(Piere de maricourt)***، باشهرت **پرگرینوس پتروس *(Pregrinus Pertros)***،فرانسوی بود. او در ۱۲۶۹ در مقاله اش اعلام کرد که خصوصیات مهم سنگ آهنربا ،یا لود استون راکشف کرده است.ودرواقع علم مغناطیس مربوط به این سال است.اومهندس ارتش فرانسه بود وروی ماشینهای پرتاب سنگ وتوپهای آتش کار میکرد.در هنگام این کار بفکر ساخت ماشینی باحرکت دائمی افتاد وفکر کرد اینکار بااستفاده ازآهنربا امکان پذیر است. مقاله خود را در ۳۵۰۰ کلمه بعنوان **"عزیز ترین دوست"** نوشت.مطلب این مقاله خیلی پیشتر اززمان ،ولی مدتها مورد استفاده بود. او واسطه بین علم جدید وقدیم است.مهمترین مطالب این مقاله ،درمورد قطبهای شمال وجنوب وچگونگی تشخیص آنها ، جذب قطبهای غیر همنام ودفع قطبهای همنام ،آهنربا شدن هر قسمت از آهنربای شکسته وبی اثر شدن آهنرباهای ضعیف توسط قوی تربود.اورا مخترع عقربه مغناطیسی میدانند که ۵۰ سال بعد مورد استفاده عملی واقع شد.اوقطبهای یک آهنربای کروی را باقراردادن سوزنهائی روی آن وتعیین امتداد قرارگرفتن آنها که بطرف قطبین بود ،تعیین کرد.وی معتقد بود که میتوان مغناطیس را تبدیل به انرژی جنبشی کرد. او همچنین بیان کرد که قطبین آهنربا قوی ترین نقاط جاذبه بوده وسیر وپیاز روی آهنربا اثر میگذارند.اوقطبها را با قطبهای کره آسمانی مقایسه کرد،ولی اونتیجه نگرفت که زمین نیز یک مغناطیس است[۲ و۴ و۶ و۵].

اختراع قطب نما:

معروف است که دریا نوردی بنام **فلاویو*(Flavio gioja of amalfi)*** ، که وجودش مشکوک است،مخترع ویا تکمیل کننده قطب نمابرای استفاده در دریانوردی است(۱۳۰۲ م).

درسال ۱۶۰۰ م **ویلیام گیلبرت *(William Gilbert)*** –(۱۶۰۴-۱۵۴۰ م) با کتاب ۵جلدی خود باعنوان **مگنت *(De Magnet)*** علم الکتریسیته را آغاز کرد[۳]. اوبامطالعه آهنرباهای کروی بزرگ، دریافت که زمین نیز یک مغناطیس بزرگ است. اواولین کسی بودکه انحراف عقربه مغناطیسی را بطور دقیق وانحراف شمال حقیقی را بررسی کرد.عقیده داشت که علت انحراف از شمال واقعی جرم زمین است واجسام مغناطیسی نوعی روح دارند ووزن رانوعی مغناطیس ویاچیزی شبیه به آن میدانست؛ واینکه سیارات رامیتوان با تاثیر متقابل آنها بررسی کرد.احتمالا افکارش روی **کپلر** و **نیوتون** اثر گذاشت وممکن است نیوتون درمورد جاذبه عمومی از آنها کمک گرفته باشد. کتابش تا ۱۸۲۲ م مورد استفاده بود وبیشتر آثارش ۵۰ سال بعد ازاو بچاپ رسید.حدود ۲۰۰۰ سال پس از تالس اواولین کسی بود که دریافت علاوه بر کهربا بسیاری از اجسام هستند که با مالش خاصیت جذب پیدا میکنند وآنها را **"الکتریک *(Electric)*"** وسایر اجسام را **غیرالکتریک *(An electric)*** نامید[۳]. اجسام الکتریک همه چیز بجز آهن را، که توسط مغناطیس جذب میشود ، جذب میکنند.

او **ورسوریوم *(Versorium)*** را که متشکل از یک سوزن واقع بر یک پایه عمودی قابل گردش حول محور بود، برای اندازه گیری الکتریسیته اختراع کرد.جسم مورد نظر پس از مالش به سوزن نزدیک میشد ، اگرسوزن حرکت میکرد ، الکتریک والا غیرالکتریک بود. او اثر کهربا را با آهنربا، متفاوت میدانست. برای کهربا علت مادی وبرای مغناطیس علت صوری قائل بود.

پیر دوماری کورت از دانشمندان قرون وسطی ومقاله اش درمغناطیس بسیار مهم بوده است.چون سرزمین مقدس را زیارت کرده بود پرگرینوس نامیده میشد. در اسطرلاب تخصص داشت ومقاله ای دراین مورد نوشت[۲ و ۶].

ویلیام گیلبرت(۱۶۰۴-۱۵۴۰ م) انگلیسی ،پزشک ملکه الیزابت اول بود.بسیاری از نوشته هایش ،نیم قرن بعد از خودش منتشر شد. او هرگز ازدواج نکرد[۱۱].

اوکهربا را از جنس ماده سیال زمین که شکل گرفته وسخت شده ،میدانست و معتقد بود که این سیالیت کاملا از بین نمیرود و لذا چنین اجسامی دراثر مالش ،یک ***افلوویوم(Effluvium)***[1] پخش میکنند وعمل جذب اجسام ریز ،بازگشت مجدد این افلوویوم به جسم است . با برگشتن همه ماده الکتریکی متصاعد شده به جسم خاصیت جاذبه ان هم از بین میرود [۱]. گیلبرت از دفع الکتریکی خبر نداشت.

برخلاف اجسام الکتریکی ،اجسام مغناطیسی از خود افلوویوم ندارند که اجسام رابخود جذب کنند. اودریافت که گرما خاصیت اجسام الکتریک را ازبین میبردوجذب الکتریکی از شیشه عبورنمیکند درصورتیکه جذب مغناطیسی از آن عبورمیکند.همچنین جذب الکتریکی از کاغذوپارچه وفلز گذشته ولی مغناطیس از همه چیز میگذرد.[۶و۸و۹].

اوبرای مغناطیس یک شکل خاصی قائل بود. یکی از آثار این شکل احاطه جسم مغناطیس بایک ***حوزه اثر***است . حوزه از همه اطراف گسترده شده وشدت وگسترش آن به خلوص وکامل بودن مغناطیس وابسته است.مغناطیسهای داخل این حوزه توسط جسم جذب شده ، وآنها که در خارج حوزه هستند اثر نمی پذیرند. گیلبرت این حوزه را مانند افلوویا درکهربا برای توضیح عمل از راه دور فرض میکند. بنظر او جذب مغناطیسی یک عمل متقابل بین جذب کننده وجذب شونده بود .اوکلمه ***جفت شدن(Cotion)*** را بجای ***جذب(Attraction)*** بکاربرد ،زیرا درجذب ،کشش فقط توسط جسم جذب کننده است،ولی در جفت شدن جذب موزون وموافق دو جسم است. جفت شدن فقط درصورتیکه درحوزه اثر مغناطیس باشد انجام خواهد شدومغناطیسهای بزرگتروخالص ترداری اثر بیشتری هستند[۸].

اونشان داد که قدرت جذب یک مغناطیس فقط بایک شبکه از فلز مغناطیسی تاثیر میپذیرد ولی اثر الکتریکی باهر حسمی مثل کاغذ یا پارچه نیز کاهش مییابد[2].

کرشر(A.Kircher) - (۱۶۸۰-۱۶۰۱ م) آلمانی ،یکسان بودن قدرت قطبهای اهنربا را بکمک یک ترازوی طرح خودش تعیین کرد . اواینکاررا بااندازه گیری کشش یک قطعه آهن از طرف هرقطب انجام داد[۶و۸و۹].او ۴۴کتاب و۲۰۰۰ مقاله مفصل نوشت.

انتقال ودفع الکتریکی

کابئو(N.Cabeo) (۱۶۸۰-۱۶۰۱ م) آلمانی، در۱۶۲۵م مشاهده کرد که الکتریسیته از یک جسم به جسم دیگر منتقل میشود واولین کسی بود که دفع الکتریکی را گزارش کرد.اواثر القائی رابامشاهده وضعیت سوزن غیر مغناطیسی که آزادانه در آب قرار گرفته باشد ودر جهت مغناصیسی زمین قرارمیگیرد،آشکارکرد[۳و۹]. اومعتقد بود که جذب دراثر هوای جابجا شده توسط ماده الکتریکی صادر شده از جسم بارداراست.

ماشین الکترواستاتیک-سایر اثار الکتریسیته

در ۱۶۶۰م ***گریکه (Otto Von Guericke)*** اولین دستگاه مالشی تولید الکتریسیته را ساخت.اوکسی است که فشار هوا را باازمایش معروف تخلیه دو کره اثبات کرد.

اویک کره بزرگ بقطر ۱۰ اینچ از سولفور را روی یک محور آهنی قرارداده وروی پایه چوبی نصب کرد. محور گردانده شده،وگوی بادست لمس میشد.دراثر اصطکاک روی کره سولفور باربوجود میامد.بااستفاده از این بار تولید شده ،او آزمایشاتی کرده وبه نتایجی رسید.اودریافت که اجسام سبک جذب کره شده وپس از جذب ،دفع

[1] ***افلوویوم*** جریان فرضی بدون وزن که قبلا تصور میشد از اجسام الکتریسیته دارشده ویااهنربا خارج میشود.معنی لغوی آن بخار نا دیده برخاسته از اجسام آلی است

ودرصورت تماس بادست دوباره جذب کره میشوند. این عمل، با نخی باطول تا۳ فوت، بعنوان هدایت کننده، نیز انجام میشد. باانجام آزمایش گوی در تاریکی صدور نور نیز مشاهده میشد. همچنین دست زدن بکره شارژ شده صداهائی که در اثر تخلیه بود ایجاد میکرد. ماشین گریکه علاقه بیشتری بوجود آورد وماشینهای بهتری ساخته شد[۳و۸].

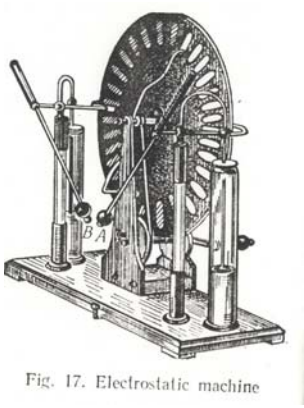


Fig. 17. Electrostatic machine

در ۱۶۷۶م ***ژان پیکارد (J.Picard)***- (۱۶۸۲-۱۶۲۰م) ستاره شناس فرانسوی، اعلام کرد که هنگام حمل ونقل فشارسنج ***تریچلی*** باتکان خوردن جیوه درلوله ،درقسمت بالای لوله که خلاء است نوری مشاهده میشود.در ۱۷۰۵ ***ژان وال(J.Wall)*** اولین کسی بود که جرقه الکتریکی ایجاد کرد.

در ۱۷۰۳م ***هاکسبی(F.Hauksbee)***- (۱۷۱۳-۱۶۶۶م) درمقابل اولین جلسه انجمن سلطنتی اززمان ریاست اسحق نیوتون،آزمایش جالبی را ارائه کرد.هنگامیکه جیوه باشدت وارد پمپ تخلیه جدیدش میشد، روشنائی پر تلولوئی درطرف شیشه ای که روی آن واژگون شده بود پدید میامد. او این را با عنوان" بارش آتش در همه اطراف ظرف شیشه ای" بیان کرد. آزمایش پیکارد اورا متوجه کرد که باید این آزمایشات رادقیقتر بررسی کند. اویک سازنده وسائل آزمایش بودودرمغازه ومنزلش آزمایشات فیزیک را انجام ونمایش میداد. او پمپ هوای خود را طوری ساخت که اجسام میتوانستند در آن بهم مالش پیدا کنند.مشاهده کرد که ازمالش مهره های کهربا وپارچه پشمی نوری ایجاد میشود که در خلاء بیشتر از هواست ،درصورتیکه ازمالش آهن وسنگ چخماق فقط درصورت وجود هوا نور دیده میشود. او درسال ۱۷۰۵ م آزمایش زیر را درمقابل اعضای انجمن سلطنتی انجام داد.

یک گوی شیشه ای دراصطکاک با پارچه پشمی درخلاء باشدت گردانده میشد."پدیده زیبائی از نور ارغوانی قشنگ بوجود آمده وهمه دستگاه راروشن میکرد،وهنگام داخل شدن هوا،از شدت ورنگ آن کاسته میشد" وماهها روی این دستگاه کارکرد. اوهوای یک گوی شیشه ای بقطر ۹اینچ راتخلیه وبسرعت چرخاندومشاهده کرد که دراتاق تاریک وقتی دستان بازشده خودرا بدور آن میچسباند،نور ارغوانی باشدتی که میتوان حروف درشت راخواند ،ایجاد میشود وچنانچه گوی تخلیه نشده باشد روشنائی داخل آن از بین رفته ودرعوض لکه های روشنی روی اجسامی که به آن نزدیک میشوند بوجود میاید.واین موضوع توجه اورا بخود جذب کرد.

درتوضیح آزمایشات بالا، اوهیچ اشاره ای به اثرات الکتریکی نکرد. بعد متوجه شد که چنانچه بالای لوله تریچلی فقط مالش داده شود ،بدون اینکه احتیاجی به تکان باشد، نور ایجاد خواهد شد. قدم بعدی تهیه لوله های شیشه ای بزرگ تروتخلیه آنها وتولید نور در اثر مالش در آنها بود.درهمان احوال ،قطعات سبک از زرورقهای برنزی به این لوله ها نزدیک شدند که بطور ناگهانی یکدیگر رادفع میکردند.به این ترتیب ،هاکسبی علاوه بر جذب، دفع الکتریکی را که قبلا توسط کابئو گزارش شده بود مشاهده کرد.او همچنین "***باد الکتریکی***" را ،از نزدیک کردن یک

میله (که بشدت مالش داده شده بود) ،بصورتش ،که احساسی مانند موی نرم انحناپذیر بود ،درک کرد. هاکسبی دریافت که این اثرات الکتریکی باقطعه ای چیت نرم برطرف میشود.

وقتی هاکسبی نتایج خود را درمقابل انجمن سلطنتی در سال ۱۷۰۶ بیان کرد،رئیس انجمن ،***اسحق نیوتون*** ،اظهار داشت که بنظر او نور در اثر افلوویای ظریف شیشه است ومربوط به بدن او نیست. گرچه هاکسبی میدانست که ممکن است سایر اجسام نیز وقتی درخلا مالش داده میشوند نور ایجاد کنند،ولی اوبیشتر به شیشه توجه داشت.

درسال ۱۷۱۹م اوگزارشی از ساخت دستگاه ***تریبو الکتریک" (Triboelectric)*** داد . یک استوانه شیشه ای بطور افقی روی دستگاه گرداننده قرارمیگرفت . یک الکتروسکپ مقدماتی ساخت که از یک نیمدایره از سیم که نخهای پشمی از آن آویزان بود تشکیل شده بود. نخها تافاصله یک اینچی استوانه میرسیدندودرحالت عادی آویزان بوده وباحرکت هوا تکان میخوردند. وقتی استوانه شیشه ای همراه بااصطکاک بگردش درمی آمد نخها بطرف خارج تمایل پیدا کرده ودر امتداد مرکز آن جهت میگرفتند. در آزمایشی دیگر اونخها را به یک دیسک چوبی متصل کرده وبا پایه ای داخل کره شیشه ای تخلیه شده قرارداد وملاحظه کرد که هنگام چرخش همراه بااصطکاک استوانه ،بطرف جدار استوانه منحرف میشدندودراین حال چنانچه انگشتش رابه شیشه نزدیک میکرد انتهای آزاد نخها دفع میشدند. به این ترتیب نتیجه میگرفت که این افلوویای عجیب میتواند از شیشه عبور کند . یک آزمایش جالب دیگراین مطلب را تایید میکرد.اویک گوی خالی شده از هوا را در نزدیکی دستگاه خود گذاشت . وقتی اصطکاک روی شیشه دستگاه دوار بوجود میامد ، گوی تخلیه شده روشن میشد. دراین مورد مجبوربود توضیحی مناسب بدهد.اوهم مانند سایر متقدمین در مشاهده آثار الکتریسیته ، از افلوویا صحبت کرد:"ماده فعال موجود درشیشه وسایر اجسام الکتریکی که در اثر مالش شدید آزاد میشوند". این سیال ظریف، یعنی افلوویا، احتمالا دارای خصوصیتی بوده ولی حتما ماده است که بایک نیروی قابل ملاحظه ای منتشر شده وروی اجسام کوچک نیرو وارد میکند. گرچه بدون شک ،افلوویا از ذرات بسیار ریز تشکیل شده است ، ولی دارای پیوستگی معینی است که بصورت خطوط یا شعاعهای فیزیکی حرکت کرده ودریک مسیر مستقیم ادامه پیدا میکنند. حرکت بیقاعده اجسام سبک نزدیک شیشه مالش داده شده ،جذب یادفع،بیانگر آنست که حرکت افلوویائی یکسان ویکنواخت نیست ،بلکه بطور بی نظمی زیاد وکم شده وبی قاعده است.

هدایت الکتریسیته

درسال ۱۷۲۰م ،***استفن گری(S.Gray)*** انگلیسی اعلام کردکه اجسامی غیر سخت پیدا کرده که الکتریسیته دار هستند.آنها مو،ابریشم،پر وروده گاو نر بودند. درسال ۱۷۲۹ تلاش اودرالکتریسیته دارکردن فلزات بی نتیجه ماند. یکبار یک لوله شیشه ای را که برای جلوگیری از ورود غبار به آن دو سرش را چوب پنبه گذاشته بودند، بااین فکر که چوب پنبه ها باید درقدرت الکتریسیته دارشدن لوله اثر بگذارند ،مالش داد ودرکمال تعجب دید که پری راکه به لوله شیشه ای نزدیک کرده بود درحالت بی ثباتی خاصی بجای اینکه جذب شیشه شود ، بطرف چوب پنبه رفت . جذب ودفع پر توسط چوب پنبه چندین بار تکرارشد. ازاین آزمایش به این نتیجه رسید که یک خاصیت ارتباطی ازطرف شیشه یا چوب پنبه برقرارشده است.این یک حادثه اتفاقی بود که فکر آمادهٔ گری را معطوف کرد. سپس بین لوله شیشه ای ، چوب پنبه ویا میله فلزی قرارداد ومشاهده کرد که اثر همچنان باقی است.درمرحله بعدی از وسط چوب پنبه ،نخ کلفتی گذراند وطول نخ راتا ۵۲ فوت ، حداکثر ارتفاعی که میتوانست ، رساند وملاحظه کرد که انتهای نخ اثر الکتریسیته دار بوده راتائید میکند.اوارتباط افقی راهم آزمایش کرد . نخ کلفت کنف آویزان کرد،ولی موفقیتی حاصل نشد . مشاوره بادوست جوانش ***ولر(G.Wheler)*** ، که یک دانشمند آماتور بود و خانه بزرگی برای

استفن گری فارغ التحصیل کمبریج بود ودر ۱۶۱۶ اولین مقاله اش را درباره میکرسکپی که متشکل از یک قطره آب قرارگرفته درسوراخ یک صفحه برنزی بود نوشت.

آزمایش داشت ، آنهارا به این نتیجه رساند که باید کنف بکمک نخ ابریشمی خیلی نازک آویزان شود که افت نداشته باشد.

طول کنف راتا ۴۰۰ فوت ادامه داد ،آنقدر که نخها پاره نشود، وجواب مناسب دریافت کردند. بعد بجای کنف از سیم برنجی باهمان قطر استفاده کردند ،وباکمال تعجب دیدند که مانند قبل عمل میکند.آزمایشات رابانواع مختلف تکرارکردند (سال ۱۷۳۲م) وبه این ترتیب فرق بین هادی وعایق را دریافتند. گری بیان کرد که الکتریسیته رامیتوان توسط اجسامی که نمیتوانند دراثر مالش الکتریسیته دار شوند، مثل فلزات یا بدن انسان منتقل کرد. موضوع هدایت الکتریسیته در اجسام ، منجر به تبدیل نظر گیلبرت (وجود افلوویا) به وجود دوسیال الکتریکی قابل انتقال ازجسمی به جسم دیگر شد [۱].

الکتریسیته دو سیالی دوفی

درهمان سال ،**دوفی *(C.F.C. Dufay)*** -(۱۷۳۹-۱۶۹۸م) فرانسوی با مطالعه آزمایشات گری ؛ درادامه تجربیات او ، سعی در الکتریسیته دار کردن انواع اجسام کرد. وهمانطور که انتظار میرفت ،همه چیز بجز فلزات ، بدن انسان وحیوان ومایعات با مالش الکتریسیته دار می شدند. وبعکس اجسام نامبرده میتوانستند الکتریسیته را منتقل کنند.او هادی وعایق راخیلی دقیقتر از گری طبقه بندی کردوبی نظمی موجود در الکتریسیته اززمان گیلبرت را منظم کرد.

در ۱۷۳۳م ، بکشفیات مهمتری ، درحال بررسی جذب ودفع در الکترواستاتیک رسید. هاکسبی قبلا اظهاراتی در مورد دفع احسام سبک توسط لوله شیشه ای مالش داده شده بیان کرده بود ودر آنزمان بسیاری از فیزیکدانان مشغول بررسی آن بودند. اعتقاد بعضی این بود که اثر لوله شیشه ای در زمانهای مختلف ، متفاوت ،جذبی یا دفعی است وبرخی دیگر میگفتند که دفع وجود ندارد بلکه جذب اطراف است که بصورت دفع ظاهر میشود.

دوفی ، دوتیغه نازک فلزی را باشیشه الکتریسیته دار کرد .ملاحظه کرد که یکدیگر رادفع میکنند. بعد یکی از تیغه هارا باصمغ مالش داده شده باپوست ،الکتریسیته دار کرد وبا کمال تعجب دید که تیغه ها یکدیگر را جذب میکنند. بنابراین معتقد شد که دونوع الکتریسیته وجود دارد وسعی کرد برای آنها قوانینی تعیین کند[۸]. به این ترتیب نظریه دوسیال دوفی مطرح شد.[رف آ۱].او الکتریسیته حاصل از مالش شیشه باابریشم را ***ویترئوس (Vitreos)*** والکتریسیته صمغ مالش داده شده با پوست را ***رزینوس(Resinus)***نامید. این اسامی بعدا توسط ***فرانکلین*** به مثبت و منفی تغییر یافت [۳].دونوع بودن الکتریسیته اشکالات زیادی را برای تئوریهای موجود ایجاد میکرد[۸].

دریکی از آزمایشات ، وقتی دستیارش سعی کرد اوررا لمس کند هردو یک ضربه قوی دریافت کردند وبین آنها حرقه ای رد وبدل شد. دوفی اولین کسی است که وجود دونوع الکتریسیته ، علت جذب ودفع ،ایجاد شوک وجرقه را کشف کرد.

درسال ۱۷۳۶م ،**دساگولیه *(J.T.Desaguliers)*** " فرانسوی که با گری درتماس بود ، تحربیات اورا پس از مرگش ادامه داد ودرمورد شارژ ،هدایت ،دشارژ یا تخلیه درهوا، جذب ودفع ، اثر خشکی ورطوبت هوا، بااستفاده از یک نخ ، آزمایشاتی انجام داد. اودریافت ، اجسامی که قابلیت الکتریسیته دارشدن را درحالت عادی ندارند، چنانچه بطور مناسب آویزان شوند میتوانند بار دریافت کنند ولی متوجه " نشد" الکتریسیته فلزات بزمین نشد.

اودریافت که بعضی از اجسام ، ازجمله فلزات ،هستند که میتوانند هدایت الکترواستاتیک رابخوبی انجام دهند وآنها را ***هادی(Conductor)*** وسایر اجسام را ***عایق(Insulator)*** نامید[۳و۵و۸].

درسالهای ۱۳۴۲-۱۷۴۵ ***بوز(G.M.Bose)*** -(۱۷۶۱-۱۷۱۰م) آلمانی با مطالعه نوشته های دوفی شروع به مطالعه الکتریسیته کرده وآنرا در آلمان که قبلا توجهی به آن نمیشد گسترش داده ودراین راه دستگاههای نمایشی بسیار جالبی ساخت وکارهای او بطور مستقیم منتهی به اختراع اولین خازن شد.

نظریه *نوله*- همزمانی *افلوونس* و *أفلوونس(Effuence and Affluence)*

درسالهای بعد از ۱۷۴۵م تئوریهای مختلفی توسط فیزیکدانان درمورد الکتریسیته بیان شد. یکی ازاین نظریه پردازان ،فیزیکدان ونمایشگر فرانسوی وشاگرد" ***موشن بروک(P.V.Mussen Broek)*** -(۱۷۶۱-۱۶۹۲م) ***آبه نوله (J.A.Nollet)*** -۱۷۷۰-۱۷۰۰م)بود که درسالهای ۱۷۳۱ تا۱۷۳۵م دستیار دوفی و ***رومور(Reaumur)*** بوده وتحت تاثیر کارهای بوز ،هاکسبی ، گری، دوفی، تئوری شوم همزمانی ءافلوونس وأفلوونس را (در سال ۱۷۴۵م) بیان کرد. بنظر او جرقه، سوزن سوزن شدن،صدای هیس، جذب یا ربوده شدن وبوی اطراف یکدستگاه الکتریکی بعلت این بود که الکتریسیته، عبارت از عمل یک ماده ی مخصوص درحرکت است.

نوله با عنوان ایهام انگیز ***آبه*** در ۱۷۲۴م فوق لیسانس خود راگرفت ودر ۱۷۲۸ به انجمن هنر که هدفش آوردن دانش به صنعت بودپیوست که پس از دوسال بعلت مخالفت اکادمی علوم منحل شد. از ۱۷۳۱م تا۱۷۳۵م بعنوان دستیار دوفی و رومورردرزمینه های مختلف وبخصوص الکتریسیته کار کرد وبا شاگردان نیوتون ، مانند "***دساگولیه*** و"***گراوساند*** آشنا شد.در۱۷۳۹ مکانیسین انجمن سلطنتی بوردو شد. اوعلاقه شدیدی به آزمایش داشت ودراین راه اکثرا مجبور میشد که از هر دستگاه یک جفت بسازد تاپول فروش یکی ،مخارج دیگری را تامین کند.دوره فیزیک او بسیار جالب بود وعلاقمندان زیادی داشت.با ۳۵۰ دستگاه بطور همزمان نمایش میداد وبااستفاده از خطاهای عامیانه وایجاد ترس مردم م راسرگرم میکرد. درسالهای ۱۷۴۳ تا ۱۷۴۸م ۶جلد کتاب درباره فیزیک نوشت که مکرر تجدید چاپ شد . در ۱۷۷۲ کتاب ***فیزیک آماتوری*** را که نتیجه ۴۰ سال تجربه خودش در انتخاب ،ساخت واستفاده از دستگاه ها بود ارائه کرد.

اوبرخلاف ***دوفی*** معتقد بود که ماده نور والکتریسیته دراصل یکی بوده ودرنتیجه میتوان از دشارژ ماهوت پاک کن استنباط کرد که ماده الکتریکی ، جسم شارژ شده رادرفواره های واگرای مخروطی شکل ترک میکند. این فواره ها ، ءافلوونس جسم را تشکیل میدهند.درجواب این ءافلوونس ،اجسام محیط وحتی هوا ،یک أفلوونس بجسم برمیگردانند. بنظر نوله این دوجریان که فقط از نظر جهت متفاوت هستند ونه از نظر نوع، تقریبا ،ویادقیقا موازنه میشوند،بطوریکه جسم هیچوقت ازماده الکتریکی خود خالی نمیشود. وسرانجام براساس نظریه " ***دکارت***" اصرار داشت که تمام جذبها ودفعها از برخورد مستقیم ماده الکتریکی متحرک ناشی میشود وتوضیحات مکانیکی راتنها راه توجیه فیزیک تجربی میدانست. چون ءافلوونت واگراست وأفلونت تقریبا هموژن است ،میتوان فهمید که عدم موازنه موضعی همیشه موجود است[۸].او بعد ها سعی کرد تئوری خود را برای ***لیدن جار(Leiden jar)*** نیز اعمال کند.

شکست تئوری افلوویال

درهمین زمان ،سال ۱۷۴۶ ، ***واتسون(W.Watson)***-(۱۷۸۷-۱۷۱۵م) انگلیسی ،اولین کشف خود را درمورد شکست تئوری افلوویال ،متصاعد شدن ماده الکتریکی دراثر مالش، درالکتریسیته بیان کرد. اوپیش بینی کرد که اگر خودش راایزوله کرده، و لوله شیشه ای را مالش دهد الکتریسیته بیشتری ایجاد میشود. ولی اینطور نبود ومتوجه شد که مالش، ماده الکتریک را از شیشه جمع آوری نمیکند بلکه آنرا اززمین بالا میاورد (یعنی ماده الکتریکی شیشه نیست که خارج میشود). در واقع لوله ها وگوی ها مانند پمپ کار میکنند که ***آتش الکتریکی(Electric fire)*** رابگردش در میاورند.

او همچنین دید که میتوان الکتریسیته راباعایق کردن اپراتور دستگاه که مالش راانجام میدهد وزمین کردن میله ، ایجادمیکرد ولی او متوجه نشد که میله واپراتور دردوحالت عکس یکدیگر شارژ میشوند. باازدست دادن این تقاوت کیفی ،واتسون یک مکانیسم خاص ،که افلوویا رایک اتر ظریف ،عمومی وفنری تعریف میکرد ،دانست.پمپ ها تعادل این اتر را بهم میزدند که درتلاش برای تعادل مجدد ،جذب ودفع الکتریکی ایجاد میشود.(خیلی شبیه به آنچه نوله گفته بود).

اما لیدن جار تئوری واتسون را خراب کرد. لذا او تئوری خود را رهاکرد و به تعیین خصوصیات لیدن جار پرداخت.با آزمایشاتش دریافت که اگر بطری را با سرب پوشش دهد ویا شیشه بطری را نازک تر کند، شوک قوی تری بوجود خواهد آمد. با انتقال شوک در یک طول ۱۰۰۰۰ فوتی، به این نتیجه رسید که سرعت اثر آنی است ونمیتوان آنرا اندازه گرفت[۳و۸].

درهمان موقع "***لمونیر(Lemonier)*** –(۱۷۹۹-۱۷۱۷م) بیان کرد که اجسام هادی به نسبت سطحشان الکتریسیته دار میشوند ونه جرمشان وهمچنین آب رایک هادی خوب دانست. نوله بااومخالفت کرد[۸].

اختراع لیدن جار-اولین خازن

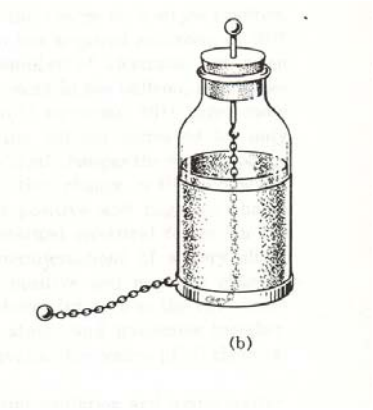
درسالهای ۱۷۴۵ وبعد از آن اشخاص زیادی در زمینه الکترواستاتیک کار وتجربه کردند. درسال ۱۷۴۶ ، وقتی ***موشن بروک*** از لیدن هلند شروع به آزمایشاتی مشابه با بوز کرد واولین خازن با نام لیدن جار اختراع شد. او فارغ التحصیل دانشگاه لیدن بود. در ۱۷۴۲ کرسی تدریس فیزیک تجربی را داشت وروش تدریس او باعث جلب دانشجویان از سراسر اروپا شد.یکی از آنها ***نوله*** بود.

از اعتبارات او اختراع لیدن جاراست.اومیدانست یک هادی شارژشده که اطرافش را هوا گرفته باشد،بارخود

موشن بروک در ۱۵ سالگی وارد دانشگاه لیدن شد. در۱۷۱۵ دکترای پزشکی گرفت ودر سفری به لندن با "دساگولیه" آشنا شد . در ۱۷۱۹ دکترایش را در فلسفه گرفت واستاد فلسفه ،ریاضی وطب شد

راخیلی سریع ازدست میدهد . خصوصا درهوای مرطوبی که در هلند وجود داشت . او یک بشکه توپ اویخته شده با دوطناب ابریشمی داشت که بوسیله گوی شیشه ای گردان همراه با مالش دست شارژ میشد. یک سیم برنجی به بشکه متصل شده وپس ازعبور از یک چوب پنبه وارد یک بطری میشد. ازاین آزمایش نتیجه ای گرفته نشد.سپس بطری را پر از آب کردند. باز هم اتفاقی نیافتاد.هنگام پیاده کردن دستگاه ،دستیار او، بطور اتفاقی شیشه رابایکدست گرفته وبادست دیگر سیم برنجی رالمس کرد وناگهان یک ضربه ترسناک دریافت داشت.[۳]. به این ترتیب او بدون قصد اثر یک خازن راتجربه کرده بود[۸].

برای آنها بسیار عجیب بود که الکتریسیته ای که تصورمیشد فقط میتواند اجسام خیلی کوچک را بحرکت در آورد ،دارای چنین قدرتی باشد. این موضوع سخن روز شد. موشن بروک موضوع رابا ***"رومور"*** واو با ***"نوله"*** درمیان گذارد واو که تحت تاثیر واقع شده بود موضوع رابه جلسه آکادمی علوم برد. این به"آزمایش لیدن" معروف شدو این دستگاه "لیدن جار " نامیده شد[۸]. بزودی دریافتند که پوشش قلعی نازگ بطری از داخل وخارج بطور موثری کار آن رابهبود می بخشد.



لیدن جار

نظریه "فرانکلین- الکتریسیته تک سیالی(Single fluid)

شخص دیگری که درآن زمان(۱۷۴۶) کارهای مهمی در الکتریسیته انجام داد، ***"بنیامین فرانکلین"*** ، ***(B.Fraklin)*** –(۱۷۹۰-۱۷۰۶)، اولین امریکائی که درعلم محض شهرت جهانی یافت، بود. او برای مفاهیم تولید بار،جابجائی بار، وشارژ با القای الکترو استاتیک کارکرد. مفهوم تک سیالی درالکتریسیته ،اصل بقای بار، توزیع بار در لیدن جار، بارمثبت ، منفی، وباطری رابیان کرد. باآزمایش نشان داد که تخلیه الکتریکی برق آسمان یک پدیده الکتریکی است واو مخترع برقگیر است.[۸].

مشاهده آزمایشاتی از ***"اسپنسر" (Adam Spencer)*** درسال ۱۷۴۳ در بوستون وبازدید از یک نمایشگاه لوله های شیشه ای در ۱۷۴۶، علاقه فرانکلین را برانگیخت بطوریکه دستگاه آزمایش کننده را خریداری وبه پنسیلوانیا آورد. کار بادستگاه شدیدا توجه او وهمکارانش را جلب کرده بود[۳]. از اولین کشفیاتش خصوصیت اجسام نوک تیز بود. اودریافت که یک هادی نوک تیز زمین شده ،میتواند باعث تخلیه سریعتر یک هادی ایزوله شارژشده باشد. یک هادی نوک تیز ازفاصله ۶ تا ۸ اینچی میتوانست باعث تخلیه ویاایجاد جرقه شود،درحالیکه این قاصله برای هادی غیر نوک تیز به حدود ۱ اینچ ویاکمتر میرسید. این آزمایشات اورا متقاعد کرد که "آتش الکتریکی" یک عنصر حقیقی ویانوعی از ماده است که توسط اصطکاک تولید نشده بلکه فقط جمع میشود. پس هرگونه الکتریسیته دار شدن یاتغییرات درآن توسط انتقال این آتش الکتریکی قابل توجیه است. اومعتقد بود که هرجسم دارای یک مقدار

طبیعی آتش الکتریکی است، اگر قدری از آن رااز دست بدهد،"منقی "شده واگر بدست آورد، "مثبت" خواهد شد[۱۱]. او"حریان آتش" از انتهای سیمی که بیک دستگاه الکتریسیته مالشی متشکل از گوی شیشه ای ایجاد میشود را دارای خصوصیت "طویل، زیاد، باصدای مخصوص شلاق و خارج شونده " دانسته وآنرامثبت نامید. وبرعکس جریان آتش کره که "کوتاه ،کم، باصدای هیس و وارد شونده" است را منفی نامگذاری کرد. بااین حال اواظهار میدارد که واقعا نمیداند که کدام نوع از الکتریسیته باعث ازدیاد سیال الکتریکی میشود[۳].

خصوصیت ماده الکتریکی(Electrical matter)- آتمسفر الکتریکی(Electrical atmospher)

فرانکلین درمورد " ماده الکتریکی" معتقد بود که از ذرات بینهایت ریز تشکیل شده است که میتواند در همه مواد، حتی فلزات بدون هیچ مقاومتی وارد شده وحرکت کند. فرق بین ماده الکتریکی وماده معمولی ،دفع متقابل در اولی و جذب متقابل در دومی است. درفرهنگ قرن هیجدهم ، این یک سیال الاستیک بسیار ظریف بود.ذرات ماده الکتریکی که دارای دفع متقابل بودند، بشدت توسط ماده دیگر جذب میشوند. پس اگر مقداری ماده الکتریکی به جرمی از ماده معمولی داده شود ،فورا و بطور مساوی درهمه جای آن پخش میشود. بعبارت دیگر ماده معمولی نوعی اسفنج برای سیال الکتریکی است.بطورکلی درماده معمولی تاحد امکان ماده الکتریکی موجود است. اگر ماده الکتریکی بیشتری داده شود، نمیتواند داخل شده ولذا روی سطح مانده ویک "آتمسفر الکتریکی" بوجود میاورد. ودراین حالت است که جسم الکتریسیته دار شده است. همه مواد بیک اندازه ماده الکتریکی دریافت نکرده وآنهائی که الکتریکی هستند مقادیر خیلی زیاد دریافت میکنند.

آتمسفر الکتریکی که دراطراف اجسام شارژشده بوجود میاید توجیه مناسبی برای خاصیت دفع آنهااست. این توجیه برای دوجسم شارژشده مثبت قابل قبول بود ولی برای حالت دوجسم باشارژمنفی ،فرانکلین وهمکارانش درفکر بیان توضیحی بودند. فرانکلین معتقد بود که اتمسفر الکتریکی هرجسم ،شکل آن حسم رامیگیرد.پس آتمسفر الکتریک کره بشکل کره ،وبرای یک سیلندر بشکل یک سیلندر است.

تاقبل از این فرض براین بود که همه اجسام دارای "افلوویا"ی کروی هستند. او اتمسفر الکتریکی را بشکل ابری دراطراف جسم میدانست. وقتی بیک جسم شارژ نشده که دارای مقدار نرمال ماده یا سیال الکتریکی است، ماده یا سیال الکتریکی اضافه شود،بصورت ابری دراطراف آن جمع میشود.حال اگر دوجسم شارژ شده از این نوع بهم نزدیک شوند،بعلت اینکه ذرات ابرها یکدیگر رادفع میکنند، بین آنها دافعه بوجود خواهد آمد. همین طور جسمی که مقداری ازماده الکتریکی خود را از دست داده است، ذرات اتمسفر الکتریکی یک جسم شارژ شده مثبت را (چون مقداری ماده معمولی که تمایل به جذب سیال الکتریکی دارد درآن موجود است) جذب میکند بطوریکه بهم تماس پیدا میکنند.فرانکلین مفهوم آتمسفر الکتریکی را برای توضیح عدم توزیع یکنواخت بار برای اجسام نامتقارن مانند اجسام نوک تیز یا گلابی شکل بکار برد.بیان فرانکلین برای توزیع غیر یکنواخت بار در اجسامی که دارای شکل متقارن نیستند،مانند اجسام نوک تیز، تاحدود زیادی موفقیت آمیز بود.این بیان نمتوانست دافعه دوجسم با شارژمنفی راتوجیه کند که بعدا بانظریه ***/اپینوس (Aepinus)***حل شد.

از امتیازات مهم تئوری فرانکلین این بود که الکتریسین ها میتوانستند مفهوم نیروی دافعه را که حتی میتوانست از ورای یک صفحه شیشه ای (چون ذرات اتمسفر الکتریکی بدون نیاز به تماس یکدیگر رادفع میکردند) نیز عمل کند،درک کنند ،گرچه خود سیال الکتریکی درشیشه نفوذ نمیکرد.

فرانکلین شیشه را نسبت به ماده الکتریکی نفوذ ناپذیر میدانست(برای جذب ودفع احتیاج به رفتن ماده نبود وعمل از راه دور انجام میشد).نوله، باتوجه به این حقیقت که وقتی یک پر داخل یک بطری سربسته قرار میگرفت توسط اجسام الکتریسیته دار ربوده میشد، تئوری مزبور راقبول نداشت(چون معتقد به نیروی بدون فاصله ومادی بوده وجذب و دفع را در اثر حرکت سیال الکتریکی میدانست)وشیشه را نسبت به ماده الکتریکی "شفاف" میدانست. همین طور چون معتقد بود که یک نوع سیال الکتریکی وحودداشته که بصورت ءافلونس وأفلوونس متعادل میشوند،نمیتوانست بپذیرد که الکتریسیته در دشارژ لیدن جار ناپدید میشود.

اصل بقای بار

درسال ۱۷۴۷ ،فرانکلین به ***"کالینسون(Collinson)"*** طی نامه ای نوشت که الکتریسیته دارشدن یانشدن یک جسم چیزی جز این نیست که قسمتهائی از لوله یاکره که مالش داده میشوند درلحظه اصطکاک آتش الکتریکی جذب میکنند وآنرا از چیزی که مالش میدهد میگیرند، مقداری که یکی میدهد ودیگری میگیرد باهم برابرند، وبه این ترتیب اصل بقای بار را ارائه کرد.

نظریه فرانکلین در مورد لیدن جار

تئوری لیدن جار نیز درسال ۱۷۴۷ توسط او بیان شد. او آنرا بعنوان "بطری عجیب موشن بروک" میشناخت. داخل بطری معمولا از آب یا ساچمه فلزی پرشده وبدنه خارجی از فلز پوشیده میشود. وقتیکه پوشش خارجی بادردست گرفتن آن توسط اپراتور،زمین میشد وسیم آن بیک جسم باردار متصل میشد مقدار قابل توجهی الکتریسیته را ذخیره میکرد.

اولین نظر او این بود که اگر سیم وآب داخل بطری دارای الکتریسیته مثبت شوند، پوشش خارجی همزمان به اندازه مساوی بطورمنفی الکتریسیته دار شده واین درصورتی است که پوشش خارجی بتواند مقداری از سیال الکتریکی خودرااز دست بدهد، یعنی زمین شود،دراینصورت سیال خارج شده، وبطورمنفی شارژمیشود وحالت تعادل برقرار میگردد. این تعادل ازراه شیشه بطری بهم نمیخورد بلکه فقط درصورت اتصال بدنه خارجی ومیله داخلی ممکن است. او از روش عجیبی که این دونوع الکتریسیته در شیشه ترکیب شده وبالانس هستند متحیر بود[۸].

برای اثبات آن او یک گلوله چوب پنبه این رابین دوسیم موازی آویخت وسیم ها را بدو سر لیدن جار متصل کرد. گلوله بین دوسیم نوسان کرده ومرتبا بار یکی را ،به دیگری منتقل میکرد تااینکه لیدن جار کاملا تخلیه شد وگلوله ایستاد.

باتوجه به وجود شارژهای مخالف ومساوی روی سیم وپوشش خارجی که فرانکلین با آزمایش ثابت کرده بود، نتیجه گرفت که عبارت شارژ ودشارژ لیدن جار غلط است زیرا درواقع بعد از الکتریسیته دارشدن ، درشیشه آتش الکتریکی بیشتری وجود ندارد وهمین طور پس از دشارژ نیز الکتریسیته کم نمیشود. او همچنین نشان داد که درصورتیکه هادی داخل زمین شود ،بدنه بطور مثبت وهادی داخلی بطور منفی شارژ میشوند.

سپس اعلام کرد که همه نیروی بطری وقدرت شوک دادن درخود شیشه است. این نتیجه راباین آزمایش گرفت:

یک لیدن جار راروی شیشه گذاشت یعنی آنرا ایزوله کرد ودر بطری را شل کردوآنرا شارژ کرد. بعد چوب پنبه وزنجیر داخلی را به آهستگی در آوردوملاحظه کرد که درصورتیکه یک دست را به بدنه خارجی گرفته وانگشت دست دیگر را داخل آب کنند همان شوک حاصل میشود.نتیجه گرفت که نیرو در زنجیر یاسیم لیدن جار نیست. بعد برای آنکه ببیند نیرو داخل آب شده یا نه ، آب بطری را دریک لیدن جار شارژ نشده بدون آب خالی کرد ومشاهده کرد که هیچ اثری از خود نشان نمیدهد.پس یا باید نیرو درهنگام خالی کردن شیشه از یین رفته باشد یا پشت شیشه بطری لیدن جار اولی مانده باشد. پس دوباره آنرا پر از آب بدو الکتریسیته کردودید که شوک وجوددارد. پس نیرو مربوط به شیشه بود.

مطلب دیگر این بود که آیا این خاصیت شیشه مربوط به جنس است یا شکل . زیرا درمورد هادی نوک تیز شکل اثر داشت واودارای تجربیاتی بود. صفحات موازی از سرب ساخت وبین آنها را صفحه شیشه ای قرارداد ودید که همان خاصیت لیدن جاررا نشان میدهد. پس بشکل بستگی نداشته ومربوط به شیشه بود. بعد تعدادی از آنها را که شامل ۱۱ جفت بود ، بانبوغ خودش سری کرد وآنرا باطری الکتریکی نامید.

در ۱۷۴۸، ***جان بویس(J.Bavis)*** قبلا دریافته بود که اگر اپراتور A ومرد B ایزوله باشند ، اگرB از دستگاه جرقه دریافت کند ،´A هم الکتریسیته دار خواهد شد ،ولی البته بدون مداخله B اینکار هرگز انجام نمیشود.

حالB میتواند دشارژ شود و A و B میتوانند جرقه فوی تری ایجاد کنند، نسبت به حالتیکه با C که زمین شده است ایجاد میکردند. در آزمایش مشابهی فرانکلین B را دارای ماده الکتریک بیشتر و A را کمتر میدانست. واتسون نتیجه گرفت کهA وB به ترتیب دارای اتر در دانسیته کمتر وبیشتر هستند و C دارای اتر استاندارد است.

آهنربای مصنوعی

درهمان سال ، فیزیکدان انگلیسی***"کانتون(J.Canton)*** –(۱۷۷۲-۱۷۱۸م)باساختن آهنرباهای مصنوعی بزرگ شهرت یافت. قبلا ***نایت(G.Knight)*** از افشای روش خود امتناع کرده بود.(سال ۱۷۴۶). کانتون نیز که انتظار درآمد قابل ملاحظه ای را داشت این روش را تاسال ۱۷۵۱ مخفی نگه داشت تایکسال بعد از ***جان میچل(J.Michell)*** که در ۱۷۵۰ مقاله ای در مورد آهنرباهای مصنوعی نوشت .تازه درآن تاریخ مشخص شد که کار او موازی با میچل بوده است . میچل اعتراض کرد ولی کانتون مدال ***کاپلی(Copley)*** را(در ۱۷۵۱م) از آن خود کرد.

ورود کانتون به حوزه تخصصی خودش الکتریسیته از ۱۷۴۷ باچاپ یک معما در مجله ای آغاز شد. ولی با برخورد تمسخر آمیزی که بااوشد به کار آهنربای خود برگشت ، تاسال ۱۷۵۲ که از آزمایشات فرانکلین در باره برق آسمان باخبر شد.

نظریه برق آسمان

در۱۷۴۸ ، نوله در جلد چهارم ***درسهای فیزیک(Lecons de physique)*** خود، موکدا تشابه الکتریسیته وبرق آسمان را بیان کرد ولی مورد توجه خاصی قرار نگرفت.

در۱۷۴۹ فرانکلین در نامه ای به میچل درلندن نوشت که به این نتیجه رسیده است که ابرها در تبخیر از آب با "آتش معمولی " (یاحرارت عادی) و"آتش الکتریکی" الکتریزه میشوند.باران ،ژاله، وجرقه های برق آسمان بین ابرهای زمین وابرهای دریا قسمتی از فرضیات فرانکلین راتشکیل میدادند.

فرانکلین معتقد بود که ابرها الکتریسیته دارشده وتخلیه برق آسمان تخلیه سریع سیال الکتریکی از ابرهاست.

درنوامبر ۱۷۴۹ فرانکلین ۱۲ تشابه ملاحظه شده بین برق آسمان وتخلیه الکتریکی ایجاد شده در آزمایشگاه را بیان کردونتیجه گرفت که چون سیال الکتریکی توسط نقاط تیز جذب میشود احتمالا درمورد برق آسمان نیز این خواهد بود.ولی قبل از اینکه آزمایش مربوطه انجام شود ، او به مردم توصیه کرد که هنگام رعد وبرق از قراز گرفتن بالای تپه ها ویا زیر درختها، برجها ودودکش ها خودداری کنند[۸].

درنیمه دوم دهه ۱۷۴۰، ***بنیامین ویلسون(B.Wilson)*** - (۱۷۸۸-۱۷۲۱م)انگلیسی دستگاههای زیادی را اختراع کرده ونمایش داد ودر کتابی بنام ***"مشاهدات روی برخی از آزمایشات الکتریکی"*** درسال ۱۷۵۶ توضیح داد.اساس کار استفاده از سیستم یک سیالی فرانکلین با" اتر" نیوتون بود[۸].

درهمین زمان ***بوفن(C.L.L. Buffon)*** فرانسوی ،اولین جلد تاریخ طبیعی را می نوشت. ضمنا دراین دوران آزمایشات تفریحی نیز باالکتریسیته انجام میشد. مثلا نوله یک صف یک مایلی از راهبان تشکیل داد که بازنجیرهائی دردست بهم مرتبط می شدند وسپس تخلیه الکتریکی روی نفر اول وآخرصف با لیدن جار همه آنها را به هوا پرتاب کرد[۱۰].

اختراع برق گیر

در ۱۷۵۰ ،فرانکلین طی نامه ای به کالینسون شامل تئوری کامل اعمال الکتریکی ، درباره امکان الکتریسیته دارشدن ابرها وطبیعت دشارژ برق آسمان بحث کرد.واشاره کرد که قدرت جذب کنندگی اجسام نوک تیز نیز همانطور که سوزن در آزمایشگاه نشان میدهد ،میتواند برای حراست جان انسان درمقابل برق آسمان بکاررود.

به این ترتیب او برقگیر ،که متشکل از یک میله نوک تیز زمین شده که دربالاترین نقطه ساختمان قرارگرفته ویادرمورد کشتی ها انتهای آن در آب دریا وارد شود ،رااختراع کرد.

گرفتن برق از آسمان

او آزمایشی را پیشنهادکرد.یک اتاقک ایزوله که بتواند یک انسان در آن جای گرفته وبالای یک ساختمان قرارگیرد.یک میله از در خارج شده، تاارتفاع ۲۰ یا ۳۰ فوتی ادامه داشته باشد. این میله باید به وسط پایه ایزولاسیون بچسبد.حال اگر ابرهای الکتریسیته دار درارتفاع کم عبور کنند،میله مزبور دارای الکتریسیته خواهد شد،یعنی میله، آتش الکتریکی را از ابر بسوی آزمایش کننده خواهد آورد. برای حفاظت آزمایش کننده پیشنهاد میکند که کاملا ایزوله بوده ویک چوبدستی عایق که انتهای آن یک حلقه متصل شده بزمین وصل است، دردست داشته باشد. اومیتواند حلقه رانزدیک میله کند تادرصورت الکتریسیته دار شده میله ،جرق به سیم زده وشخص را حفاظت کند.

قانون عکس مجذورفاصله در مغناطیس

درهمین سال، برای اولین بار ***میچل(J.Michell)*** -(۱۷۹۳-۱۷۲۴م) انگلیسی قانون عکس مجذور فاصله رابرای قطب های مغناطیسی بیان کرد. وگفت هرمغناطیس طبیعی یا مصنوعی دارای دو قطب باقدرت مساوی هستند[۹و۱۱]. در۱۷۵۱ ***واتسون*** گزارشی از ***شوک الکتریکی*** به سر یک جوجه میدهد که بنظر میرسد در اثر شوک مرده است لیکن بعد با تنفس مصنوعی بحال آمده است[۱۲].

القاء الکتریکی –اشکال نظریه اتمسفر الکتریکی

درسال ۱۷۵۲ ، ***کانتون*** ، از حدسیات فرانکلین درمورد برق آسمان اطلاع یافت واو اولین کسی بود که در انگلستان ،مستقل از فرانکلین و ***بکاریا(G.Beccaria)*** –(۱۷۸۱-۱۷۱۶م-) و ***لمونیر*** دریافت که ابرها متوانند بطور مثبت (همانطور که تئوری آنزمان بیان میکرد،یعنی آبهای الکتریسیته دار(مثبت) تبخیر میشوند) ویا منفی باردارشوند ، که دومی مساله پیچیده آنزمان بود(چون توجیهی نداشت). اوبرای سنجش نوع بارها دستگاهی ساخت که اورا معروف کرد.

به انتهای یک لوله ایزوله حلبی افقی دوتوپ کوچک چوب پنبه ای آویزان میشود. بادریافت بار مثبت دو گلوله ازهم دور میشوند. حال اگر یک شیشه الکتریسیته دارشده ودارای بار مثبت از پائین به چوب پنبه ها نزدیک شود، توپها بهم نزدیک شده ودرصورت دورشدن شیشه ، ازهم فاصله میگیرند.به این ترتیب فلسفه اتمسفر زیر سئوال میرفت (چون اگر اتمسفر بود باید فاصله با نزدیک شدن شیشه زیادتر میشد).

کانتون درادامه کارخودش به این نتیجه رسید که شیشه همیشه در اثر اصطکاک دارای شارژ مثبت نخواهد شد واین بستگی به جسم مالش دهنده وشرائط سطح شیشه دارد. اودریافت که شیشه ناصاف چنانچه با کیسه حمام ،مالش داده شود منفی ، وبامالش ابریشم مثبت خواهدبود[۸].

میچل منجم انگلیسی وکسی است که تخمین مناسبی برای فاصله ستارگان زد وستارگان دوتائی را کشف کرد.[۸].

۱۲ درهمین زمان ***دالی بارد(Dalibard)*** " براساس پیشنهاد بوفن آزمایشات ومشاهدات فرانکلین را درمورد تشابه رعد والکتریسیته توجیه کرد.

درهمین احوال ، سال۱۷۵۲، اتاقک پیشنهادی فرانکلین برای اولین بار در مارلی فرانسه، توسط "دالی بارد" مورد آزمایش قرارگرفت ودر گزارشش به اکادمی علوم پاریس آنرا کاملا رضایت بخش دانست. بزودی آزمایشات مذکور در سراسر اروپا تکرار وباعث شهرت فرانکلین شد.

آزمایش بادبادک فرانکلین

بعد، فرانکلین آزمایش "بادبادک برق آسمان" راانجام داد ودر مجلات اروپا چاپ شد. ***" پریستلی"*** درکتاب تاریخ الکتریسیته خود کشفیات فرانکلین را احتمالا بزرگترین کشف بعد از کارهای نیوتون میداند که پدیده ای راکه سالها انسان را ترسانده بود،شناسائی وتوجیه میکرد[۸]. درآزمایش بادبادک ،نخ بادبادک توسط باران ملایم مرطوب شده بود.او انتهای نخ را بیک روبان خشک متصل کرده ودردست گرفته بود تا ارتباط الکتریک نداشته باشد وبا پسرش درکنار پنجره ایستاده بود .یک کلید به انتهای نخ متصل بود.وانتهای کلید باانگشت پسرش جرقه میزد.اوهم چنین میتوانست بکمک آن لیدن جار را پرکند. اکنون مامیدانیم که فقط شانس او رااز کشته شدن دراین آزمایشات نجات داده بود[۸و۹و۳]. اومعتقد بود که بار ابرهای یک تند باد معمولا منفی است وفقط بعضی وقتها حالت مثبت دارد. ونتیجه گرفت که پس معمولا این زمین است که به ابر "میزند" نه ابر به زمین. این تئوری او بر اساس تعریف الکتریسیته ویترئوس(مالش ابریشم وشیشه) یامثبت ویا الکتریسیته رزینوس(مالش کهربا با پشم یاپوست) یا منفی بود. او آگاه بود که او هیچ مدرک مشخصی برای این تعریف ندارد وامیدواربود که دیگران آزمایشاتی در قطعیت آن انجام دهند. امروزه بر همین اساس جهت جریان را حرکت ذرات فرضی مثبت در مدار میدانند وجهت حرکت الکترونها را عکس آن فرض میکنند.

او بااستفاده از یک قوطی نقره ای که داخل یک لیوان قرارداشت ویک زنجیر ۳ یاردی به آن متصل شده وزنجیر با نخ ابریشمی بلندی از سقف آویزان بود ،و او میتوانست با بالا وپائین بردن لیوان سطح ظرف راکم یازیاد کند، توانست ثابت کند که آمادگی پذیرش بار به جرم وابسته نبوده وبه سطح (مجموعه سطح لیوان وزنجیر) مربوط است.

درپائیز سال ۱۷۵۳ فرانکلین مدال افتخار کاپلی را از آن خود کرد.

سنجش برق آسمان

ریچمن (G.W.Richman) دانشمند روسی درمنزلش در سن پترز بورگ، یک برقگیر با ایزولاسیون از دیوار ساخته بود. اواز خطرات آگاه بود وبا همکارانش هرروز میزان الکتریسیته برقگیر را اندازه گیری میکرد.در ۲۶ ژوئن ۱۷۵۳ رعد وبرق شد واو از آکادمی علوم بمنزل آمد تامیزان برق دریافتی را معین کند.او خم شد تانشان دهنده را بخواند که ناگهان در همان لحظه مجددا برق به برقگیر زد وآنا اورا از پای در آورد[۸].

دراین سال یک نویسنده ناشناس پیشنهاد سیستم تلگرافی الکترواستاتیک با ۲۶ سیم که به ۲۶ حرف متصل بود، را کرد ولی مورد توجه واقع نشد تاآنکه در سال ۱۷۷۴ طرح مشابه به اجرا درآمد.

درهمان سال ، ***بکاریا (G.Beccari)*** –(۱۷۸۱-۱۷۱۶م) فیزیکدان ایتالیائی اولین کتابش رادر تئوری الکتریسیته نوشته ونظریات فرانکلین را بخوبی توضیح داد. کتاب شامل یک نامه بلند به نوله که باسیستم فرانکلین مخالفت میکرد ، بود . این نامه توسط طرفداران فرانکلین در پاریس ترجمه وتکثیرشد وموقتا بکاریا پیشتاز سیستم جدید شد. اواین نظریه که هوا هدایتش از آب خالص کمتر است را ردکرد[۸].او همچنین نشان داد که دشارژ الکتریسیته با ازدیاد سطح مقطع لوله ،که یک لوله ی آب بود، بیشتر میشود.[۴]. او همچنین مخترع حرارت سنج الکتریکی است[۸].

درسال ۱۷۵۴ ،کانتون الکتروسکپ***(Pith ball)*** رااختراع کرد[۸]

درهمان سال ، کانتون مطالعاتی در مورد چگونگی توزیع بارروی یک قوطی فلزی که روی یک پایه عایق قرارداشت انجام داد. او درنامه ای به ***لینینگ(Lining)*** نوشت که باوارد کردن یک گلوله چوب پنبه ای(که بانخ ابریشم آویزان شده بود)درداخل این قوطی شارژ شده ، گلوله به دیواره ها وحتی ته قوطی هم جذب نشد. ولی وقتی بیرون بود، بهمه نقاط آن می چسبید.بعد میگوید که من علتش رانفهمیدم ،اگر شمامتوجه شدید برای من بگوئید. در یادداشتهای بعدی خود علت را دافعه متقابل بوجود آمده در اثر اتمسفر الکتریکی درداخل قوطی ذکر میکند که باعث میشود بارها روی بدنه خارجی جمع شوند،ولی البته این باید دقیقتر بررسی شود.

درهمین زمان اعلام کرد که نظریه چگونگی الکتریسیته دارشدن ابرها خودش را هم راضی نمیکند.

درسال۱۷۵۸ ، ***بکاریا*** دردومین کتاب خود در مورد آتمسفر ، اطلاعاتی را که با تیرهای فلزی ،بابادک وحتی راکت از الکتریسیته طبیعت بدست آورده بود توضیح داد. خازنهائی با صفحات موازی وعایق بجز شیشه ساخت وقدرت آنها را تخمین زد.اوبرای تعلیق جذب الکتریکی در خلاهای قوی بوجود آمده توسط پمپهای هوای قرن ۱۸، توضیح کاملا مکانیکی قائل شد که باعث احیاء تئوری کابئو (که این جذبها را در اثر جابجائی هوا توسط ماده الکتریکی صادر شده از اجسام شارژ شده میدانست) شد.

درسال ۱۷۶۲، ***جان کارل ویلکه(J.K.Wilcke)*** –(۱۷۹۶-۱۷۳۲) فیزیکدان آلمانی، میدانست که الکتریسیته های ویترئوس ورزینوس تعریف شده توسط دوفی ، از نظر فرانکلین در نوع متفاوت بوده ،ولی از نظر نوله تفاوت آنها دردرجه است.

ویلکه در آزمایشات لیدن جار نظر فرانکلین را صحیح دید ولی درمورد آزمایشات ضریب دی الکتریک شیشه که توسط نوله ارائه میشد ظاهرا جواب مناسبی نمی یافت. برای حل این نا یقینی ها ، همه آزمایشات مورد اصرار هردوطرف راانجام داد. یک ترجمه تفسیری از نظرات فرانکلین آماده کرد ودریافت که در بیشتر مواقع ، اعتراضات نوله بیشتر بعلت عدم تفسیر ، روشن نبودن، بی دقتی یا اختصار در گذر از کارهای فرانکلین است. او معتقد بود که تئوری فرانکلین غیر قابل استثنا نیست. اونشان داد که عایق مطلق وجود ندارد، هرجسم الکتریکی(عایق) میتواند جانشین شیشه در لیدن جار شود، بارهای صفحات لیدن جار کاملا با هم برابر نیستند واجسام ذاتا رزینوس ویا ویترئوس نیستند. مطلب آخر قبلا توسط کانتون، که الکتریسیته ناصاف به جنس مالش دهنده بستگی دارد، بیان شده بود.

خازن با عایق هوا- اثر با فاصله وشکست نظریه اتمسفر الکتریکی

از مهمترین اختراعات ***ویلکه*** ، خازن باعایق هوا بود. ویلکه درباره نظر فرانکلین درمورد آزمایش القائی کانتون با "اپینوس" مشورت کرد. اپینوس متوجه شد که سیستم درواقع یک لیدن جار ناقص با دی الکتریک هوا است. برای اثبات نظریه اش بکمک ویلکه یک خازن هوائی باسطح ۶۵ فوت مربع ساختند، که شوکی مشابه یک لیدن جار بخوبی شارژ شده ایجاد میکرد.صفحات خازن یکدیگر را جذب میکردند پس بطور متضاد شارژشده بودند. بااتصال یکی از صفحات به الکترومتر، اپینوس مشاهده کرد که میزان افت بار آن بادور ونزدیک کردن صفحه دیگر تغییر محسوسی نمیکند.پش سیال از فاصله بین دو صفحه عبور نکرده وبدیگری نمیرسد، چون درغیر اینصورت باید بسرعت سیال هر دوصفحه خنثی شود. الکترومتر چیزی را نشان ندهد.این نمایش ، تئوری درحال احتضار اتمسفر الکتریکی را که خود فرانکلین آنرا هنوز کاملا رها نکرده بود، لرزاند.درحالیکه نیروی دافعه صفحه بالائی مطمئنا به پائینی میرسید، ولی حتما ماده الکتریکی فراوان آن نمی رسید،زیرا در آن صورت ، خازن که صفحاتش از داخل (توسط ماده الکتریکی)اتصال کوتاه شده ،نمیتوانست شارژشود.پس سیال الکتریکی داخل صفحات خازن بوده ونه درفضای بین آنها.از این آزمایش اپینوس "اثر

بافاصله" رانتیجه میگیردبدون اینکه علت آنرا مشخص کندوفرانکلینیست ها رااز پافشاری روی عقاید خود نهی کرده ومیگوید:"برای حفظ ساده ترین پدیده الکتریکی باید این فرضیه را قبول کردکه ذرات ماده ی معمولی که براساس تئوری جاذبه نیوتن یکدیگر را بطور متقابل جذب میکنند، درعین حال یکدیگر را دفع هم میکنند."ویلکه لیستی از اجسام راتهیه کرد که هرکدام آنها با مالش توسط زیری (یاروئی) مثبت(یامنفی) میشد. اولین سری شامل شیشه صاف ،پشم،شهپر، چوب، کاغذ، موم، موم سفید، شیشه ناصاف ،سرب ،سولفور وفلزات غیر از سرب بودند.

نظریه اپینوس

در۱۷۵۹ یک نقص اصلی تئوری ها توسط اپینوس برطرف شد. وجود لیدن جار بدون شیشه ،نظریه اتمسفر الکتریکی والکتریسیته شیشه طرافداران فرانکلین را زیر سئوال میبرد. تئوری فرانکلین در توجیه دافعه متقابل دوجسم با شارژ منفی ناموفق بود. هدف اپینوس(باتوجه با آزمایشاتی که روی خاصیت ترموالکتریک تورمالین کرده ودر آن مانند مغناطیس اثر قطبیت مشاهده کرده بود، ارائه نظریه ای برای مغناطیس کاملا مشابه با نظریه الکتریسیته فرانکلین بود،یعنی استفاده سیال مغناطیسی با همان قوانین تئوزی الکتریکی فرانکلین. برای تکمیل این مقایسه او این فکر انقلابی راکه در اجسام سخت ، مایعات وگازها، ذراتی که قرانکلین آنها را ماده معمولی نامیده ،درحالت خالص ،یکدیگر را ،همانند ذرات سیال الکتریکی ،دفع میکنند، بیان کرد. او یک دوالیته کامل بین ماده معمولی وماده الکتریکی قائل بود.یعنی ذرات ماده معمولی ویا ماده الکتریکی ، هرکدام ماده همنام یا همنوع خود را دفع کرده ولی دیگری را جذب میکنند و نیروی وارده بازیادشدن فاصله کم میشود.درحالت نرمال،وجود سیالهای الکتریکی یا مغناطیسی درماده ،نیروی دافعه ذرات ماده معمولی از بین میرود.اومعتقد بود که برای عدم مخالفت با قانون جاذبه عمومی ،دلیلی نیست که نیروهای دیگری برای ذرات ماده در نظر گرفته شود، ودرواقع پدیده، محتاج آن است.دافعه فقط وقتی پیش میاید که ماجسم را از قسمتی از سیال الکتریکی یامغناطیسی نرمال خود محروم کنیم.(به این ترتیب اشکال دفع اجسام منفی از بین میرفت ،چون وقتی منفی میشدند یعنی سیال از دست میدادند ،خود ماده معمولی دوجسم یکدیگر را دفع میکردند.

آزمایشات انجام شده توسط اپینوس و ویلکه ، باخازنهای عایق هوا بجای شیشه،نشان داد که اصول فرانکلین درمورد اتمسفرها از نظر فیزیکی نمیتواند وجود داشته باشد.دراین مورد احتمالا خود فرانکلین هم کم وبیش قبول داشت که اتمسفر الکتریکی بجز راهی برای توصیف جمع شدن یا توزیع بار الکتریکی که نقش نیروی دفع کننده از راه دور را دارد ،نبود. دریکی از آزمایشات برای مشاهده اثر اتمسفر الکتریکی ، اپینوس، جریانی از هوای خشک را به یک جسم شارژ شده دمید ومانند فرانکلین دید که میزان بار کم نشد. فرانکلین در آن موقع فرض کرد که چنین آزمایشی فقط این رانشان میدهد که اتمسفر یک جسم شارژشده جزو مکمل یا لازم آن است، واوحتی فکر میکردکه میتوان آتمسفر را باریختن "راتیانه" روی یک قطعه آهن داغ نزدیک جسم شارژ شده ،دید. او ،آتمسفر را فضای عمل بار الکتریکی روی جسم شارژ شده توجیه کرد.اومقدار دقیق نیروهای ذکر شده رانمیداند ولی درمقایسه باجاذبه در یکی از نوشته هایش آنرا متناسب با عکس مجذور فاصله میگیرد ولی بهر حال موضوع تعیین قانون جذب و دفع با جاذبه راکه تاآن زمان از مجهولات بود باز میگذارد.او برای توجیه کیفی پدیده احتیاجی به قانون دقیق هم ندارد. گرچه نظرات او حل کمی بدست نمیدهد؛ اما از نظر ریاضی مشخص کننده رابطه ازدیاد ویانقصان سیال ونیروهای وابسته است.بافرض کم شدن نیرو باازدیاد فاصله ،میتواندجهت اثرات الکتریکی راتعیین کند .دراین راه او ظاهرا یک پدیده پارادوکس را بیان میکند: اینکه اگر دوجسم بابار همنام واختلاف قدرت بسیارزیاد بیکدیگر فشرده شوند ، دافعه آنها دربعضی نقاط تبدیل به جاذبه خواهد شد. تئوری مغناطیسی نیز دارای همین خصوصیت است بااین استثنا که سیال مغناطیسی در همه اجسام آزادانه نفوذ میکند، بجز در آهن که انچنان بهم بسته است که نمیتواند داخل ویا خارج شود.بنابراین اهن درسیال مغناطیسی اثر ایزولاتور درسیال الکتریکی را دارد. تحلیل اپیتوس از مغناطیس، کاملا مشابه رفتار در القای الکتریکی است، بجز حالت

شکسته شدن آهنربا وتبدیل به دو اهنربای جدید که نتوانست آنرا توجیه کند[۸].

نظریه القای اپینوس

اپینوس کشف کرد که اگر یک جسم شارژشده را بیک هادی ایزوله شده نزدیک کند دوسر هادی بطور مخالف باردار خواهد شد.اوتوضیح داد که جسم شارژشده ، بارهای مخالف خود را جذب کرده وبه انتهای نزدیک خود میاورد وبنابراین انتهای دیگر دارای شارژ مخالف این انتها خواهد شد[۳]. به این ترتیب او توانسته بود مساله اثر القائی را که اززمان آزمایش کانتون لاینحل مانده بود توضیح دهد.کتاب او براحتی دردسترس نبود بطوریکه "بکاریا "چندین سال بعد از انتشارT آنرا دیده بود[۸].

ویلکه موقتا عجیب ترین نظریه ها ، دفع متقابل ذرات ماده ،بخاطر فائق آمدن به معمای دفع بین اجسامی که بطور منفی شارژ شده اند، راقبول کرده ، اما با پس نشینی دوطرفه اجسام شارژ شده بطور مثبت را در اثر فشار آتمسفر آنها ، میداند.درمفهوم نامتقارن ویلکه ،آتمسفرهای مثبت اجسام مادی بوده ومنفی ها فقط "حوزه یا قلمرو عمل " هستند، فضاهائی که در اثر وجود شیئی خارجی ناقص دچار اختلال میشوند. سالها بعد در ۱۷۶۳ ،ویلکه باقبول دوگانی سیمر (***R.Symmer***) که حالت منفی تئوری فرانکلینیست ها(ویاغیاب ماده الکتریکی) را باوجود یک سیال الکتریکی دوم جایگزین میکرد، این نامتقارنی را حل کرد.

نظریه دوسیالی سیمر

درهمین احوال ، رابرت سیمر انگلیسی، ملاحظه کرد که وقتی دو جوراب ابریشمی سیاه و سفیدی راکه رویهم (برای گرم نگهداشتن پا در عزاداری) پوشیده بود درمیآورد، هنگام جداکردن از یکدیگر بشدت یکدیگر را جذب میکنند ولی هنگام پوشیدن، این جاذبه ضعیف است و ضمنا جاذبه در هر بار در آوردن مجددا ایجاد میشود. (او از این جورابها برای ایجاد الکتریسیته در آزمایشاتش استفاده میکرد).اواز این موضوع نتیجه گرفت که الکتریسیته های مخالف فرانکلین ، از دوسیال متعادل کننده مجزا، مخالف، دراصل واقعی، واحتمالا مادی ، ذاتا متفاوت سرچشمه می گیرند. تصور او با دوفی و نوله ، که دو الکتریسیته را مخالف نمی دانستند ،وفرانکلین که یکی را فقدان دیگری میدانست متفاوت بود. سیمر این نظریه را با مطالعه خازن ،که وقتی شارژ وایزوله میشد،تشابه واضحی با جورابهای مورد نظر داشت، اثبات کرد. وقتی جسمی درحالت طبیعی خودش است دوسیال ترکیب شده ویکدیگر را خنثی میکنند.الکتریسیته دار کردن ،جداکردن دوسیال(که یکی بجسم مالش داده ودیگر به مالش دهنده میرود)، است وهیچوقت یک نوع الکتریسیته بدون تولید نوع دیگر ایجاد نمیشود.اودریافت که میتواند لیدن جاررا باجوراب سفید یامشکی شارژکند(وبنابراین هردو جوراب دارای سیال الکتریکی بودند)،واستدلال کردکه شرائط انفجار ،شوک ویاسوراخ شدن کاغذ قرار گرفته بین دوصفحه لیدن جار ، بدلیل پرش سیال واقعی از بین دوصفحه است. یک آزمایش مهم دیگر بااین تشابه پیشنهاد میشد: چون هرلنگه جوراب جانشین یکی از صفحات لیدن جار است ،یک خازن باصفحات موازی شارژ شده وعایق شیشه ، درصورتی که ازوسط بطور طولی بریده شود، بهم خواهند چسبید.ازطرف دیگر ، دوخازن کامل که بطور سری شارژ شده اند بهم نخواهند چسبید. زیرا درفصل مشترک، الکتریسیته های مستقل متضاد متعادل میشوند.از اصول اعتقادی او این بود که آنها یکدیگر را متعادل کرده(counter balance) واز بین نمی برند ، زیرا که خازنها درصورت جدا شدن هرکدام میتوانند مستقل عمل کنند.سیمر امیدوار بود که فرضیه او نه تنها انقلابی در الکتریسیته ایجاد کند،بلکه اثبات اصل فلسفی نیوتون شود. امالکتریسین ها ی انگلیسی ترجیح میدادند که فرانکلین یا ویلسون را دنبال کنند. اوتصمیم گرفت که شانس خود را درخارج بیازماید وبرای میچل نسخه هائی از مقالاتش رافرستاد تادر آلمان توزیع کند. همین طور سعی کرد نوله را باخود هم عقیده کند.گرچه نوله تئوری او راقبول نمی کرد ولی آزمایشاتش را که تایید بسیاری از نظرات خودش بود تصدیق

کرد وجای جوراب ،دو روبان قرارگرفته در دوصرف شیشه بکار برد وگزارشی از آزمایش تغییر یافته برای "سیگنا" درتورین فرستاد،به این امید که برای مردود شمردن بکاریا رقیب فرانکلینیست او بکار رود.

اساس الکتروفور(Electrophore)

سیگنا درعوض آزمایشات رابا جانشین کردن یک صفخه سربی عایق شده بجای شیشه نوله تکمیل کرد. اومشاهده کرد که اگر روبان الکتریسیته دار، برداشته شده وصفحه تخلیه شود،میتواند هرچند بار که مورد نظر باشد بازمین کردن آن وقتی روبان برگردانده میشد شارژ شود.دراینجا سیگنا اساس "الکتروفور"راپیدا کرده بود. اواعلام کرد که آزمایشات نوله صحت نظر فرانکلین یا سیمر را تائید نمیکند.

درهمین سال ،سیگنا گزارشی در مورد آزمایشات استادانه نوله دررابطه با جورابهای ابریشمی الکتریسیته دار شده منتشر کرد که باعث برانگیخته شدن علاقه بکاریا شد.او این آزمایشات را بیشتر بخاطر اینکه مورد استفاده ضد فرانکلینیست ها (تئوری دوسیالی) قرارمیگرفت بادقت وهوشیاری دنبال کرد.اما نکته قابل توجه وحساس پدیده، القاء درپوشش ها از بار باقیمانده روی دی الکتریک پس از تخلیه خازن، احتیاج به چیزی بیشتر از سیستم فرانکلین برای توجیه داشت. بکاریا که اعمال نیرو از فاصله راقبول نداشت، این کمبود را با تصویر پیچیده ای از اتمسفر های الکتریکی والکتریسیته "حمایت کننده" یادوباره بوجود آمده ، توجیه کرد.

نظریه ولتا

دردهه ۱۷۶۰ ،نوله وبکاریا مراجع الکتریسیته در اروپابودند و ***ولتا(Ae xandre Volta)***–(۱۸۲۷-۱۷۴۵م) فیزیکدان ایتالیائی ،سئولاتش راباآنان درمیان میگذاشت. اولین نامه او به بکاریا ، که از افکار بسکوویک ملهم بود،اعلام این بود که پدیده الکتریکی کلا از نیروی جاذبه بین "سیال الکتریکی " وماده معمولی بوجود میآید.

بوسکویک (K.J. Boskovic) -(۱۷۸۷-۱۷۱۴م) اعتقاد به نیروی "جاذبه یا دافعه" وابسته به فاصله بین عناصر ماده داشت. وقتی فاصله بسمت صفر میل کند نیروی دفع بینهایت شده بطوریکه تماس بین ذرات غیر ممکن میشود. نقش مهم را نقطه تعادل بین جذب و دفع ایفا میکرد که او آن را"مرز" مینامید ونقاط پایداری یا ناپایداری اجسام بود. خصوصیت این مرزها ومحوطه بین آنها مسائل چسبندگی ،نفوذ،گسترش وخیلی از مشخصات ماده را جواب گو بود.

اواولین عناصر ماده را،نقاطی مادی حقیقی، هموژن، ساده غیر قابل تقسیم می دانست که تفاوتشان با نقاط هندسی، اینرسی واثر متقابلشان بود.

یکسال طول کشید تابکاریا که یک فرانکلینیست وپیرو نظریه "خود دافعگی" سیال الکتریکی بود ،به ولتا جواب داد وبه او پیشنهاد کرد که به مطالعه وآزمایش بیشتر بپردازد.در پیروی از این پیشنهاد ، اوشروع به طرح دستگاههای ارزان وموثر کرد وهمین کار سرنوشت او را رقم زد.

درسال ۱۷۶۲،***ویلکه*** با شارژ یک خازن صفحه ای قابل جدا شدن مقدمات اختراع الکتروفور را فراهم کرد . اوملاحظه کرد که پس از شارژ خازن میتوان یک صفحه را دور کرد، دشارژکرد ودوباره نصب کرد، زمین کرد و مجددا صفحه را دور کرده وتخلیه کرد.واین عمل میتواند ادامه یابد.در ۱۷۶۵ ، ولتا درنامه ای به بکاریا نوشت که او دریافته است که ابریشم با مالش دست مثبت شده وبا مالش شیشه منفی میشود.

تدوین کتاب تاریخ الکتریسیته

درسال ۱۷۶۵، ژوزف پریستلی **(J.Priestly)** -(۱۸۰۴-۱۷۳۳م)دانشمند انگلیسی وکاشف اکسیژن در لندن با فرانکلین ،کانتون، پرایس و واتسون ملاقات کرد و بدنبال آن کتاب "تاریخ الکتریسیته وآزما یشات اصلی " رانوشت که به سه زبان ترجمه مد. اوکتاب را برای نقد به الکتریسیته دانان آن زمان فرستاد. آزمایشاتش بیشتر درمورد هدایت اجسام بود وهدایت فلزات ، نمکهای فلزی وذغال چوب را تعیین ودرجه بندی کرد. او اولین کسی بود که محل اثر جرقه تخلیه روی فلزات را که امروزه بنام "حلقه پریستلی" نامیده میشود، مورد توجه قرارداد. درسال ۱۷۶۶ پس از یک سری ارتباط بین المللی بااشخاصی مانند برگمن وولتا ، مجددا کتاب باتصحیحات واضافه کردن آزمایشاتی از خودش به طبع رسید [۸].

حدس قانون جاذبه الکترواستاتیک توسط پریستلی

در ۱۷۶۶، پریستلی برای اولین بار اشاره ای به قانون عکس مجذورفاصله برای نیروی الکترواستاتیک کرد.

دراین سال پس از مدتها ،فرانکلین درمورد آزمایشی که در سال ۱۷۵۵ انجام داده بود (وارد کردن پیت بال دریک قوطی فلزی) به پریستلی نامه ای نوشت واز اوخواست که با انجام آن نظر خود را اعلام کند. پریستلی دو گلوله پیت رااز نخ آویزان و وارد یک فنحان شارژ شده کرد. ولی اتفاقی نیافتاد وگلوله ها بدون کوچکترین حرکتی همان طور ماندند. ولی درحالیکه انگشت ویا هرجسم هادی متصل بزمین باآنها تماس گرفته وياحتی نزدیک آنها میشد ،درنزدیکی دهانه فنجان بسرعت از هم جدا شده وبدو طرف جذب میشدند.

پریستلی باتوجه به این آزمایش واینکه اگر کره زمین خالی بود، جسمی که داخل آن قرار میگرفت وبراساس قانون جاذبه به هیچ طرف منحرف نمیشد، یعنی نیرو از همه اطراف کلا خنثی میشد ، استنباط کرد که نیروی الکترواستاتیک نیز از قانون عکس مجذور فاصله پیروی میکند. باوجود تمایل پریستلی در انتشار این موضوع مهم ، جامعه علمی آنزمان به این موضوع بخوبی توجه نکرد[۹].

البته دو نکته در آزمایش قابل ذکر است. اول اینکه چنانچه زمین بشکل یک فنجان بود، نیرو داخل آن صفر نمیشد وفقط برای کره این صادق است. ثانیا بااطلاعات فعلی میدانیم که بارها متحرک بوده وبعلت دافعه یکدیگر ، روی سطح خارجی جمع شده و بنابراین نیروی داخل صفر میشود، درصورتیکه در مورد زمین ،ذرات جرم زمین ثابت هستند.[۱]

"اصل جذب فقط" ولتا

درسال ۱۷۶۹، ولتا جسورانه طی مقاله ای با توجه به تئوری فرانکلین وآخرین آزمایشات بکاریا، اصل جذب فقط را منتشر کرد. او معتقد بود که ماده الکتریکی فرانکلینیست ها نمیتواند به تنهائی عامل حرکات الکتریکی باشد ،زیرا در این صورت بطور یکطرفه اززیاد به کم تغییر میکند، درحالیکه در بیشتر آزمایشات ، همانطور که نوله تاکید کرده است، یک جسم الکتریسیته دارشده ،همزمان هم عمل دفع وهم جذب را انجام میدهد. افلوویا هم نمیتواند بطور غیر مستقیم ، با راندن هوا ، عمل کند زیرا دفع الکتریکی بین اجسامیکه در روغن غوطه ورند(آزمایشی که ولتا ذکر میکند بون آنکه نامی از سیگنا ببرد)نیز انجام میشود. بنابراین مابايد نیروهای جاذبه نزدیک (short range) را اجازه دهیم .ولتا بااعتراض همیشگی که زیاد شدن این نیرو ها ، ماده را باقدرت های غیر مکانیکی شلوغ میکند ، مخالفت کرد زیرا معتقد بود که چون فقط اجسام مختلط ، الکتریکی هستند احتیاج به تصور خاصیت ویژه الکتریسیته نیست بلکه فقط بیک نیروی خالص ماکروسکپیک مرکب ار نیروهای مختلط میکروسکپیک (که ذرات خالص مواد دارا هستند)، ویا متشکل از نیروهای عمومی، عنصری وچند خاصیته "بوسکویک" ، احتیاج است. درمورد جذب الکتریکی در فواصل زیاد هم نباید

شبهه ای باشد، مادریک دست مثال آشکار مغناطیس ودر دست دیگر ،وجود آتمسفر الکتریکی را داریم.اینها براساس مصالحه ولتا ،شامل سیال الکتریکی مازاد است که جذب آن کمی بیشتر از حدود فیزیکی آن پیش میرود.بهر حال ممکن است برای نقطه نظرهای کنونی فقط احتیاج به این فرض باشد که نیروهای جاذبه واقعا در اجسام وجود دارند.

نظریه تانسیون ولتا

تصور اصلی ولتا اینست که برای هرجسم یک حالت "اشباع" وجود دارد که در آن حالت مجموعه جذبهای ذرات آن برای سیال الکتریکی دقیقا ارضاء شده است ومیتواند با هر پدیده مکانیکی یا شیمیائی که باعث جابجا شدن محل ذرات نسبت بهم میشود ، بهم بخورد. اصطکاک، فشار وشاید تبخیر باعث الکتریسیته دار شدن اجسام ، با بهم زدن وضعیت نیروهای اشباع وتوزیع مجدد سیال الکتریکی، میشود. پایه آزمایشات ولتا و لاوازیه ولاپلاس در الکتریسیته دارکردن بوسیله تبخیر ، وحتی شاید نظریه "شارژ اتصالی" ولتا در اینجا گذارده میشود. بخاطر اعتقاد به اشباع ، او بطور مبهمی مفهوم" ***تانسیون Tension*** " را از پیش خبر میدهد ،که معادل کیفی پتانسیل در الکتریسیته جدید است:"شرط تعادل الکتریکی بین دوجسم ،به درجه دور شدن آنها از اشباع بستگی دارد ،نه به تساوی مقدار سیال الکتریکی آنها".

بقیه مقاله اعمال تبدیل پدیده استاندارد،یعنی جذب ، به "دفع" (درواقع جذب بطرف خارج ازجسم دفع کننده)، آزمایش لیدن وآثار به اثبات رسیده الکتریسیته بکاریا به "نیروی جذب فقط " است. مجددا میتوان تمایلات مفید ولتا را در آنالیز القاء دریک هادی عایق شدهء B تحت نفوذ جسم شارژ شده مثبت A مشاهده کرد: آتمسفر A باعث فوق اشباع شدن B میشود بدون اینکه مجموعه نیروهای مثبت B راتغییر دهد. به این ترتیب سیال از انتهای دیگر B سرریز شده وباعث احاطه اتمسفر آن در انتهای دیگر آن میشود. درتماس با B مازاد سیال از دست میرود ، اماهیچ علامت الکتریکی از خود نشان نمیدهد. زیرا سیال باقیمانده وآتمسفر A دقیقا آنرا اشباع میکند (به پتانسیل صفر میاورد). حال A رادور میکنیم ،دیگر B اشباع نیست وخودرا منفی نشان میدهد. در اینجا تخم "الکتروفور" وخازن کاشته میشود. گرچه ولتا بزودی تصدیق کرد که "نیروی جذب فقط" جوابگوی بسیاری از پدیده ها(مثلا تفاوت بین عایق وهادی وشارژ لیدن جار) نیست، او به تکمیل آن ونسبت دادن پدیده ها به آن تاسال ۱۷۸۴ ادامه داد.

ولتا از تغییر یا تبدیل تئوری های مفید دیگران اکراه داشت. اوتئوری یک سیالی فرانکلینیست ها را، درحالیکه در تمامی قاره سیستم دوگانه سیمر مورد قبود بود ، پذیرفته بود. احتمالا او بالاخره قبول کرده بود که همه پدیده ها بایکی از دوتئوری قابل توجیه هستند ولی او سیستم یک سیال را ترجیح میداد [۸].

دستگاه سنجش مقدار نیروی الکترواستاتیک رابیسون

درسال ۱۷۶۹، ***جان رابیسون (J. Robison)*** (۱۸۰۵-۱۷۳۹م)فیزیکدان اسکاتلندی سعی کرد دستگاهی بسازد که رابطه بین نیروی الکتریکی وفاصله را تعیین کند.درآنزمان کار او مورد توجه قرارنگرفت ،زیرا رابیسون به انتشار مطالبش علاقه ای نشان نمیداد وبیشتر مقالات او درسال ۱۸۲۲ پس از مرگش چاپ وتبدیل به چهار کتاب "فلسفه مکانیک" شد. درصفحه ۷۳ جلد چهارم ، درمورد الکترومتری که میتواند نیروی جاذبه بار الکتریکی را اندازه بگیرد ، توضیح داده است. شکل زیر بازسازی فکراوست که نیروی وزن والکتریسیته را بالانس میکند[۹].

رابیسون علاقه زیادی به ریاضیات ومکانیک داشت. به پسر آدمیرال نولز***(Knowles)*** درس میداد وبه این ترتیب وارد کارهای دریائی شد. باجیمز وات وژوزف بلاک کار میکرد وشاگرد بلاک بود. درچاپ سوم "دائره المعارف بریتانیکا دست اندرکار بود. اواستاد دانشگاه ادینبورگ بود. در ۱۷۸۹ از کالج نیوجرسی (پرینستون فعلی) درجه افتخاری***L.L.D*** گرفت

FIGURE 3.1 *Robison's apparatus.*

A وB کره های فلزی هستند که درموقع آزمایش الکتریسیته دار میشوند. B بایک میله عایق از ساقه کاه بکره D متصل شده ،موازنه شده ومیتواند در نقطه C بازی کند. A بایک بازوی شیشه ایFEL به میله بالای C وصل میشود. وقتی A وB شارژ نشده اند ،دستگاه طوری تنظیم میشود که وقتیBD بطور عمودی آویزان میشود،A وB بزحمت باهم تماس پیدا میکنند. پس از آن محورFI گردانده میشود بطوریکه CB وLA افقی میشوند وکره متحرک B رویA قرار میگیرد. حال کره ها الکتریسیته دار شده ودستهI به آرامی درجهت عکس گردانده میشود.مشاهده میشود که در یک زاویه مخصوصی اینها ازهم جدا میشوند. بانزدیک کردن دوباره یهم ، وجدا کردن دوباره از هم ، محل دقیق جداشدن مشخص میشود. به این ترتیب نیری دافعه درفاصله دوبرابر شعاع آنهابدست میاید.پس از تعیین این نقطه دستگاه را همچنان بحالت عمودی نزدیک میکنیم ، گوی ها بیشتر وبیشتر از هم دور میشوند. این الکترومتر اندازه گیری مطلق رانشان میدند زیرا باقراردادن وزنه های کوچک روی گوی چوب پنبه ایD ، تاحدی که بحالت افقی درآمده وکاملا موازنه شود، ودر نظر گرفتن فواصل نسبیCD وBC میتوان مقدار وزنه ای راکه لازم است تا کره ها "فقط ازهم جداشوند" تعیین کرد(وقتی که ساقه کاه درحالت افقی است). بعد یک محاسبه ساده میتواند وزنه های نیروی دافعه در اثر انحراف در هروضعیت مورب ، ویک محاسبه دیگر ، باحل نیروها ، دفع بین آنها وقتی AL مورب است و BCهرزاویه معینی را باآن میسازد ،نشان میدهد.

او پس از صدها آزمایش نتیجه میگیرد:" دافعه متقابل دوکره که بطور مثبت ویامنفی الکتریسیته دار شده باشند ، خیلی نزدیک به $\frac{1}{d^2}$ ، فاصله بین مراکز آنهاست وشاید کمی بیشتر از $\frac{1}{d^{2.06}}$".باچرخاندن دستگاه بطوریکهB

زیرA قرار گیرد، میتوان نیروی جاذبه راتعیین کرد. ونتایج مشابه بود. رابیسون موفق نشد این نتایج را با نام خود برسمیت بشناساند واین شاید بخاطر آن بود که می خواست نتایج آزمایش را با بیان ریاضی ارائه کند.اومقاله اش را دراین مورد درسال ۱۸۰۱ چاپ کرد .شخص دیگری که روی این قانون کارکرد، کاوندیش بود[۹].

در ۱۷۷۰ ، ***نوله*** کتاب "***فیزیک آماتوری*** " که نتیجه تجربیات چهل ساله اش در انتخاب، ساخت واستفاده از دستگاهها بود را منتشر کرد که مورد استقبال زیادی واقع شد[۸].

نظریه تک سیاله کاوندیش

درسال ۱۷۷۱، هانری کاوندیش***(H.Cavendish)*** (۱۸۱۰-۱۷۳۱ م)فیزیکدان انگلیسی، تئوری "تک سیاله" الکتریسته را بیان کرد. اوعبارت "تراکم***Compression*** " رابرای حالت "تانسیون ***Tension***" سیال الکتریکی بکار برد. گرچه او این عبارت را از تئوری منتشر شده اش حذف کرد لیکن او براین عقیده بود که سیال الکتریکی داخل یک جسم حالت هوای فشرده داخل یک محفظه را دارد. پیش بینی سنجش شدت علاوه برسنجش مقدار سیال الکتریکی ، هسته تئوری اورا تشکیل میداد.واختلافات وتشابهات سیال الکتریکی الاستیک وهوا را بیان میکرد. اوثابت کرد که ذرات سیال الکتریکی از قانون "عکس فاصله" ذرات هوا که توسط نیوتون بیان شده بود پیروی نمیکنند. بابیان پریستلی در ۱۷۶۶ درمورد قانون عکس مجذور فاصله ،اوطرفدار این قانون بود.

براساس فرضیه او ، یک ماده الکتریکی الاستیک،که ذرات آن یکدیگر را دفع کرده وذرات سایر مواد بانیروئی که متناسب با عکس فاصله (ولی کمتر ازمکعب) جذب میکنند ،وجودداشت. درحالت قرینه ذرات سایر تمام مواد یکدیگر رادفع وذرات سیال الکتریکی را باهمان قانون جذب میکردند[۸]. او بدون اینکه موفق شود،خواست رابطه بین نیرو،مقاومت وسرعت در عبور سیال الکتریکی از اجسام مختلف را پیدا کند، وتلاشش به تعیین هدایت بسیاری از اجسام انجامید. اوکاشف واندازه گیری کننده ثابت دی الکتریک است[۳]. درمورد هوایت اجسام طی آزمایشاتی هدایت سیم آهنی را ۴۰۰ میلیون بار.بیشتر از آب باران یا آب مقطر ، وهدایت آب دریا بامحلولی ۱/۳۰ نمک طعام را ۱۰۰ مرتبه وآب نمک اشباع شده را ۷۲۰ بار بیشتر از آب مقطر میدانست

اومفهوم "درجه الکتریسیته دار شدن" را که اکنون پتانسیل نامیده میشود بیان وخود رامتقاعدکرد که وقتی دوهادی دارای بار، با یک سیم بهم متصل میشوند، توزیع بار بنحوی که پتانسیل آنها یکی شود، خواهد بود. او نشان داد که بار روی اجسام مشابه ، باپتانسیل مساوی به نسبت ابعاد خطی آنهاست و مثلا دو کره باشعاع مساوی وقتی پتانسیل مساوی داشته باشند، بارشان مساوی است.او بااستفاده از یک کره هادی ۱۲/۱ اینچی توخالی بعنوان استاندارد ، با آزمایش های زیادی ،میزان بار نسبی و یا خازن سایر اشکال را اندازه گیری و تعیین کرد[۵].

درسال ۱۷۷۳ ، کاوندیش دستگاهی مشابه فرانکلین وپریستلی ساخت(گرچه واضح نیست که آیا قبلا از آنها اطلاع داشته است ،زیرا کارهای خود رامنتشر نمی کرد) واز آنها نیز پیشتر رفت ونتایج عددی برای قانون نیروی الکترواستاتیک بدست آورد.

کاوندیش در ۱۱ سالگی به آکادمی نیو کام فرستاده شد ودر ۱۷۴۹ به کالج سن پیتر در کمبریج رفت وتا۱۷۵۳ درکمبریج ماند. اوهرگز ازدواج نکرد وعلاقه ای بچاپ مقالات خود نداشت وفقط قسمتی از کارهایش در الکتریسیته را منتشرکرد. بسیار از مقالاتش پس از مرگ اوتوسط ماکسول منتشر شد[۶و۸]. درسال ۱۷۶۰ عضو انجمن سلطنتی وانجمن سلطنتی هنر شد. در ۱۷۷۳ بعضویت انجمن باستانی در آمد. درتمام رشته های فیزیک تخصص داشت

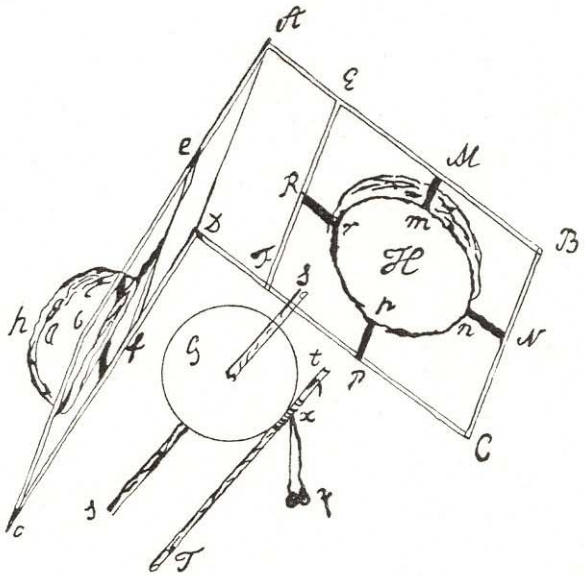
دستگاه سنجش نیروی الکترواستاتیک کاوندیش

اوبرای کشف قانون جاذبه ودافعه از دوکره که یکی داخل دیگری واقع میشود وباآن تماس دارد ، استفاده میکند ومیخواهد بداند که آیا کره داخلی اصولا تحت تاثیر واقع میشود یانه.

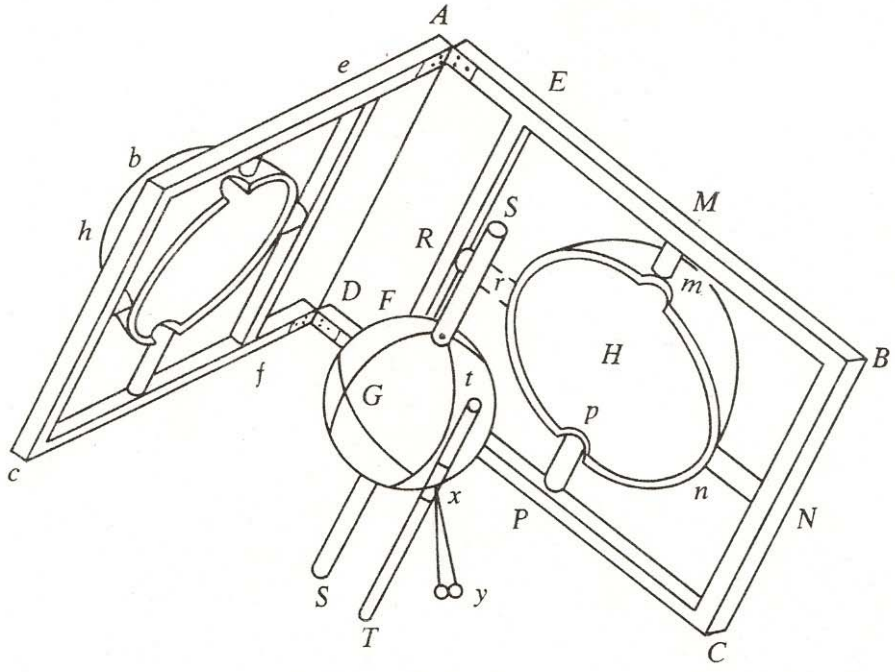
کره بقطر ۱۲/۱ اینچ روی یک میله شیشه نصب شده بود، توسط دونیمکره بقطر ۱۳/۳ اینچ احاطه شده وارتباط بین آنها توسط سیمی که از وسط یکی ازنیمکره ها عبورمیکرد برقرارشد. با یک نخ ابریشمی که به انتهای سیم بسته شده بود، درصورت تمایل ارتباط دوکره قطع یاوصل میشد. کاوندیش کره خارجی را شارژ ، سیم ارتباط راقطع ودونیمکره خارجی را ازهم جدا کرد. باتماس با یک الکترومتر ،متشکل از دوکره چوب پنبه ای آویخته شده با نخ نقره ای بارکره داخلی را اندازه میگرفت. نتایج آزمایش اورا راضی نمیکرد واوبه تکمیل دستگاه پرداخت . درمورد دستگاه میگوند :"برای سهولت کار دستگاهی مطابق شکل ساختم وچون میخواستم آزمایش بسیار دقیق باشد، دستگاه بیشتر از حد نیاز پیچیده شده است. ABCDEF وAbcDef ، دوقاب چوبی بااندازه وشکل یکسان هستند که دولولای A وD که قابها بتوانند حول محور AD گردش کنند بهم متصلند. Hیکی از نیمکره هااست که باچهار میله شیشه ای به قاب نصب شده است. بهمین ترتیب h نیمکره دیگر به قاب مقابل متصل شده است. G گوی داخلی است که با میله شیشه ایSs آویخته میشود. پایه ای که Ss ولولاهای A و D رانگهمیدارد بخاطر اینکه شکل شلوغ نشود نشانداده نشده است.

Ttیک میله شیشه ای است که یک ورقه نازک حلبی درنقطه دور آن پیچیده شده ، جائیکه با گوی داخلی میتواند اتصال پیدا کند وتوپهای چوب پنبه ای از آن قسمت آویخته شده اند"."دستگاه طوری است که بااستفاده از چندین نخ ،سیم اتصال بین دوگوی قطع شده وهمزمان دونیمکره از هم جدا میشوند وفورا الکترومتر بکره داخلی تماس داده میشود. هم چنین الکتریسیته نیمکره ها وسیم اتصال نیز فوری تخلیه میشود که اثری روی اندازه گیری نداشته باشد". اوچنین مشاهده میکند:"

درآزمایشات مکرر هیچوقت کره ها از هم جدا نشدند که دلیل وجود الکتریسیته روی گوی فلزی داخلی باشد "و درمراحل بعدی او الکترومتر را بطور مثبت یامنفی شارژ وبه کره داخلی متصل کرد. درصورت وجود بار هم نام روی گوی داخلی باید فاصله توپها کمی تغییر کند ، درصورتیکه درهمه حالات دوتوپ روی هم می افتادند.پس ظرفیت بیشتر گوی ،بارالکترومتر رامیگرفت وبار گوی بمراتب کمتر از بار اندک کره های چوب پنبه ای بود. سپس او دقت اندازه گیری را مورد سئوال قرارداد. واضح بود که بار کره داخلی خیلی کمتر از آن بود که الکترومتر اوبتواند آنرا نشان بدهد. برای تعیین دقت حداقل بار قابل سنجش ، بکمک خازنهای استاندارد خود، باری برابر با ۱/۶۰ بارمعمولی آزمایش راروی کره داخلی تخلیه کرد . باتماس الکترومتر با کره حرکت خیلی جزئی از آن دیده شد.پس نتیجه گرفت که بارکره داخلی لااقل کمتر از ۱/۶۰ بار کره خارجی است، پس نمیتوان نتیجه گرفت که کره داخلی باردارشده است.



(a) *Cavendish's original sketch.*



(b) *Maxwell's drawing.*

قانون جاذبه ودافعه کاوندیش

توجه کاوندیش پس ازاین به تعیین قانون نیروی جاذبه ودافعه با فاصله جلب شد. بانتیجه گیری مشابه نیوتون درقانون نیروی ثقل ، او فرض کرد که بارها بطور یکنواخت روی سطح کره پخش میشوند و هر عنصر بار به تمام عناصر دیگر،مطابق قانون جمع اثر ها نیرو وارد میکند. سپس فرض کرد که قانون نیرو بافاصله بصورت عکس وباتوان ۲+۱/۵۰ باشد. وبعد باری را که باید روی کره داخلی وجود داشته باشد تانیروی خالص روی باری که دروسط سیم ارتباط دونیمکره قرار میگییرد صفر شود، حساب کرد. این مقدار ۱/۵۷ بار کره خارجی شد وچون ۱/۵۷ بزرگتر از ۱/۶۰ بود که او اندازه گیری کرده بود نتیجه گرفت که " قانون جاذبه و دافعه بشکل معکوس فاصله تا توان $2\mp\frac{1}{50}$ باشد، پس دلیلی وجود ندارد که متناسب با همان $\frac{1}{d^2}$نباشد".

وابستگی نیرو به میزان بار

کاوندیش سپس قانون وابستگی میزان باررا با نیرو مورد بررسی قرارداد. او دستگاهی مطابق شکل زیر ساخت."CD میله چوبی با پوششی از زرورق فلزی ،بطول ۴۳ اینچ وبحالت افقی است .درC و D دو الکترومتر آویخته شده که ارتباط آنها از ساقه گندم است ودر D این الکترومتر باقراردادن میله فلزی درساقه گندم سنگین ترشده است. دولیدن جار E وF باظرفیت تقریا مساوی وهرکدام بیش از صد برابر ظرفیت میله والکترومترها انتخاب شده اند.

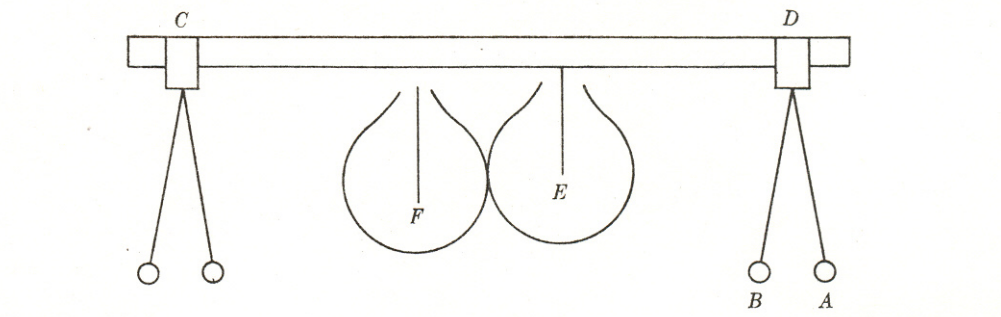


FIGURE 3.3 *Cavendish method for determining relation between force and charge intensity.*

پوشش خارجی هردو لیدن جار زمین شده وپوشش داخلی Eبطور دائمی به CD متصل میشد. اول سیستم شامل E وCD والکترومترها آنقدر شارژ میشد که فاصله A وB به مقدار قابل توجه برای اندازه کیری برسد . سپس لید ن جارF به سیستم متصل شده وبنابراین بار الکترومترها به نصف میرسید. ملاحظه میشد که فاصله الکترومترها در C برابر با فاصله قبلی الکترومترها در D ،با دوبرابر بار فعلی بود. باتوجه به اینکه وزن الکترومترD طوری بود که برای جداشدن به ۴ برابر نیروی الکترومترC نیاز داشت ، اومیتوانست نتیجه بگیرد که نیروی الکتریکی مستقیما متناسب با مقدار هر بار است.

نتایج این آزمایشات مهم تا یک قرن بعد از آن ، بعلت اینکه کاوندیش هم مانند رابیسون از انتشار یافته های خود خودداری میکرد،شناخته نشد تاآنکه کولمب بعدا آنرا تعیین کرد[۹].

میله برقگیر

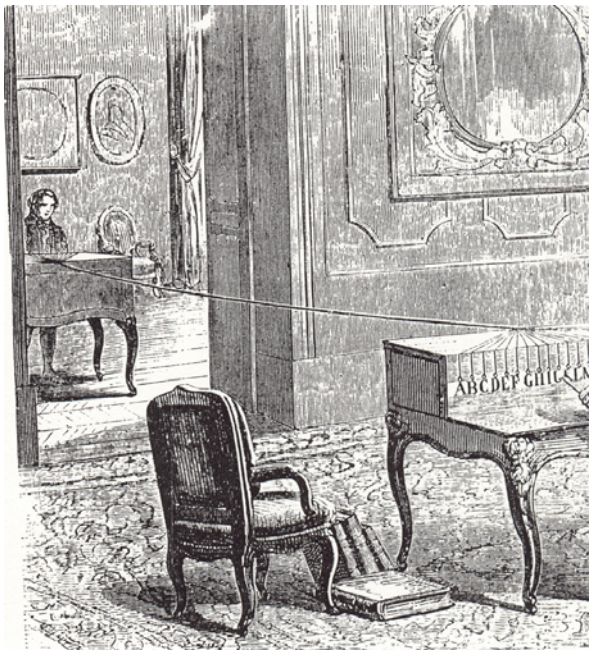
بنیامین ویلسون ، دراینکه میله های برقگیر باید بانوک تیز ویا نوک گرد ساخته شوند ، با فرانکلین اختلاف عقیده داشت. اومیگفت میله های نوک تیز باعث میشوند که برق را جذب کرده وعمل برق زدن حتما اتفاق بیافتد. او از طرف انجمن سلطنتی مامور شد که بر نصب هادیهای برقگیر روی ساختمان کلیسای "سن پال" ، نظارت کند. در ۱۷۷۳ کمیته ای از انجمن سلطنتی که اوهم عضو آن بود به این نتیجه رسید که از میله های نوک تیز دربالاترین تقطه ساختمانها استفاده کند وویلسون تنها مخالف اوبود وآشکارا اختلاف نظر خود را با انجمن سلطنتی ادامه داده وبا دانشمندانی مانند فرانکلین، کاوندیش و ***نایرن (Nairne)*** به مباحثه پرداخت[۸].

اتحاد الکتریسیته ومغناطیس

درهمان سال ۱۷۷۳ ، دالیبارد آزمایشی از فرانکلین را تکرارکرد.قبلا فرانکلین در گزارشی به کالینسون درمورد مغناطیس کردن سوزن ومعکوس کردن خصوصیت آنها با الکتریسیته توضیحاتی داده بود بدون اینکه ارتباطی بین الکتریسیته ومغناطیس تصورکند.دالیبارد اعلام کرد که موارد تشابه برای اثبات اتحاد الکتریسیته ومغناطیس را کشف کرده است.

تلگراف الکترواستاتیک

درسال ۱۷۷۴ برای اولین بار ،تلگراف الکترواستاتیک ، توسط **سیج *(G.L.Le Sage)*** از اهالی ژنو با بکاربردن ۲۴ سیم (که حروف j,I,u,v را یکی میگرفت) بنمایش گذارده شد[۱۰].



الکتروفور ولتا

درسال ۱۷۷۲، بکاریا درآخرین اثر خود در علم الکتریسیته ، ***(Elettricismo artificiale)*** ، مشکل ولی خلاصه ، بکمک اصول فرانکلین ،الکتریسیته واصول آتمسفرهارا اثبات کرد. دراین کتاب اوخیلی بیشتر از قبل نظر انحصاری خود را که در با هم قرار گرفتن یک عایق شارژ شده با یک هادی که بطور لحظه ای زمین شود، الکتریسیته های متضاد یکدیگر رااز بین میبرند ودر جداسازی مجدد بارها دوباره ظاهر میشوند ، را بیان کرد . سیگنا وبکاریا قبلا تاکید کرده بودند که یک عایق ویک صفحه فلزی که بطور مناسب قرار گرفته باشند میتوانند بدون سست شدن الکتریسیته ،جرقه های زیادی را ایجاد کنند. ولتا برای ساختن الکتروفور احتیاج به ترکیب مطلب بالا با بصیرت اینکه خصوصیت دوام الکتریسیته صمغ از شیشه بیشتر است ، داشت.

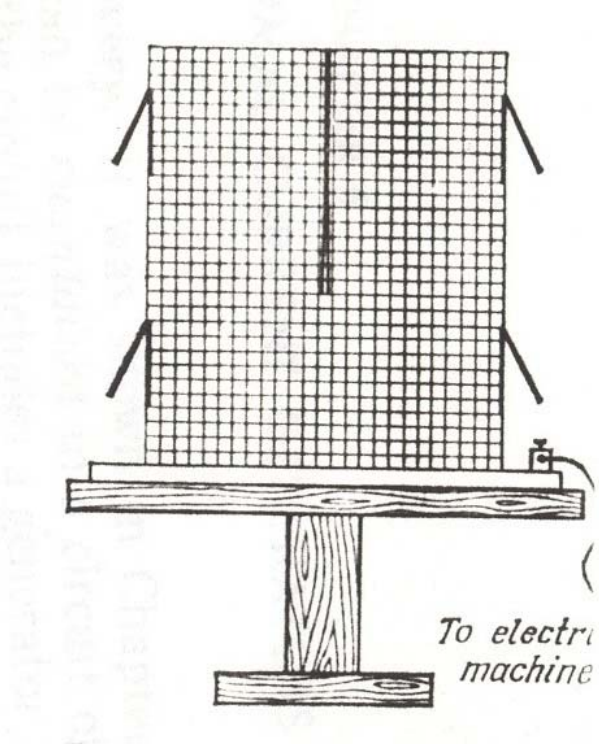
پس از تلاش زیاد، ولتا دریافت که عایقی متشکل از ۳ قسمت "تورپنتین***(Turpentine)*** " ودوقسمت صمغ ***(Resin)*** ویک قسمت موم ، الکتریسیته را بخوبی نگهمیدارد وجوابگوی نیاز اوست.

درژوئن ۱۷۷۵ ، ولتا درگزارشی به پریستلی ، اختراع "الکتروفور" را بااین خصوصیت که "یکبار بسهولت الکتریسیته دار شده وهرگز الکتریسیته خود رااز دست نمیدهد وبا تماسهای مکرر شدت علامت خود را بخوبی حفظ میکند" را اعلام کرد.

دستگاه از یک قالب عایق (که الکتریسیته رابخوبی نگهمیدارد) ویک سپرچوبی سبک پوشیده از ورق نازک فلزی بالبه های گرد (تا گوشه ها از بین برود) ومتصل بیک دسته عایق تشکیل شده بود. ابتدا عایق با مالش ، مثلا بطور منفی شارژ میشد وسپس سپر مزبور روی آن قرارمیگرفت وبطور لحظه ای زمین میشد. به این ترتیب ،سپر باروش القائی بطور مثبت شارژ شده بود. بعد سپر برداشته شده وبار آن به حلقه یک لیدن جار داده میشد. ومجددا سپر روی عایق از قبل شارژ شده قرار گرفته وعمل تا وقتی که خازن بطور متعادل شارژ شود، ادامه مییابد. بااین روش هرچند تا خازن یا الکتروفوردیگر را نیز میتوان شارژ کرد. درصورت کاهش یافتن الکتریسیته با مالش اهسته ویا استفاده از یک لیدن جار دیگر میتوان دوباره آنرا تقویت کرد. ولتا ، این آخرین خصوصیت ، عمر ابدی الکتروفور را مهم وپیروزی خود بر بکاریا میدانست.بکاریا با آشفتگی اعلام کرد که دوام بار روی الکتروفور چیزی را ثابت نمی کند واو و سیگنا قبلا ساخت آنرا توضیح داده اند. دراین میان مدعیان دیگری از جمله گری ،اپینوس،ویلکه و جسوتیس از پکن نیز وجود داشتند. ولتا با روش خوب ومعمولش ، ضمن اعتراف به نقش سیگنا، مصرا خود را طراح اصلی دستگاه میدانست ودراین مورد حق با او بود زیرا ویلکه که تئوری را از آن خود میدانست ، آن را بصورت دستگاه طرح شده ولتا مجسم نکرده بود.

الکتروفور نه تنها مفهوم الکتریستیه قبول شده را از بین برد بلکه آخرین آثار اتمسفر الکتریکی را نیز نابود کرد. تنها تئوری های موفق دستگاه را ***اینگن هوس(Ingen Housz)*** وویلکه بیان میکردند ،که اثر از راه دور سیالهای الکتریکی محدود بین سطوح هادیها را بکار میبرد. اکنون بررسیهای فراموش شده اپینوس دوباره مورد توجه قرار میگرفت. کتاب اپینوس درسالهای ۱۷۷۰ ، خیلی دیرتر از آنکه بتواند برای هدایت اختراعش مورد استفاده قرار گیرد، بدست ولتا رسید ولی بهر حال برای تجدید نظر در مفهوم آتمسفر الکتریکی موقع مناسبی بود[۸]. او همچنین یک الکترومتر متشکل از دوکاه خشک که در اثر الکتریسیته از هم جدا میشدند ساخت[۱].درهمان سال ۱۷۷۵ ، بکاریا مقاله ای درمورد الکتریسیته اتمسفر در هوای ملایم نوشت[۸].

ودرهمین اوقات حادثه ای از قول فرانکلین نقل میشود. اویک لیدن جار ۶ گالنی را از بازو به بازو لمس کرد. میگوید : "سوزش عمومی از سر تاپا درتمام بدنم احساس کردم وبه دنبالش تا چند ثانیه ارتعاش شدیدی پیدا شد. چند دقیقه طول کشید تا بتوانم تمرکز پیدا کنم وبفهمم که چه اتفاقی افتاده است. بازوان وگردنم تاعصر آن روز کرخت بودند



واستخوانهای سینه ام تا یکهفته درد میکرد وکوفته بود. نمیدانم اگر این شوک به سرم وارد آمده بود چه اتفاقی میافتاد. درآزمایشات بعدی ،او ۶ مرد را در حالیکه دست عقبی روی سر جلوئی بود بااتصال لیدن جار بزمین افکند. وقتی آنها ازجا برخاستند تعجب میکردند که بدون اینکه به آنها ضربه زده شده باشد بزمین افتاده اند[۱۲].

ترازوی پیچشی کولمب

درسال ۱۷۷۷ ، چارلز ***اگوستین کولمب (C.A.Coulomb)*** (۱۸۰۶-۱۷۳۶م) فیزیکدان فرانسوی گزارش مهمی در مورد اندازه گیری ***پیچش (Torsion)*** ارائه داد. او تئوری پیچش در نخهای ابریشمی و موئی را بیان کرد ونشان داد که چگونه میتوان نیروهای بسیار اندک را اندازه گیری کرد.اوتوانست نشان دهد که درحدود معینی از زاویه پیچش ، نوسانات پیچشی از حرکات ساده هارمونیکی تشکیل شده است . او اثر پارامترهائی مانند طول ،قطر، خصوصیات الاستیک نخ پیچشی را روی زاویه پیچش بررسی کرد ونشان داد که در نوسانات ساده ، نیروی پیچش متناسب با زاویه چرخش است. او از این اصل در اندازه گیری نیروهای اندک مغناطیسی وهم چنین سایر نیروها مثل مایعات در حرکت ، استفاده کرد.بااین وسیله اومیتوانست نیروهائی کمتر از 9×10^{-4} دین را اندازه بگیرد[۸].

ظرفیت وتانسیون

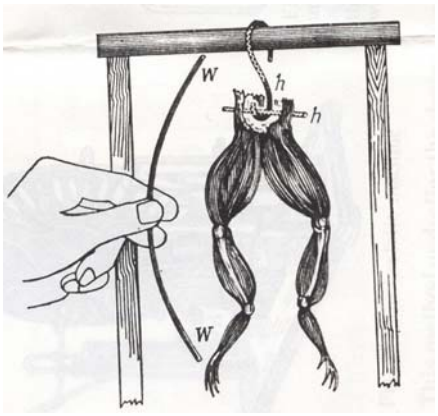
درسال ۱۷۷۸ ،ولتا درنامه ای به دوستش ***ساسور (Saussure)*** به بررسی ظرفیت الکتریکی پرداخت. مفاهیم مقدار ماکروسکپیک ظرفیت وتانسیون ، قبلا توسط کاوندیش نیزبیان شده بود. ولتا دریافت که ظرفیت C یک هادی وتانسیون T بار Q آن ، بافاصله گرفتن از سایر هادیها تغییر میکند. مثلا وقتی سپر شارژ شده از عایق الکتروفور دورمیشود، نخهای الکترومتر متصل به آن از هم باز میشوند که بمعنی ازدیاد تانسیون بار آن است: چون مقدار بار تغییر

نکرده ، پس تانسیون افزایش مییابد زیرا گنجایش سپر کمتر شده وهمین طور که از الکتریسیته مخالف عایق دور میشود، قدرت نگهداری بار بطور طبیعی قابل گسترش آن ،کمتر میشود.

عمل عکس با دو هادی با بار مشابه اتفاق میافتد، باازدیاد فاصله ،ظرفیت هرکدام بیشتر شده وتانسیون کمتر میشود. ولتا نتیجه گرفت که آتمسفر، عناصر مختلف یک هادی ممکن است از یکدیگر جلوگیری کنند وبرای یک سطح مشخص، هرچه هادی بلند تر باشد ظرفیت بیشتر است. شاید همان طورکه کاوندیش پیشنهاد کرده بود ظرفیت یک هادی تنها ، میتوانست تاظرفیت یک لیدن جار افزایش یابد. درتوضیح بالا ،منظور ولتا از آتمسفر ، دیگر آن مفهوم قدیمی پوش سیال الکتریکی نبود، بلکه فقط حوزه عمل بود[۸].

نظریه گالوانی

درسال ۱۷۸۰ ***گالوانی(Y.E.Galvani)*** ، استاد تشریح پزشکی در ایتالیا یک پدیده مهم الکتریکی را کشف کرد.اوقبلا در ۱۷۴۴ به کتاب الکتریسیته فرانکلین وبخصوص اثر لیدن جار علاقه پیدا کرده بود. اوملاحظه کرد که پای قورباغه تشریح شده دراتصال به یک لیدن جار ،بشدت دچار ارتعاش میشود[۳]. اوهمچنین ملاحظه کرد که وقتی سیمی به پای قورباغه متصل است دراثر برق آسمان ،پای قورباغه لرزش پیدا میکند. گالوانی این آثار را نمیتوانست توجیه کند. درحالیکه با دستیارانش مشغول این آزمایشات بودند، ملاحظه کردند وقتی پای قورباغه تازه از یک حلقه مسی آویزان ویک سیم آهنی به بدن قورباغه وصل است ، بااتصال سیم آهنی به حلقه مسی بازهم پای قورباغه مرتعش میشود[۲و۶و۳و۹].



کولمب فیزیکدان فرانسوی که در زمینه های الکتریسیته ،مغناطیس ، مکانیک، اصطکاک وپیچش کار میکرد. در ۱۷۵۷ عضو انجمن علمی مونپلیه شد. در ۱۷۶۱ از ***(Ecole du Genie)*** در ***Mezieres*** فارغ التحصیل شد. از ۱۷۶۴ تا ۱۷۷۲ به مارتینیک (بعنوان مهندس ارتش فرانسه) رفت که بعلت بیمار به پاریس مراجعت کرد[۲و۸].در ۱۷۷۴ بعضویت آکادمی علوم پاریس در آمد. سپس شروع به مطاله قطب تمای مغناطیسی کرد که منجر به دریافت جایزه در ۱۷۷۸ شد. این مطالعات اساس کارهای اورا در مورد مطالعه کمی مغناطیس ، پیچش وترازوی پیچشی ،اصطکاک ومقاومت مایعات وتئوریهای الکتریسته ومغناطیس تشکیل میداد. در ۱۷۸۱ ازدواج کرد. در ۱۸۰۱ بعنوان رئیس انستیتو دوفرانس برگزیده شد که در آنجا بااشخاصی مثل لاپلاس کارمیکرد. انقلاب در ۱۷۸۹ اثر زیادی روی کارهای اونگذاشت[۸].

کاربرد ترازوی پیچشی کولمب

در۱۷۸۴، کولمب ،بدنبال مطالعات قبلی خودش درمورد نیروی پیچش ،دستگاهی بنام ***ترازوی پیچشی(Torsion balance)*** اختراع کرد. که درزمینه های مختلف فیزیک بکاررفت. اوبکمک این دستگاه تئوری اثر متقابل مولکولی درمایعات وجامدات را بیان کرد. او بطورتجربی ونظری دریافت که گشتاور سیلندرهای نازک از رابطه $M = \mu BD^4 / L$ ، که μ ضریب سختی، B زاویه چرخش، Dقطر و L طول سیلندر است ،بدست میاید.(در۱۷۷۷اورابطه بالا رابطورت D^3 بیان کرده بود که دراین سال تصحیح کرد)[۸].

تعیین قانون نیروی دافعه کولمب

درسال ۱۷۸۵ اوقانون دافعه بارهای الکتریکی را بااستفاده از ترازوی پیچش خود بیان کرد. اودستگاه رااینطور شرح میدهد:" روی یک سیلندر شیشه ای ABCD یک صفحه شیشه ای قرارمیگیردکه کاملا سیلندر را می پوشاند. روی این شیشه ۲ سوراخ ایجادشده ، یکی درمرکز ، f که بالای آن یک لوله شیشه ای قراردارد وبه آن متصل شده است.

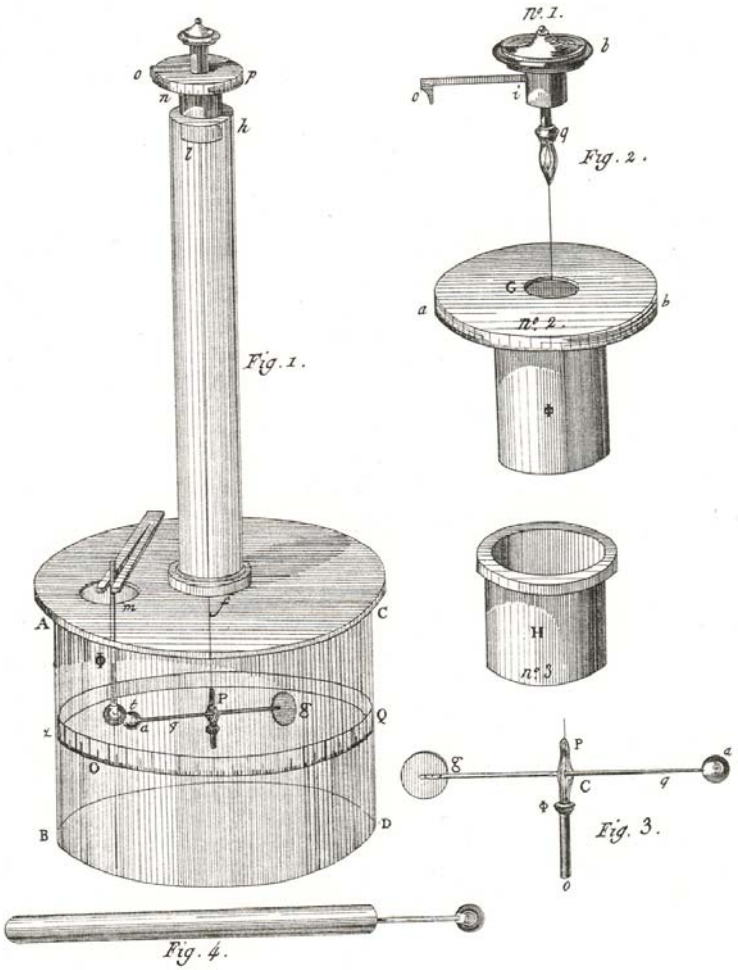


FIGURE 3.4 *Coulomb's apparatus.*

دربالای این لوله ، h ، یک میکرومتر پیچشی قرارگرفته که جزئیات آن درشکل نشان داده شده است. قسمت فوقانی ،شماره ۱ از سه قسمت تراشیده شده b ونشان دهنده io وزائده q تشکیل شده است.این قسمت درداخل سوراخ

Gقطعه شماره 2 قرارمیگیرد.قطعه2 شامل یک دایره مدرج ۳۶۰ قسمتی ویک لوله مسی ϕ که در لوله H ،قطعه ۳، قرارمیگیرد. قطعه 3 خودش درقسمت بالای لوله شیشه ای fh شکل 1 سوار میشود. یک سیم بسیار نازک نقره ای به زائده q گیر داده میشود. در انتهای دیگر این سیم یک حلقه مسی یا آهنی بایک دنباله PO نصب شده است . این حلقه با قطعه ϕO بسته میشود. میله ag از وسط حلقه نقطه C عبور داده میشود . وزن این میله ومتعلقات باید طوری باشد که سیم نقره ای پاره نشود. میله ag بطور افقی قرار گرفته ودر وسط استوانه شیشه ای واقع میشود. جنس میله از ساقه کاه ویااز نخ ابریشم خوابانده در موم وaq برابر با ۱۸ خط است(خط برابر ۱:۱۲ اینچ است). درقسمت a یک توپ چوب پنبه ای کوچک و در انتهای دیگر میله یک وزنه مقوائی برای تعادل وکم کردن نوسانات نصب شده است. درسوراخ دیگرm درصفحه AC یک میله mϕt قراردارد که t یک توپ چوب پنبه ای است. روی محیط استوانه شیشه ای ودر ارتفاعی که سوزن قرارگرفته ، دایره QZ به ۳۶۰ درجه تقسیم شده است".

سپس کولمب درمورد آماده کردن دستگاه توضیح میدهد که چگونه میکرومتر را تنظیم میکنیم که دوتوپ چوب پنبه ای فقط بهم تماس داشته باشند.''بعد یک هادی کوچک راکه به یک دسته عایق متصل شده الکتریسیته دار کرده واز سوراخ m وارد استوانه شیشه ای نموده وآنرا به کره t که درحال تماس آزاد با کرهa است تماس میدهیم. دو کره چوب پنبه ای دارای الکتریسیته همنام شده ویکدیگر را دفع میکنند بطوری که روی دایره ZOQ انحراف میله ag مشخص میشود. با گرداندن نشان دهنده در جهت pno ، سیستم lp را چرخانده ونیروئی متناسب با زاویه پیچش ایجاد میکنیم. این باعث میشود که توپ ها بهم نزدیکتر شوند.

بامقایسه فاصله ها ونیروهای پیچشی مربوطه میتوان قانون دافعه را برحسب فاصله تعیین کرد. من دراینجا بعضی از اندازه گیری های انجام شده را ذکر میکنم.

بعد او اشاره میکند که وقتی فاصله دوتوپ ۳۶ درجه بود ، یک ممان پیچشی ۳۶ درجه روی سیم ایجاد میکرد.بعد او میکرومتر را به ۱۲۶ درجه میچرخاند که باعث میشود فاصله توپها ۱۸ درجه شود. باچرخش ۵۶۷ درجه ای برای میکرومتر ،فاصله توپها به ۸,۵ درجه میرسد. چون نیروی پیچش متناسب با زاویه چرخش است ، این اطلاعات در جدول زیر آمده است.

TABLE 3.1

COULOMB'S EXPERIMENTAL DATA FOR THE LAW OF REPULSION

Angular separation of the two pith balls, deg	*Angular measure of the force of torsion*, deg
36	36
18	144
$8\frac{1}{2}$	$575\frac{1}{2}$

مقادیر پیچش درستون دوم ترکیبی از گردش میکرومتر وجابجائی زاویه ای کره هستند. فاصله بین دوکره متناسب با سینوس نصف زاویه بین آنها است ولی چون این زوایا کوچک هستند،میتوان گفت که دراین آزمایش ،فاصله متناسب با زاویه بین آنها است.ازاولین ستون نتیجه میشود که نسبت زاویه ها ۴:۲:۱ است که این معادل نیروی بین توپها است. پس نیتجه میشود که بانصف شدن فاصله، نیرو ۴ برابر شده وبا ۱/۴ برابر شدن فاصله نیرو ۱۶ برابر میشود. پس نیرو متناسب با عکس مجذور فاصله تغییر کرده است.

کولمب در اندازه گیری نیروی جذب با این دستگاه دچار اشکال میشود زیرا کره ها ناگهان بهم میچسبند واندازه گیری را دچار اختلال میکنند[۹].

تعیین قانون جاذبه الکترواستاتیک

درسال ۱۷۸۷ ، کولمب آزمایشاتش را برای تعیین قانون نیروی جاذبه گسترش داد. اوبرای آن کار از نوسانات پاندولی استفاده کرد. اویک دی الکتریک سوزنی را با نخ ابریشمی بطور افقی آویزان ودر یک آنتهای آن یک پولکl وانتهای دیگر وزنه تعادل g را متصل کرد. نزدیک آن یک گوی G قرار داشت و"ماگوی راطوری تنظیم میکنیم که قطر افقی آن Gr روبروی مرکز پولک l وچند اینچ دورتر از آن قرار گیرد. بعد گوی را بکمک یک لیدن جار ، الکتریسیته دار کرده وصفحه پولک l را زمین میکنیم. پس باری مخالف گوی روی پولک ظاهر وپس از حذف هادی زمین کننده از پولک ، گوی وپولک بهم نیروی جاذبه وارد میکنند".

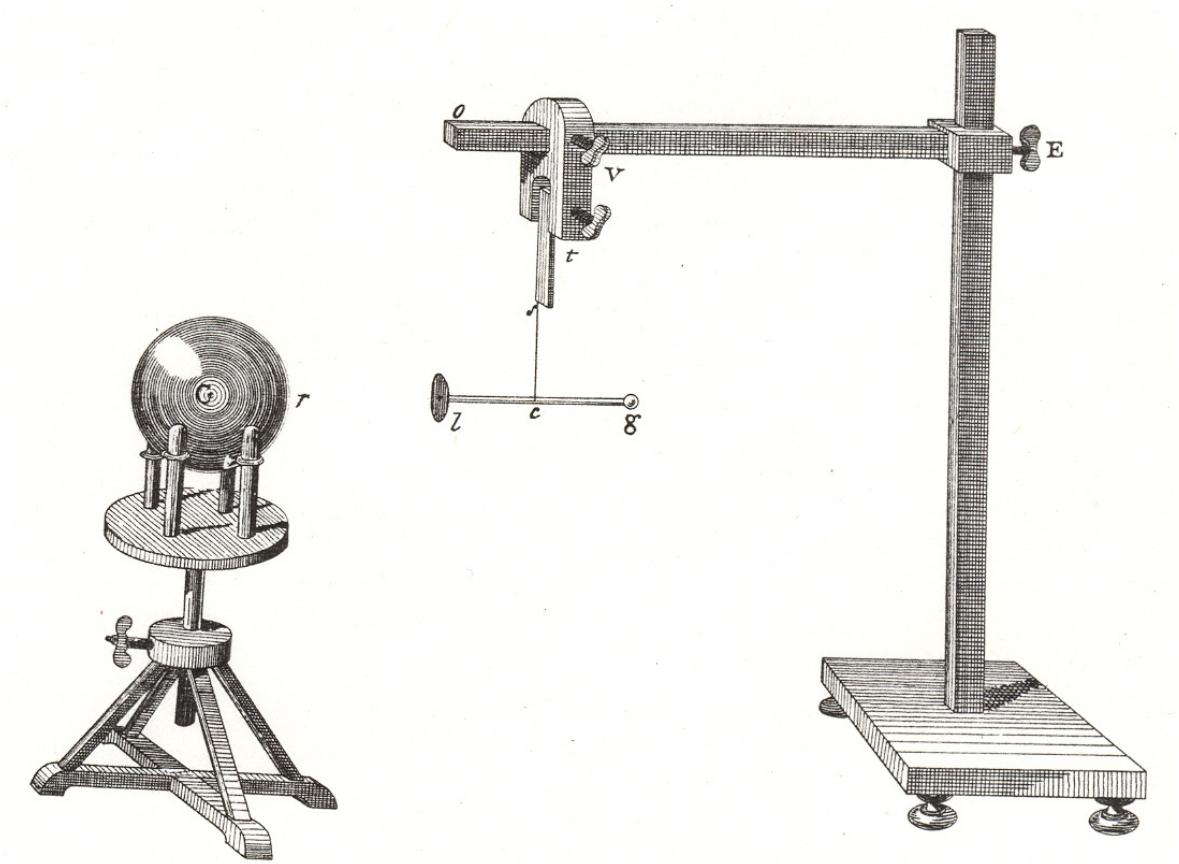


FIGURE 3.5 *Coulomb's apparatus for unlike charges.*

کولمب فاصله d (از C وسط میله lg تا G مرکز گوی) راتغییر میدهد ومیله را بنوسان در آورده وزمان تعداد مشخصی از نوسانات را اندازه گیری میکند. جدول زیر نتیجه شده است.

TABLE 3.2

COULOMB'S EXPERIMENTAL DATA FOR THE LAW OF ATTRACTI

d, in.	*No. of oscillations*	*Elapsed time*, sec.
9	15	20
18	15	41
24	15	60

برای تحلیل اطلاعات، او احتیاج به تعیین رابطه بین زمان نوسانات وخصوصیات دستگاه دارد. اواین رابطه را برای حالتیکه نیرو باعکس مجذور فاصله متناسب باشد بصورت

$$\tau = 2\pi d\sqrt{\frac{I}{Kr}}$$

(که درآن τ پریود نوسانات ، I ممان اینرسی سوزن ، K مقدار ثابت ، r فاصله پولک از وسط سوزن است) بدست آورد. پس اگر نیروی جاذبه متناسب با عکس مجذور فاصله باشد، پریود نوسانات متناسب با d است. یعنی باید نسبت پریود نوسانات ۵۴:۴۰:۲۰ باشد که جدول نتیجه آزمایش آنرا ۶۰:۴۱:۲۰ نشان میدهد.

سپس کولمب برای تصحیح خطای آزمایش ، اندازه گیری هائی روی میزان تلف بار الکتریکی کرد.اومیزان افت بارا برای ۴ دقیقه اندازه گیری کردوبه این نتیجه رسید که در هر دقیقه ۱/۴۰ بار تلف میشود.بااین ملاحظات خطای محاسبه وآزمایش پس از چند بار تکرار به کمتر از ۵ درصد رسید. به این ترتیب اونتیجه میگیرد که جذب هم از قانون عکس مجذور فاصله پیروی میکند[۹].

بااستفاده از یک سوزن مغناطیسی ، اوتوانست با همین روشها قانون حاذبه مغناطیسی را نیز(متناسب با عکس مجذور فاصله) تعیین کند.فرضیات او در این آزمایش اولا تمرکز نیروها ی الکتریکی ومغناطیسی در یک نقطه وثانیا خط عمل نیرو در امتداد محور متصل کننده دونقطه تمرکز بود[۸]. به این ترتیب قانون نیروی الکترواستاتیک بیش از یک قرن بعد از قانون جاذبه تعیین شد. علت این تاخیر همه گیر بودن آثار مکانیکی وبالعکس محدود بودن الکتریسیته بود. الکتریسیته فقط برای معدودی از اجسام پدید میامد وزود هم از دست میرفت درصورتیکه حرکات مکانیکی کرات آسمانی همیشگی بود[۱۳].

وابستگی نیرو به میزان بار

کولمب همچنین چگونگی اثر "مقدار"بار الکتریکی راروی نیروی الکتریکی تعیین کرد. برای اینکار او کره چوب پنبه ای t را با یک حلقه آهنی کوچک جانشین کرد. سپس کره چوب پنبه ای a وحلقه آهنی را با نوک یک سنجاق بطور همزمان الکتریسیته دار کرد. نیروی دافعه، سوزن را از حلقه آهنی جداکرد.وقتی دوباره آنرا برگردانده ودرفاصله ۳۰ درجه ای قرار داد،عقربه نشان دهنده روی ۱۱۰ درجه قرار میگرفت.پس نیروی دافعه متناسب با ۱۴۰ درجه بود. سپس او حلقه آهنی را با حلقه ای مشابه وهم جنس تماس داد. سوزن فورا به حلقه رسید وبرای برگرداندن آن به همان فاصله ۳۰ درجه لازم بود که عقربه نشان دهنده به اندازه ۴۰ درجه چرخانده شود. بنابراین نیروی جاذبه به اندازه ۷۰=۳۰+۴۰ درجه کم شده بود. این مقدار نصف ۱۴۰ درجه بود که قبلا اندازه گیری شده بود. بافرض اینکه باتماس دوحلقه آهنی بار نصف میشود، کولمب نتیجه گرفت که نیروی الکتریکی بطور خطی متناسب با باررروی جسم است.

کشفیات کولمب اولین پایه های تعیین عبارت ریاضی برای نیروی الکتریکی را تشکیل داد. گرچه روش او، دقت روش ارائه شده توسط کاوندیش رانداشت، لیکن مستقیم ، کمی وسهل الوصول بود. جهان علم درآن روز بزودی نتایج کولمب را پذیرفت وبزودی چاپ وتوزیع شد[۹].

درسال ۱۷۸۹ او با آزمایش افت در اثر" نشد" بار الکتریکی ،توزیع بار روی هادی را تعیین کرد. او افت بار را متناسب با مقدار بار دانست:

$$-\frac{d\delta}{\delta} = mdt$$

که δ مقدار بار ، $-d\delta$ افت بار ، td عنصر زمان و m ثابت وابسته به رطوبت وسایر عوامل است.کولمب"نشد" بار را از راه اتصال مستقیم درسطح مولکولی بروش اشتراک بار، یا با مولکولهای هوای مجاور ویا در طول فاصله (idio electrique) که او فکر میکرد در دور هر مولکول در دی الکتریک وجود دارد، میدانست.این آزمایشات اورا به این نظریه معتقد کرد که در الکتریسیته اجسام به دو نوع هستند: هادی های کامل ودی الکتریک ها.هدایت به دوطریق میتواند انجام شود، یا توسط هادیهای کامل مثل فلزات ، گازها ومایعات. ویا ازراه تخلیه الکتریکی عایقها. او معتقد بود که در طبیعت احتمالا عایق کامل یافت نمیشود وهمه اجسام دارای حدی هستند که بالاتر از آن نمیتوانند در مقابل عبور الکتریسیته مقاومت کنند. درهادیهای کامل الکتریسیته میتواند آزادانه از روی سطح آنها عبور کند.درعایقها هدایت با طبیعت عایق ، مورد مقاومت قرارمیگیرد، اما اگر مولکولهای هادی درداخل عایق غیر کامل باشد، ویاروی سطح آن پخش شده باشد، دراینصورت الکتریسیته میتواند روی دی الکتریک جاری شود، بشرطی که شدت الکتریسیته برای غلبه برنیروی مقابله کننده هر فاصله(idio electrique) درداخل دی الکتریک کافی باشد[۸].

بعد کولمب نشان داد که توزیع بار به میل ترکیبی شیمیائی بستگی نداشته بلکه بطور مستقل به دفع متقابل بارهای همنام وشکل هندسی و وضعیت قرارگرفتن اجسام مربوط است و اینکه توزیع بار استاتیک به سطح هادیها(ونه داخل آنها) محدود شده ومستقل از جنس وشکل این اجسام است. اومعتقد بود که درعایقها بار میتواند داخل و یا روی آن قرار گیرد وسعی کرد آنرا آزمایش کند ولی هرگز عملی نشد.

اودرسال ۱۷۹۰ آزمایشاتی برای تعیین توزیع بار بین هادیهای با اندازه وشکل مختلف درحال جدائی ویا اتصال انجام داد واز آنها در نظراتش برای تعیین چگالی بار درهرنقطه از جسم شارژ شده استفاده کرد.او بااین اندازه گیریها ،

باموفقیت نسبی ، سعی کرد که برای نتایج کار خود، با روابط تقریبی پایه های تحلیلی بیان کند . این کارها بعدا مورد استفاده ***پواسن*** دربیان تئوری جالب الکترومغناطیس درسال ۱۸۱۱ قرارگرفت.

نظریه پلاریزاسیون مولکولی کولمب در مغناطیس

درهفتمین وآخرین مقاله اش در ۱۷۹۱، کولمب سعی کرد که ممان مغناطیسی سوزنهای مغناطیسی وهمچنین شدت مغناطیسی در هر نقطه را بصورت تابعی از پارامترهای ابعاد آنها بدست آورد. دراین مقاله ، اوهمچنین تئوری مغناطیس کامل خود را ارائه کرد. درسال ۱۷۷۷ درمورد عقربه های مغناطیسی، کولمب از تئوری یک سیالی اپینوس در تئوری مغناطیس جانبداری کرد.گر چه او سیستمهای یک سیاله ودوسیاله را ازنظر ریاضی یکی میدانست، لیکن باتوجه به حقایق تجربی، وجود سیال مازاد دریک قطب وکمبود آن درقطب دیگر برای اوقابل تامل بود. اومیدانست که سیال مغناطیسی نمیتواند از یک آهنربا به دیگری منتقل شود. اوهمچنین بعدا کشف کرد که دسته هائی از سیمهای مغناطیس شده میتوانند مغناطیسی قویتر ازیک میله یکپارچه هم وزن آنها ایجاد کنند. این واقعیت که باشکستن آهنربا، آهنرباهای کوچکتری بوجود میاید ، باعث شد که اوتئوری ماکروسکپیک سیالی را رد کرده واین نظریه را که " هر ذره مغناطیس شده درحقیقت یک مولکول پلاریزه شده است" را بیان کند[۸]. بنظر او ، دوسیال مغناطیسی به مقدار مساوی در مولکولهای اجسام معناطیسی ،بدون امکان جابجائی سیال از یک مولکول به مولکول دیگر، حبس شده است.درحالت غیر مغناطیس بودن ، هر مولکول جسم ، هر دوسیال خود را بطور یکنواخت پخش میکند وحالت مغناطیسی موقعی اتفاق می افتد که سیالهای دوگانه در دو انتهای هر مولکول قرار میگیرند[۹].

مدل پلاریزاسیون مولکولی کولمب، تابع هردو مکتب یک سیالی ودوسیالی بود ، گرچه او شخصا مدل دوسیالی راترجیح میداد. مدل مولکولی مورد توجه " بیو" ،"پواسن" و"آمپر"بود. گرچه آمپر ایده پلاریزاسیون مغناطیسی را تغییر داده وپیشنهاد کرد که مغناطیس متشکل از جریان الکتریکی مولکولی گذرنده در جهت عمود بر محور مولکول است.

دوسال بعد از این مقاله کولمب ، آکادمی علوم منحل شد. پس از انقلاب فرانسه ،مطالعات اوروی خصوصیات مغناطیسی ماده بعنوان تابعی از پیشینه الاستیک وحرارتی آنها وهمچنین روی گسترش خصوصیت مغناطیسی تمام مواد بود[۸].

نظریه الکتریسیته حیوانی گالوانی

درسال ۷۹۱۱، گالوانی ، پس از تجربیات زیاد تئوری "الکتریستیه حیوانی" خود را طی مقاله ای باعنوان اثر الکتریسیته روی حرکت ماهیچه ، اعلام کرد. او ارتعاش بدن قورباغه در اثر اتصال دوسیم غیر هم جنس که به آن متصل شده باشد را اثر الکتریستیه داخل بدن حیوان، وسیستم مذکور را مانند یک لیدن جار دانست. او یک نسخه از مقاله خود را برای ولتا همکار ورقیب خود فرستاد[۲و۶].

ولتا وقتی نوشته های ***گالوانی*** را دید آنرا ***باورنکردنی و افسانه ای*** خواند. اوپزشکان رافاقد اطلاعاتی کافی در مورد الکتریسیته میدانست والکتریسیته حیوانی را فقط در ماهی الکتریکی قبول داشت .

مقدمه اختراع پیل ولتا

تاسال ۱۷۹۲ ، ولتا وهمکارانش باامید کمی به موفقیت آزمایشاتی در این مورد انجام میدادند. تاآوریل آن سال او قدم بقدم به اختراع " پیل" نزدیک شد. اولین کار او تعیین حداقل الکتریسیته لازم برای جهش پای قورباغه ، حساسترین الکترومتر آنزمان ، بود. این الکترومتر تاحدود ۵/۱۰۰ درجه الکترومتر کاهی ولتا حساسیت داشت. او بااتصال دوسیم فلزی غیرهمجنس به پشت وپای قورباغه زنده در آن تشنجاتی ایجاد کرد. او به این فکر رسید که یک الکتریسیته

حیوانی ضعیف، بطور دائم در بدن قورباغه معمولی گردش میکند و مدارات فرعی با بهم زدن این گردش طبیعی ایجاد تشنج میکنند.

درهمین زمان بود که او اعلام کرد که الکتریسیته در اثر اتصال دوفلز غیر همجنس ایجاد شده ومربوط به حیوان نیست.قبلا اواین موضوع را برای عایقها بیان کرده بود. اونشان داد که وجود ماهیچه درمدار لازم نیست والکتریسیته باعث تحریک اعصاب شده وعصب ماهیچه را بحرکت در می آورد وجائی برای تصور این سیستم بعنوان لیدن جار نیست. درآزمایشی ،ولتاسرهای دو قاشق نقره ای وآهنی را زیر وروی زبان خود گذاشت وطعم نامطلوبی را احساس کرد.سالها پیش سولزر(J.G.Sulzer) اینکار را انجام داده بود ولی متوجه ارتباط آن با الکتریسیته نشده بود. ولتا آزمایش مذکور را بدون اطلاع از کار سولزر کرده بود.

الکتریسیته اتصالی فلز وناخالصی ها

پس از آزمایشات بسیار ،ولتا در سال ۱۷۹۳ اعلام کرد که الکتریسیته در اثر قدرت حیوانی بوجود نمیاید بلکه در اثر اتصال بین فلز وناخالصی های غیر قابل مشاهده در آنست ودرنامه سرگشاده ای به پسر عمو و مدافع گالوانی، "آلدینی"، ابطال تئوری حیوانی گالوانی را بیان کرد.

درحالیکه گالوانیست ها برای تهیه جواب می اندیشیدند، ولتا فلزات را بر اساس ***قدرت الکتروموتوری*** (اصطلاحی که خودش بکار برده بود) طبقه بندی کرده وسعی کرد محل وجود نیروی الکتروموتوری را تعیین کند. اودریافت که پدیده بیشتر دراثر اتصال فلزات با یک هادی مرطوب واسط است. این فرضیه در همان سال ۱۷۹۳ با آزمایشی تقویت شد. او دیدکه در اتصال زنجیره ای "دوفلز" ها بیکدیگر فقط فلزهای در دو انتها موثر هستند که با هادی مرطوب تماس پیدا میکنند وضمنا با اتصال یکی از فلزات با هادی مرطوب اتفاقی نمی افتد.

وجود الکتریسیته بدون حضور فلز

درسال ۱۷۹۴، ولتا درصدد جواب به ضد حمله طرفداران گالوانی که معتقد بودند"چگونه ممکن است یک شیلینگ قدرت پرتاب پای اسبی را داشته باشد" بود . دلیل بااهمیتی که آنها ارائه میکردند ،ایجاد تشنج درپای قورباغه تازه بود درحالیکه اتصال توسط خود آزمایش کننده وبدون کاربر حلقه فلزی انجام شده بود. والی(E.Valli) همکار گالوانی این کاررا انجام داده بود. بااینکه بسیاری تصور کردند که همانطور که والی گزارش کرده است ،چنانجه عضلات با خون یا بزاق دهان مرطوب شوند، آزمایش خیلی بهتر جواب میدهد.

درگزارشات خود در سالهای ۱۷۹۵و۱۷۹۶ به ***بانک*** اعلام کرد که یکرشته از هادیهای مرطوب غیر مشابه ، میتواند بدون حضور فلزات ، جریان الکتریکی با نیروی اتصال ایجاد کند.

تعیین نیروی الکتروموتوری فلزات

درسال ۱۷۹۶ ،ولتا شروع به تعیین میزان نیروی الکتروموتوری برای ترکیبهای مختلف فلزات نوع اول(هادیها) ونوع دوم(هادیهای مرطوب) کرد. او اثبات کرد که نیروی الکتروموتوری فقط در اثر اتصال فلزات غیر مشابه به وجود آمده وبفکر تهیه قدرت زیاد با ترکیب این الکتروموتورها بود.

اختراع پیل ولتا

در۱۷۹۷ او باقراردادن دیسکهائی از فلزات معمولی ومرطوب بشکل (AZaAZa…AZ) که A نقره و Z روی و a یک فلز مرطوب است ،توانست پیل ولتارا ارائه کند.

درسال ۱۸۰۰ این موضوع درنامه ای به ژوزف بانک ، رئیس انجمن سلطنتی لندن اعلام شد. در این نامه همچنین از نوعی دیگر، مرکب از یک حلقه از فنجانهای شیشه ای که پر از محلول نمکی یا الکلی بودند وتوسط حلقه های دو فلزی قرارگرفته درمحلولها بهم مرتبط میشدند، نیز صحبت شده است[۸].

از اتصال سیمهای دوفنجان انتهائی جرقه ایجاد میشد وهمچنین ۵۰ پیل پشت سرهم میتوانست شوک کافی ایجاد کندواز همه مهمتر یک جریان دائمی برقرار میشد. بزودی پیل ولتا جایگزین لیدن جار شد. ولتا فکر میکرد که الکتریسیته توسط هادیهای پیل ایجاد میشود وپتانسیل اتصال (contact potential) رابیان کرد. البته او اشتباه میکرد زیرا بعدا ثابت شد که ایجاد الکتریسیته در اثر اعمال شیمیائی است [۳]. درسال ۱۸۰۱ او به دعوت ناپلئون برای ایراد سخنرانی وانجام آزمایشات به پاریس دعوت وبعنوان یکی از ۸ نفر عضو خارجی اکادمی علوم برگزیده شد.بزودی پیلهای او مورد استفاده همفری دیوی وکاربرهای تلگرافی قرارگرفت.

نیکلسون و کارلایل فورا باطری قوی ساخته وآب را به گازهای اولیه تجزیه کردند. سپس اقداماتی در مورد تجزیه نمکها انجام شد. درسال ۱۸۰۱ ،ولاتسون (Vollatson)نشان دادکه عمل تجزیه آب باالکتریسیبته مالشی نیز امکان پذیر است ولذا منابع الکتریسیته ولتا والکترواستاتیک یکی هستند[۵].

مشاهدات مهم وپراکنده

درسال ۱۸۰۲ ***رومانوسی (G.D.Romgnosi)*** ایتالیائی دریافت که وقتی ***جریان الکتریسیته*** در هادی جاری میشود ، ***عقربه مغناطیسی*** منحرف میشود وآن را گزارش کرد ولی مورد توجه قرار نگرفت.

همچنین ***آراگو*** نشان داد که ***جریان*** مانند یک ***مغناطیس واقعی*** عمل کرده وقادر به جذب براده آهن وآهنربا است[۱۴].

درسال ۱۸۰۸ ، ***همفری دیوی***(H.Davy) پیلی متشکل از ۲۰۰۰ زوج صفحه متشکل از روی ومس به ابعاد ۶*۶ اینچ ساخت که بکمک آن سیم آهنی بقطر ۱/۱۰ اینچ را ذوب کرد. همچنین باتجزیه از پتاس وسود ، پتاسیم وسدیم بدست آورد[۵].

بیان ریاضی تئوری الکترواستاتیک

کسی که برای تئوری الکترواستاتیک بیان ریاضی ارائه داد، پوآسن (D.Poisson) بود که مقاله اش در ۱۸۱۲ منتشر شد. اوگفت که بار روی هادیهای الکتریکی باید طوری توزیع شود که نیروی وارده روی بارهای داخل آن صفر شود، چون در غیر اینصورت بارها حرکت خواهند کرد.

او بطریق ریاضی ثابت کرد که چگالی بار سطحی یک هادی درقسمت محدب سطح بیشتر است . او باقبول قانون عکس مجذور فاصله کولمب وبا تشابه تئوری ریاضی جاذبه ثقل درالکترواستاتیک (که در آن زمان بخوبی پیشرفت کرده بود) ، یک تابع پتانسیل الکتریکی معرفی و برای آن یک معادله دیفرانسیل نسبت به مختصات فضا تعیین کرد که حل آن با شرائط حدی معین ، توزیع پتانسیل را در فضا بدست میداد وبا آن توزیع بار روی سطح هادیها تعیین میشد[۳].

قبلا درسال ۱۷۷۷ لاگرانژ نشان داده بود که اگر دریک سیستم جاذبه ، حاصل جمع جرمها تقسیم بر فواصل آنها از یک نقطه را تشکیل داده وآنرا تابع Φ بنامیم ، مشتق آین تابع برابر با مولفه های نیروی جاذب در نقطه مذکور خواهد بود. چند سال بعد در ۱۷۸۵ لاپلاس بیان کرد که این تابع برای نقاطی که جرمها وجود نداشته باشند، درمعادله زیر صدق میکند:

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=0$$

پوآسن ،زمینه کاربرد آنرا برای بار الکتریکی چنین فراهم میکند:

"تئوری بیشتر مورد قبول در الکتریسیته ،سیستم دوسیالی مختلف ،توزیع شده درتمام اجسام طبیعت است .فرض بر آنست که مولکولهای یک سیال یکدیگر را دفع کرده ولی مولکولهای دیگری را جذب میکنند. این جذب ودفع از قانون عکس مجذور فاصله پیروی میکند ، که در فاصله مساوی جذب ودفع مساویند. به این ترتیب چنانچه جسمی از هر دوسیال به اندازه مساوی داشته باشد، روی سیالهای اجسام مجاور اثری نداشته ولذا هیچ علامتی از الکتریسیته ندارد. این توزیع مساوی، یکنواخت دوسیال را " حالت طبیعی " مینامیم وچنانچه این حالت بهر دلیلی بهم بخورد جسم الکتریسته دار شده وپدیده های الکتریکی ظاهر خواهد شد. همه اجسام رفتار یکسانی نسبت به سیال الکتریکی نشان نمیدهند. بعضی مانند فلزات ، بنظر میرسد که اثری روی آن ندارند ولی سیالها میتوانند آزادانه در آن حرکت کنند، که هادی نامیده میشدند. بعضی دیگر مثل هوای خشک ، بعکس ، مقاومت زیادی در مقابل عبور سیال از خود نشان میدهند، لذا از اتلاف سیال ذخیره شده در هادی ها در فضا جلوگیری میکنند. دراین مقاله منظور من بیان پدیده مربوط به هادیهای الکتریسیته دار شده بطور منفرد ویا اثرمتقابل آنها بطور ریاضی است."

هم پتانسیل بودن هادیها

پوآسن تابع $\phi(z,y,x)$ را که متشکل از مجموعه بارها تقسیم برفاصله آنها بود تعریف کرد. سپس همان طور که لاگرانژ در باره نیروی جاذبه اجرام گفته بود ، مشتقهای آنرا:

$$-\frac{\partial\varphi}{\partial x},-\frac{\partial\varphi}{\partial y},-\frac{\partial\varphi}{\partial z}$$

بعنوان مولفه های میدان الکتریکی در (x,y,z) معرفی کرد.(دراینجا بیان پوآسن مطابق تعریف کنونی آمده است). باتوجه به این تابع ، برای هادیها ، پواسن فرض کرد ه ازدیاد یک سیال الکتریکی در یک هادی پیش آمده باشد ونتیجه گرفت:

" باتوجه به نیروهای دافعه بین ذرات اضافی ، وچون فلز از حرکت آنها جلوگیری نمیکند ، سیال اضافی روی سطح هادی منتقل شده ودر آن جا بخاطر اینکه محیط هوا است متوقف میشود. کولمب با آزمایش ثابت کرده است که هیچ ذره ای از الکتریسیته داخل هادی نماند ه وهمگی برروی سطح آن منتقل میشوند.این هیچ جاذبه ویادافعه ای در نقاط داخلی جسم بوجود نمی آورد. زیرا در غیر آنصورت اثر لایه سطحی الکتریسیته بر روی نقاط داخل باعث متلاشی شدن یک مقدار جدید الکتریسته طبیعی درجسم شده وحالت الکتریکی آن تغییر خواهد کرد"

بانتیجه گیری از این نظریه ، اواساس را برصفر بودن نیروهای داخل هادی گذاشت وچنانچه تابع پتانسیل φ باشد برای یک نقطه داخل هادی الکتریسیته دار ، مقدار آن مستقل از محل درنظر گرفته شده خواهد بود زیرا در این صورت مشتقهای نسبی آن صفر شده ونیرو در داخل هادی صفر میشود.

نام پتانسیل برای تابع φ بعدا توسط گرین ، باعمومی کردن نتایج پوآسن برای پدیده های الکتریکی ومغناطیسی انتخاب شد که هنوز هم مورد استفاده است.

به این ترتیب ، پوآسن ،مفهوم هم پتانسیل بودن هادی را فرموله کرد[۹].بعد پوآسن بر اساس پیشنهاد لاپلاس توجهش را به شرائط روی سطح هادی بار دار معطوف کرد. اوگفت که نیروی الکتریکی در نقطه ای درست خارج سطح هادی متناسب با چگالی بار سطحی در آن نقطه است. برای این کار اونیرو را به دو نیروی f در اثر عنصر بار سطحی فورا مجاور آن نقطه و F در اثر بقیه سطح تقسیم کرد. در نقطه ای در همسایگی آن نقطه ودرست داخل هادی ، باید F تغییر نکرده ولی f باید معکوس شده باشد تا نیرو صفر شود. پس نیروی منتجه در خارج باید $2f$ (یعنی متناسب با نیروی بارعنصر سطحی فورا مجاور آن) باشد. ولی اگر نقطه خارج بینهایت نزدیک سطح باشد ، سطح فورا نزدیک آن، مثل یک صفحه بینهایت با بار یکنواخت عمل خواهد کرد، که برای این حالت پوآسن قبلا نیروی f را متناسب با بار واحد سطح این صفحه بدست آورده بود وبه این ترتیب تئوری را کامل کرد.

بافرضیه هم پتانسیل بودن یک هادی بارشده ، اوتوزیع بار شکلهای ساده مثل الیپسوئید وسپس باتعمیم آن دو کره شارژ شده که درفاصله دلخواه ازهم قرار گرفته اند راتعیین کرد. حل این مسائل به توابع ساده ویادوگانه " گاما" بسته به اینکه کره ها جدا ازهم یا بهم چسبیده بودند، منجر میشد. او با تلاش خود مقادیرانتگرال خود را محاسبه کرده وتوافق قابل قبولی با نتایج تجربی کولمب بدست آورد[۹].

تعمیم معادله لاپلاس- معادله پوآسن

درسال ۱۸۱۳ ،کار مهم دیگری توسط پوآسن ارائه شد.او معادله لاپلاس را برای نقطه ای که شامل ماده باشد تعمیم داد ومعادله

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=4\pi\rho$$

راکه درآن ρ چگالی حجمی بار بود ، بدست آورد. البته همین ارتباط بین پتانسیل وچگالی بار الکتریکی هم وجودداشت.

نظریه دیورژانس گاوس

درهمان سال ۱۸۱۳ ، گاوس (K.F.Gauss) تئوری معروف دیورژانس خود را که فرم انتگرالی معادله پوآسن بود بصورت زیر بیان کرد.

$$\oiint_S \vec{D}.\vec{ds}=\oiiint_v \nabla.\vec{D}\,dv$$

که V حجم وS سطح روی آن است. D هرتابع برداری دارای مشتق مرتبه اول درحجم V است. اگر D میدان شعاعی متناسب با عکس مجذور فاصله باشد ، دراینصورت انتگرال سطحی قضیه دیورژانس گاوس نتیجه زیر را برای هرنقطه داخل حجم میدهد.

$$\oiint_s \vec{D}.\vec{ds} = 4\pi$$

وبرای نقاط خارج مقدار صفراست.

برای حالتیکه D بطورمناسب با قانون عکس مجذور فاصله کولمب بیان شود ، انتگرال مذکور برابر با بار خالص داخل حجم خواهد شد[۹].

ارتباط الکتریسیته ومغناطیس

ازسالها قبل ، دانشمندان انتظار یافتن ارتباط بین الکتریسیته ومغناطیس را داشتند. فرانکلین مشاهده کرده بود که دشارژ الکتریکی، ایجاد اثر مغناطیسی در آهن میکند. همین اثر را برق آسمان ایجاد میکرد. درکشتی ها پس از برق آسمان عقربه های قطب نما تامدتی غیر قابل اعتماد بود.

در ۱۸۰۷، ارستد (H.C.Oersted)، فیزیکدان دانمارکی اعلام کرد که شروع به آزمایشاتی با هدف ارتباط بین الکتریسیته ومغناطیس،کرده است[۳].

درآن زمان پیروان تفکر کولمب الکتریسیته ومغناطیس را باوجود تشابه قوانین دوپدیده مجزا وتبدیل یکی به دیگری را غیر قابل تصورمیدانستند.

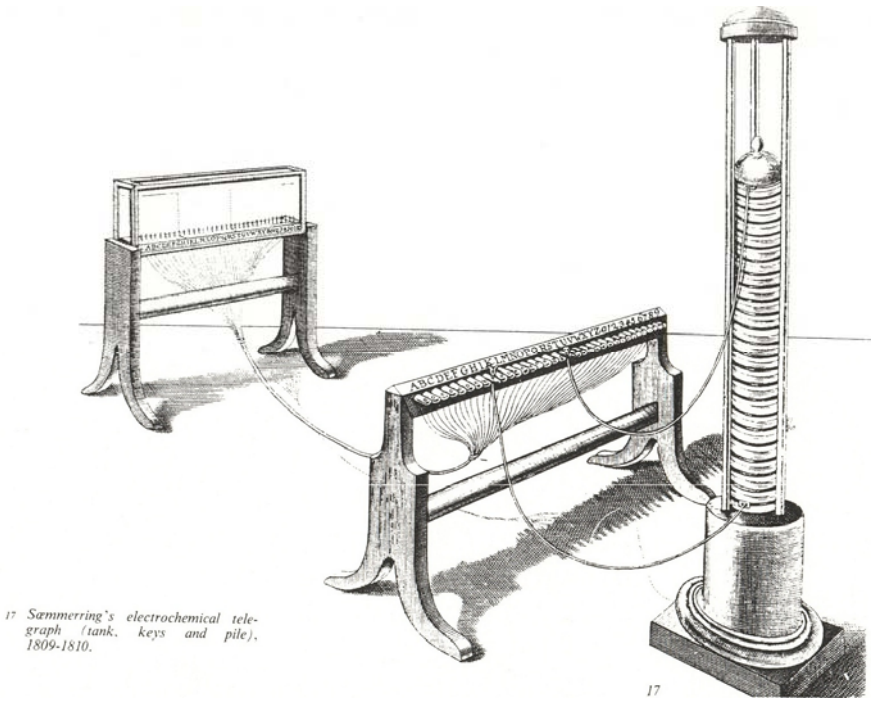
ارستد پیرو نظریه کانت درمورد عکس نیروها بود .چیزی که لازم بود کشف شود شرائط لازم برای این تبدیل بود. بنظر ارستد ،الکتریسیته، برخورد جنبه های مثبت ومنفی مغناطیس بود که با برخورد بصورت موج درفضا گسترش می یافت. نتیجه برخورد الکتریکی(همان جریان امروزی) دریک سیم نازک حرارت بود وبانازکتر کردن سیم برخورد قوی تر شده ونور ظاهر میشد. بااین تصور که اتحادی بین نیروهای شیمیائی والکتریکی وجود دارد، حدس میزد که با نازکتر کردن سیم این برخورد خیلی شدید تر شده ونیروی مغناطیسی ظاهر خواهد شد[۸].

درسالهای ۱۸۱۲ و۱۸۱۳ درمقاله ای راجع به تشابه الکتریسیته ومغناطیس پیش گوئی وپیشنهاد کرد که باید تلاشی درتعیین اثر الکتریسیته روی مغناطیس انجام شود. او از اثر برق آسمان روی قطب نما وکاهش خاصیت مغناطیسی در اثر حرارت اطلاع داشت[۶ و ۸].

تلگراف الکترومکانیکی

درسال ۱۸۰۹ سامرینگ (Saemmerring) تلگراف الکترومکانیکی را ساخت.

ارستد دارای دکترای داروسازی بود. آزمایشات پیل ولتا خیلی نظر او را جلب کرد.پس از تلاش در ۱۸۰۶بعنوان استاد فوق العاده فیزیک دانشگاه کپنهاک برگزیده شد.



17 Sæmmerring's electrochemical telegraph (tank, keys and pile), 1809-1810.

17

تلگراف الکترواستاتیک

درسال ۱۸۱۶ ، رنولدز (F.Renolds) یک خط تلگرافی الکترواستاتیک بافاصله ۸ مایل در باغ هامراسمیت برقرار کرد که از دوساعت تشکیل شده بود. بعد ها ویتستون آنرا تکمیل کرد[۱۰].

اثر جدید الکتریسیته-ارستد

درسال ۱۸۲۰کشف اصلی ارستد انجام شد. او سرکلاس میخواست اثر جدید الکتریسیته را با قراردادن یک سیم نزدیک یک عقربه مغناطیسی نشان دهد. اما بااتصال مدارسیم به پیل هیچ اتفاقی نیافتاد. بعد از کلاس اودوباره سعی کرد تااینکه سیم و عقربه را در وضعیت مناسب قرارداد وعقربه منحرف شد. فورا همکارانش را خبر کرد وبه آنها نشان داد. در۲۱ ژولای ۱۸۲۰ اواین موضوع را منتشر کرد.

۶ سال بعد از مرگش درسال ۱۸۷۵ یکی از شاگردان ارستد، درنامه ای به فاراده نوشت : "پروفسور ارستد مرد نابغه ای بود ولی یک آزمایش کننده بد شانس بود. اونمیتوانست دستگاهها را بخوبی بکار اندازد. اوسعی کرد که سیم باطری گالوانیک خود را بطور عمودی بالای سوزن مغناطیسی قرار دهد .ولی هیچ حرکت قابل احساسی پیش نیامد. یکبار پس از پایان کلاس گفت بیائیم وسیم را موازی عقربه قرار دهیم که ناگهان عقربه بشدت منحرف شد و او با حیرت جاخورد.شاید بهمین علت معروف شده که او تصادفا به این نتیجه رسیده بود"[۹].

ارستد خودش مینویسد:

"دراثر اتصال یک باطری با یک سیم ، درمحیط اطراف پدیده ای که آنرا برخورد الکتریکی مینامیم ،بوجود میاید. اگر قسمت مستقیم سیم را بطور افقی بالای یک سوزن مغناطیسی که بشکل مناسبی آویخته شده وموازی با آن است ،قرار دهیم ، سوزن حرکت خواهد کرد. اگر فاصله کمتر از ۳/۴ اینچ باشد عقربه ۴۵ درجه منحرف شده وبازیاد شدن فاصله، انحراف هم کمتر میشود. انحراف همچنین به قدرت باطری بستگی دارد. این اثر از شیشه ، فلزات، چوب ،آب ،صمغ ،سنگ نیز عبور میکند. باقرار گرفتن سیم درزیر عقربه ، همان پدیده فقط با انحراف درجهت عکس اتفاق میافتد."

سپس مشاهده کرد که با چرخاندن سیم عقربه هم گردش کرده وسوزنهای برنجی ، شیشه ای ولاکی اثر پذیر نیستند، نتیجه گرفت:

"برخورد الکتریکی فقط روی ذرات مغناطیسی ماده اثر میگذارد. واجسام مغناطیسی درمقابل عبور این پدیده مقاومت میکنند. وکاملا واضح است که اثرات این برخورد درخارج از هادی ظاهر میشود. هم چنین این اثر دایره شکل است چون درغیر اینصورت باقراردادن سیم در بالا وپائین سوزن ، جهت انحراف معکوس نمیشد."

آزمایش ارستد فاقد اطلاعات کمی بود ولی تمام خصوصیات وابستگی به میزان جریان ، فاصله وحتی شیلدینگ را بیان میکند[۹].

کشف ارستد بسرعت توسط دیگران گسترش یافت. آراگو درمسافرتش آنرا آموخته ودربازگشت به پاریس ، در۱۱ سپتامبر ۱۸۲۰ در آکادمی فرانسه توضیح داد.

اثر دوسیم جریان دار

این اخبار علاقه بسیاری از محققین رابرانگیخت وفقط یک هفته بعد کشف تازه ای توسط آندره ماری آمپر(A.M.Ampere) دانشمند فرانسوی اعلام شد.

درهمان زمان آراگو همکار آمپر کشف کرد که آهن نرم توسط جریان الکتریکی بطور موقتی مغناطیس میشود. او آهن نرم را وسط یک سولونوئید جریان دار قرار میداد.

آمپر دریکی از جلسات آزمایش ارستد شرکت داشت. اونتیجه گرفت که اگر مغناطیسها روی هم اثر میگذارند وجریانهای الکتریکی هم روی مغناطیسها اثرمیگذارند ، پس باید دوسیم جریاندار هم رویهم اثر داشته باشند.

او در ۲۵ سپتامبر ۱۸۲۰ ،آزمایش خودش را این طور مطرح کرد:" دوسیم صاف موازی به دوپیل ولتا طوری متصل شده بودند که یکی از سیمها ثابت ودیگری ضمن موازی بودن میتوانست حرکت کند.ملاحظه شد که جریانهای الکتریکی درحالت هم جهت بودن یکدیگر را جذب ودرحالت خلاف جهت دفع میکردند [۹] " .

قانون نیروی بیو وساوار

درهمین زمان بیو (J.B.Biot) وهمکارش ساوار (F.Savart) آزمایشات ارستد را تکرار، ودرسی ام اکتبر ۱۸۲۹ به آکادمی اعلام کردند که آنها قانون نیروی اعمالی را پیدا کرده اند[۹].آنها در ژورنال فیزیک اینطور شرح میدهند:" آزمایشات جالب ارستد همراه با اندازه گیریهای دقیق پیچیش ونوسان رابطه زیررا برای اثریک سیم مسی بلند که بدوسر پیل ولتا وصل شده ، در فاصله معین میدهد.

"از نقطه قطب یک عمود بر محور سیم رسم کنید. نیروی وارد برقطب عمود بر محور سیم بوده وشدت آن متناسب با عکس فاصله است. ماهیت عمل مانند واقع شدن یک سوزن مغناطیسی بطور مماس بر مسیر سیم بسته دور سیم است (contour) که در اینصورت قطبهای مغناطیسی آسترال (austral)وبورآل (boreal) درجهت مختلف تاثیر می پذیرند، ولی همیشه در امتداد همان خط مستقیم که قبلا تعریف شده است".

شرح دستگاه اینطوراست: یک عقربه AB که میتواند به آسانی درحول مرکزش گردش کند، بفاصله r از سیم مستقیم CMZ واقع شده است. بکمک یک مغناطیس دائمی که در اینجا نشان داده نشده ، میدان مغناطیسی زمین خنثی میشود.

آمپر شخصی کنجکاووبااستعداد بود. در۱۴ سالگی لاتین را در دوهفته آموخت بطوری که میتوانست مقالات برنولی و اولر را بخواند. درهمه زمینه های شیمی ،فلسفه، الکتریسیته، ریاضیات ؛ فیزیولوژی ، متا فیزیک، تشریح ، گیاه شناسی، شعر... تخصص داشت .مخترع گالوانومتر بود . بیو وساوار همکاران او بودند[۱].

حالت تعادل سوزن دروضعیت عمود برمحور سیم است. اگر سوزن دارای قطبهای باشدت مساوی ومخالف هم در دو انتها باشد ،نیروی وارده از طرف سیم جریان دار به دوقطب ، مساوی، مخالف وروی محیط دایره خواهد بود. حال اگر سوزن باندازه زاویه کوچک θ از حالت تعادل خارج شود(مانند شکل) گشتاور وارده به آن درمعادله زیر صدق میکند.

$$F(r)LSin(\theta) = I\ddot{\theta}$$

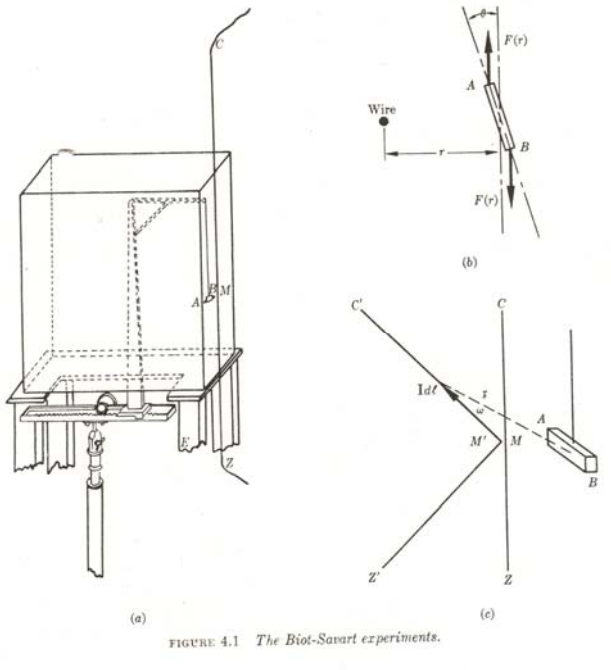


FIGURE 4.1 *The Biot-Savart experiments.*

که L طول سوزن وI ممان اینرسی آن است . برای جابجائی کم ، پریود نوسانات از رابطه

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{I}{LF(r)}}$$

بدست میاید. سپس بیو اینطور ادامه میدهد:" اگر مجذور پریودها رابرای فواصل مختلف از یک سیم معین، مقایسه کنیم میتوانیم نیروی نسبی وارده درامتداد حالت تعادل راتعیین کنیم."

اطلاعات داده شده درجدول زیر آمده است . محاسبه با فرض اینکه نیرو متناسب با 1/r است انجام شده است.

TABLE 4.1

DATA FOR THE BIOT-SAVART EXPERIMENT

Distances of the wire, mm	Duration of ten oscillations	
	Observed, sec	Calculated
15	30.00	30.99
20	33.50	33.88
40	48.85	48.62
50	54.75	53.74
60	56.75	59.40
120	89.00	84.25

چون خطاها بطور متناوب مثبت ومنفی شده اند ، اونتیجه گرفت که فرضیه تناسب با عکس فاصله درست است.

او سپس به بسط نتیجه خود ، باتوجه به اثر یک قطعه کوچک سیم پرداخت. چون اثر یک سیم بلند متناسب با 1/r است واین انتگرال $1/r^2$ است،پس اثر هر طول کوچک متناسب با $1/r^2$ خواهد بود . او همچنین دریافت که اثر باید به جهت عنصر سیم نسبت به سوزن وابسته باشد و برای تعیین آن آزمایشی ترتیب داد. او مطابق شکل قبل ، از یک سیم V شکل که راس آن نزدیک مرکز سیم اولی (CZ)واقع شده بود استفاده کرد. وپریود نوسانات سوزن قطب نما را بعنوان تابعی از فاصله ، با گذر جریان دائمی ، متناوبا از سیم مستقیم ویاخم شده ، تعیین کرد. اختلاف پریود تحت تاثیر دوسیم میتواند منجر به این نتیجه شود که اثر یک عنصر جریان Idl متناسب با $\frac{Sin(\omega)}{r^2}$ است . کشف این حقیقت ، بیو را به اعلام مطلبی واداشت که امروزه بصورت

$$B(x,y,z) \propto \int \frac{Idl \times r}{r^3}$$

بیا ن میشود. یعنی یک جریان دائم ، میدان مغناطیسی مطابق رابطه بالا ایجاد میکند. وچنانچه یک قطب مغناطیسی با قدرت m در (x,y,z) واقع شود نیروئی برابر با Bm بر آن وارد خواهد شد . این معادله مهم بعنوان قانون بیووساوار پایه مگنتو استاتیک است.

تعریف الکترواستاتیک والکترودینا میک

آمپر بااطلاع از کشفی که بیو و ساوار درمورد نیروی بین دوسیم جریاندار کرده بودند ، آزمایشات خود را ادامه داد. نتیجه آن انتشار مقاله ای در توضیح بیشتر مطالب الکتریسیته در یکسال بعد بود.

دراین مقاله ، در ۱۸۲۱ ، او بین الکتریسیته ساکن ومتحرک تفاوت قائل شد، نام اولی را الکترواستاتیک ودومی را الکترودینامیک گذاشت[۹]. او همچنین بیان کرد که اثر الکترومغناطیسی بدوصورت ظاهر میشود که باید ازهم مجزا شوند. اویکی را فشار الکتریکی(tension) ودیگری را جریان (current) الکتریکی نامید.

درآن زمان صحبت بیشتر درمورد هدایت وجاری شدن (flow) الکتریسیته بود.ولی چون تئوری دوسیالی جالب بود ، تمایل کمی بطرف پدیده جاری شدن وجود داشت. آمپر تصمیم گرفت که تمام پدیده را بعنوان یک جریان الکتریکی بنامد ،بدون اینکه به طبیعت داخلی آن توجه کند. اوجهت جریان را ،جهت جریان سیال مثبت درنظر گرفت.

گالوانومتر ، جریان وفشار

مفهوم پتانسیل الکتریکی یافشار توسط کاوندیش مورد قبول بوده وتوسط پوآسن نیز در الکترواستاتیک بخوبی مشخص شده بود . آمپر متوجه شد که ، دریک پیل ولتا ، تاوقتی که دوسر آن بسته نشده باشد فشار وجود داشته وبایک الکترومتر یا الکتروسکپ قابل تشخیص است. برای جریان ، او فکر کرد که بهترین روش سنجش استفاده از میدان مغناطیسی آن است وگالوانومتر را اختراع ومورد استفاده قرارداد. برای آمپر ،فشار بشکل علت وجریان بصورت معلول ظاهر میشد. باتوجه به اینکه به مجرد بسته شدن مدار ،فشار از بین میرفت ویا لااقل خیلی کاهش مییافت ، این مشاهده جالب را انجام داد:" جریانی که من از آن صحبت میکنم ، بخودی خود شتاب میگیرد ، آنقدر که اینرسی سیالهای الکتریکی ومقاومتی که در اثر ناخالصی ها ، حتی بهترین هادیها ، وجود دارد، بانیروی الکتروموتوری بحال تعادل در آیند، که از آن پس با سرعت ثابت جریان خواهند یافت بطوریکه این نیرو شدت ثابتی خواهد داشت ، البته پس از قطع مدار بکلی از بین میروند. در اینجا میتوان مشابهت افکار آمپر را باقوانین اهم که ۷ سال بعد بیان شد ، مشاهده کرد[۹].

نظریه آهنربای دائم- مولکول الکترودینامیک

باتوجه به این نظر که درعبور جریان ،سیالهای دوگانه دردوجهت مخالف حرکت کرده .مغناطیس را به وجود میاورند، این سئوال برای آمپر پیش میامد که چگونه میتوان این تئوری را به آهنربای دائم اعمال کرد. راه حل مساله ساده بنظر میرسید: درآهنرباها هم جریان الکتریکی وجود دارد . نظریه ایجاد جریان پیل ولتا اورا به این اعتقاد آورد که اتصال مولکولهای آهن در یک میله آهنربا تولید جریان کرده ویک آهنربا مانند یک سری پیل ولتا که جریانی به دور محور آن ایجاد میکند ، عمل میکند. دوست او فرنل (A.Fresnel) بوجود آورنده تئوری موجی نور، فورا به او متذکر شد که این تئوری به سادگی قابل طرح نیست. زیرا آهن، هادی خوبی برای سیال الکتریکی نیست، و وجود این جریان تولید حرارت خواهد کرد ولی آهنرباها گرمتر از محیط اطرافشان نیستند.فرنل ضمنا به آمپر پیشنهاد کرد که چون اطلاعی در مورد فیزیک مولکولی دردست نیست ، چرا ماجریان الکتریکی دردور هرمولکول درنظر نگیریم که دراینصورت ، درصورت مرتب واقع شدن آنها مغناطیس بوجود می آید. آمپر سریعا نظر خود را با پیشنهاد دوستش منطبق کرده ومولکول الکترودینامیک ، که مولکول مخصوصی بود ، متولد شد. باروش مرموزی ، مولکول آهن ، اتری را که فضا وماده را فراگرفته به دوسیال الکتریکی ، عناصرتشکیل دهنده آن ، تجزیه میکند. این تجزیه درداخل مولکول انجام میشود. دوسیال الکتریکی از بالا خارج ، دراطراف مولکول جاری، ودوباره از پائین داخل خواهد شد. اثر خالص مانند گردش یک سیال در دور مولکول است. این مولکولها را میتوان بکمک یک مغناطیس دیگر مرتب کرده ویک مغناطیس دائم ساخت.آمپر توضیح نداد که چرا این مولکولها این گونه عمل میکنند.

شکی نیست که آمپر مدل مولکول الکترودینامیک خود را خیلی جدی گرفته وانتظار داشت دیگران نیز قبول کنند. درجوابی به وان بک (Van Beck) فیزیکدان آلمانی ، او مصرا این مدل را نه تنها قابل استفاده برای مغناطیس ، بلکه برای ترکیبات شیمیائی و میل ترکیبی میداند. ودرحقیقت این تئوری جدیدی از ماده بود. بهمین علت بود که تئوری الکترودینامیک آمپر بطور فوری وعمومی پذیرفته نشد،زیرا پذیرش آن مترادف با پذیرش تئوری خود ماده بود[۸].

نظریه خطوط قوای فاراده

درهمین سال یک پیشرفت بزرگ دیگر در تئوری الکترواستاتیک توسط فاراده(M.Faraday) انگلیسی انجام شد. او یک صحاف بود .علاقه به درس "دیوی"، در انجمن سلطنتی داشت وآنها را به دقت یادداشت میکرد.در۱۸۱۳ او از این کار دوباره به صحافی روی آورد .ولی یک حادثه غیر مترقبه ، کور شدن دیوی دریک انفجار حین آزمایش،زندگی او

را تغییر داد و بعنوان دستیار دیوی انتخاب شد. دید تیز فیزیکی او باعث شد که اوتمام توابع نیرو را بشکل خطوط نیرو ترسیم کند. این طرز تفکر از مشاهده وضعیت قرار گرفتن براده های آهن ریخته شده روی کاغذی که زیرش یک آهنربا قرارگرفته بود، دراو پیدا شده بود. ازاینجا او ایده خطوط قوای مغناطیسی را که جهت آن در هر نقطه باجهت شدت مغناطیس منطبق بود پیدا کرد.اعمال این فکر وعمومیت دادن آن به اثر جاذبه وشدت الکتریکی کار آسانی بود.دراین مورد میگوید:" خطوط قوای شرائط استاتیک الکتریسیته در همه موارد القاء وجود دارند. آنها به سطوح هادیهای تحت القاء و یا ذرات غیر هادیها ختم میشوند که در این حالت الکتریسیته دار میشوند. این به فاراده اجازه میداد که "عمل از راه دور " را با اثر متقابل بار و یک میدان نیرو جایگزین کند ، نقطه نظری که برای ماکسول خیلی جالب بود[۹].

تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی

درسال ۱۸۲۱ ، باتوجه به آزمایشات ارستد ، فاراده باحرکت دادن یک سوزن مغناطیسی برای تعیین شکل میدان، مشاهده کرد که یکی از قطبهای سوزن، یک دایره را دور سیم می پیماید. اوفورا نتیجه گرفت که یک قطب مغناطیسی تنها میتواند بدون وقفه حول یک سیم جریان دار، تاوقتی که جریان برقرار است بچرخد وسپس دستگاهی برای نشان دادن این اثر ساخت ودر مقاله ای در مجله دو هفتگی علوم در ۲۱ اکتبر ۱۸۲۱ منتشر کرد. به این ترتیب او اولین ***تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی*** را ثبت کرد[۸]. اوهمچنین برای اولین بار خطوط قوای دایروی دور سیم را بیان کرد . فاراده فاقد معلومات ریاضی بود.آزمایشاتش خطوط قوای دایروی حول سیم را آشکار کرد . او برای قبول آن دچار هیچ اشکالی نشد. برای معاصرین ریاضی خوانده او ، چنین نیروئی نمیتوانست ساده باشد بلکه باید به نیروهای مرکزی تجزیه میشد.

دستگاه او مطابق شکل زیر بود. درسمت چپ ، یک مغناطیس استوانه ای میله ای، درداخل ظرف جیوه ای قرار داشته وقسمتی از مدار راتشکیل میدهد. انتهای آن با سرسیم جریان درتماس بوده ومیتواند بچرخد. درسمت راست

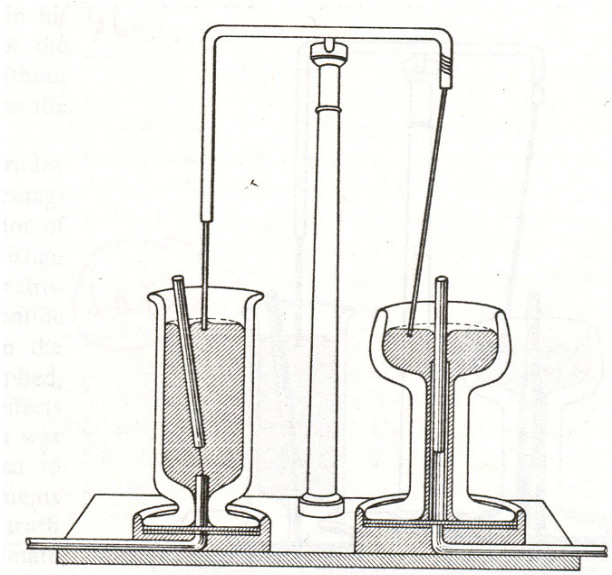


FIGURE 2. Faraday's apparatus for illustrating electromagnetic rotation. At left, a cylindrical bar magnet, plunged into a beaker of mercury (which was part of the electrical circuit), rotated around the end of a current-carrying wire that made contact with the mercury. At right, the magnet was fixed and the wire was so mounted that it could turn about the point of suspension, and thus rotate around the magnetic pole.

مغناطیس ثابت بوده وسیم طوری نصب شده که میتواند حول آهنربا بگردد وهردودرظرف جیوه قرار داشته ومدار را تکمیل میکنند. باوصل شدن جریان به دوسر سیمهای خارج شده از ته ظروف جیوه آهنربای سمت چپ وهمچنین سیم سمت راست شروع بگردش خواهند کرد.

این کاری بود که آمپر با نبوغ خود در مقالات جدیدش درباره الکترومغناطیس انجام داده بود. نتیجه گیری ریاضی مطلعانه آمپر ، نمیتوانست اثری روی فاراده داشته باشد و او از چیزی که پایه واساس تجربی داشت عدول نمیکرد. ولی بهر حال او مجبور بود که با مساله بدست آوردن نیروهای مرکزی از نیروهای دایروی خودش ، برای توضیح ساده جاذبه و دافعه قطبهای مغناطیسی، روبروشود. حل او هم ساده وهم ظریف بود. اگر یک سیم مستقیم جریان دار خم شده و بشکل حلقه درمیامد، خطوط دایروی نیروهای مغناطیسی باید درداخل حلقه متمرکز میشدندوپلاریته مغناطیسی حلقه باید این تمرکز را منعکس میکرد.

ختم نشدن خطوط قوای مغناطیسی

فاراده با آزمایش ساده دیگری نشان داد که قطب یا محل ختم شدن قوای مغناطیسی وجود ندارد.او یک لوله شیشه ای را باسیم عایق دار سیم پیچی، و بحالت نیمه شناور در آب قرار داد .یک سوزن مغناطیسی بلند نیز روی چوب پنبه نصب شد بطوریکه بتواند آزادانه روی آب حرکت کند.وقتی جریان ازسیم مارپیچی روی لوله شیشه عبور میکرد، دردوطرف لوله قطب ها تشکیل ، وقطب شمال عقربه مغناطیسی جذب قطب جنوب مارپیچی میشد.اگر یک آهنربای معمولی بکاربرده میشد، سوزن به الکترو مگنت رسیده وبه آن برخورد میکرد، واین خطای دید را میداد که قطب جنوب جذب قطب شمال شده است.اما در سیستم آزمایشی فاراده نتیجه تعجب آور بود. سوزن بطرف مارپیچ حرکت کرده وارد لوله شیشه ای شد، بحرکت خود ادامه داد تااینکه قطب شمال سوزن به قطب شمال مارپیچ رسید.نتیجه این آزمایش همانطور که فاراده انتظارداشت ، مثال دیگری از گردش الکترومغناطیسی او بود.یک قطب مغناطیسی تنها ،به حرکت خود در هلیس ادامه داده وهرگز نمی ایستد. خطوط نیروئی که آن در امتدادش حرکت میکرد، نتیجه نیروهای مغناطیسی دایروی احاطه کننده سیمهای مارپیچ بود و از قطبهای مغناطیس با خطوط مستقیم صادر نمیشد.

بنابراین کار فاراده درمورد گردش الکترومغناطیسی باعث شد که نظر ی غیر از بیشترمعاصران خود درمورد الکترومغناطیس داشته باشد. درحالیکه آنها روی تفکر سیالهای الکتریکی ونیروهای ویژه تولید شده توسط حرکت آنها (نظر آمپر) متمرکز بودند ، او خطوط نیرو را بکار میبرد. درسال ۱۸۲۱ او نمیدانست که این خطوط چه هستند، ولی آنرا حالتی ازکشش در مولکولهای جریان عبوری سیم ومحیط اطراف توسط گذر جریان الکتریکی درسیم میدانست. این حالت کشش یافشار تامسافتی از منبع کشش یافشار،یعنی سیم جریاندار منتقل میشود. دراینجا این سئوال معقول است که پیش آمده باشد: اگر این کشش یا فشار تشدید ومتمرکز شود آیا ممکن است در سیم مجاور آن حالت مشابهی رابوجود بیاورد؟. این تفکر تاسال ۱۸۳۱ فاراده را مشغول کرد[۸].

تلگراف گالوانومتری

دراین زمان آمپر پیشنهاد ایجاد تلگراف با استفاده از گالوانومتر را کرد. لاپلاس این پیشنهاد را بصورت عملی در آورد و بالاخره در سال ۱۸۲۳ ،**شیلینگ**(P.L.Shilling) بااستفاده از ۵ سیم وگالونومتر ، که انحرافات مثبت ومنفی ویا وسط ایجاد میکردند، این کار را قطعی کرد. اوبه این ترتیب میتوانست با کد 3^5 یا ۲۴۳ اطلاع رابرساند[۱۰]. اوسپس ۵ خط با به یک خط تبدیل ودرعوض تعداد انحرافات را زیاد ترکرد ولی مرگ اوباعث مسکوت گذاشتن طرح شد.

جریانهای ترمو و هیدروالکتریک

درهمین زمان، دونوع جریان قائل بودند. یکی جریان ترموالکتریک که در اثر تغییر درجه حرارت بوجود میآمد و دیگری جریان هیدروالکتریک که مانند پیل ولتا بهمراهی هادی مرطوب ایجاد میشد. هردونوع جریان براساس قانون آمپر آثاریکسانی ازقبیل تولید مغناطیس ویا نیروی روی سیم جریان دار دیگر ،داشتند ، ولی آمپر توضیحی برای اینکه این دو جریان با دومنشاء متفاوت اثر یکسان دارند، نداشت.

نوبیلی(L. Nobili) فیزیکدان ایتالیائی برای حل این مساله نظرداد که فقط یک نوع جریان وجود دارد وآنهم ترمو الکتریک است.اومعتقد بود که جریان ایجاد شده توسط هادی مرطوب برخلاف نظر اخلاف ولتا ،بعلت عمل مستقیم شیمیائی نبوده بلکه بمناسبت حرارت ایجاد شده توسط فعل وانفعال شیمیائی است[۸].

درهمین سال ویتستون پس از مطالعه روشهای انتقال صدا کلمه تلفن را درست کرد.

درسال ۱۸۲۲مقالات رابیسون چاپ شد ودر اختیار عموم قرار گرفت.

چرخ آراگو

درسال ۱۸۲۲ آراگو درحال مطالعه روی شدت میدان مغناطیسی زمین روی تپه ای در گرینویچ دریافت که اجسام فلزی روی عقربه مغناطیسی اثر خفه کنندگی (damping) دارند. او بعد از سالها به اهمیت این موضوع پی برد واعلام کرد که گردش اجسام غیر مغناطیسی مثل مس روی یک سوزن مغناطیسی ، اثر مغناطیسی ایجاد میکندو درسال ۱۸۲۴ ،چرخ یا دیسک آراگو راساخت ومدال کاپلی را از آن خود کرد. که بعد ها فاراده آنرا با تئوری القائی خود تشریح کرد[۸]. آراگو یک عقربه مغناطیسی را بالای یک صفحه مسی آویزان وآنرا به نوسان در آورد ومتوجه اثر آن روی کاهش دامه نوسانات شد. او همچنین دید که با گرداندن صفحه مسی ، عقربه نیز میگردد.

فاراده پیرو این فکربود که هر اثر و دلیلی خاصیت عکس هم دارد وچون ارستد نشان داده بود که الکتریسیته ،مغناطیس ایجاد میکند ، اوبه این فکر بود که مغناطیس هم میتواند الکتریسیته ایجاد کند.او به این مساله چندین بار یورش برد ولی موفق نشد[۹].

پتانسیل مغناطیسی

درسال ۱۸۲۴، نظریه پلاریزاسیون مغناطیسی کولمب ، باعث بوجود آمدن اولین تئوری موفق در مغناطیس توسط پوآسن شد. سیالهای مغناطیسی مگر درحالت تحریک مغناطیسی یکدیگر را خنثی میکردند. ودرحالت تحریک به دو انتهای عناصر داخل جسم مغناطیس میرفتند، بدو اینکه بتوانند از یک عنصر به عنصر دیگر منتقل شوند. پلاریزاسیون دوسیال مغناطیسی ، سپس باعث یک توزیع میدان مغناطیسی میشدند که قابل بدست آمدن از گرادیان تابع پتانسیل ϕ_n بودند. پوآسن نشان داد که این تابع بصورت زیر است:

$$\phi_n = \iint_s \frac{M.ds}{r} + \iiint_v (\frac{-\nabla \cdot M}{r}) dv$$

که M چگالی پلاریزاسیون یا مغناطیس شدن است. این رابطه نشان میدهد که میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک جسم ، مثل میدان ایجاد شده توسط بارهای سطحی فرضی مغناطیسی M وبارهای حجمی فرضی با دانسیته $-\nabla.M$ است. این یکی از مهمترین کارهای پوآسن وتوجیحات اساسی پدیده ی مغناطیس درآن زمان بود.

آزمایشات فاراده

دریادداشتهای آزمایشگاهی ۱۸۲۴ فاراده ، در ۲۸ دسامبر ، آمده است که او یک مغناطیس را وارد یک مارپیچ کرد ولی هیچ اثر در جریان آن که توسط یک سوزن مغناطیسی سنجیده میشد ، پدید نیامد.

درسال ۱۸۲۵ ، در ۲۸ نوامبر ، او دومدار ، یکی سیمی که به دو سر پیل وصل شده ودیگری سیمی که دوسرش به یک گالوانومتر متصل شده وبسیار نزدیک بهم (بافاصله ۲ ورق کاغذ) قرار داشت تشکیل میدهد، ولی مجددا هیچ اثری دیده نمیشود.

نظریه های آمپر

درهمان سال ۱۸۲۵، آمپر کلیه نظرات خود را که باید یکی از ممتازترین بخش های تاریخ علم دانست در مقاله ای بیان کرد. دراین مقاله او درمورد نیروی بین دو عنصر جریان مدار صحبت میکند . او از آزمایشات زیادی که با سیمهای با شکلهای مختلف انجام میدهد ، به ۴ نتیجه مهم میرسد:

۱) درصورت تعویض جهت جریان ، اثر یک سیم جریان دار روی دیگری از نظر مقدارثابت واز نظر جهت عکس میشود.
۲) اثر یک قطعه بسیار کوچک سیم ، درحالت مستقیم یا خم شده وپیچیده یکسان است.
۳) نیروی اعمالی یک مدار بسته روی یک عنصر جریان همیشه عمود بر عنصراست.
۴) با تغییرمتناسب همه ابعاد ، درصورتیکه جریان فرق نکند نیرو فرق نخواهد کرد.

آمپر باافزودن این چهار شرط به فرضیه طبیعی آن زمان که "نیروی d^2F بین دو عنصر جریان Idl و Idl' در امتداد خط متصل کننده آنهاست" (فرضیه تئوری جاذبه نیوتن و تئوری الکترواستاتیک کولمب – پوآسن)، توانست با تحلیلی فهیمانه قانون نیرو را بصورت:

$$d^2F \alpha II' \vec{r}[2\frac{dl.dl'}{r^3} - 3\frac{(dl.r)(dl'.r)}{r^5}]$$

که درآن r فاصله بین دو عنصر جریان است، بیان کند.

اگر شرط سوم آمپر را بصورت رابطه نشان دهیم ، خواهیم داشت:

$$dF = I'dl' \times B$$

که B میدان ایجاد شده توسط مدار بسته است. به این ترتیب اگر Idl قطعه از سیم مدار جریان دار باشد، براساس قانون بیو و ساوار نیروی وارده بر $I'dl'$ بشکل زیر است:

$$d^2F \alpha II' \frac{dl' \times (dl \times r)}{r^3}$$

که با فرمول ارائه شده توسط آمپر مطابقت ندارد.

مدتها درمورد اینکه کدام رابطه صحیح است بحث بود. محققین زیادی نشان دادند که برای مدار بسته انتگرال d^2F برای هردورابطه یکی خواهد شد ولی در آنزمان نمیتوانستند با آزمایش تصمیم نهائی را بگیرند. اکنون که حرکت بارهای آزاد تحت تاثیر میدان مغناطیسی قابل بررسی است ، میتوان به روشنی نتیجه گرفت که رابطه بیو وساوار درست تراست. اشکال رابطه آمپر درفرض بر این است که او نیروی دوعنصر جریان را در امتداد خط واصل آنها میدانست .

برخلاف بیو که قطبهای مغناطیسی را اساس میدانست ، آمپر مغناطیس را دراصل پدیده الکتریکی بحساب میآورد. آمپر نشان داد که دو سولونوئید کاملا شبیه دومیله آهنربا ، یکدیگر را منحرف میکنند. او همچنین انحراف یک حلقه جریان آزاد را درامتداد میدان مغناطیسی زمین آزمایش کرد[۹].

آزمایشات اهم

درهمین سالها ، اهم (G.S.Ohm)شروع به کار جدی در زمینه الکتریسیته کرد.او اولین مقاله علمی خود را درسال ۱۸۲۵ درباره رابطه بین کاهش نیروی الکترومغناطیسی اعمال شده توسط یک سیم جریان دار وطول سیم ، نوشت. او دو سر دو سیم A و B را به پیل ولتا وصل کرد. انتهای دیگر سیمها M و N داخل به دو ظرف جیوه قرارداشت. بینM ویک ظرف دیگر جیوه O یک سیم سوم C را عبور داد.هادیهایA وB وC ثابت بودند . حال بین O و N هادیهای مختلف هفت گانه که قابل تغییر بودند قرار میداد. یکی از سیمها خیلی کلفت وبطول ۴ اینچ وبقیه نازک با طولهای ۱ تا ۷۵ فوت بودند. بالای سیم C یک سوزن مغناطیسی به ترازوی پیچشی فاراده متصل وقرار گرفته بود که برای سنجش نیروی الکترومغناطیسی اعمال شده ، وقتی یکی از سیم های متغیر مدار را تکمیل میکرد بکار میرفت. او نیروها را با حالتیکه سیم کلفت درمدار قرارمیگرفت مقایسه کرده وافت نیرو را اندازه گرفت. این افت نیرو برابر با اختلاف نیروی "نزمال" ونیروی سیم مورد نظر ، تقسیم بر نیروی نرمال بود. نتیجه این بود که مقادیر دررابطه $v = .41\log(1+x)$ که v افت نیرو وx طول سیم بود، صدق میکرد. این یک رابطه تجربی بود. اهم بدون توجه به اینکه دررابطه بالا از لگاریتم طبیعی استفاده نشده از آن مشتق گرفت ونتیجه $dv = m\frac{dx}{1+x}$ را بیان کرد. سپس حدس زد که شکل عمومی بصورت $dv = m\frac{dx}{a+x}$ است که a طول معادل هادی ثابت است ، که در آزمایش قبلی بطور اتفاقی برابر با ۱ متر گرفته شده بود. پس شکل کلی با صرفنظر کردن از یک ثابت اضافی بصورت $v = m\log(1+x/a)$ است. او معتقد بود که مقدار ثابت m تابعی از نیروی نرمال باضخامت سیم، مقدار a وفشار الکتریکی نیرو است. بنظر میرسد که بعقیده او درحالیکه طول سیم بینهایت شود، مقدار افت نیرو کامل شده یعنی v=1 میشود. یکی از نکات قابل توجه مقالات اهم ، پایه گذاری مستقیم آنها بر اساس آزمایش بود[۸]. معلوم نیست که چرا اهم افت نیرو را حساب کرده وخود آن را بررسی ننمود. باید توجه داشت که او درهیچ جا از اندازه گیری جریان صحبت نکرد ، بلکه اومیخواست دریابد که نیروهای الکترومغناطیسی با تغییر طول سیم چگونه کاهش مییابند.درهمان ماهی که مقاله اهم منتشر شد ، بکرل و بارلو نیز درمورد قابلیت هدایت فلزات کار کردند. بکرل معتقد بود که برای اینکه قابلیت هدایتی با سیمهای ازیک نوع فلز رابدست آوریم ،باید نسبت طول به سطح مقطع آنها یکی باشد. این همان نتیجه ای بود که دیوی بشکل دیگری ارائه داده بود.

در۱۸۲۶ ، اهم دومقاله مهم ،یکی درمورد بیان قانون جامع جریان الکتریکی ودیگری زمینه جدید در ارتباط با فشار الکتریکی درمدار باز وبسته ، ارائه کرد.

دراولین مقاله، کارهای قبلی را تصحیح کرده بود. اولا او از پیل ترمو الکتریک که دارای تغییرات کمتری بود استفاده کرد. تسمه هائی از بیسموت و مس که در دوطرف بهم پرچ شده بودند از یکطرف در آب جوش ، واز یکطرف در

یخ میگذاشت وبه این ترتیب فشار ثابتی بدست میاورد.ثانیا درفکر رابطه مستقیمی بین نیروی الکترومغناطیسی جریان وکل سیم واقع در مدار بود. این بار او رابطه را بصورت $X = a/(b+x)$ که X شدت نیروی الکترومغناطیسی (که او بعنوان مبنای اندازه گیری جریان بکار میبرد)، x طول هادی و a وb مقادیر ثابت بودند، بیان کرد. مشاهده اینکه b برای آزمایشات زیادی ثابت مانده ولی a با حرارت تغییرمیکرد ، اهم را به این نتیجه رساند که a فقط به نیروی الکتروموتوری پیل و b فقط به مقاومت مدار بستگی دارد. او همچنین متوجه شد که نیروی الکتروموتوری پیل ترمو الکتریک دقیقا متناسب با اختلاف درجه حرارت دو انتهای آن است.

دومین مقاله اهم درسال ۱۸۲۶ آغاز بررسی تئوری جامع الکتریسیته گالوانیک بود که بر اساس اظهار او اتصال اجسام نا متجانس یک تانسیون ثابتی را ایجاد میکرد[۸].

القاء الکترومغناطیسی

درهمین حال ، هانری (J. Henry) فیزیکدان آلبانیائی ، روی الکترومغناطیسهای قوی، وبطور مستقل ، القای الکترومغناطیسی کار میکرد. او به "مغناطیس زمینی" علاقه خاصی داشت. اووقتی درسال ۱۸۲۶ ، آزمایش ارستد را انجام میداد، فورا به این فکر افتاد که این راهی برای توضیح تغییرات در عقربه است. با توجه به تصویری که آمپر اززمین بعنوان یک پیل ولتای بزرگ ترسیم کرده بود. احتمالا هانری به این فکر افتاد که اهنربای نعل اسبی خود را با رشته های زیادی از سیم به پیچد[۸].

درسال ۱۸۲۷ ، اهم تئوری کاملا تکمیل شده خود را ارائه داد. بعضی از اصول مهمتر او بشرح زیر است:

۱) جریان در یک سیم فلزی مستقیما متناسب با ولتاژ اعمالی است.
۲) حریان در سیمهای سری با مقاطع مختلف ثابت است. این به جنس ویا شکل آن بستگی ندارد.
۳) مقاومت سمهای سری مجموع مقاومتهای هرکدام است.
۴) جریان در انشعابات تقسیم میشود.
۵) هدایت با افزایش حرارت کاهش مییابد.

کتاب او، گنگ نوشته شده بود ودر نتیجه احتمالا در اثر عدم تفاهم مورد انتقادات زیادی قرارگرفت.اهم دچار ناامیدی شد وزندگی آموزشی او ضربه دید[۳].

ولی کم کم اهمیت نتایج بدست آمده توسط او درک شد و فخنر(Fechner) در دروس خود از یافته های او استفاده کرده واز او تجلیل کرد. بعد ها ، لنز درسال ۱۸۳۱ ، وبر و گاوس در سال ۱۸۳۲ وژاکوبی در۱۸۳۳ از قوانین او استفاده کردند. بهر حال اهمیت یافته های او تا سال ۱۸۴۰ درک نشد[۸].

موتور الکتریکی هانری

دردهه ۱۸۲۰ تا ۱۸۳۰ ، هانری روی ساختن آهنرباهای الکتریکی کارکرد و دربهبود وضع آنها نقش موثری داشت.او با سری وموازی کرده کویلها ، انواع الکترومگنت ها را ساخت و دریافت که باطری بکاربرده شده اثر مهمی در قدرت آهنربا دارد. درسال ۱۸۳۱ او الکترومگنتی ساخت که میتوانست یک وزنه یک تنی را بلند کند. درهمین سال او یک موتور الکتریکی ساخت . این موتور از یک میله آهنی با محوری در وسط وسیم پیچی در دور آن ، تشکیل شده بود . زیر انتهای میله آهنی قطبهای شمال دو آهنربا قرار داشت.عبور جریان از سیم پیچ ، میله را آهنربا کرده وباعث انحراف آن میشد. درهمین حال با روشی استادانه جهت جریا ن عوض شده وقطبهای مغناطیسی میله باعث انحراف درجهت دیگر میشد. این ارتعاشات تا ۷۵ دور در دقیقه انجام میشد. بدون شک این موتور الکتریکی مقدمه ای برای ساخت موتورهای امروزی بود.

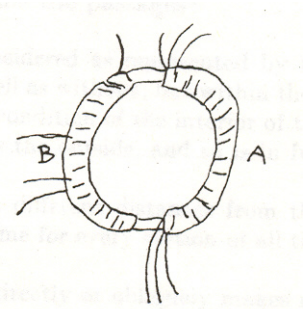
تلگراف الکترومغناطیسی

درهمان سال ، هانری کارمهمی روی تلگراف الکترومغناطیسی انجام داد. او از یک باطری باولتاژ بالا وجریان کم ، سیمی بطول حدود یک مایل ، الکترومغناطیسی با تعداد دورهای زیاد سیم و زنگی که توسط این الکترومگنت بصدا درمیامد ، استفاده کرد[۳].

القای الکترومغناطیسی

دراین زمان ، فاراده از آزمایشات هانری درمورد الکترومگنت های قوی، که درآنها پلاریزاسیون باتغییر جهت جریان عوض میشد ، مطلع شد. در ۲۹ اوت ۱۸۳۱، سرانجام فاراده پس از ۶ سال تلاش اثری را که جستجومیکرد ، کشف کرد.

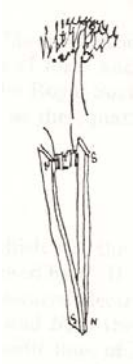
او اینطور میگوید:" یک حلقه آهنی گرد باقطر ۶ اینچ وضخامت ۷/۸ اینچ برداشتم. چندین دور از سیم مسی عایق شده به یک نیمه حلقه پیچیدم .سیم پیچیده شده از سه قطعه ۲۴ فوتی مجزا تشکیل شده بود که میتوانستند بطور مستقل یا سرهم مورد استفاده قرار گیرند. سیم ها با هم پیچیده شده وازهم عایق شده بودند. این قسمت را A نامگذاری میکنیم. در نیمه دیگر وبافاصله از آن سیم پیچی دوقسمتی دیگری بطول ۶۰ فوت وجود داشت. جهت پیچش مانند قبل بوده وآنرا B مینامیم. یک باطری با ۱۰ زوج صفحه ۴ اینچی میتوانست به دوسر سیم پیچی A متصل شود.



به دوسر B دوسیم بطول ۳ فوت درانتها با یک سیم مسی که بالای یک عقربه مغناطیسی قرار گرفته اتصالی شده اند. بمحض اتصال باطری به قسمتA ، انحراف محسوسی در عقربه دیده میشد. عقربه نوسان کرده ودوباره بحالت اولیه در میآمد. باقطع کردن مدار طرف A ، مجددا این پدیده تکرار میشد. با اتصال هر سه سیم پیچی در طرفA بهم ، انحراف خیلی شدید ترمیشد"[۹].

تبدیل مغناطیس به الکتریسیته

این کشف اثر ترانسفورماتوری ، سریعا فاراده را متوجه کل پدیده کرد. در ۲۴ سپتامبر او آزمایش دیگری راانجام داد. او یک کویل مارپیچی دور یک سیلندر از آهن نرم تهیه ، وازیک مارپیچی ویک عقربه مغناطیسی بعنوان نشان دهنده استفاده میکند وچنین میگوید:"سیم بصورت هلیس دور سیلندر آهن پیچیده شده وبا سیم های مسی بیک هلیس نشان دهنده در فاصله دورتر متصل شده بود . سپس آهن بین قطبهای آهنربا مطابق شکل قرار میگرفت. هر دفعه که اتصال مغناطیسی در N یا S بوجود میامد ویا قطع میشد، درهلیس نشان دهنده حرکت مغناطیسی ظاهر میشد. این بار هم اثر دائمی نبود بلکه فقط بطور لحظه ای انجام میشد.اما اگر اتصال الکتریکی بین دو سیم پیچ قطع میشد،عمل بالا اثری روی نشان دهنده نمیکرد. پس عمل عکس یعنی تبدیل مغناطیس به الکتریسیته انجام شده بود".



دراول اکتبر، فاراده آزمایش ترانسفورماتور را با هسته چوبی تکرارکرد وهمان نتایج را ولی خیلی ضعیف تر مشاهده کرد بطوریکه مجبورشد از گالوانومتر بعنوان نشان دهنده استفاده کند و نتیجه گرفت که پدیده مذکور بدون وجود هسته آهنی هم به وجود میآید.

بالاخره در ۱۷ اکتبر سال ۱۸۳۱ ، مهمترین آزمایش خودش را انجام داد. او از یک هلیس استوانه ای متصل شده به گالوانومتر استفاده کرد وچنین توضیح میدهد:" یک میله استوانه این مغناطیسی بقطر ۳/۴ اینچ وطول ۸,۵ اینچ از یک انتها کمی وارد سیلندر هلیسی میشد. بعد بسرعت تمام میله داخل هلیس شده وعقربه گالوانومتر منحرف میشد.بابیرون کشیدن میله مغناطیسی مجددا گالوانومتر ، ولی درجهت عکس قبل منحرف میشد. این اثر درهربار تکرار مشاهده میشد و به این ترتیب یک موج الکتریسیته فقط از نزدیکی آهنربا و نه اتصال با آن بوجود میآمد." همان طور که قبلا گفته شد، فاراده ترجیح میداد که کل اثرات الکتریکی ومغناطیسی را بصورت خطوط نیرو تصور کند، فکری که اولین

بار با مشاهده وضع قرار گرفتن براده های آهنی در اطراف آهنربای طبیعی در او به وجود آمده بود. اکنون او پدیده الکتریسیته القائی را بصورت اثر متقابل با خطوط قوای مغناطیسی میدانست وآنرا در سال ۱۸۵۱ بیان کرد[۹].

پس از کشف اصلی القاء ، فاراده به آزمایشات خود ادامه داد. در ۲۸ اکتبر همان سال او نخستین ***دینامو یا مولد جریان دائمی*** خود را که متشکل از صفحه فلزی گردا ن بین قطبهای مغناطیسی ومدارخارجی متصل بین مرکز و لبه صفحه بود ، اختراع کرد. به این ترتیب نیروی مکانیکی بکمک این ماشین ساده ، به نیروی الکتریکی تبدیل میشد[۸]

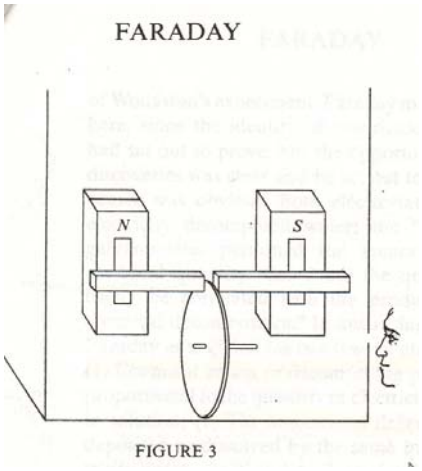


FIGURE 3

درهمین اوقات ، ***هانری*** نیز آزمایشاتی انجام داده ونتایج مشابهی درمورد ***القاء وخود القاء*** رسیده بود.تفاوت او با فاراده دراین بودکه فاراده دستگاههائی برای آشکارشدن اثرات بسیارکم می ساخت ولی هانری سعی میکرد اثرات کوچک را بزرگ کند ورله الکترومغناطیسی از نتایج کارهای اوبود[۸].

پدیده خود القاء

درسال ۱۸۳۲ فاراده قانون القای خود را فرموله کرد[۱۱] ودرهمین سال ***هانری، قانون خودالقاء*** خود را اعلام کرد. در آزمایشی مشاهده کرد که در هنگام قطع مدار جرقه تولید میشود درحالیکه در حالت وصل اینطورنیست. همچنین دید که این اثر در حالتی که سیم پیچیده شده ویا جریان بیشتر باشد شدید تراست. او نتیجه گرفت که قطع جریان در هر قسمت از سیم ، در قسمتهای مجاور آن سیم جریان القاء میکند واین جریان القائی است که ایجاد جرقه میکند. بنابراین پدیده خود القائی توسط هانری کشف شد[۳].

درهمین سال ***پیکسلی*** کموتاتور را برای ژنراتورهای جریان دائم ساخت.

واحدهای مطلق اندازه گیری

درهمین زمان گاوس طی مقاله ای برای اولین بار کار برد واحدهای مطلق ،فاصله ، جرم وزمان را برای اندازه گیری مقادیر غیر مکانیکی بطور سیستماتیک اعلام کرد. وبر در این کار بااو همکاری کرده است.

الکترولیز

درسال ۸۳۳۱ ، فاراده مقاله مهمی درباره الکترولیز یا تجزیه شیمیائی توسط جریان نوشت. کلما ت آند ، کاتد ، الکترود، الکترولیت و یون برای اولین بار توسط او بکار رفتند.

فاراده بدنبال این فکر رفت که الکتریسیته بوجود آمده از منابع مختلف ، ژنراتور های الکترواستاتیک، پیل ولتا، دینامو و جرقه های الکتریکی همگی یکسان هستند. او گزارشاتی از آثار یکسان شکلهای مختلف الکتریسیته را ملاحظه کرد. اشکال اصلی فقط در مورد حالت الکترواستاتیک بود . گزارشات منتشر شده حاکی از وجود اثر الکتریکی ومغناطیسی در تخلیه الکتریکی بود، ولی فاراده آنها را دوپهلو میدید.مثلا تخلیه الکتریکی ، سوزن را مغناطیس میکرد ولی فاراده ایجاد مغناطیس توسط میدان الکترواستایتک را غیر ممکن میدید . همچنین در۱۸۰۱ ،ولاتسون در تجزیه آب توسط جرقه تخلیه در زیر آب خبر داده بود ، اما این میتوانست بعلت ضربه مکانیکی ، حرارت ایجاد شده توسط جرقه ویا هر دو باشد. فاراده برای برطرف کردن هرگونه شکی ،آزمایشاتش را متوجه این دو اثر کرد.

اثر مغناطیسی تخلیه الکترواستاتیک بوسیله یک گالوانومتر ساده آزمایش شد. تخلیه با عبور آن از یک نخ مرطوب ، بطئی شد. گالوانومتر انحراف نشان داد ولذا سئوال برای اولین وآخرین بار مشخص شد. در اینجا شاید فاراده باید توقف میکرد ولی او موقعیت مقایسه کمی الکتریسیته استاتیک والکتریسیته ولتا را داشت. یک الکترومتر ، مقدار نسبی باراستاتیک را تعیین میکرد. وانحراف گالوانومتر به او اجاره میداد که بار وتخلیه را بهم مر بوط کند. خوشبختانه ، وبدون اینکه خود فاراده بداند، دراینجا گالوانومتر او مانند یک گالوانومتر بالیستیک عمل میکرد واو میتوانست نتیجه بگیرد که " اگر همان مقدار مطلق الکتریسیته از گالوانومتر عبور کند ، شدتش هرچقدر که باشد ، نیروی منحرف کننده سوزن مغناطیسی یکسان است" . فاراده فورا به این فکر افتاد تا دستگاهی برای مقایسه کمی جریانهای ایجاد شده توسط تخلیه استاتیک وولتائی بسازد. با تاثیر الکتریسیته روی عقربه گالوانومتر ، فاراده نتیجه قطعی در یکی بودن دو الکتریسیته گرفت. به این ترتیب او دستگاهی برای اندازه گیری مقادیر نسبی الکتریسیته ساخته بود.

مساله ای که باقی میماند، تجزیه الکتروشیمیائی توسط تخلیه الکتریکی بود. در اینجا نیز انحراف گالوانومتر اندازه دقیق مقدار الکتریسیته را نشان میداد. آیا نمیشد مقدار الکتریسیته را به مقادیر تجزیه شده شیمیائی ارتباط داد؟.درجواب به این سئوال فاراده ، دوقانون خود در الکتروشیمی را بیان کرد. اول اینکه عمل شیمیائی یا قدرت تجزیه دقیقا متناسب با مقدار الکتریسیته گذرنده از محلول است. دیگر اینکه مقادیر اجسام مختلف رسوب کرده یا حل شده با مقدار معین الکتریسیته ، متناسب با وزن های شیمیائی معادل آنها است. به این ترتیب فاراده علاوه بر اثبات یکی بودن الکتریسیته ها ، رابطه دیگری از تبدیل نیروها یافته بود. الکتریسیته فقط در میل ترکیبی شیمیائی مانند پیل ولتا وارد نمیشد بلکه نیروئی برای ترکیب شیمیائی بود.

در ۱۸۸۱ هلمهولتز از مقالات سال ۱۸۳۱ فاراده در الکتروشیمی بعنوان پایه تجربیا تش برای این پیشنهاد که الکتریسیته باید مخصوس باشد ، یااینکه قوانین الکترو شیمیائی فاراده بی معنی خواهد بود استفاده کرد.

درتحقیقات الکتروشیمیائی خود او به کشفی انقلابی دست یافت. درتغییر شرائطی که در تحت آن تخلیه الکترواستاتیکی باعث تجزیه شیمیائی میشد ، او باتعجب دریافت که احتیاج به قطب نیست. اززمان اختراع پیل ولتا، متخصصین الکتروشیمی فرض میکردند که مثبت ومنفی دو انتهای مدار مانند مرکز نیرو عمل میکنند. نیروئی که از راه دور روی مولکولهای محلول عمل کرده وباعث از هم گسیختن آنها میشود،وبنابراین عبارت قطب را بکار میبردند. اما هنگامیکه فاراده یک تخلیه الکترواستاتیک را از کاغذ خشک آغشته شده به محلول یدور پتاسیم در هوا عبور داد، یدید پتاسیم تجزیه شد. پس در این حالت قطبها یا

مراکز نیرو در تئوری قبلی کجا بودند؟. ومهمتر اینکه چه چیزی داشت از فاصله دور روی مولکولهای یدید پتاسیم عمل میکرد. فقط عبور جریان برای تجزیه کافی بود. این آزمایش باتخلیه الکترواستاتیکی باعث تصور اینکه تجزیه بعلت اثر ازراه دور نیرو نیست، در فاراده شد.

دریک رشته آزمایشات ابتکاری ، فاراده نشان داد که مولکولها اصولا از هم گسیخته نمیشوند. درعوض ، دومولفه یک نمک دوگانه ، بنظر میرسید که در جهات مختلف در محلول تا رسیدن به انتهائی که روی آن می نشیند، مهاجرت میکنند. فاراده دراین روش ادعا میکرد که ، میل ترکیبی اجزاء یک نمک به طرفهای مخالف مولکولهای ترکیب بوسیله جریان بیشتر شده وباعث میشود که هر جزء شریک اصلی خود را ترک کرده و به دیگری نزدیک خود به پیوندد. نیروی الکتریک جهت ترکیب مجدد را تعیین میکند، یک جزء بطرف پایانه مثبت ودیگری به پایانه منفی میرود. این خصوصیت (exaltation) از یک مولکول به مولکول بعدی میگذرد، از پایانه شروع ودر محلول حرکت میکند. هیچ نیروئی در فاصله وجود نداشت ، بلکه فقط نیروهای بین مولکولی ایجاد شده توسط فشار تحمیل شده بوسیله نیروی الکتریکی ، بودند. بدون رجوع به اتمهای نقطه ای وپرتو نیروئی که این تعادل شیمیائی را ایجاد میکرد، تصور این پدیده مشکل است.

چنین پرتوهائی میتواند توسط تحمیل سایر نیروها بهم بخورد، وبنظر میرسد که منظور فاراده از (exaltation) همین بوده است. تحت تاثیر نیروی الکتریکی میل ترکیبی اجزاع مولکولی باعث (exalt) و هم ردیفی آنها شده واجازه حرکت به آنها در محلول را میدادند. پدیده دارای ۳ مرحله است . ایجاد فشار داخلی باتحمیل نیروی الکتریکی ، (exaltation) میل ترکیبی در امتداد جهت نیروی الکتریکی ، وحرکت که در اثر آن فشار بطور لحظه ای ، فقط تاتحمیل فوری و دوباره نیروی الکتریکی در پایانه ، کاهش می یافت. نیروی الکتریکی بااین ایجاد شدن وشکسته شدن های سریع فشار منتقل میشد، وانرژی الکتریکی بدون انتقال عامل مادی منتقل میشد. حتی قانون دوم الکتروشیمیائی نیز از این تصویر قابل بدست آمدن بود. هر انتقال احتیاج به شکست یک پیوند شیمیائی باشدت مخصوص داشت ، پس میتوان انتظار داشت که نیروی کل بکار گرفته شده (مقدار الکتریسیته) میتواند رابطه مخصوص وساده ای با مقدار کل ماده تجزیه شده بااین نیرو داشته باشد.

قانون لنز

درسال ۱۸۳۳ ، *لنز* (H.F.E. Lenz) فیزیکدان روسی در مقاله ای که در اکادمی سن پترز بورگ ارائه شد قانون خود را اعلام کرد. این قانون میگفت که جریان القاء شده در جهتی است که میخواهد با اثر الکترومغناطیسی خود با حرکت آهنربا یا کویلی که آنرا بوجود میآورد، مخالفت کند. عبارت ریاضی نیومن برای الکتروموتوری القائی در سال ۱۸۴۶ واثبات قانون بقای انرژی برای پدیده الکترومغناطیسی توسط هلمهولتز درسال ۱۸۴۷ بااستفاده از این قانون بود. قانون مذکور برای معکوس بودن اثر موتور و ژنراتور وعکس العمل آرماتور نیز بکارمیرفت. لنز با این قانون نظریه غلط وبر را که معتقد بود عدم ازدیاد جریان در اثر ازدیاد سرعت آرماتور بعلت تاخیر در مغناطیس شدن آهن است، رد کرد[۸].

خط تلگرافی گاوس

درهمان سال ۱۸۳۳ ، وبر آزمایشگاه فیزیک ورصد خانه را با دوسیم بطول یک مایل که از فراز منازل ودوبرج رد شده وبارها دچار قطعی شده بود، مرتبط کرد. بالاخره دراوائل سال اولین کلمات مبادله شد، واین اولین خط تلگرافی الکتریکی عملی است که توسط گاوس اعلام شده وبنظر میرسد که از چشم سایر

مخترعان دور ماند. بزودی گاوس متوجه اهمیت این اختراع برای مقاصد نظامی واقتصادی شده وتلاشی ناموفق برای کاربرد گسترده آن توسط دولت وصنایع انجام داد. درعرض چند سال ، سیم چندین بار تعویض یا ترمیم شد تاآنکه درسال ۱۸۵۴ که متروک شده بود صاعقه آنرا بکلی از بین برد. سایر مخترعین مانند اشتاین هال در آلمان و مورس در آمریکا ، چند سال بعد روشهای بهتر وموثر تری را بکار بردند بطوریکه پیشگامی وبر وگاوس در این اختراع فراموش شد[۸].

زمین بعنوان یک سیم

اشتاین هال که برای دولت باواریا کار میکرد دریافت که اززمین میتوان بعنوان یکی از سیمهای ارتباطی استفاده کرد.

اعلام کشف خود القاء فاراده

درسال ۱۸۳۴ ، فاراده ،بی اطلاع از اینکه هانری قبلا وبطور مستقل خاصیت خودالقاد را کشف کرده است، کشف پدیده مذکور رااعلام کرد[۹].

بررسی کارهای فاراده درزمینه القاء الکترومغناطیسی درمختصر نمیگنجد وسخن ماکسول در چندین سال بعد موید این مطلب است. او میگوید :*" قبل از اینکه من شروع به مطالعه الکتریسیته کنم ، به این نتیجه رسیدم که هیچ چیز ریاضی قبل از مطالعه نتایج فاراده نخوانم. من میدانستم که فاراده و ریاضی دانان زبان یکدیگر را نمیفهمند ومتوجه بودم که هیچکدام هم غلط نمی گویند*"[۵].

ایستگاههای مطالعاتی مغناطیس زمین

گاوس و ***وبر*** به اتفاق هم مقالات در مورد انحراف مغناطیسی زمین منتشر میکردند ودر همین احوال آنها یک ایستگاه مطالعاتی مغناطیسی زمین ، که تهی از هرگونه موادمغناطیسی مانند آهن بود ، تاسیس کردند. درسال ۱۸۳۴ یک شبکه متشکل از ۲۳ ایستگاه از نوع مذکور در اروپا کارمیکرد که مولفه های افقی وعمودی مغناطیسی را مرتبا اندازه گیری کرده وسعی داشتند برای آن توضیح ریاضی بیابند.

رله هانری

درسال۱۸۳۵ ، هانری از یک الکترومگنت ضعیف برای یک مدار مغناطیس قوی تر استفاده کرد وبه این ترتیب اولین رله ساخته شد. او همچنین سیم پیچی های غیر اندوکتیو و اولین ترانسفورماتورهای مناسب برای تغییر سطح ولتاژ را ساخته واصول آنرا توضیح داد. او بوسیله القاء الکترومغناطیسی ، نیروی الکتریکی را از دیوار ساختمان عبور میداد[۳].

سیستمهای تلگرافی جدید

درهمین زمان ، ***ویتستون*** و ***کوک*** اولین تلگراف رادر انگلستان ، و ***مورس*** در امریکا برقرار کردند. درآن زمان همه چیز شناخته شده بود .فقط باید عملی ، بهینه وبطور قابل اعتمادی بکار گرفته میشد[۱۰].

همچنین ، مانک (Munk) کشف کرد که پودر بعضی فلزات وقتی در کنار جرقه تخلیه بار الکتریکی قرار میگیرند ، خاصیت هدایتشان فرق میکند[۱۵].

تعیین ضریب دی الکتریک عایقها

درسال ۱۸۳۷ ، فاراده بدون اطلاع از کارهای قبلی کاوندیش درمورد ضریب دی الکتریک عایقها (که درسال ۱۸۷۹ توسط ماکسول منتشرشد) اقدام به بررسی این موضوع کرد.قبلا کاوندیش درکارهای اعلام نشده اش کشف کرده بود که وجود عایقها بین صفحات خازن ،ظرفیت آن را بالا میبرد وضریب دی الکتریک بعضی از آنها مانند شالاک ، موم، ابونیت و پارافین را بدست آورده وبه این نتیجه رسیده بودکه این ضریب برای شیشه مستقل از ولتاژ وبرای رزین مستقل از حرارت است.

فاراده دربررسی تجزیه ترکیبهای شیمیائی بین الکترودها، به این مساله هدایت شد. برخلاف خصوصیت الکترولیت های مایع ، او مشاهده کرد که وقتی یک جسم صلب مانند سولفور بکار میرود ، هدایت الکتریکی ودرنتیجه تجزیه انجام نمیشود، درحالیکه وجود آن بین الکترودها باعث ذخیره بار زیادتری نسبت به حالتیکه هوا باشد، است. او با انتخاب شالاک وسولفور بعنوان دوتا از بهترین اجسام عایق مناسب برای مطالعه تجربی پدیده بکار ادامه داد. اودوخازن کروی مشابه ، یکی با عایق هوا و دیگری با یک نیمکره از شالاک بعنوان عایق بکاربرد و درمقایسه نسبت بار به ولتاژ برای این دو خازن نتیجه گرفت:

"اگر ظرفیت دستگاه با عایق هوا ۱ باشد، مال عایق شالاک ۱,۵۵=۱۱۳:۱۷۶ است.این بیان کننده نسبت لاک به هوا نیست. لاک فقط نصف فضا را اشغال کرده است ، اگر اثر دونیمه بالائی گوی ها مجزا شود، دراینصورت مقایسه قدرت شالاک در نیمه پائینی یکی ، باقدرت هوا در نیمه پائینی دیگر برابر۲:۱ است.به این ترتیب من نتیجه میگیرم که شالاک ازخود ظرفیت القائی ویژه نشان میدهد".

این همان ضریب نسبی دی الکتریک امروزی است. برای سولفور ، او این مقدار را برابر ۲/۲۴ بدست آورد وآزمایشات را برای بسیاری از مایعات ، جامدات وگازها ادامه داد.

برای توضیح این خاصیت ، فاراده یک مفهوم فیزیکی برای عمل عایقها، براساس ایده یی که قبلا توسط دیوی برای توجیه کار پیل ولتا ارائه شده بود،بیان کرد. دیوی فرض کرده بود که قبل از تجزیه شیمیائی ،مولکولهای مایع الکترولیت از نظر الکتریکی پلاریزه میشوند.فاراده این فرضیه را به این ترتیب تقویت کرد:

"وقتی من کشف کردم که درحالت جامد، الکترولیت ها از ارائه عناصر خودشان بیک جریان خودداری میکنند،درحالیکه درحالت میایع اینطور نیست، گشایشی درتوضیح اثر القاء ملاحظه کردم . اگر الکترولیت آب باشد ، یک قطعه یخ باصفحات نازک پلاتین در دو سطحش ، واین دو صفحه به هر منبع جریان دائم متصل شود، یخ مانند یک لیدن جار شارژ شده ویک حالت عمومی القاء را نشان میدهد، البته بدون اینکه جریان عبور کند.حال اگر یخ آب شود، القاء به سطح معینی کاهش مییابد ، زیرا دراین صورت جریانی عبور خواهد کرد ولی عبور آن بستگی به ساختمان مخصوص مولکولی ذرات آن دارد". وسپس ادامه میدهد :"بنابراین درعمل الکترولیتی ، القاء اولین قدم است که ظاهر میشود وتجزیه بعد اتفاق میافتد. چون القاء دارای طبیعت یکسان در مورد هوا، شیشیه ، موم و.... دارد، توسط هر روش معمولیکه ایجاد شود ؛ وچون همه اثر در الکترولیت ظاهرا اثر قرار گرفتن ذرات در یک حالت ویژه یا حالت پلاریزه است، باعث این تصور که خود القاء عمومی در همه موارد اثر ذرات پیوسته است ، درمن شد".

قطبی شدن مولکولها

درسال بعد ، فاراده استادانه این فکر را این طور بیان میکند:"ذرات یک دی الکتریک عایق تحت اثر القاء ، میتواند با یک سری از سوزنهای مغناطیسی کوچک ، ویا بطور صحیح تر یک سری هادی کوچک ایزوله شده از یکدیگر ، مقایسه شوند. اگر فضای اطراف یک گوی شارژ شده با ترکیبی از یک دی الکتریک عایق ، مثل روغن تربانتین ویا هوا ، وهادیهای کوچک کروی ، مانند ساچمه با فاصله کم وعایق از یکدیگر ، پر شده باشد، اینها در شرائط وعمل کاملا شبیه شرائط وعمل ذرات خود دی الکتریک عایق است. اگر گوی شارژ شود این هادی های کوچک همگی قطبی میشوند؛ اگر گوی تخلیه شود ، همه آنها بحالت عادی خود باز میگردند".

باتوجه به تئوری اتمی آن زمان ، فاراده بااین مدل توانست بیان کند که پلاریزاسیون دی الکتریک ، باعامل به وجود آورنده آن مخالفت میکند وبنابراین احتیاج به بار بیشتری برای بوجود آوردن همان ولتاژ دارد. این توجیه مناسبی برای ازدیاد ظرفیت در اثر وجود دی الکتریک بود[۹].

آزمایش سطل یخ

یکی دیگر از آزمایشات فاراده ، آزمایش سطل یخ بود. یک قوطی فلزی ، عملا سطل یخ ، ویک الکتروسکپ زرورقی بکار برده میشود. الکتروسکپ از دو زرورق نازک که از یک میله فلزی بطور آزاد آویخته شده اند تشکیل شده است. چنین الکتروسکپی به بدنه خارجی سطل یخ متصل میشود. فاراده آزمایشی به این شرح انجام داد:

فرض کنیم یک گوی فلزی با بار مثبت ، بدون اینکه تماس پیدا کند ، داخل سطل شود. بار منفی معادلی روی سطح داخلی سطل ظاهر خواهد شد. پس به همین نسبت بار مثبت روی بدنه خارجی وجود خواهد داشت که باعث ازهم جدا شدن زرورق ها میشود. این وضعیت مستقل از محل قرارگرفتن گوی باردار درداخل سطح است. چنانچه گوی بیرون آورده شود ، زرورقها مجددا بهم می چسبند. حال اگر درحالت قبل پس از وارد شدن گوی بارشده بداخل سطل وجدا شدن زرورقها ، با بدنه سطل تماس حاصل کند، بار مثبت گوی وبار منفی سطح داخلی سطل یکدیگر را خنثی میکنند، وبار مثبت بدنه خارجی دست نخورده باقی میماند. زرورقهای جدا شده نیز همچنان وضعیت خود را حفظ میکنند. باخارج کردن گوی،بازهم اثری در زرورقها دیده نمیشود. در دفعه بعد ، الکتروسکپ تخلیه شده وگوی فلزی مجددا شارژ ودرداخل سطل قرار میگیرد بطوریکه زرورقها ازهم جدا شوند. حال چنانچه سطل با دست لمس شود ، زرورقها بهم می چسبند ،زیرا بار روی سطح تخلیه شده است. درحالیکه بار در داخل هم چنان توسط گوی بار دار حفظ میشود. باخارج کردن گوی بار دار از داخل سطل ، الکتروسکپ مثل قبل از هم جدا میشود، زیرا سطل دارای باری منفی برابر با مقدار بار مثبت گوی است. حال اگر مجددا گوی با سطل تماس پیدا کند ، هردو کاملا تخلیه شده والکتروسکپ بهم می چسبد.این آزمایش نشان دهنده مفاهیم اساسی مانند بقای بار وشارژ توسط القاء است.

سپر الکتریکی یا شیلدینک

آزمایش دیگر فاراده ، مبین بقای بار وسپر الکتریکی است. او یک جعبه بزرگ را با ورق نازک فلزی پوشاند واز زمین عایق کرد. به پوششی فلزی یک الکتروسکپ متصل بود. او با کمک ماشینهای اصطکاکی وهم چنین القاء درداخل جعبه بار ایجاد کرد.الکتروسکپ در بیرون حرکتی نکرد ، که به معنی صفر بودن بار

خالص در داخل جعبه است. بعد الکتروسکپ درداخل جعبه قرار گرفت واز پوشش فلزی عایق شد.سپس جعبه بشدت شارژ شد بطوریکه جرقه های زیادی ایجاد میشد. ولی الکتروسکپ حساس داخل جعبه حرکت نکرد. پس عملیات الکتریکی خارج جعبه ، توسط پوشش فلزی کاملا شیلد میشدند(درغیر این صورت باید در اثر القاء الکتروسکپ نشان میداد)[۳].

فعالیت برای تلگراف

درهمان سال ، ***دیوی*** و ***وینستون کوک*** ، با کاربرد رله در تلگراف توانستند فاصله ارتباطی را زیاد کنند[۱۰].درسال ۱۸۳۸، ***مورس*** در آمریکا اولین سیستم تلگراف را تاسیس کرد ***وکد تلگرافی*** را طراحی وبه ثبت رساند.

درهمین سال ***هانری*** مقاله ای در مورد ***خود القاء الکترودینامیکی*** منتشر کرد و نمایشهایش در آن سال وبعد از آن در این رابطه بود واثر قابل توجهی روی دیگران گذاشت ، بطوریکه فاراده در یادداشتهایش درسال ۱۸۳۹ اشاره ای در مورد دریافت کویل های هانری توسط ۵ نفر علاوه برخودش را دارد[۸]. درسال ۱۸۳۷ ***فاراده*** با بکار بردن فشارهای خیلی کم ، دریک لوله شیشه ای با دو الکترود، مشاهده درخشش در الکترود منفی کرد که با یک فضای تاریک همراه بود(که آنرا ***فضای تاریک فاراده*** نامیدند)،وبه دنبال آن هم یک منطقه روشن که تا الکترود مثبت ادامه داشت[۳].

درهمین سال ***موتور الکتریکی*** توسط ***دیون پورت*** اختراع شد.

نظریه الکترواستاتیک بین مولکولی

تحقیقات الکتروشیمیائی فاراده ، دراو فکر جدیدی درمورد الکترواستاتیک به وجود آورد. اگر نیروهای الکتروشیمیائی در فاصله عمل نمیکنند، آیا غیر معقول است که فکر کنیم نیروهای الکترواستاتیگ نیز بین مولکولی هستند؟. تحقیقات کولمب در ۱۷۸۰ بنظر میرسید که جواب این سئوال راداده باشدو نیروها با فاصله عمل میکرد ، ولی فاراده با توجه به کارهای الکتروشیمیائی خود ، جرات مطرح کردن چنین سئوالی را کرد. جایگزینی نیروی بین مولکولی ، لازمه اش دو چیز بود. اول اینکه نیروی الکترواستاتیک ، اگر به توانا ئی مولکولهای یک محیط برای انتقال آن وابسته باشد ، باید تغییر کند ، ودیگر اینکه چون مولکولهای منتقل کننده حجمی را اشغال میکنند ، پس این نیروها باید توسط خطوط منحنی منتقل شوند، برخلاف آنچه که در فیزیک ، عمل درفاصله ،بصورت خط مستقیم است.اثبات تجربی هر دو این نتایج بسرعت میسرشد. نیروی القائی ، وقتی اجسام مختلفی برای انتقال آن بکارمیرفت تغییر نمی کرد. کشف ظرفیت ویژه القائی یکی از عناصر مهم ساخت تئوری الکتریسیته فاراده بود. هم چنین نیروی القائی ، بصورت منحنی منتقل میشد ونه با خط مستقیم ، وبنابراین یکبار دیگر عقیده فاراده را در مورد نیروهای بین مولکولی تایید میکرد.

نظریه جدید الکتریسیته

درسال ۱۸۳۸ ، فاراده در موقعیتی بود که میتوانست با جمع آوری همه مطالب ،تئوری همدوس الکتریسیته را بیان کند. ذرات ماده ، مرکب از نیروهائی با پر توهای پیچیده بودند که حالت ویژه آنها را تشکیل میدادند. این پرتو باتحت فشار قراردادن ذرات بهم میخورند. نیروی الکتریکی چنین فشاری را ایجاد میکند. در الکترواستاتیک ، فشار به مولکولهای مناسب برای تحمل این نیروی زیاد ،وارد میاید؛ وقتی خط فشار ویژه راه بدهد ، جرقه الکتریکی حاصل میشود وبرق آسمان این پدیده در مقیاس بزرگ آن است. در

الکتروشیمی ، نیروی شکست فشار ، میل ترکیبی عناصر یک ترکیب شیمیائی برای تجزیه شدن است. انتقال ذرات عناصر بطرف دو الکترود ، فشار را بطور لحظه ای کاهش میدهد ولی فورا با عمل دائمی نیروی الکتریکی الکترودها روی نزدیکترین ذرات الکترولیت ، مجددا ایجاد میشود. این ایجاد وشکست فشار ویژه داخلی ، گذرنده از الکترولیت ، جریان الکتریکی را تشکیل میدهد[۸].

این یک انتقال انرژی بدون نیاز به انتقال ماده بود. همین کار در هدایت معمولی اتفاق می افتاد. مولکولهای یک هادی خوب اصلا نمیتوانند فشار زیادی راتحمل کنند وبنابراین ایجاد وشکست فشار در اینجا خیلی سریع بوده وهدایت بسیار خوب است.

تئوری زیبا ، کامل وبراساس تجربه بود. ضمنا با همه مفاهیم رشد یافته قبلی الکتریسیته مبارزه میکرد. فاراده این را میدانست وآن را با احتیاط بیان کرد. نتایج تجربی بطور روشن وقاطع گزارش، ومفاهیم تئوری با زبان آرام ومحتاطانه بیان شد.میتوان گفت که دردهه ۱۸۳۰ کسی این تئوری را جدی نگرفت. فاراده نیز توان لازم برای دفاع از انرا نداشت.

درسال ۱۸۳۹ ، فاراده دچار ناراحتی عصبی شد که دیگر هیچوقت ترمیم نشد. تا ۵ سال اونتوانست تمرکز حواس خود را برای حل مسائل الکتریسیته ومغناطیس بدست آورد.

پتانسیل مغناطیسی زمین

درهمان سال ، گاوس پتانسیل مغناطیسی درهرنقطه روی سطح زمین را با بسط یک سری بینهایت از توابع کروی واستفاده از اطلاعات بدست آمده در شبکه جهانی تعریف وضرائب اولین ۲۴ مولفه آنرا تعیین کرد.

رابطه جریان وحرارت

درسال ۱۸۴۱ ، ژول(J.P. Joule) قانون رابطه جریان گذرنده از یک هادی فلزی وحرارت ایجاد شده را تعیین کرد. او این کار را با پیچیدن سیمهای با طول ومقطع مختلف بدور لوله های شیشه ای نازک وغوطه ور کردن آنها در ظروفی که دارای مقادیر مشخصی آب بودند ، انجام داد. او قانون ژول یعنی ازدیاد درجه حرارت متناسب با مربع جریان گذرنده است، را بدست آورد.

درسال ۱۸۴۱ ، ***تامسون*** (لرد کلوین) درزمانیکه دانشجوی لیسانس درکمبریج بود، تشابه قوانین الکترواستاتیک وانتقال حرارت را بیان کرد. او گفت دریک منبع حرارت نقطه ای ، چون سطح کره $4\pi r^2$ است پس شار حرارتی گذرنده متناسب با $\frac{1}{r^2}$ است که مشابه قانون عکس مجذور فاصله کولمب است، پس با جایگزینی مناسب ، یک مساله درالکترواستاتیک میتواند به مساله حرارت تبدیل شود.

درآن زمان ***پواسن*** معتقد به وجود سیال الکتریکی که جوهر هستی آن مانند سایر اجسام فضا را اشغال میکند، بود. کولمب نظری خلاف این را داشت. اشکال اساسی تئوری پواسن تعیین ضخامت عمل لایه الکتریکی در هر نقطه از سطح هادی بود.

درسال ۱۸۴۲***تامسون*** سعی کرد فرم فیزیکی ***سیال الکتریکی*** را مشخص کند وبه نتیجه ناراحت کننده ای رسید. اودریافت چنانچه الکتریسیته سیالی باشد که فقط مطابق قانون کولمب نیرو وارد میکند، لایه الکتریکی درسطح یک هادی باید فاقد ضخامت فیزیکی باشد. به این ترتیب الکتریسیته مجموعه ای از مراکز نقطه ای نیرو خواهد بود وبنابراین او بکلی این فکر را رها کرد[۸].

فکر تحقیق در تعیین صحت نظر فاراده ویا عمل درفاصله ، که توسط ***لیوویله*** در ***تامسون*** بوجود آمده بود ، اورا به تلاش برای بررسی مجدد هردو تئوری مستقل از فرضیات فیزیکی وا داشت. دراین تلاش او سازنده یک روش خاص برای توجیه علمی شد. او با تمایز بین محتوای فیریکی وریاضی تئوری پواسن شروع کرد. درتئوری مکانیکی الکتریسیته ، بافرضیه فیزیکی سیال الکتریکی اشکالات اساسی وجود دارد که در مورد کفایتی که با آن فرضیه طبیعت همه مواد را بیان میکند ایجاد شک میکند. درضمن تئوری ریاضی پواسن بسیار قوی بوده وبرای موارد گسترده ای مناسب بود. به تحریک اشکال فیزیکی روش پواسن وبرخورد با فکر فاراده ، تامسون شروع به تفکر دقیق تر در مورد طبیعت واقعی تئوری عمل در فاصله کرد.

تامسون بین تحسین از قدرت ریاضی روش پواسن وتنفرش از سیال الکتریکی گیر کرده بود. باامید به رفع این بلا تکلیفی او به تجربیاتی دست زد که درعمل او را به اثبات معادل بودن نظر فاراده ومکتب عمل درفاصله رساند.اوباحذف نظریه فیزیکی از هر دو تئوری ، به این نتیجه رسید.

از نقطه نظر تامسون ، هردو نظریه فرانسویها وفاراده ، باید فقط شامل مجموعه ای از موضوعات ریاضی در مورد توزیع الکتریسیته روی اجسام هادی باشد. درمورد کولمب که هیچوقت مانند پواسن از ضخامت لایه الکتریکی ننوشته بود ، تامسون میگفت که او تئوری خود را طوری بیا ن کرده است که فقط میتواند با دقیق نبودن نتایج مورد حمله قرار گیرد. بهرحال او باور نداشت که نظر کولمب با رد یا قبول سیال الکتریکی تغییر کند.

درسال ۱۸۴۵ او بین نطریه فیزیکی و قانون ریاضی مقدماتی ،فرقی قائل شد. منظور او از نظریه فیزیکی وجود یک جوهر غیر قابل مشاهده مانند سیال الکتریکی ویا ذرات دی الکتریک فاراده واز قانون ریاضی منظور او عبارتی بود که میتوانست مستقیما در آزمایشات وارد شود.

نوسان درتخلیه لیدن جار

درسال ۱۸۴۲ هانری به مقاله ۱۸۳۸ خود مراجعه وتوضیح داد که در تخلیه لیدن جار یک نوسان جلووعقب اتفاق می افتاد تا آنکه تعادل در نتیجه شرائط پیچیده القاء وخود القاء حاصل شود.گرچه او این مطلب را بعنوان اصلی بیان کرد لیکن قبلا توسط ساوارای نیز گفته شده بود . آزمایشات هانری برای اثبات وتوضیح جهت جریان های مختلف القاء شده ، انجام شده بود. دراین مقاله او از انتشار وآشکار سازی اثرات الکترومغناطیسی درفاصله زیاد گزارش میدهد. او میگوید که یک جرقه ساده میتواند اثرات الکتریکی در مکعبی باظرفیت ۴۰۰۰۰۰ فوت ایجاد کند. اوهمچنین بیان میکندکه جرقه های برق آسمان ، در ۷ یا۸ مایل دورتر روی سوزن مغناطیسی اثر میگذارد . برای توجیه این اثرات ، هانری اعتقاد خود را به یک فضای الکتریکی اعلام کرد. با تمایل به قبول نظریه آمپر وارستد در مورد میدان مغناطیسی زمین ، او ابتدا به مقایسه آزمایشگاهی مغناطیس زمین وجریانهای الکتریکی مربوطه با شکلهای مختلف مغناطیس پرداخت. دراینکار او، اصول نیوتنی را در تصور نجوم بعنوان علم مدل و مکانیک بعنوان ابزار غائی تحلیل قبول داشت.

مثلا باوجود تحت تاثیر بودن مدل اتمی بوسکوویک ، ولی بعلت عدم سازگاری باقوانین حرکت نیوتون درسطح ماکروسکپیک ، آنرا ردکرد. اومفهوم میدانی فاراده را بخاطر اعتقاد به وجود نیروهای مرکزی عمل کننده دریک سیال عمومی ، نمیتوانست قبول کند. این نظرات بخاطر مطالعاتش درمورد اثار الکترو مغناطیسی در خلاء تقویت شده بود. در مورد اثر متقابل جریان ها ومغناطیس ها ، او توضیحات قبلی خود را برای این نتیجه گیری که جریانها پدیده موجی نوسانی هستند که اثرات معادل واگر نه یکسان، دریک فضای الکتریکی منطبق شونده با اثر عمومی بوجود می آورند، بسط داد.

هانری اعتقاد داشت که اختلالات خاص از ماده ی ناخالص(grosser) نوسانات موجی شکلی در محیط بوجود میآورد که ظهور آن در سایر اجسام (grosser) الکتریسیته ومغناطیس است. اوسپس پدیده موجی را به آثار مکانیکی در محیط تبدیل میکند. از نظر او الکتریسیته ساکن ، عمل لحظه ای در فاصله ، دراثر اختلال درمحیط توسط ماده (gross) است که باعث انقباض و رقت اتر یا محیط میشود. والکتریسیته دینامیک ، انتقال عملی قسمتی از اتر با محیط با احتیاج به زمان معینی برای برقراری تعادل محیط عمومی است[۸].

درهمان سال ۱۸۴۲ ، ***لنز، قانون اثر حرارتی جریان*** را بطور مستقل از ژول و با دقت بیشتری بدست آورد.

درسال ۱۸۴۴ ***فاراده*** مقاله کوچکی در مورد ***هدایت الکتریکی*** و طبیعت ماده نوشت که در آن اثبات کرد که فقط اتمهای بوسکوویک برای هدایت یا عدم هدایت الکتریسیته در اجسام مادی سازگاری دارد. درهمین سال هانری سیستم تلگرافی ایجاد کرد[۸].

درهمین سال ***لنز*** قانون انشعاب جریان دریک سیستم موازی متشکل از مقاومتها ونیروهای الکتروموتوری دلخواه را ، چهار سال قبل از ***کیرشف*** اعلام کرد.

نظریه القای الکترواستاتیک

درسال ۱۸۴۵ ***تامسون*** ، که بعدا به ***لرد کلوین*** معروف شد ، بکمک مفاهیم ارائه شده برای پلاریزاسیون عایقها توسط فاراده ، تئوری القای مغناطیسی پوآسن را برای الکترواستاتیک بکاربرد. دراین کار موساتی(Mossatti) همکار او بود. موساتی همچنین بعدا نشان داد که چگونه ضریب دی الکتریک یک جسم به چگالی جرمی آن بستگی دارد[۹].

گردش پلاریزاسیون نور توسط مغناطیس

درهمان سال ۱۸۴۵، فاراده یکی از درخشان ترین تحقیقات خود را ارائه داد. در ششم اوت آن سال ، ویلیام تامسون درنامه ای به فاراده از موقعیت خود درمورد بیان ریاضی خطوط قوا خبر داد. در انتهای نامه از آزمایشاتی نام برد که باعث شد فاراده یکبار دیگر بطور فعال به تحقیقات خود ادامه دهد. یکی از پیشنهادات تامسون به فاراده بررسی آثار الکتریکی روی نور پلاریزه عبور داده شده از یک عایق بود. تامسون چنین مینویسد :"میدانیم که یک عمل بخوبی مشخص شده ، مشابه کریستال شفاف ، وقتی نور پلاریزه از شیشه تحت فشار شدید عبور میکند، ایجاد میشود. اگر فشار ، که میتواند تاحد شکست شیشه بالارود توسط الکتریسیته ایجاد شود ، بنظر میرسد که احتمالا عمل مشابهی انجام شود".

اثری که توسط تامسون بیان شده بود ، از سال ۱۸۲۰ مورد نظر فاراده بود ولی موفقیتی حاصل نشده بود. این بار نیز آزمایشات نتیجه ای نداد.اما باتوجه به کار ۱۸۳۰ فاراده درمورد تبدیل الکتریسیته ومغناطیس به یکدیگر ، او به این فکر افتاد که اثر میدان الکتریکی کم است در صورتیکه میتوان با استفاده از الکترومگنت ها میدان مغناطیسی قوی بدست آورد واثر آنرا بررسی کرد.

در۱۳ سپتامبر ۱۸۴۵ تلاش اونتیجه داد . صفحه پلاریزاسیون نور با پلاریزاسیون صفحه ای در عبور از یک لوزی شیشه با ضریب شکست بالا که در یک میدان مغناطیسی قوی قرار داشت ، چرخش پیدا میکرد وزاویه چرخش مستقیما متناسب با شدت میدان مغناطیسی بود. به این ترتیب فاراده اثر مستقیم مغناطیسی

روی نور را کشف کرده بود. این حقیقت که نیروی مغناطیسی در محیط شیشه ای عمل کرده ، باعث شد که او بجز آهن ، نیکل وکبالت ، همه اجسام را دارای نیروی مغناطیسی بداند . کسی نباید نسبت به مغناطیس بی تفاوت باشد واین را آزمایش ثابت کرده بود[۸].

اجسام پارا مغناطیس ودیا مغناطیس

فاراده یک میله از شیشه سنگین بین دو قطب یک آهنربای الکتریکی آویزان وپس از بی حرکت شدن آن سیم پیچ آهنربا را به پیل متصل کرد.ودید که میله شیشه برخلاف میله اهنی در امتداد عمود بر خط رابط قطبین قرارگرفت. او همچنین دیدکه یک مکعب شیشه ای سعی دارد که از میدان مغناطیسی خارج شود[۹]. پس همه اجسام نسبت به نیروی مغناطیسی یک خصوصیت نشان نمیدهند. بعضی مانند آهن ، خودشان درامتداد نیروی مغناطیسی قرار میگیرند وخود را به ناحیه شدیدتر مغناطیسی میکشانند. برخی دیگر مانند بیسموت در امتداد خطوط قرار گرفته وخود را به مناطق رقیق میدان میرسانند. فاراده اولین گروه را پارا مغناطیس ودیگری را دیا مغناطیس نامید. کشف مواد دیا مغناطیس باعث تئوری مناسب برای آنها شد. از زمان کولمب اکثر فیزیکدانها علت مغناطیس را مولکولهای قطبی میدانستند. درمورد اجسام دیا مغناطیس لازم بود که تصور شود که یک قطبیت معکوس وجود دارد که باعث دفع ، بجای جذب میشود. چون چنین توضیحاتی لازمه اش وجود سیالهای الکتریکی ویا مغناطیسی بود ، فاراده مشکوک شد. توجه فاراده به خطوط نیرو خیلی بیشتر از ذرات ماده اثر پذیرفته از خطوط نیرو بود. در آزمایشش در چرخش صفحه پلاریزاسیو اشعه نوری ، فاراده متوجه بود که پلاریته بدست آمده در جهت نیروی مغناطیسی بود ونه درجهت شیشه ای که سرراه قرار گرفته بود. آزمایشات دیگر او در دیامغناطیس ، اورا معتقد کرد که در دیامغناطیس ها قطب وجود نداشته بلکه فقط عکس العمل نسبت به خطوط میدان مغناطیسی است.

به این ترتیب او نظریه قطبی معاصران خود را نفی و نظریه خود را جانشین کرد . پارا مغناطیس ها اجسامی بودند که نیروی مغناطیسی را بخوبی هدایت میکردند و لذا خطوط قوا در آنها متمرکز میشد. دیا مغناطیس ها هادی های بدی برای مغناطیس بودند وباعث تفرق میدان مغناطیسی گذرنده از آنها میشدند.

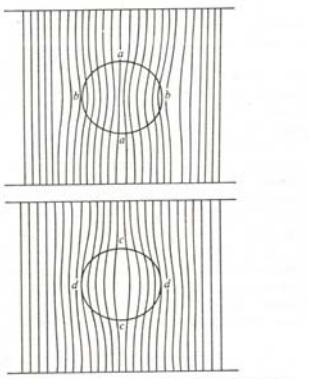


FIGURE 4. Diagrammatic representations of a paramagnetic substance (top) and a diamagnetic substance (bottom) in a uniform magnetic field. The "polarity" of the paramagnetic substance is represented by the compression of the lines of force at *aa*. There is no such compression in the diamagnetic substance; *cc* does not represent polarity opposite to that at *aa*.

مشاهده پرتو در شکل نشان میدهد که پائینی عکس بالائی نیست ودرحقیقت در دیا مغناطیسها قطب وجود ندارد. شکل بالائی هم چنان نشان میدهد که در پارامغناطیسها نیز قطبی وجود ندارد، اگر قطب بمعنی منتهی شدن میدانهای مغناطیسی باشد. فاراده نشان داد که خطوط قوای مغناطیسی برخلاف الکتریکی ، انتها ندارند . آنها رانمیتوان بعنوان اتمهای نیرو تحت فشار دانست و فاراده مدل قبلی خود، فشار ویژه داخلی برای انتقال نیروی مغناطیسی ، را ندیده گرفت. بجای آن او از " سیل قدرت " که با خطوط قوا مشخص میشوند، صحبت میکرد. او مغناطیس را با مدار گالوانی که در آن آهنربا منبع قدرت بود ، مقایسه میکرد، درحالیکه محیط اطراف نقش سیمهای رابط برای انتقال جریان مغناطیسی را بازی میکرد.آهنربا منزل خطوط قوا بود. این اظهارات ، ظاهرا غیر کافی بودند.و علت را بیان نمیکرد. بهرحال علت هرچه بود ، نیروی مغناطیسی ، در محیط اطراف آهنربا ظاهر میشد ونیرو و انرژی مغناطیسی در میدان بود ونه در آهنربا[۸].

درسال ۱۸۴۵ ، ***تامسون*** با توجه به این تشابه ، قصد آزمایش ومستعد کردن ادعای فاراده (که گفته بود قانون کولمب درعایقها توافق ندارد) و ارائه اولین توجیه دقیق ریاضی برای خطوط قوای الکتریکی را کرد. بعد ها او به همراه ماکسول یک تشابه عمومی بین این دو پدیده ، براساس شرائط پیوستگی وغیر قابل تراکم بودن بر قرار کردند. آنان برای خطوط جریان گذر مایعات بدون اصطکاک غیر قابل تراکم از محیط متخلخل ، خطوس انتقال حرارت، جریان الکتریسیته ، و خطوط قوا در مگنتو استاتیک والکترواستاتیک ، معادلات مشابهی را قائل شدند .تامسون وبطور مستقل هلمهولتز ،قانون انرژی را برای سادگی فوق العاده معادلات القائی نیومن بیان کردند[۸].

مفهوم بردار پتانسیل مغناطیسی

درسال ۱۸۴۵ ، نیومن فیزیک وریاضی دان آلمانی مفهوم بردار پتانسیل مغناطیسی را برای مگنتو استاتیک بیان کرد. او این تسهیلات را هنگام تهیه تئوری برای قانون القاء فاراده کشف کرد. شکل وابسته به زمان آن بعد ها حل بسیاری از مسائل مغناطیس را ساده کرد[۸و۹].

نیومن و وبر موسسین مدرسه الکترودینامیک در آلمان بودند که بعد ها ، ریمان ، بتی، ولورنس هم به آنها پیوستند. مطالعات وتحلیل های این گروه نتیجه این فرض بود که پدیده الکترومغناطیسی مستقیما از عمل در فاصله بجال واسطگی یک میدان ، بوجود میآمد ، فرضی که ابتداتوسط آمپر شده بود . شرکت اساسی نیومن دراین کار شامل دومقاله او درسالهای ۱۸۴۵ و۱۸۴۸ بود که درآن قوانین جریانهای الکتریکی را بصورت ریاضی بیان میکرد.نقطه شروع ،فرمول لنز در ۱۸۳۴ بعد از کشف القاء توسط فاراده بود که میگفت جریان القائی دریک هادی متحرک در نزدیک یک جریان گالوانیک یا یک آهنربا ، در جهتی است که سعی میکند باحرکت بوجود آورنده آن مخالفت کند. در تحلیل ریاضی خود او به فرمول

$$E.D_s = -\varepsilon v C.D_s$$

که درآن D_s عنصری از هادی متحرک ، $E.D_s$ نیروی الکتروموتوری القائی ، v سرعت حرکت ، $C.D_s$ مولفه جریان القائی و ε ضریب ثابت است ، رسید. با این فرمول او قادر به محاسبه جریان درلحظات مختلف میشد. امروزه این رابطه بصورت

$$E = -\frac{dN}{dt}$$

بیان میشود.

با ادامه تحلیل خود ، نیومن به روشی که طرز عمل جریانهای القائی در یک مدار بسته متحرک را بطور عمومی بیان میکرد ، توجه نمود. او دید که جریان القائی فقط به تغییر بستگی دارد که در اثر حرکت بصورت تابع خطی بوجود میاید. بااستفاده از معادلات آمپر برای مدار بسته ، او به پتانسیل متقابل دو مدار رسید ، یعنی مقدار کار مکانیکی که باید برعلیه نیروهای الکترومغناطیسی انجام شود تا دومدار درحالیکه جریانها ثابت است، در فاصله معینی از هم جدا نگاهداشته شوند. بعبارت امروزی :

$$Vii' = -ii' \int \frac{ds.ds'}{r}$$

که r فاصله سیمها است. اگر یک جزء ثابت ds' درنظر گرفته ونسبت به ds انتگرال گیری شود ، پتانسیل برداری مدار اول درنقطه ای که ds قرار دارد ، بدست میآید. ماکسول با روش دیگری به مفهوم پتانسیل برداری رسید[۸].

درهمین سال ،***کیرشف*** ***(Kirchhoff)*** قوانین معروف مداری خود را بیان کرد. همچنین ***ویتستون*** شیلد کردن کابل را بررسی کرد.

درسال ۱۸۴۶ ، وبر شروع به مطالعه اصولی قانون آمپر ،که عمل در فاصله را لحظه ای میدانست ، با نقطه نظر اثر متقابل بین بارهای جدا،کرد. او سرعت وشتاب بارهارا درنظر گرفت.همین طور وبر الکترو دینامتر خود را که در آن یک کویل توسط دو سرش آویخته شده ، ودر میدان کویل دیگری قرار میگرفت وهردوتوسط جریان تحریک میشدند، برای تعیین واحد جریان الکترودینامیکی که با نیروی اعمالی بین دو عنصر جریان در اساس قانون آمپر کار میکرد، ارائه داد. چون جواب دستگاه متناسب با مربع جریان بود بنابراین مقدار خوانده شده $\sqrt{2}$ برابر واحد الکترومغناطیسی ومناسب برای خواندن جریان متناوب بود. او به توسط آن جریانهای متغیر با فرکانسهای آکوسیتکی را اندازه گرفت[۸].

وبر سعی کرد با ترکیب قانون آمپر وقانون الکترواستاتیک یک نظریه جدید بوجود بیاورد که برای القای الکترومغناطیسی نیز مورد استفاده باشد. او جریان الکتریکی را گذر دو گروه مساوی ومخالف ذرات یا سیالهای باردار، در اثر نیروئی که جهت آن همیشه در امتداد خطی که دو ذره e و e' را بهم مرتبط میکند ولی مقدارش بستگی به سرعت نسبی $\dot{r}$ و شتاب نسبی $\ddot{r}$ آنها در امتداد آن خط داشت:

$$Fee' = \frac{ee'}{r^2}\left[1 - 1/c^2(r^2 - 2r\ddot{r})\right]$$

میدانست. c ثابتی با بعد سرعت وبرابر با نسبت واحد بار الکترودینامیک و الکترواستاتیک است.بعد ها درسال ۱۸۵۶ ، وبر و"کهل روش" ، باآزمایش آنرا حدود ۲/۳ سرعت نور بدست آنردند. روابط بالا بهمراه تئوری پتانسیل نیومن نقطه شروع همه تئوریهای بررسی شده در دهه ۱۸۷۰ بود[۸].

قسمت اصلی در عبارت بالا ، نیروی $\frac{ee'}{r^2}$ کولمب است. سایر قسمتها این جذب یا دفع را درحالیکه بارها دارای حرکت نسبی هستند ، تعیین میکند. بطور ساده اگر دوسیم موازی با جریانهای مساوی وهم جهت در نظر بگیریم ، نیروی دوقطعه کنار هم را میتوانیم حساب کنیم. بارهای همنام در دوسیم حرکتی نسبت به یکدیگر ندارند ومطابق قانون کولمب یکدیگر را دفع میکنند. بارهای غیر همنام در نقطه ای که از کنار هم عبور میکنند یکدیگر را نه دفع و نه جذب میکنند. اما شتاب مثبت است واین باعث افزودن نیروی جاذبه کولمب بین بارهای غیر همنام در دوسیم میشود که در اینصورت بسادگی دافعه بین بارهای همنام را خنثی میکند. یک جاذبه خالص بین جریانهای موازی و بنابراین سیمها ، موافق قانون آمپر حاصل میشود.

حال فرض میکنیم فقط یکی از سیمها مثلا A دارای حریان بوده ودیگری بطرف آن حرکت کند. حال نیروی یک عنصر B از سیم دوم را در نظر میکیریم . بارهائی در A که به نقطه C مقابل B نزدیک میشود دارای مقادیر بیشتر از $(\frac{dr}{dt})^2$ است تا بارهائی که در A بوده ودورتر از این نقطه است، زیرا B به A نزدیک میشود. چون عبارت وابستگی سرعت همیشه نیروی کولمب را میکاهد، بار مثبت در A که به C میرسد دارای دافعه کاسته شده نسبت به بار مثبت در B داشته وبارمنفی درA که از جهت مخالف به C میرسد دارای جاذبه کاسته شده است. یعنی از نیروهای تحریک شده توسط بارهای دورشونده از C بیشتر کاسته شده است. درنتیجه نیروی بار مثبت در B مخالف جهت حرکت جریان (یعنی بار مثبت) در سیمA است. نیرو روی بار منفی در B دارای همان مقدار با علامت مخالف است. اثر خالص روی بارهایB ، شتاب دادن آنها درجهتی مخالف جهت در A است ، یعنی در B جریانی مخالف با جهت A القاء میشود. درحقیقت قانون وبر شامل نیروی آمپر و هم چنین قانون الکترواستاتیک کولمب بود. بهر حال باید توجه داشت که اگر فرض جریان مساوی و مخالف بارهای غیر همنام در یک جریان کنارگذاشته شود، یک جریان دائم باید روی یک بار استاتیک نیروئی وارد کند که این با آزمایش مخالف است . دو سال بعد او تابع پتانسیلی که از آن نیرو بدست میآمد ارائه کرد.

درسال ۱۸۴۶ ، هلمهولتز مطلبی دائر بر عدم مطابقت نظریه وبر با اصل بقای انرژی اعلام کرد که بطور گسترده این مورد قبول واقع و زمینه ساز مخالفت ماکسول با این نظریه شد. البته در سال ۱۸۶۹ و بعد درسال ۱۸۷۱ ، وبر موفق به رد آن شد. وپس از آن ماکسول نظر خود را توسعه داد واستنباط نظر تامسون-هلمهولتز دراینکه هر نظریه ای که بااصول انرژی مطابقت داشته باشد خود بخود از القاء خبر میدهد ، واضح تر شد[۸].

سرعت محدود الکتریسیته ومشابهت تئوری های الکتریسیته والاستیسیته

بنظر میرسد که اولین کسی که سرعت محدودی را برای انتقال آثار الکترومغناطیسی درنظر گرفت ، گاوس بود.

درسال ۱۸۴۷ ، لرد کلوین تشابه بین پدیده های الکتریکی والاستیک را نشان داد و برای اولین بار کوشش کرد تا آزمایشات الکتریکی را با تئوری الاستیسیته تطبیق دهد[۱۱]. درهمان سال عایق کردن کابل زیر دریائی توسط زیمنس انجام شد.

درسال ۱۸۴۸ وبر ادعا کرد که او القاء در یک کویل که توسط دیا مغناطیس یک قطعه از بیسموت متحرک در یک میدان مغناطیسی ایجاد شده است را مشاهده کرده ولی در آن زمان تمایزی بین این اثر

وجریانهای حجمی القائی در جسم بیسموت نداد. ولی در سال ۱۸۵۲ او توانست اثر دیامغناطیس را جدا کرده ونشان دهد[۸]. او یک میله بیسموت را بسرعت از داخل یک سیم پیچ بلند رد کرد وآثاری روی عقربه مغناطیسی وجریان یک کویل مجاور آن مشاهده کرد.

فضای تاریک کروکس

درتخلیه لوله ها واتصال آنها به پتانسیل بالا مشاهده میشد که بین الکترود منفی و اولین منطقه روشن، یک ناحیه تاریک وجود دارد .درسال ۱۸۵۰ ، با بدست آمدن پمپ های تخلیه خیلی قوی ،فضای تاریک گسترش پیدا کرده و دیواره های لوله روشن میشد که این فضای تاریک را فضای کروکس مینامیدند[۳].

دراول اوت ۱۸۵۱ ، ***فاراده*** در یادداشتهای آزمایشگاهش چنین مینویسد:"نیروی یک آهنربا مشخص است و میتواند توسط خطوط انحنایش ارائه شود. خطوط انحنا هم در داخل وهم در خارج وجود دارند، ولی جهتشان عکس یکدیگر است. قدرت دارای مقدار مساوی در داخل وخارج است ، وبنابراین کاملا مشابه سیم پیچ الکتریکی است. شدت خطوط انحنا بشدت در فواصل دور تغییر میکند ، اما مقدار نیرو مشخص است و برای هر مقطع از همه خطوط انحنا یکی است . پس نتیجه میشود ک تفاوتی در قطع مستقیم یا مورب خطوط نیست واثر، بستگی به تعداد خطوط قطع شده دارد. سیمی که بطور مورب حرکت میکند ممکن است خطوط کمتری را قطع کند وجریان کمتر در آن بوجود آید. اما اگر همان خطوط را مستقیما هم قطع کند جریان تفاوتی نخواهد کرد. پس با یک سیم متحرک معین ویا با یک سیم معین که آهنربائی در زیر آن حرکت میکند، مقدار الکتریسیته تولید شده مستقیما مقدار منحنی هائی است که از آن عبور میکند. با همان خطوط انحنا ، و با سرعت حرکت ، مقدار تغییرمیکند". این مطلب طی مقاله ای درسال ۱۸۵۲ در انجمن سلطنتی قرائت شد وشکل ریاضی آن بعدا توسط ماکسول بصورت

$$e = -\frac{d}{dt}\int B_n ds$$

بیان شد، که به ***قانون الکتروموتوری فاراده*** معروف است[۹]. مفهوم خطوط قوای فاراده که همه فضا را پر کرده بود ، سالها با مخالفت روبرو بود تا آنکه ماکسول با نبوغ خود آن را بطور نظری و هرتز در آزمایشگا ه تایید کرد[۱].

فاراده پس از این کشف، به آزمایشات خود ادامه داد و در ۱۱ اکتبر ۱۸۵۱ او اولین ماشین الکتریکی خود را که در آن زمان از کموتاتور استفاده شده بود ساخت.

درهمان سال، ***رومکورف(H.D.Ruhmkorff)*** ، آلمانی که سازنده وسائل الکتریکی دقیق در آلمان بود ، کویلهائی ساخت که میتوانست جرقه هائی با طول متوسط تولید کند ودر سراسر دنیا معروف ومورد استفاده قرار گرفت[۸].

نظریات وبر در مورد مغناطیس ودیا مغناطیس

درسال ۱۸۵۲، وبر سهم بسزائی در ارائه تئوری مغناطیس داشت. او فرض کرد که هر مولکول یک مغناطیس دائم است که بعلت اصطکاک ، سعی دارد در موقعیت خاص خود قرار گیرد. گرچه نظریه امروزه بطور کامل قبول نشده ، ولی تئوری وبر باعث پیشرفت در تفهیم مغناطیس شد[۳].

نظریه دیگر او ، عمل در فاصله نیروهای الکتریکی ومغناطیسی در خط مستیقم ونفوذ آنها در فضا با سرعت بینهایت بود.

درهمان سال وبر توضیح دقیقی از دیا مغناطیس بودن را ارائه کرد. او با فرض مدارات مولکولی آمپر وکمک از قانون الکتروموتوری فاراده ، اظهار داشت که در صورت اعمال نیروی مغناطیسی متغیر با زمان ، جریانهائی در این مدارات القاء خواهد شد.وچون القاء باعث ایجاد جریان مخالف محرک خود است ، پس عمل دیا مغناطیس انجام میشود. براساس این بحث تمام اجسام از خود خاصیت دیامغناطیس نشان میدهند. او باقبول این نتیجه گیری ، سپس فرض کرد که اجسام پارامغناطیس ، اضافه بر آن دارای جریانهای مولکولی دائمی همستند که دلیل وجود این خاصیت در آنها میشود. جسمی با جریانهای مولکولی دائمی قابل ملاحظه ، در حالت عادی آن قدر بشدت مغناطیس است که اثر ضعیف دیامغناطیس دراثر جریانهای القائی کاملا بی اثر میشود. وبر چنان به این نظریه معتقد بودکه آنرا برای رد تئوری سیالهای مغناطیسی قابل قطبی شدن عنوان شده توسط کولمب – پواسن بکار برد.

او درسال ۱۸۷۱ در عقیده خود تجدید نظر کرد[۹]. او هم چنین یک مقدار مطلق برای اندازه گیری مقاومت تعریف کرد. بااستفاده از قانون اهم و مقدار مطلق جریان ، مساله فقط اندازه گیری ولتاژ بود. وبر آنرا ولتاژ القاء شده دریک حلقه گردان در میدان مغناطیسی معین میدانست[۸]. او از این سال سعی کرد که مقاومت الکتریکی را نتیجه حرکت سیالها یا ذرات الکتریکی بداند. دلیل مقاومت ترکیب و جدا شدن مکرد ذرات دو سیال بودند که حرکت مخالف آنها بوجود آورنده جریان بود[۸].

درآن زمان او این مدل را عنوان کرد:" شبکه هائی از بارهای مثبت ثابت که دراطراف آنها ذرات منفی در یک مسیر بیضی کپلری گردش میکنند". درصورت اعمال پتانسیل ، ذرات منفی در مسیر ها ی مار پیچی مدار خود را گسترش میدهند تا به ناحیه اعمال نیروی اتم مجاور برسند واین انتقال همین طور در طول هادی انجام میشود.

عکس برداری از نوسانات تخلیه لیدن جار

درهمین زمان ، فدرسن (B.W.Feddersen)آلمانی با عکس برداری نشان داد که تخلیه یک لیدن جار، یک ردیف نوسانات میرا تولید میکند. او دریافت که مداری متشکل از سلف، خازن ومقاومت ،نوساناتی ایجاد میکند که فرکانس ودامنه آن به این عناصر بستگی دارد. عکسهای فدرسن ، اثبات تئوری تامسون درسال ۱۸۵۳ بود که در آنالیز سیگنالینگ فاصله زیاد در اولین ارتباط کابل ماورای اقیانوس اطلس ، فرمول فرکانس یک مدار رزنانسی را بدست آورده بود.

وابستگی هدایت هادیها به حرارت

هم چنین ***وایدمن(Wiedemann)*** و***فرانز*** ، دریافتند که ***هدایت حرارتی هادیها بستگی به هدایت الکتریکی*** آنها دارد واینکه در درجه حرارت معین نسبت هدایت حرارتی به الکتریکی در کلیه هادیها تقریبا یکی است ومقدار این نسبیت ، متناسب بادرجه حرارت مطلق آنها است[۵].

نظریه های الکترومغناطیسی ماکسول

کارهای فاراده و ویلیام تامسون ، روی جیمز کلارک ماکسول (J.C.Maxwell)، دانشمند انگلیسی تاثیر عمیقی گذاشت. یافته های فاراده ، بعقیده ماکسول ، هسته همه چیز در مورد الکتریسیته در۱۸۳۰

بود.کشفیات مهم او در مورد القاء الکترو مغناطیسی ، پدیده دی الکتریک، قوانین الکتروشیمیائی ویا مغناطیس ، گردش الکترومغناطیسی پلاریزاسیون نور، تمامی از جستجو برای نیروها سرچشمه میگرفت . یکی از درخشان ترین کارهای او در سال ۱۸۵۲ فرض قوای مغناطیسی با خصوصیت فیزیکی "خود کوتاه شدن " ودافعه در اطراف است.

تشابه خطوط قوا وجریان

درسالهای ۱۸۵۵ و۱۸۵۶ ، اولین مقاله ***ماکسول*** در مورد خطوط قوای فاراده در دوقسمت منتشر شد. در قسمت اول ، تشابه خطوط قوا وخطوط جریان در یک مایع غیر قابل تراکم نشان داده شده بود. بعد ها او فیزیکدانها را از تصور عجولانه اینکه یک ماده ، مانند آب ویا یک حالت تحریک مثل حرارت است ، برحذر داشت. او این تشابه را هندسی میدانست ومیگفت تشابه بین روابط است و نه بین موضوعات مربوط شونده[۸].

او چنین میگوید:" حد طرح من این است که میتوان با کاربرد کامل نظرات و روشهای فاراده، ارتباط پدیده های مختلفی راکه او کشف کرده است بصورت ریاضی بیان کرد". بعد از بیان اینکه یک خط نیرو بصورت یک منحنی که جهت آن در هر نقطه در جهت نیروی بار مثبت ویا نیروی قطب شمال مغناطیسی درفضا است میگوید:"بهمین ترتیب میتوان سایر خطوط قوا را نیز رسم کرده وفضا را با منحنی هائی که جهتشان نشان دهنده نیروی وارد در آن نقطه است پرکنیم. پس یک مدل هندسی برای پدیده فیزیکی بدست آورده ایم که جهت نیرو را بما میدهد، ولی بهر حال هنوز لازم است که شدت این نیروها در هرنقطه تعیین شود. چنانچه ما این منحنی ها را فقط خطوط خالی نگرفته بلکه لوله هائی با مقطع متغیر حاوی مایع سیال غیر قابل تراکم فرض کنیم، دراین صورت چون سرعت سیال متناسب باعکس سطح مقطع لوله است ، میتوانیم با تنظیم سطح مقطع لوله ، سرعت را با هر قانون دلخواه تغییر داده و به این ترتیب شدت نیرو وجهت آنرا با حرکت مایع سیال دراین لوله ها تعیین کنیم". سپس او نشان داد که در صورتیکه نیرو با قانون عکس مجذور فاصله عمل کند ، هیچگونه شکافی بین لوله ها ی نیرو وجود نخواهد داشت. "لوله ها صرفا سطوحی هستند که جهت حرکت سیالی که فضارا پر کرده است تعیین میکنند. معمولا قانون نیروها با درنظر گرفتن اینکه پدیده در اثر جذب ودفع بین نقاط معین است ، تعیین میشود. مامیتوانیم با مساله بگونه ای دیگر نگاه کنیم وجهت ومقدار نیروها را بااستفاده از حرکت یکنواخت یک سیال غیر قابل تراکم بدست آوریم"[۹].

بااین تصور ماکسول نشان داد که تمام نتایج بارهای ساکن ومغناطیس دائم بدست آمده از فرمولهای عمل در فاصله ، میتوانند از بررسی توزیع لوله های نیرو نیز بدست آیند. با معادل بودن عنصر جریان دائم با یک دی پل مغناطیسی ، او قادر بود که این نتیجه را به پدیده مغناطیس بوجود آمده از گذر جریان مستقل از زمان نیز اعمال کند[۹].

ولی در بحث جریان الکتریکی القائی چنینن میگوید:"تصور حالت الکترو-تونیک(حالتی که فاراده برای اجسام واقع شده در میدان مغناطیسی قائل بود و القاء را بعلت تغییرات در این حالت میدانست) هنوز در فکرمن ، بطوریکه طبیعت وخصوصیاتش بدون اشاره به نشانه های محض قابل توضیح باشد مشخص نشده است و بنابراین درادامه بحث من از نشانه ها آزادانه استفاده میکنم. بامطاله دقیق قوانین اجسام الاستیک وحرکت مایعات چسبناک امیدوارم روشی راکشف کنم که بیان مفهوم مکانیکی حالت الکترو-تونیک منجر به نتیجه گیری عمومی شود". سپس ماکسول این اولین مقاله را با بررسی ریاضی یک پتانسیل برداری که

کرل آن میدان مغناطیسی ومشتق زمانی آن اثر القائی را میدهد وبیانگر حالت الکترو-تونیک است ، نتیجه گیری میکند. او هم چنین نشان داد که کرل میدان مغناطیسی برابر با چگالی جریان در هر نقطه است[۹].

ماکسول تشابه هیدرو دینامیک را با درنظر گرفتن مقاومت محیطی که مایع در آن حرکت میکرد گسترش داد. وقتی یک مایع غیر قابل تراکم از محیطی به محیط دیگر ، که دارای خلل و فرج متفاوت هستند میرود، جریان پیوسته است ولی اختلاف فشار در مرز بوجود میآید. هم چنین وقتی محیطی با محیط باخلل و فرج متفاوت جایگزین میشود، آثار معادلی با معرفی منبع یا مخارج مناسب سیال در مرز بدست میآید.این نتایج در محاسبات مهم و به توجیه پدیده های متفاوتی در مواد الکتریکی ومغناطیسی کمک میکردند. قدم بعدی محیطی با خلل وفرجی متغیر با جهت بود. ضمنا معادلات مربوطه توسط استوکس در مقاله ای تحت عنوان هدایت حرارت در کریستالها داده شده بود. نتیجه این بودکه برداری که جهت سیال را تعیین میکند، در حالت عمومی موازی با α وجهت ماکزیمم گرادیان فشار ، نیست ودو تابع با رابطه$a= k\alpha$ که k کمیتی تانسوری ومعرف خلل وفرج است ، بهم مربوطند[۸].

برای اعمال آنالوژی به مغناطیس ، ماکسول دوبردار را مشخص کرد، القای مغناطیسی B ونیروی مغناطیسی H . مقادی در الکتریسته با چگالی جریان I وشدت الکتروموتوری E بیان میشدند. تفاوت بین Bو H ، کلید تعریف "القای مگنتو کریستالیک" را که نیروی مورد نظر در کریستالهای اجسام معناطیسی توسط فاراده بود، میدادند. بعدا ماکسول این دو مقدار را با دو تعریف نیروی مغناطیسی که تامسون آن را برای توسعه موازی تئوریهای مگنتو استاتیک والکترومغناطیس لازم میدانست ، یکی کرد[۸].

این تفاوت فیزیکی براساس تشابه هیدرو دینامیکی ، باعث شد که ماکسول تفاوت ریاضی مهمی بین دو گروه از بردارها قائل شود که او آنها را کمیت ها وشدت ها نامید وبعدا به شار ونیرو تغییر داد. شار برداری با معادله پیوستگی بوده وروی سطح انتگرال گرفته میشود. نیروی معمولا یک بردار است ولی همیشه قابل بدست آمدن از یک تابع پتانسیل یک مقداره نیست ودر امتداد یک خط ،انتگرال گرفته میشود. توابع B و I شار وH و E بردار هستند.

نظریه جدید پدیده های الکترومغناطیسی

درفصل دوم مقاله، ***ماکسول*** تئوری جدیدی برای پدیده های الکترومغناطیسی ارائه کرد. نقطه شروع اتحادی بود که آمپر وگاوس بین آثار مغناطیسی یک جریان بسته الکتریکی ویک پوسته آهن یکنواخت مغناطیس شده ، باهمان محیط ایجاد کرده بودند[۸].

او درتحلیل خود از تئوری ریاضی مغناطیس ارائه شده توسط تامسون در ۱۸۵۱ ونامه تامسون به استوکس در ۱۸۴۷ استفاده کرد.طبق قضیه استوکس ، انتگرال یک بردار حول مسیر بسته برابر با انتگرال کرل آن روی سطح بود. ماکسول نشان داد که هر بردار شار a میتواند با رابطه زیر به یک بردار مشخص نیروی α' مرتبط شود.

$$a = \nabla \times \alpha' + \nabla \beta$$

که β یک تابع اسکالر است. با کاربرد روابط ذکر شده در قبل، ماکسول یک سری کامل معادلات بین چهار مقدار E وI و B و H برقرار کرد. سپس او به دنبال تابع برداری دیگری بود که آنرا A نامید بطوریکه

$$B = \nabla \times A + \nabla \varphi$$

که عبارت دوم سمت راست ، درصورت وجود نداشتن قطبهای مغناطیسی با تغییر مناسب متغیر ها میتوانست حذف شود. او ثابت کرد که نیروی الکتروموتوری E در اثر القا ، برابربا $-\partial A/\partial t$ وانرژی کل سیستم الکترومغناطیسی برابر با $\int I.Adv$ است.پس تابع جدید معادلاتی برای اثر مغناطیسی القای الکترومغناطیسی ونیروهای بین جریانهای بسته میداد. این تابع را الکترو-تونیک، وبعد ها حالت عمومی پتانسیل الکترودینامیک نیومن نامید[۸].

درهمان سال ۱۸۵۵ ،وبر نسبت بین واحدهای بار الکترودینامیک و الکترواستاتیک را اندازه گرفت و در ۱۸۵۷ نتایج آن منتشرشد. مقدار مشخص کمی از بار یک خازن بزرگ برداشته شده وبا ترازوی پیچشی کولمب اندازه گیری شده وباقیمانده بار روی یک گالوانومتر بالیسیتک تخلیه میشد. با تبدیل به نسبت بین واحدهای الکترومغناطیسی والکترواستاتیکی ، عدد ۸ ^ ۱۰× ۳,۱۰۷۴ بدست آمد که خیلی نزدیک به سرعت نور است ، ولی درآن زمان محققین توجهی به آن نکردند.

مقاله سال ۱۸۵۶ ماکسول که درآن بررسی دینامیکی جسم گردان حول یک نقطه ومدل حلقه های زحل(که اکنون در آزمایشگاه کاوندیش است) برای تعیین گردش ماهواره های حلقه ، نیز درج شده بود تحت الشعاع کارهای بعدی او قرارگرفت ولی اهمیت و اصالت آن قابل تاکید است. همین تصور فیزیکی غنی اورا به مهمترین کشف خود در ارائه مدل لوله های نیرو برای توضیح حالت الکترواستاتیک رهنمون شد[۹].

توجیه مولکولی اثر فاراده

درسال ۱۸۵۶ ، تامسون مقاله ای به انجمن سلطنتی تسلیم کرد که در آن از خصوصیات دینامیکی جوهر مولکولی برای توضیح اثر فاراده استفاده کرده بود. او میگفت که از هر جریان گالوانیک ، یک مارپیچ متحرک که دور خط نیروی مغناطیسی گذرنده از مرکز محور جریان می پیچد ، گسترده میشود.

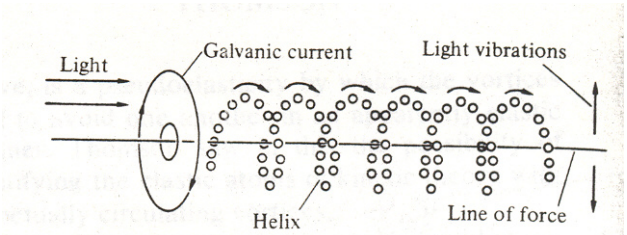


FIGURE 1

ضمنا جریان نیز شامل به تله افتادن یک قسمت از این مارپیچ در ماده قابل سنجش است.امواج نورانی با ارتعاشات عرضی ذرات مارپیچ متحرک منتشر میشود وصفحه پلاریزاسیون امواج به جهت پیچش مارپیچ بستگی دارد که آنهم به جهت نیروی مغناطیسی وابسته است.

تامسون معتقد بود که تمام آثار الکترومغناطیسی با این نظریه قابل توجیه هستند. نیروهای مغناطیسی گردش پیچی مارپیچها بودند ، که وقتی درماده ثابت شود ، تبدیل به حریان شده ونیروهای الکترواستاتیک تبدیل به فشار آنها میشوند. مینویسد:

"مااکنون بطور کامل به فضا نگاه میکنیم . میدانیم که نور مانند صوت با فشار وحرکت منتشر میشود... اگرنیروی الکتریکی بستگی به یک عمل سطحی باقی مانده ،درنتیجه یک کشش داخلی ایجاد شده توسط محیط عایق دارد ، میتوانیم الکتریسیته را نه حادث ، بلکه یک جوهر مادی بدانیم . الکتریسیته هرچه هست ، ولی کاملا واضح است که الکتریسیته درحرکت ، حرارت است.واینکه تنظیم معین محورهای گردش دراین حرکت ، مغناطیس است".

این دید تامسون بود که ماکسول را به جستجو برای پیدا کردن تئوری الکترومغناطیسی بین سالهای ۱۸۷۵و۱۸۶۲ برانگیخت.

ارتباط تلگرافی باکابلهای زیر دریائی

درسال ۱۸۵۷ ، اولین تلاش برای برگزاری ارتباط تلگرافی با کابل زیر دریائی ماورای اتلانتیک ، که تامسون عضو هیئت اجرائی، و ***وستیگهاوس*** ، متخصص برق صنعتی ، مسئول اجرای آن بود ، باشکست مواجه شد. یکسال بعد طرح با موفقیت اجراشد، لیکن ولتاژهای بالای بکار برده شده توسط وستینگهاوس از سرعت ارتباط میکاست. درسال ۱۸۶۵ ، سومین کابل نیز برقرار شد وبا کاربرد گالوانومترهای حساس تامسون ،که احتیاج به ولتاژ پائین داشت ، سرعت لازم بدست آمد. این کار، تامسون را قهرمان امور مالی انگلستان کرد و پایه ای برای یک آینده درخشا ن شد.

سرعت نور در آب جاری

درسال ۱۸۵۹ **فیزو** ، با آزمایشی ثابت کرد که سرعت نور در یک ستون متحرک آب ، درجهت پائین بیشتر از حالت بالاست. واین تصور طبیعی را ایجاد کرد که آب ، اتر را با خود میکشد.

خطوط فیزیکی نیرو

درسال ۱۸۶۱ ، شش سال پس از اولین مقاله ، ***ماکسول*** مقاله ای با عنوان "درباره خطوط فیزیکی نیرو" در مجله فلسفه منتشر کرد. تلاش او برای طرح یک محیط اشغال کننده فضا ، مناسب برای نظر فاراده برای خطوط قوای مغناطیسی بود. او میگوید:"اکنون میخواهم پدیده مغناطیسی را از نقطه نظر مکانیکی بررسی وتعیین کنم که چه فشار ها و یا حرکتهائی از یک محیط برای تولید پدیده مکانیکی مناسب هستند. اگر با همین فرض ما بتوانیم پدیده جذب مغناطیسی را با پدیده الکترومغناطیسی وهم چنین با جریانهای القائی مرتبط کنیم ، خواهیم توانست تئوری بیابیم که اگر صحیح نباشد، غلط بودن آن فقط با آزمایش ثابت شود، که دراینصورت دانائی مارا دراین قسمت از فیزیک بسیار بالا خواهد برد".فاراده الکترو استاتیک والقای مغناطیسی را بعنوان عمل توسط خطوط قوا نگاه میکرد. او این خطوط را بصورت رشته هائی از مولکولها که از هادی شارژ شده و با آهنربا شروع شده وبه اجسام دیگر ختم میشدند، تصور میکرد. این رشته های مولکولی درحالت کشش بوده وتمایل به کوتاه شدن داشته ودرهمان زمان از پهلو شکم داده اند. بنابراین هادی شارژ شده ویا آهنربا سعی دارند اجسام را با منقبض کردن خطوط ، مانند رشته های ماهیچه ، بطرف خود بکشند[۵]. خطوط مانند لوله های مکنده که از یک سر آن سیال اتر وارد واز طرف دیگر خارج میشود،

معرفی شدند. از نظر هندسی گذر بین دو تا از این لوله ها مشابه خطوط نیرو بین دو آهنربا است ولی از نظر فیزیکی اعمال دوطرفه هستند. سرهای مشابه مطابق قانون عکس مجذور فاصله یکدیگر را جذب وسرهای غیر مشابه ، دفع میکنند. تفاوت در این است که در یک سیال ، نیروهای برنولی ، وقتی جهت طبیعی جریان (closest) است ، مینیمم فشار ایجاد میشود ، در صورتیکه نظریه فاراده احتیاج به ماکزیمم فشار داشت[۸].

کلید طرح چنین محیطی که دارای توزیع فشار مناسب باشد از یک منبع غیر قابل انتظار بدست آمد. درسالهای ۱۸۴۰، رانکین (W.J.M.Rankine)، مهندس وهم شاگردی ماکسول در ادینبورگ ، تئوری جدیدی از ماده با کاربرد در ترمودینامیک وگاز ها ارائه داد که بر اساس آن مولکولها ، هسته های کوچکی در یک اتمسفر رقیق بودند که در محل ثابت ، ولی با سرعتی متناسب با درجه حرارت ، حرکت دورانی داشتند. تئوری فیزیکی خطوط قوای ماکسول شامل گسترش این نظریه گردش در میدان مغنا طیسی ، از ماده معمولی به یک اتر بود. ماکسول خود به نفوذ افکار تامسون و رانکین دراین مورد اشاره میکند[۸].

نظریه ایجاد جریان الکتریکی در اثر تغییرات میدان مغناطیسی

ماکسول ، کشش های طولی وفشار عرضی خطوط قوا را با شرائط مساوی در محیط سیال بررسی میکند. او میگوید:" فرض کنیم که پدیده مغناطیسی بستگی به وجود کشش درجهت خطوط نیرو همراه با فشار هیدرو استاتیک دارد؛ ویا بعبارت دیگر فشار در استوا بیش از جهت محوری است. سئوال بعدی اینست که مابرای عدم یکسان بودن فشار دریک سیال یا محیط روان چه توجیه مکانیکی داریم؟. سریعترین جواب که بنظر میرسد ، اینست که ازدیاد فشار در جهت استوائی ، ناشی از نیروی گریز از مرکز حلقه ها یا گردابهای محیط با محوری موازی با امتداد خطوط قوا است. مامیتوانیم فرض کنیم که همه گردابها در هر قسمت میدان در جهت حول محور میگردند ولی در گذر از یک نقطه میدان به نقطه دیگر ، جهت محور، سرعت دوران وچگالی ماده گردابها میتوانند تفاوت داشته باشند. مامیتوانیم نتیجه اثر مکانیکی روی یک عنصر از محیط را بررسی کرده واز عبارت ریاضی نتیجه این اثر ، خصوصیت فیزیکی قسمتهای مولفه های مختلف آن را نتیجه گیری کنیم[۹]". اگر سرعت زاویه ای هر گرداب متناسب با شدت مغناطیسی ناحیه ای آن باشد ، ماکسول فرمولهائی معادل با تئوریهای موجود برای نیروهای بین آهنربا ها ، جریان دائم واجسام دیا مگنتیک بدست آورد. بعد مساله القاء الکترومغناطیسی پیش آمد که احتیاج به دانستن اثر جریانهای الکتریکی روی محیط گردابها داشت. دراینجا یک سئوال مطرح بود: چگونه دو گرداب مجاور آزادانه دریک جهت گردش میکنند در حالیکه سطوح آنها در خلاف جهت یکدیگر میچرخند؟. شکل زیر که از قسمت دوم مقاله تهیه شده ، نشان دهنده جواب ماکسول به این سئوال است. هرگرداب با یک لایه از ذرات ریز کروی از همسایگانش مجزا میشود که مانند چرخهای هرز گرد دریک سیستم چرخ دنده در جهت مخالف گردش گردابها میگردند و الکتریسیته ، همین ذرات هستند[۸].

براساس این ساختمان ، برای مثال میدان مغناطیسی ساکن یک آهنربای دائمی ، وجود گردابهائی که لوله های نیرو را پر میکنند ، هستند که سرعت گردشی گرداب متناسب با شدت میدان بوده و بنابراین با سطح مقطع لوله تغییر میکند. چنانچه گردابهای مجاور د ر میدان مغناطیسی با سرعت مساوی و در یک جهت بچرخند ، ذرات بین آنها بطور هرز ،گردش کرده ولی درهمان جای خود باقی میمانند. ولی اگر در میدان مغناطیسی تغییری حاصل شود، این به این معنی است که یکی از گردابها سریعتر از دیگری میچرخد ، وبنابراین ذرات بین آنها(چرخهای هرز گرد) محل خود را تغییر میدهند که بمعنی جریان الکتریکی است.

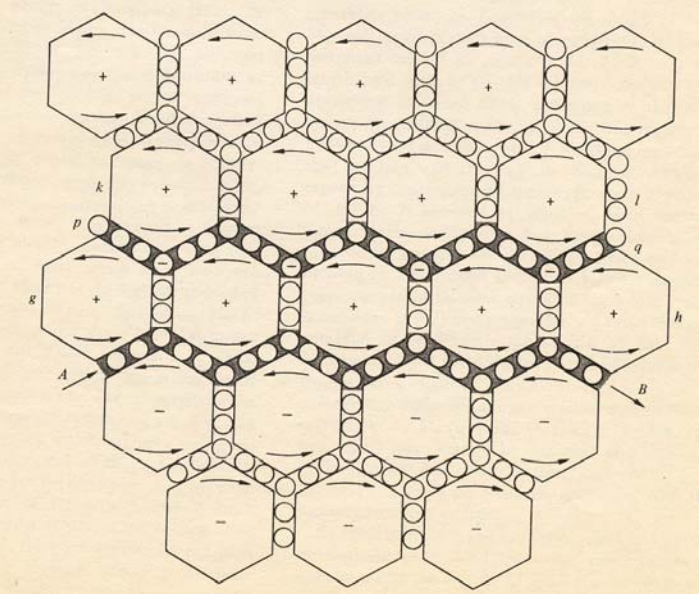


FIGURE 2. Model of molecular vortices and electric particles (1861).

بااین روش ماکسول بامدل خود تولید جریان الکتریکی را در اثر تغییرات میدان مغناطیسی نشان میدهد؛ بادرنظر گرفتن روابط هیدرو دینامیکی سرعتهای چرخشی گردابهای مجاور وجابجائی ذرات هرز گرد، عبارت ریاضی قانون الکتروموتوری فاراده بدست آمد[۹].

نظریه تولید میدان مغناطیسی توسط جریان

درست درهمین جا ارزش والای این مدل ظاهر شد. اگر تغییرات در حرکت گرداب میتواند باعث جابجائی ذرات هرز گرد شود، پس عمل عکس هم میتواند صحیح باشد وجابجائی ذرات هرزگرد میتواند باعث تغییر حرکت چرخشی گرداب شود . علت ومعلول قابل تبدیل بهم هستند.

جاری شدن جریان در A باعث چرخش گردابهای مجاور میشود وآنها بسهم خود باعث چرخش گردابهای بعدی میشوند واین عمل ادامه مییابد که خطوط قوا را تشکیل میدهند ،که فضای اطراف را اشغال میکند. در مورد القاء ، اگر یک سیم دیگر B را با مقاومت محدود ، موازی با A درنظر بگیریم یک جریان دائم درA نمیتواند در B جریانی بوجود آورد ولی تغییرات جریان در A از طریق هرز گردها وگردابها باعث یک جریان معکوس پالسی در B میشود . واین القاء است.یک میدان مغناطیسی متغیر ،جریان الکتریکی، ویک جریان الکتریکی متغیر، میدان مغناطیسی ایجاد میکند.

درقسمت سوم مقاله ماکسول داشت به قلب بزرگترین خدمت علمی خود از طریق مقاله میرسید . میگوید :"براساس نظریه ما ذراتی که قسمتهای بین سلولها (گردابها) راتشکیل میدهند، جوهر الکتریسیته هستند. حرکت این ذرات جریان الکتریکی ، نیروی مماسی که ذرات با آن بوسیله ماده سلولها فشرده میشوند نیروی الکتروموتوری بوده وفشار ذرات روی یکدیگر بستگی به تانسیون یا پتانسیل الکتریسیته دارد. حال اگر بتوانیم وضع یک جسم نسبت به محیط اطراف ، موقعی که گفته میشود با الکتریسیته شارژ شده است ، را توضیح دهیم ، و نیروهای عامل بین اجسام الکتریکی را حساب کنیم، مارابطه بین تمام پدیده اصلی علم الکتریسیته را تعیین کرده ایم"[۹].

بطور غیر منتظره ای ، مدل مذکور عمل فیزیکی کار الکترو –تونیک را نیز بدست میدهد.

درتحلیل این سیستم بسیاری از مهندسین واز جمله رانکین آن را برای اضافه کردن به حرکت یک قسمت مکانیکی شامل اعمال دنده های مرتبط وپیوند ها ، که آنها آنرا اینرسی ویا ممنتم کاهش یافته سیستم مینامیدند ، مناسب دیدند. ماکسول کشف کرد که تابع الکترو-تونیک بستگی به ممنتم کاهش یافته سیستم حلقه ها در هر نقطه دارد. عبارت نیروی الکتروموتوری $E = \partial A / \partial t$ ، معادل الکتریکی معادله نیوتون بین نیرو و میزان تغییر ممنتم است[۸].

نظریه اجسام شارژ شده

برای مساله اجسام شارژ شده ؛ ماکسول فضای گرداب ها را الاستیک دانست. دراین نظریه ، نیروهای بین اجسام شارژ شده میتواند به انرژی پتانسیل ذخیره شده در محیط ، توسط تغییر شکل الاستیک نسبت داده شود، همانطور که نیروهای مغناطیسی به انرژی گردشی ذخیره شده نسبت داده میشوند. تفاوت بین هدایت والقای الکتریسیته استاتیک مثل تفاوت بین غلظت وپدیده های الاستیک درماده است. دو نتیجه شگفت آور فورا بدست میآمد. یکی اینکه چون اکنون ذرات الکتریکی اطراف یک هادی ، خاصیت جابجائی الاستیک داشتند ، یک جریان متغیر، دیگر کاملا مانند آب در لوله محدود نیست و تا حدودی در فضای اطراف سیم نفوذ میکند. دراینجا برای اولین بار "جریان جابجائی" ماکسول ، کورسو میزند[۸]. دیگر اینکه هرماده الاستیک با چگالی ρ وضریب پاره شوندگی m ، میتواند امواج عرضی را باسرعت $v = \sqrt{m/\rho}$ منتقل کند واو با فرض خصوصیاتی برای ساختمان الاستیک محیط گردابها ، فرمولهائی برای ارتباط ρ و m با مقادیر الکترومغناطیسی رابطه عددی v ومقدار ثابت C (که وبر بدست آورده بود) را بیان میکرد. اومقدار v را برای محیطی باضریب مغناطیسی μ برابر با یک ، تقریبا مساوی سرعت نور بدست آورد[۸].

هادی وعایق

اوپس از اشاره به اینکه نیروی الکتروموتوری (ولتاژ معلول اثر مغناطیسی) همان تانسیون الکتریکی(ولتاژ در اثر جدائی بار) است، بین هادی وعایق تفاوت قائل شده ونتیجه میگیرد:

" دراینجا مادو نوع مستقل از اجسام داریم ، یکی آنهاکه اجازه عبور الکتریسیته را ازخودمیدهند ودیگری که اجازه انتقال آثار الکتریکی ، بدون اجازه عبور هرگونه الکتریسیته را میدهند. یک جسم هادی رامیتوان بایک پوسته خلل وفرج دار مقایسه کرد که کم وبیش درمقابل عبور سیال از خود مقاومت نشان میدهد ، درحالیکه عایق مانند یک پوسته الاستیک است که مانع عبور مایع است اما فشار سیال را از یک طرف به طرف دیگر منتقل میکند"[۹].

جریان پلاریزاسیون عایقها

سپس ماکسول به بحث در باره رابطه بین جریان هدایتی وپتانسیل در یک هادی پرداخته وادامه میدهد:

"نیروی الکتروموتوری اعمالی به عایقها ، حالت پلاریزاسیون در عایقها بوجود میاورد....در یک عایق تحت القاء الکتریسیته در هر مولکول طوری جابجا میشود که یک سر مثبت وسردیگر منفی الکتریکی میشوند ولی الکتریسیته متصل به مولکول ، باقیمانده و از مولکولی به مولکول دیگر عبور نمیکند. اثر این عمل روی تمام جرم عایق یک جابجائی عمومی الکتریسیته در جهت معین ایجاد میکند. این جابجائی باعث

بوجود آمدن جریان نمیشود زیرا در حالیکه مقدار معینی باشد ، ثابت میماند، ولی شروع یک جریان است وتغییرات آن باعث بوجود آمدن جریان در جهات مثبت ویا منفی میشود، بسته به اینکه جابجائی در حال افزایش ویا کاهش باشد. مقدار جابجائی به طبیعت جسم ونیروی الکتروموتوری بستگی دارد...."[۹].

جریان جابجائی

بنابراین ماکسول برای اولین بار این مفهوم را که تغییرات مکانی بار مقید ، از نظر اثر مثل جریان هدایتی است ، بیان میکند.باتوجه به اینکه ذرات هرز گرد مدل او میتوانستند هر نوع از جریان را بوجود آورند، و یافتن تغییرات سرعت گرداب در اثر جابجائی ذرات ، او بشکل عمومی قانون مداری آمپر رسید. این عمومی کردن بسیار مهم است.اگر حرکت ذرات هرز گرد فقط جریان هدایتی ایجاد میکرد، دراینصورت یک آشفتگی الکتریکی فقط میتوانست درمحیط هادی منتشر شود. ولی با مفهوم جریان جابجائی تغییرات میدا ن میتواند در محیط عایق ، مثل هوا و حتی فضای آزاد ، که ماکسول آنرا " اتر " مینامید، نیز منتقل شود[۹].

سرعت محدود انتشار

ماکسول برای انتشار هر تغییر در مدل محیطی خود سرعت محدودی قائل بود. او مکانیسم انتشار را بشکل تغییر سرعت گردابهای مجاور در اثر حرکت انتقالی یک لایه از ذرات هرزگرد میدانست. این خود باعث ایجاد حرکت انتقالی در لایه بعدی میشود وبه این ترتیب تغییرات منتقل میشود. ماکسول با محاسبه انرژی سینتیک وپتانسیل این سیستم ، سرعت انتقال را بدست آورد[۹].او با ارتباط انرژیهای جنبشی وپتانسیل به ترتیب به میدانهای مغناطیسی والکتریکی ، سرعت انتقال تغییرات الکترومغناطیسی را وابسته به ضریب دی الکتریک الکترواستاتیک وپرمابیلیته مگنتو استاتیک محیط بدست آورد .با توجه به مقادیر بدست آمده این ثابتها برای هوا توسط وبر و کوهلراش ، او سرعت را برابر با ۱۹۳۰۸۸ مایل بر ثانیه تعیین کرد وسپس نتیجه گرفت که :

"سرعت نور درهوا ، چنانچه فیزو بدست آورده برابر با ۱۹۵۶۴۷ مایل برثانیه است. سرعت عرضی تموجی در محیط فرضی ما ، بامقدار مذکور چنان با دقت تطبیق میکند که ما بسختی میتوانیم این استنباط راقبول نکنیم که نور عبارت است از جنبش نوسانی عرضی همان محیطی که باعث پدیده الکتریکی ومغناطیسی است".

به این ترتیب کشف بزرگ انجام شده بود[۸و۹]. این کشف را میتوان با زمانی که نیوتون میخواست با قانون جاذبه عمومی خود فاصله تا ماه را حساب کند مرتبط کرد. درآن زمان نیوتون شعاع دقیقی از زمین را نداشت و فاصله چنان بی دقت بدست آمد که او مجبور شد نظریه خود را برای حدود دو دهه مسکوت بگذارد. خوش شانسی ماکسول در این بود که خطای مقدار فیزو، و او ، هر دو در یک جهت بودند. باید یاد آور شد که در آن زمان هنوز هیچکس امواج الکترومغناطیسی را ، عالما، تولید و یا آشکار نکرده بود. مفهوم همانند جریان جابجائی، کاملا جدید بود. مرتبط کردن نور بافرضیه این پدیده ها جرقه ای از یک استعداد برجسته بود که در تاریخ علم بندرت معادل دارد. ۸سال پس از مرگ ماکسول ، این فرضیه توسط هرتز با آزمایش اثبات شد.

نظر ماکسول درمورد اتر رقیق دارای ابهامی بود که باید مورد توجه قرار میگرفت.درسال ۱۸۲۸ توسط برادلی کشف شد که درطول سال محل ظاهری ستارگان ۲۰٫۵± ثانیه قوس تغییر میکند. او این را در اثر حرکت افقی تلسکوپ، که با سرعت v دور خورشید میگشت ، میدانست. در تئوری ذره ای نور، وقتی که

ذرات از شیئی بطرف کانون با یک نسبت زاویه ای v/c ، درست برابر با جابجائی رویت شده حرکت میکنند، حرکت باعث جابجائی تصویر میشود. اگر اتر ، گازی مانند آتمسفر زمین بود(همانطور که در ابتدا تصور میشد) همرا ه با تلسکوپ حرکت کرده وجابجائی بسختی قابل بررسی بود. یانگ در ۱۸۰۴ ، بناچار فرض کرده بود که اتر باید از بین اتمهای دیواره تلسکوپ ، مانند گذر باد از میان درختان عبور کند. همچنین درسال ۱۸۵۹ ***فیزو(Fizeau)*** باآزمایش ثابت کرد که سرعت نور در یک ستون متحرک آب درجهت پائین بیشتر از جهت بالا است، ودراینحا تصور طبیعی اینست که آب اتر را باخود میکشد. این با تئوری یانگ مخالف بود.

درسال ۱۸۶۲ یا ۱۸۶۳ ، ***ماکسول*** مقاله ***فیزو*** را خوانده و بفکر آزمایشی برای تعیین ***باد اتر*** افتاد. چون انکسار دراثر اختلاف در سرعت نور در محیطهای مختلف بود ، پس باید انتظار داشت که کشش فرنل باعث تغییر انکسار منشور شیشه ای که در اتر حرکت میکند ، بشود . ماکسول محاسبه کرد که انحراف اضافی در یک منشور ۶۰ درجه که باسرعت زمین حرکت میکند باید ۱۷ ثانیه قوس باشد. او یک رشته ۳تائی منشور با یک آینه برگشت ، پشت آنها قرارداد[۸].

معادله دیفرانسیل بردار نور

درسال ۱۸۶۳ ، ***لورنز (L.V. Lorenz)*** ، فیزیکدان دانمارکی نشان داد که معادله دیفرانسیل برای بردار نور بشکل زیر است:

$$-\nabla\times\nabla\times U = 1/a^2\partial^2 U/\partial t^2$$

که a سرعت فاز ثابت و تابع محیط همگن است. او همچنین شرائط حدی صحیح برای بردار نور را در عبور از یک محیط به محیط دیگر ارائه داد. بعد ها او بیان کرد که اگر a ثابت نبوده وپریودیک باشد ، معادله موج مزبور به تئوری انکسار دوگانه برای مقادیر کوچک a نسبت به طول موج تبدیل خواهد شد[۸].

درسال ۸۶۳۱ ، دررابطه با کمیته تشکیل شده توسط انجمن بریتانیا برای تعیین استانداردهای قابل قبول بین المللی ، بریاست تامسون ، ماکسول مقاله ای باعنوان " روابط اصلی مقادیر الکتریکی" ، سومین مقاله خود را نوشت که در آن ارتباطی بین مقادیر الکتریکی و سرعت نور را بیان کرده بود[۸].

معادله موج صدا

درسال ۱۸۶۳ ، ***هلمهولتز (H.Von. Helmholtz)*** دانشمند آلمانی ، قوانین ومعادلات ریاضی موج را برای موسیقی بیان کرد[۴].

بوبین های قوی رومکورف

درسال ۱۸۶۴ ، رومکورف موفق به ساختن بوبین های القائی که قادر به تولید جرقه هائی با طول یک فوت یا بیشتر بودند ،شد وبرای اینکارش پنجاه هزارفرانک جایزه گرفت. بوبین او بزودی در آزمایشگاهها برای تهیه ولتاژ بالا مورد استفاده قرار گرفت. کار مهم او ، طرح مناسب برای جرقه نزدن در ثانویه بوبین بود[۸].

نظریه دینامیکی میدان الکترومغناطیسی

درسال ۱۸۶۴ ، درمقاله ای که ابتدا درانجمن سلطنتی خوانده شد، ماکسول مدل خود را که بخوبی بعنوان چوب بستی برای تئوری او بود ،رها کرد وتحت عنوان "تئوری دینامیکی میدان الکترومغناطیسی " نظریه را کلا با عبارات الکتریکی براساس آزمایش و بعضی اصول دینامیکی بیان کرد. دراین جا انتشار امواج الکترومغناطیسی درفضا بدون فرض خاصی در مورد گردابها و یا نیروی بین ذرات الکتریکی مورد بررسی قرار میگرفت. خصوصیات میدان با ۲۰ معادله که شامل رابطه بین جریان جابجائی وهدایتی ، معادله پیوستگی که با ر را به جریان مرتبط میکند، وهم چنین عباراتی که اکنون بعنوان "معادلات ماکسول "شناخته میشود ، بیان میشد. این مقاله درسال ۱۸۶۵منتشر شد وآنطور دقیق نوشته شده بود که بعدا در " رساله الکتریسیته ومغناطیس " ماکسول نیز آمد. درهمین زمان او در نامه ای به *چارلز کی* ، پسر دائی خود ورئیس بخش ریاضی کالج کلیفتون ، خبر از مقاله دردست انجام خود در مورد تئوری الکترومغناطیس نور داد[۸و۹].

درهمان سال ۱۸۶۵ ، سطح موج برای ***انکسار دوگانه فرنل*** را ، که در ۱۸۲۰ برای نور پلاریزه داده بود ، مستقیما با معادلات الکترومغناطیس بدست آورد ولی بخاطر شکست در شرائط حدی درفرکانس بالا ، انعکاس را بررسی نکرد. بعدا درسال ۱۸۷۴ لورنتس بااستفاده از شرائط حدی استاتیک ارائه شده توسط ماکسول در ۱۸۵۶ ، روابط انعکاس را بدست آورد.

درسال ۱۸۶۷ ، ***لورنس*** ، براساس کارهای نیومن ، پتانسیلهای الکتریکی اسکالر ومغناطیسی برداری را بیان کرد که احتیاج به محیط واسط نداشت. با توجه به اینکه نور نیز همین پدیده بود پس احتیاج به اتر نبود،زیرا نور برای انتشار احتیاج به اتر نداشت. کار لورنس بعدا تحت تاثیر کار ماکسول قرار گرفت[۸].

حرکت گردابی

دراین موقع پدیده ای بالاتر از همه در مسیر هر تئوری عمومی که تامسون میخواست ، ایستاده و آن الاستیسیته بود. اگر وجود چیزی بین ماده وحرکت مجاز نیست ، پس عکس العمل الاستیک به فشار وتغییر شکل باید بدون توسل به نیرو در مفهوم نیوتونی قابل توضیح باشد. درسال ۱۸۵۸ ، ***تامسون*** نظریه ای که بتواند به تنهائی الاستیسیته را در زمینه های کشش واینرسی توضیح دهد ، در دست نداشت. در ۱۸۶۷ بامطالعه ترجمه مقاله هلمهولتز در مورد حرکت گردابی در سیالات غیر قابل تراکم و غیر چسبناک، که آنالیز آنها بدون توسل به اینرسی وکشش امکان پذیر بود ، به این موضوع توجه پیدا کرد. دراین مقاله هلمهولتز نشان داده بود که گردابهای سیال خطی که با خطوطی که درسیال در امتداد آنها ممنتم زاویه ای عناصر دیفرانسیل سیال ثابت است تعریف میشوند، حرکت یکدیگر را از میان فشارهای منتشر شده لحظه ای که وجودشان در سیال ایجاد میکند، تحت نفوذ قرار میدهند. اثر بخاطر غیر قابل تراکم بودن ، لحظه ای است . خطوط بسته حرکت گرداب ، پرتوهای برخورد را نشان میدهد: دوتا ازاین شکل ها بطور پیچیده ای یکدیگر را دفع یا جذب میکنند ، بسته به چگونگی قرار گرفتن وممنتم زاویه ای عناصر آنها. این آثار فقط در اثر فشارهای ایجاد شده در محیط است.

در۱۸۶۷ تامسون مقاله ای تحت عنوان " حرکت گردابی " نوشت. " کار ریاضی مقاله حاضر نشان دادن این نظریه است که تمام فضا بطور پیوسته توسط سیال بدون اصطکاک غیر قابل تراکم اشغال شده است که نیروئی به آن وارد نمیشود، وهرنوع از این پدیده فقط بستگی به حرکات ایجاد شده در مایع دارد".
ماکسول علی رغم عدم موافقت تامسون با تئوری او تحت تاثیر دیدگاه او قرار گرفته بود[۸]

نظریه الکترومغناطیسی نور توسط لورنز- پتانسیلهای الکتریکی ومغناطیسی وابسته به بار وجریان

درهمان سال ۱۸۶۷ ، لورنز بطور مستقل از ماکسول تئوری الکترومغناطیسی نور را بیان کرد. در آن زمان او از تئوری ماکسول اطلاع نداشت وروش نیز کاملا متفاوت بود . تئوری او بطور مختصر معرفی بردار نور بعنوان بردار چگالی جریان در محیطی که از قانون اهم تبعیت میکند ، است. مقاله حاوی معادلات اساسی برای پتانسیل برداری و اسکالر و یا ، برای اولین بار پتانسیلهای تاخیری وابسته برحسب بردار دانسیته جریان ودانسیته بار الکتریکی بود. قبلا مفهوم پتانسل تاخیری توسط او در مورد تئوری الاستیسیته بیان شده بود و او دریافت که باید معادله مزبور با افزودن عبارتی برای جذب نور در محیط هادی کامل شود. تئوری او به مقدار صحیح سرعت نور منجر شد.

دستگاه رسم شکل موج

درسال ۱۸۶۸ دستگاهی برای رسم شکل موج بنام Rheotome توسط لنز اختراع شد.

نظریه مدارهای رزنانسی

درسال ۱۸۶۸ پس از دیدن آزمایشی توسط ***گروو(W.R. Grove)*** ، ماکسول مقاله ای برای اولین بار در مورد "تئوری عمل مدارهای رزنانس جریان متناوب " نوشت.

نتیجه ای از فرضیه جابجائی که خود ***ماکسول*** هم تاسال ۱۸۶۹ واقعا اهمیت نداده بود اینست که همه جریانهای الکتریکی حتی در مدارهائی که بظاهر باز هستند نیز درواقع بسته است. اما بااین فرض ارائه شکل جدیدی از بار الکتریکی لازم میشد. این یک موضوع مشکل در تمام نوشته ماکسول است . بسیاری انتقادات از هرتز در این بوده که احساس میشده که یک دید منطقی از طبیعت بار وجریان الکتریکی که با عبارت ماکسول سازگار باشد بسادگی موجود نیست.

درهمان سال ماکسول در پنجمین مقاله اش با عنوان "نکاتی در تئوری الکترومغناطیسی نور" معادلات خود را با حذف A براساس چهار نظریه بدست آمده از آزمایشات الکتریکی بصورت انتگرالی بیان کرد. بعد ها این معادلات بطور مستقل توسط هوی ساید و هرتز تکمیل شد. قبل از ماکسول الکتریسیته بعنوان یک (و یا دو) سیال تصور میشد که ازدیاد یا کمبود آن ایجاد بار میکرد. ولی اگر جریانها بدون قابلیت تغییر ، بسته هستند ، چگونه بار میتواند درجائی ذخیره شود؟. فقط قسمتی از جواب در فرضیه فاراده و بطور روشن توسط ماکسول در ۱۸۶۵ بیان شد که عمل الکترواستاتیک کلا پلاریزاسیون عایقها است ونقش هادیها یک دریافت کننده سیال نبوده بلکه بعنوان سطح محدودکننده برای پلاریزاسیون غیر متعادل محیط اطراف است. تفاوت بین معرفی قدیم و جدید بار بسادگی درشکل زیر نشان داده شده است ولی بعد از ماکسول کسانی آنرا مبهم دانستند.

یکی از مسائل این بود که پلاریزاسیون درشکل b مخالف تئوری ماده ، ارائه شده توسط تامسون وموسوتی بود که بار موثر Q در مرز را یک بارحقیقی Q_0 روی هادی ویک بار ظاهری $Q'-$ درروی سطح دی الکتریک میدانست. در طرح ماکسول پلاریزاسیون از اجسام عایق به خود فضا گسترش پیدا میکرد. همه بار از یک جهت ظاهری بوده و حرکت در جهت عکس است. ماکسول در رساله خود فرق بین بار روی

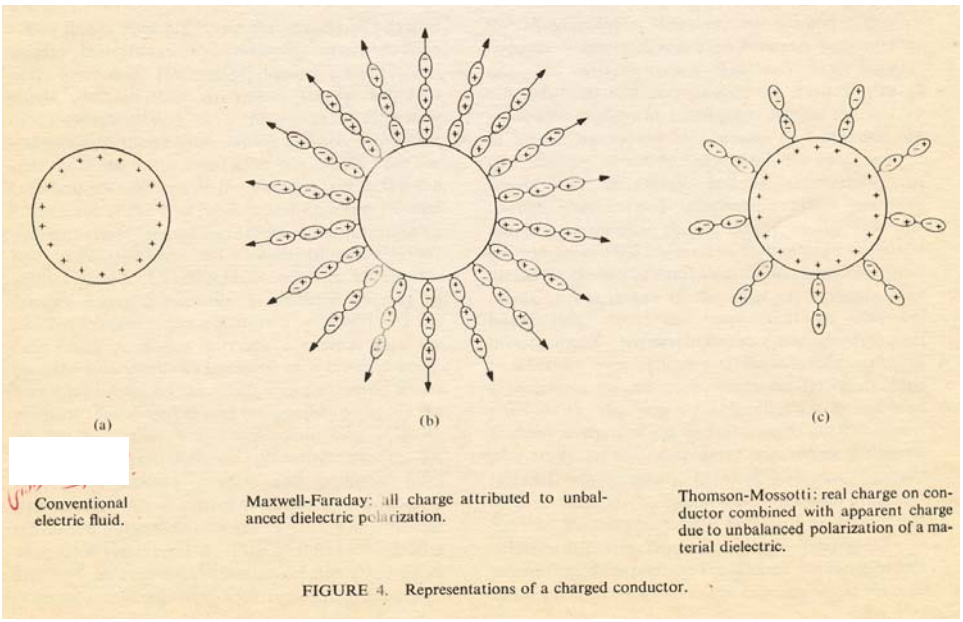


FIGURE 4. Representations of a charged conductor.

هادی وبار روی سطح دی الکتریک را بزبان موسوتی بیان نکرده است ودر کاربرد علامات مثبت ومنفی خیلی آزادانه عمل کرده است. دو تشابهی که ماکسول افکار خود را بر آن ها پایه گذاشت ، حرکت الکتریسیته وسیال غیر قابل تراکم و هم چنین القاء استاتیک وجابجائی ، هردو sound هستند. راه فرار تعیین اختلاف اساسی در معنی دو بار نشان داده شده در شکلهای a وb است. جریان مورد نظر ماکسول حرکت بار نیست بلکه کمیت پیوسته شارژ نشده است(نه لزوما یک ماده)؛ حریان او اندازه گیری جابجائی آن مقدار نسبت به فضا است[۸].

جواب سئوالی که برای ***هرتز*** پیش آمده بود ، بارعامل پلاریزاسیون است یا پلاریزاسیون عامل بار، اینست که هیچکدام. برای ماکسول نیروی الکتروموتوری یک مقدار اصلی است که پلاریزاسیون را ایجاد میکند و پلاریزاسیون ، فشار هائی در میدان ایجاد کرده وبار ، اندازه این فشار است.

ممکن است بنظر برسد که معرفی الکتریسیته بعنوان یک سیال شارژ نشده ، با تئوری الکتریسیته سازگار نیست. عملا اینطور نیست ویکی از خصوصیات منحصر بفرد پیشرفت ماکسول اینست که کلید وفق دادن این دو طرز تفکر در فرض بار بعنوان منابع سیال غیر قابل تراکم ارائه شده در مقاله ۱۸۵۶ است. این اساس نظریه **اتر-الکترون** ارائه شده توسط ***لارمر(Larmor)*** در ۱۸۹۹ است[۸].

کشف اشعه کاتودی

درهمان سال ۱۸۶۹ ***هیتروف (Hitrof)***، باقرار دادن جسم سختی در ناحیه بین کاتد وشیشه در ناحیه تاریک کروکس سایه ای ایجاد کرد. این باعث شد که اوتوجه کند که کاتد اشعه ای منتشر میکند واین را "*اشعه کاتودی*" نامید که بعدا در ۱۸۷۱ پیشنهاد شد که این اشعه های کاتودی از ذرات ریز شامل بارهای منفی تشکیل شده است[۳].

طبقه بندی ریاضی کمیت های فیزیکی

درسال ۱۸۷۰ ، ماکسول در مقاله ای باعنوان "طبقه بندی ریاضی کمیت های فیزیکی" ،عبارات کرل ، همگرائی(دیورژانس منفی) ، وگرادیان برای ضریبهای مختلف اپراتور برداری ∇ روی مقادیر عددی وبرداری ، با عبارت نا آشنای Concentration برای اپراتور ∇^2 ، که میزان ازدیاد یک تابع عددی V در نقطه را روی مقدار متوسطش در محیط اطراف را بیان کرد. او هم چنین مفاهیم بردارهای نیرو وشار خود را بسط داد و تفاوت مهم بین بردارهای محوری و قطبی را ارائه کرد[۸].

مقدمه تاسیس آزمایشگاه کاوندیش

درهمین سال ، *دوک دون شایر*، رئیس دانشگاه کمبریج اظهار علاقه به ساخت یک آزمایشگاه برای دانشگاه کرد و درسال ۱۸۷۱ ماکسول بعنوان اولین رئیس آزمایشگاه که آنرا آزمایشگاه *کاوندیش* نامگذاری کردند ، انتخاب شد. یادداشتهای کاوندیش که نزد رئیس دانشگاه بود مورد علاقه لرد کلون قرار گرفت وآنها را دراختیار ماکسول گذاشت[۶و۹].

قالب ریزی نظریه های مختلف الکترودینامیک

درهمان سال ۱۸۷۰ ، هلمهولتز توجه خود را بطرف قالب ریزی تئوری های مختلف الکترودینامیک بشکلی که بتواند تفاوتهای قابل دریافت آنها را روشن کند ، معطوف داشت . به این منظور او یک تئوری عمومی برای الکترودینامیک پایه گذاشت . معادلات آن شامل حالات خاص معالات وبر ، نیومن ، وماکسول بود. این تئوری بر اساس عمل درفاصله بود که پلاریزاسیون دی الکتریک را بعنوان جابجائی بارهای مقید دراثر نفوذ یک نیروی الکتریکی بطور مستقل از محیط میدانست. اونشان داد که هر سه نظریه در پیشگوئی پدیده الکترودینامیک مدار بسته توافق داشته ولی در نوسانات موجی الکتریسیته در مدارات باز اختلاف دارند.و معتقد بود بررسی مدار باز میتواند تئوری صحیح را مشخص کند.

درسال ۱۸۷۱ هلمهولتز به برلین فرا خوانده شد تا اولین مقام استادی خود در فیزیک را به عهده گیرد. در آنجا او صاحب یک موسسه فیزیک و دانشجویان این رشته بود واز این امکانات برای بررسی موضوع الکترودینامیک استفاده کرد.

هلمهولتز قبلا در سال ۱۸۴۷ معتقد بود که نیروهای غائی باید دارای بقا باشند وچنانچه قانون نیرو شامل سرعت و یا شتاب ذرات باشد، نیرو این خصوصیت را نخواهد داشت. اما این با قانون الکترودینامیک وبر تضاد داشت. نظریه مذکور مورد مخالفت عده ای از جمله کلازیوس ، رقیب او در سال ۱۸۵۳ قرار گرفت وبعدا هلمهولتز تصدیق کرد که قوانین شامل مشتق فاصله میتوانند باقی در انرژی باشند ، گرچه نمیتوانند مرکزی بوده و از قوانین نیوتون پیروی کنند. ولی همچنان معتقد بود که قانون وبر گرچه صریحا باقانون بقای انرژی مخالفت ندارد ، ولی تلویحا دارای ناسازگاری فیزیکی است. درسال ۱۸۷۰ او باب نقد از قانون وبر را باز وفرمولی برای آثار الکترودینامیکی ارائه کرد. براساس این فرمول ، هلمهولتز نشان داد که لااقل انرژی بعضی از سیستم های بار در حرکت ، کمتر از انرژی همان سیستم درحالت سکون است. بنابراین لااقل بعضی از تعادل های الکترواستاتیک ناپایدارند. همچنین بر اساس فرمول وبر ، به آسانی میتوان دید که دوبار e+ و e-میتوانند در شرائط معین آنقدر شتاب بگیرندکه انرژی سینتیک آنها بینهایت شود .بنابراین در هردوحالت قانون وبر، بی معنی خواهد بود. انتقاد هلمهولتز مخالفت هائی را از طریق طرفداران وبر بر انگیختت که در

دهه ۱۸۷۰ ادامه داشت. دوطرف بسختی میتوانستند یکدیگر را درک کنند ، زیرا نظریه هلمهولتز بر اساس پدیده ماکروسکپیک، و وبر بر اساس میکروسکپیک بود. این مواجهه بدون نتیجه قطعی تاسال ۱۸۸۰ که تئوری ماکسول جایگزین نظریه وبر شد ، ادامه داشت.

درمقایسه تئوریهای مختلف الکترومغناطیس ، هلمهولتز خودش نیز تئوری که معتقد بود حالات خاص ، بسیاری از دیگران را در بر دارد بیان کرد. اشکال مشخص قوانین نیروی الکترودینامیک مانند وبر ، بدست آوردن نیرو از پتانسیل را باو دیکته میکرد. درسال ۱۸۴۸ نیومن با موفقیت ، تمام آثار الکترودینامیکی را برای جریان های بسته از یک پتانسیل آورده بود. درسال ۱۸۷۰ ، هلمهولتز نشان داد که شکل خیلی عمومی تر پتانسیل نیومن باید بصورت زیر باشد:

$$p = -1/2A^2 \frac{ij}{r}\left[(1+k)ds.ds' + (1-k)\frac{(r.ds)(r.ds')}{r^2}\right]$$

دراین رابطه p پتانسیل عنصر جریان ds روی عنصر ds' وقتی جریان ds برابر i وجریان ds' برابر با j است؛ r فاصله بین ds و ds' و A=1/c که c یک مقدار تعیین نشده سرعت ثابت است ، است. k نیز یک مقدار معین نشده است. برای k=-1 معادله بصورت معادله وبر و برای k=1 پتانسیل نیومن و برای k=0 تئوری ماکسول میشود. دررابطه بالا قسمتهائی که دارای ضریب k هستند میتوانند بصورت زیر نوشته شوند:

$$1/2A^2 ijdsds'k(\frac{d^2r}{dsds'})$$

این عبارت وقتی حول یک مدار کامل S و S' انتگرال گیری شود ، چنانچه هرکدام بسته باشند ، صفر است. بنابراین برای جریانهای بسته همه فرمولها معادلند وفقط در جریانهای باز اختلاف ها ظاهر میشود ، بنظر هلمهولتز ، جائیکه تغییرات در چگالی" الکتریسیته آزاد " پیش میآید . درآن سالها اطلاعات تجربی کمی در مورد جریان باز موجود بود.

اشکال جریان های باز در انتشار آثار الکترودینامیکی در محیط های الکتریکی و مغناطیسی نیز مطرح بود. بحث هلمهولتز در این مورد احتیاج به مقایسه شدن تئوری او با ماکسول داشت. درسال ۱۸۷۰ تئوری ماکسول خیلی کم در اروپا (غیر از بریتانیا) شناخته شده بود زیرا با تئوریهای آنان اختلاف اساسی داشت. او اعمال آثار الکترودینامیکی یک جسم روی دیگری را ، در فاصله میدانست، بدون اینکه محیط مداخله ای داشته باشد. تئوری ماکسول با رد عمل در فاصله ، آثار الکترو دینامیکی را انتشار از پلاریزاسیون پیشرونده مجاور محیط میدانست. با فرض اینکه اتر luminoferous ، خودش یک دی الکتریک قابل مغناطیس شدن است ، هلمهولتز متوجه بود که نتیجه تئوری ماکسول انتشار اختلالات الکترودینامیکی بصورت امواج عرضی با سرعت نور در فضای آزاد است. هلمهولتز مانند فیزیکدانان انگلیسی معتقد بود که یک عایق اتر برای پشتوانه آزمایشات فاراده خصوصا در دیا مگنتیک ضروری است.

درمقایسه تئوریها ، ابتدا او نشانداد که بدست آوردن معادله موج بستگی به فرضیات مخصوص تئوری ماکسول ندارد. اگر پلاریزاسیون محیط درنظر گرفته شده، ومقدار $\partial p/\partial t$ یک عبارت بعنوان چگالی جریان باشد ، هلمهولتز نشان داد که چگونه معادله موج را میتوان از قانون پتانسیل عمومی او بدست آورد؛

گرچه در قانون ، عمل درفاصله فرض اصلی درنظر گرفته شود. دراین صورت سرعت امواج به خصوصیات الکتریکی و مغناطیسی فضای آزاد بستگی دارد. اگر این مقادیر صفر هستند(که خلاء یک محیط عایق غیر مغناطیسی است) سرعت بینهایت میشود واگر ضریب نفوذ مغناطیسی خیلی بزرگ باشد، سرعت محدود خواهد شد. درحالت $k = 0$ شرط تئوری ماکسول ، لازم است که امواج کاملا عرضی بوده وسرعت برابر با سرعت نور در فضای آزاد است. دراینحالت تئوری ماکسول حالت خاص ومحدود تئوری عمومی هلمهولتز خواهد بود. فیزیکدانان اروپا به این ترتیب از طریق مقالات هلمهولتز باتئوری ماکسول آشنا شدند.درسال ۱۸۷۱ ، ماکسول مفهوم کاملا متفاوتی برای A دریافت . باتوجه به نیروهای الکترودینامیکی این شبیه به پتانسیل بود، همان طور که از مقایسه معادله

$$F = \nabla(i.A)$$

برای نیروی روی یک هادی حامل جریان با معادله $F = \nabla(e\varphi)$ برای نیروی جسم بار دار دیده میشد. ماکسول اصطلاحات برداری وعددی را برایA و φ بکار برد و احتمالا برای اولین بار A را حالت عمومی پتانسیل االکترودینامیک نیومن دانست. فرمولها بعدا توسط فیتز جرالد ، لیه نارد و ویچرت ، دوباره بعنوان پتانسیلهای تاخیری جریان هدایتی مرتب شد[۸].

درهمین سال ***ماکسول*** اولین استاد فیزیک تجربی در ***دانشگاه کمبریج*** شد.

نظریه جدید مغناطیس وبر

درسال ۱۸۷۱ وبر تئوری مغناطیس خود را بامدل جدیدی برای جریان مولکولی آمپر که در آن بار الکتریکی با گردش حول یک بار با علامت مخالف تصویر میشد ، مجددا فرموله کرد. این فرضیه دراربع قرن بعد به کشف الکترون توسط تامسون ودر ثلث قرن بعد به بیان اتم راتر فورد منجرشد.

دستگاه سنجش دقیق الکترواستاتیک

درسال ۱۸۷۲ ، ***رایت ایتالیائی (Right)***، دستگاهی برای تشخیص مقادیر بسیار کم الکترواستاتیک ساخت که قادر بود حتی الکتریسیته پیل ولتا را تعیین کند. این دستگاه علاوه بر سنجش، مولد الکترواستاتیک نیز بود ومدل کامل وکوچک ماشین وان دوگراف بود[۸].

رساله الکترومغناطیس ماکسول

درسال۱۸۷۳ ، ماکسول پس از ۵ سال کوشش سخت ، رساله اش در مورد الکتریسیته ومغناطیس را با عنوان

A Treatise on Electricity and Magnetism

منتشر کرد. او ۱۵۰ سال تجربه را تبدیل به تئوری محدودی کرد .اوجریان جابجائی D’ را علاوه بر جریان هدایتی معرفی کرد. در رساله خود او پدیده را بصورت موج عرضی از A میدانست. او هم چنین بیان کرد نور در تئوری الکترومغناطیسی ایجاد فشار تشعشعی میکند. این فشار تشعشعی موضوع تحقیقات نظری زیادی از

اوایل قرن هجدهم بود و قبل از ماکسول آنرا اثر ذره ای و نه موجی میدانستند. وقتی ویلیام کروکس اثر رادیو متر خود را در ۱۸۷۴ کمی پس از رساله ماکسول کشف کرد، گروهی فکر کردند که او فشار تشعشعی را مشاهده کرده است .در حالیکه چنین نبود. فرمول ماکسول بعدا در ۱۹۰۰ توسط لبدک(Lebedec) اثبات شد.

یکی دیگر از زمینه های تحقیقی که توسط ماکسول شروع شد ، ارتباط بین خصوصیات الکتریکی ونوری اجسام بود . اوعباراتی برای گشتاور روی کریستال آویخته شده در میدان الکتریکی ، برای روابط بین ضرائب انکسار وثابت دی اکتریک در محیط شفاف ، وبرای روابط بین جذب نوری وهدایت الکتریکی در فلزات، بدست آورد. درحد طول موجهای بلند ضریب انکسار با ساده ترین تئوریها متناسب باجذر ثابت دی الکتریک است. اندازه گیریهای انجام شده توسط بولتز من ، گوردن ، هاپکینسون ودیگران فرمول ماکسول را برای گازها و روغن پارافین تایید میکرد. ولی درمورد بعضی از اجسام ، وبخصوص آب ، اختلاف زیاد بود[۸].

تلگراف دوپلکس و پوپیناسیون

درسال ۱۸۷۳ ، **هوی ساید(O. Heavyside)** درمقالاتی ، استفاده از تلگراف دوپلکس را عملی اعلام کرد که مورد مخالفت بسیاری قرار گرفت و پریس و **کمپه** در اداره پست از انتشار مقالات او جلوگیری کردند. علت مخالفت ، اثر اندوکتانس در خطوط با طول زیاد بود که آنهامعتقد بودند باید حداقل شود درحالیکه هوی ساید معتقد بود افزودن اندوکتانس بصورت کویل در فواصل معین میتواند وضع را بهبود بخشد. بعد ها صحت نظر او توسط **پوپین(Pupin)** وسایرین اثبات شد. او اولین کسی است که معادله دیفرانسیل ولتاژ وجریان خط یا معادله تلگرافچی ها را فرموله کرد.

خاصیت نیمه هادی سولفید ها

درسال ۱۸۷۴ ، براون خاصیت نیمه هادی را دربعضی ازسولفید ها بخصوس سولفید سرب وسولفید آهن کشف کرد[۱۵].

بررسی نیروهای سنجش پذیر والقائی

مانند بیشتر مدارس اروپا، **هلمهولتز** در نیروهای القائی الکترودینامیک بین آنهائی که باعث حرکت الکتریسیته در هادی شده ونیروهای سنجش پذیر که باعث حرکت خود هادی میشوند ، تفاوت میگذاشت.در سال ۱۸۷۴ طی مقاله ای نشان داد که فرمول عمومی پتانسیل او برای هر دو نیروی سنجش پذیر و القائی قابل استفاده است. دراین کار کوشش او توسعه دادن وعمومی کردن کار قبلی *فرانس نیومن* درسال ۱۸۴۵ بود. او آنرا برای سیستم سه بعدی ، هادیهای تغییر شکل پذیر وجریانهای مدار باز گسترش داد.

دراین سال هلمهولتز روشی که تئوریهای مختلف بطور تجربی آزما یش شوند ، کشف کرد. قانون آمپر ، مربوط به نیروهای قابل سنجش فقط بین عنصرهای کوچک هادی با جریان بسته بود. قانون نیروی قابل سنجش بدست آمده از قانون پتانسیل هلمهولتز به رابطه آمپر عبارات دیگری را اضافه میکرد که آثار قابل سنجش در اثر الکتریسیته جمع شده در پایانه های مدار باز را نیز بدست میداد.

درسال ۱۸۷۴ ، هلمهولتز وشاگردش **شیلر** آزمایشاتی برای تشخیص اینکه آیا پایانه های یک جریان باز بوجود آمده از تخلیه الکتریکی نیروی قابل سنجش ایجاد میکنند ، ترتیب دادند. مشاهدات منفی بود و هلمهولتز با بی میلی نتیجه گرفت که قانون پتانسیل یا غلط است ویا فرضیات ناقص است. در آزمایش

او متوجه شد که بار بطور ممتد از نقطه تخلیه ماشین الکترواستاتیک در میان حرکت کانوکتیو (convective) ذرات هوا جابجا میشود . قانون پتانسیل وجود آثار الکترودینامیکی تولید شده توسط جریانهای کانوکشن(convection) را نفی میکرد. اما اگر این فرض غلط بود ، علاوه بر آثار سنجش پذیر تولید شده توسط جریان باز ، آثار الکترودینا میکی دیگری در اثر جریان کانوکشن ، باید وجود داشته باشند. قانون پتانسیل احتمالا نباید کاملا غلط باشد بلکه فقط رد تعیین این اثر غیر کامل است[۱۱].

افتتاح آزمایشگاه کاوندیش

درسال ۱۷۸۴ آزمایشگاه کاوندیش افتتاح شد. یکی از کارهای مهم که در آزمایشگاه مذکور انجام وموجب اعجاب شد ، بررسی قانون اهم بود که نشان داد با تغییرات زیاد ولتاژ ، جریان ومقاومت ، رابطه با تقریب ۱/۲۰۰۰۰۰ صحیح است[۶و۹].

تحقیق قانون عکس مجذور فاصله توسط ماکسول

یکی دیگر از کارهای ماکسیول در آزمانشگاه کاوندیش ، تحقیق قانون عکس مجذور فاصله در نیروی الکترواستاتیک بود که در یادداشتهای کاوندیش ذکر شده بود. او دستگاه کاوندیش را به مراتب کاملتر کرد وآزمایش نیروی جاذبه را انجام داد ونتیجه گرفت که متناسب با $r^{-(2+\delta)}$ است که δ از ۱/۲۱۶۰۰ کوچکتر است. در دستگاهی که او و **مک آلیستر(Sir D. Mcalister)** بکار بردند از الکترومتر چهار تائی بسیار حساس ویلیام تامسون استفاده شده بود وهم چنین نیازی به جدا شدن دو نیمکره از هم نبود. در اتصال ، بایک نخ عایق باز شده ، وجدا میشدند وبنابر این اتصال الکتریکی قطع میشد. جعبه الکترومتر ویکی از الکترودهای آن زمین شده بودند و الکترود آزمایش نیز ، مگر موقعیکه بخواهیم پتانسیل کره داخلی را اندازه بگیریم ، زمین میشود. یک کره کوچک برنجی روی یک پایه عایق وبفاصله ۶۰ سانتیمتر از مرکز کره اصلی واقع شده بود که برای اندازه گیری باراصلی روی کره خارجی بکار میرفت.

ابتدا در کره خارجی بسته شده وکره خارجی بطور مثبت (توسط خازنی که از اتاق دیگر آورده میشد) شارژ میشد. سپس کره برنجی کوچک برای لحظه ای زمین میشد تا بار مفی در اثر القاء کره خارجی روی آن بوجود آید . بعد بکمک نخ ، در کره باز شده ودوکره داخلی وخارجی از یکدیگر جدا میشدند. سپس کره خارجی زمین شده والکترود تست الکترومتر از زمین جدا واز سوراخ در به کره داخلی متصل میشد. در این حالت ماکسول اظهار میکند که الکترومتر هیچگونه انحرافی را نشان نمیداد.

باتوجه به ابعاد کره کوچک برنجی وکره خارجی دستگاه اصلی ، بار کره برنجی ۱/۵۴ بار مثبت کره خارجی است. وقتی کره خارجی زمین میشود ، عملا یک بار مثبت کمی را در اثر القاء بار کره برنجی دارا خواهد بود که این برابر با ۱/۹ بار منفی کره برنجی ، وبنابراین بار کنونی روی کره خارجی برابر با ۱/۴۸۶ بار اصلی در اول آزمایش است. برای تعیین حساسیت آزمایش، کره خارجی از زمین جدا والکترومتر به آن متصل میشود ولی باز هم هیچ انحرافی دیده نمیشود.در این لحظه کره برنجی هم بزمین متصل شده والکترومتر به اندازه کافی منحرف میشود. سپس او با محاسبات نیتجه میگیرد که میزان خطا در رابطه میتواند به اندازه ۱/۲۱۶۰۰+- باشد[۹].

بیان هدایت الکتریکی با عبارات پارامترهای مولکولی

درسال ۱۸۷۵ ، **وبر** در آخرین مقاله اش که پس از مرگ او منتشر شد، سعی کرد که هدایت الکتریکی رابا عبارات پارامترهای مولکولی بیان کند که اثرمهمی در تحقیقات آیندگان داشت . در فلزات حرارت ،بعلت جهش ذرات الکتریکی بین مولکولهای سنجش پذیر ، هدایت میشدندکه مولکولهای گرم تر دارای سرعت بیشتری بودند. درعایقها حرارت با تشعشع از میان اتر نافذ درماده توزیع میشد[۸].قبلا درسال ۱۸۷۵ نیومن در رساله دکترای خود سعی کرد که گردش مغناطیسی صفحه پلاریزاسیون نور را با فرض اثر متقابل بین جریانهای مولکولی وبر و اتر اطراف، توجیه کند. وبر با گسترش این نظریه پیشنهاد کرد که فرکانس نور ساطع شده توسط مولکولها برابر با فرکانس حرکت ذرات الکتریکی در جریانهای مولکولی است.دراین ارتباط او مدل سیاره ای خود را در سالهای ۱۸۶۲و۱۸۷۱ که در آن باری با یک علامت با مولکول جرمدار ثابت وذرات الکتریکی بار دار با علامت مخالف حول آن مطابق قانون نیروی او در گردش بودند، ارائه داد. یکی از نتایج جالب قانون وبر این است که مدارات پایدار مقید برای دو ذره با بار هم علامت وجود دارند. وبر فکر میکرد که اتر از ذرات هم علامت مقید بهم ترکیب شده باشد وتکمیل تئوری حرکت آنها براساس قانون او احتمالا به تفهیم قوانین تشعشع نور وحرارت منجر خواهد شد[۸].

درسال ۱۸۷۵ لورنتس رساله دکترای خود را در مورد نور الکترومغناطیسی به دانشگاه لیدن تسلیم کرد. در این رساله او گرچه مقالات ماکسول را مورد بررسی قرارداده بود ، لیکن نقطه شروع تئوری عمومی هلمهولتز در مورد عمل در فاصله بود. او در اصل مخالف نظر ماکسول در عمل در مجاورت نبود ولی معتقد بود که تئوری ماکسول بصورت غیر کامل گسترش یافته است.او رساله خود را با نقد تئوریهای قدیمی تر نور تموجی وتئوری جدید نور الکترومغناطیسی آغاز کرد. سپس روش هلمهولتز در بدست آوردن معادله موج را برای انتشار تغییرات در حالت پلاریزاسیون ، با کاربرد آن در انعکاس وانکسار نور توسط محیط ایزو تروپیک ، نور کریستالی ، انعکاس کامل واثر مقابل نور و فلزات بکار گرفت. نیتجه اصلی این رساله بدست آوردن دامنه های فرنل برای نور منعکسه از فصل مشترک یک عایق با روش الکترومغناطیسی بود. او هم چنین نشان داد که در یک روش طبیعی تر از تئوریهای الاستیک- جامد ، در تئوری الکترومغناطیسی با صرفنظر کردن از پیچیدگی، نوسان طولی مشاهده نمیشود. او نتیجه گرفت که بخاطر سادگی وجامع بودن ، تئوری ماکسول بر تئوریهای الاستیک-جامد ارجحیت دارد. او هم چنین خبر از اتحاد تئوری نور الکترومغناطیسی ماکسول وتئوری مولکولی ماده داد که زمینه تحقیقات بعدی خود او شد.

رساله لورنتس اولین قدم در تمایز میدان الکترومغناطیسی از ماده وبنابراین روشن کردن پایه فیزیکی تئوری ماکسول بود. اونتیجه گرفت که اتر ، نشیمنگاه پلاریزاسیون بوده و مولکولهای گازی اثر کم وثانویه ای روی ظرفیت القائی اتر فراگیر فضای بین مولکولی دارند.

نور الکترومغناطیسی

درسال ۱۸۷۶ ، هانری رونالد(Henry Ronald) در آزمایشگاه هلمهولتز ، آزمایشاتی در تایید ایجاد آثار الکترودینامیکی توسط جریانهای کنوکسیونی انجام داد . قبلا در۱۸۷۵ هلمهولتز آزمایشی را که نتایج مشابهی داشت هدایت کرده بود . او با چرخاندن یک صفحه باردار یک عقربه مغناطیسی را منحرف کرده ونشان داد که بار الکتریکی متحرک اثار مغناطیسی دارد[۳]. او همچنین با چرخاندن صفحات یک خازن استوانه ای که بطور محوری در امتداد یک میدان مغناطیسی دائم قرارداشت ، نیروی الکتروموتوری القائی را

مشاهده کرد. این اثر فقط با فرض اینکه فضای عایق بین صفحات خازن مانند اتر دی الکتریک ماکسول عمل میکند ، میتواند با قانون عمومی پتانسیل توجیه شود.

دراواخر سال ۱۸۷۶ ، بنظر هلمهولتز تمام نتایج عمده با قانون القای نیومن بدون توسل به دی الکتریک اتر قابل بدست آمدن بودند ولی عملا وجود اتر را لازم وتئوری ماکسول را صحیح میدانست.

بعد از سال ۱۸۷۶ ، وبر معتقد بود که همه ماده از ذرات بارشده الکتریکی تشکیل شده است که باقانون نیروی وبر بهم مرتبط میشوند. حتی قانون جاذبه با توجه به تئوریهای قبلی اپینوس وموسوتی که نیروی جاذبه الکترواستاتیک بین بارهای مخالف ،نیروهای دافعه بین بارهای همنام را اندکی " خارج از بالانس" میکند ، قابل تصویر بود[۸].

اختراع تلفن

همزمان ***بل (A.G. Bell)*** دستگاه تلفن اختراعی خود را به ثبت رساند. درسال ۱۸۷۷ ، ***ادیسون*** ***فونوگراف*** و هم چنین میکروفون ذغالی و بلند گو را اختراع کرد.

ایجاد امواج الکترومغناطیسی

درسال ۱۸۷۸ ، ***هیوز (D.E. Hughes)*** بدون اطلاع از ماکسول وسیله ای ساخت که امواج الکترو مغناطیسی را ایجاد میکرد. اوهمچنین دتکتورهای مختلفی از جمله سوزن آهنی که در اتصال با یک قطره جیوه ای بود واکسید جیوه باعث یکسوشدگی میشد ، ساخت[۱۵].

جایزه برای استنباط تئوری وبر

درهمان سال ***هلمهولتز،*** جایزه دانشکده فلسفه برلین را برای استنباط تئوری وبر قرارداد: وقتی نوسانات الکتریسیته دریک مدار باز ایجاد میشوند ، فرضیه اینرسی الکتریکی وبر خودش را در تاخیر نوسانات اشکار میکند. ضمن آزمایشاتی که هلمهولتز درمورد خودالقائی سیم پیچهای دوبار پیچیده شده پیشنهاد کرده بود ، هرتز جایزه دانشکده فلسفه را برد. او ثابت کرد که اینرسی الکتریسیته ،صفر ویا مقدار بسیار کمی است واین یک پشتیبانی تجربی برای نظر هلمهولتز در مورد غیر محتمل بورن تئوری وبر بود[۸].

دومین جایزه

بمنظور نتیجه گیری تصمیم انتخاب یک تئوری معین بااستفاده از آزمایش ، هلمهولتز ، درسال ۱۸۷۹ دومین جایزه خود درآکادمی علوم برلین را قرار داد که در مورد مدارات باز در تئوری ماکسول بود. تئوری ماکسول متمرکز بر فرض آثار الکترومغناطیسی در اثر تغییرات پلاریزاسیون دی الکتریک کاملا همانند آثار جریان هدایتی بود . هلمهولتز احتیاج به آزمایش تجربی برای وجود این آثار ویا بالعکس تولید الکترومغناطیس پلاریزاسیون دی الکتریک داشت. اودستیار خود هرتز را تشویق به این کار کرد و او گرچه در آن زمان از این کار بخاطر اینکه نوسانات لیدن جارها وکویل های باز که او باآنها آشنائی داشت بنظر نمیرسید که مناسب برای تولید آثار قابل مشاهده باشد ، امتناع کرد ولی مساله را همیشه در مد نظر داشت.

تمایز نقش اتر وماده

درسال ۱۸۷۸ لورنتس به دنباله رساله خود در مقاله ای در مورد تئوری نوری ماده ، نقش ماده و اتر را متمایز کرد. او با فرض اینکه مولکولهای جسم شامل اسیلاتورهای هارمونیک شارژ شده هستند واینکه اتر در همه جا بجز احتمالا در مجاورت نزدیک مولکولها ، دارای همان خصوصیت خلاء است ، تئوری پراکندگی نور را ارائه کرد. او پراکندگی نور دریک جسم را به این ترتیب میدانست: امواج تابش نورانی در اتر باعث لرزش ذرات الکتریکی درجسم میشود؛ ذرات نوسان کننده امواج ثانویه ای که باموج تابش تداخل میکنند ،ایجاد میکنند، بنابراین بسرعت انتشار نور از جسم به فرکانس بستگی پیدا میکند. او رابطه ای بین ضریب انکسار وچگالی جسم ارائه داد که به رابطه لورنتس – لورنز بخاطر اینکه بطور مستقل توسط هر دو بدست آمد ، معروف است.

درگذشت ماکسول

درسال ۱۸۷۹ ماکسول در اوان ۴۸ سالگی درگذشت. دائره المعارف بریتانیکا در مورد رساله او چنین مینویسد: این کار یکی از با شکوه ترین آثار تاریخی است که تاکنون توسط نبوغ منحصر بفرد یک نفر شکوفا شده است. اسکیلینگ(H.H. Skilling) درکتاب خود " جستجوی الکتریسیته" میگوید: کار آنقدر عالی است که یکی از سنگ نشانه های علم الکتریسیته بحساب میاید . بعد از کشف اثر القای فاراده در چهل سال قبل از آن ، هیچ چیز قابل مقایسه ای تا آن زمان انجام نشده بود[۳].

کارهای ماکسول او را بزرگترین فیزیکدان تئوری قرن نوزدهم کرد. درصدمین سال تولد او درسال ۱۹۳۱، ماکس پلانک در باره ماکسول گفت:" او تئوری کلاسیک راساخت وکامل کرد و نام او با شکوه بر دروازه فیزیک کلاسیک قراردارد و ما درمورد او میتوانیم بگوئیم که ماکسول تولدش به ادینبورگ ، شخصیتش به کمبریج وکارهایش به همه جهان تعلق داشت[۹].

کشف ***اثر هال (E.H. Hall)*** نیر درسال ۱۸۷۹ انجام شد.

درسالهای ۱۸۸۰ علاقه لورنتس به تئوریهای الکترومغناطیس در مقالاتی در مورد اثر هال وگردش الکترومغناطیسی صفحه پلاریزاسیون نور منعکس شد[۸].

هدایت ازمیان آتمسفر

درسال ۱۸۷۹ ، ***هیوز*** که درتلگراف باسیم کار میکرد واستاد موسیقی بود، آزمایشات خودش را به اطلاع ها کسلی(Huxley) ، استوکس واسپاتیسود رساند. او نبوغ خاصی در الکتریسیته داشت. او ادعا میکرد که آزمایشاتش هدایت از میان اتمسفر را نشان داده است. استوکس با عصبانیت به او تذکر داد که آثار با القاء، قابل توضیح است. برخورد ملاقات کنندگان طوری سرد بود که هیوز از چاپ نتایج آزمایشات خود صرفنظر کرد. بیست سال بعد معلوم شد که استوکس اشتباه کرده واثر نه القاء ، بلکه تششع بوده است. او درآن زمان توانسته بود با دستگاه کوچک خود تا فاصله ۵۰۰ یاردی آثار را دریافت کند[۱۰].

اشعه کاتودی

درهمان سال کروکس بااستفاده از فشار خیلی کم توانست ناحیه تاریک کروکس را از الکترود مثبت تا منفی بگسترد ونشان دهد که اشعه کاتودی باعث درخشش بسیاری از اجسام میشود. او بکمک یک شیار توانست اشعه باریکی ایجاد کرده وآنرا با میدان مغناطیسی منحرف کند. این آزمایش او و بسیاری دیگر را

متقاعد کرد که اشعه باریکی ایجاد کرده وآنرا با میدان مغناطیس منحرف کند. این آزمایش ، او و بسیاری دیگر را متقاعد کرد که اشعه کاتودی ذرات سریع با بار منفی هستند[۳].آزمایشات سالهای بعد در اندازه گیری نسبت بار به جرم اشعه کاتودی و اشعه حاصل شده از اثر فوتو الکتریک این یقین را به وحود آورد که تصور بالا صحیح است. وچون اشعه کاتودی از بسیاری از اجسام بدست میامد این فکر پدید آمد که این ذرات منفی محتوای اساسی ماده هستند.

ساخت میکروفون

درسال ۱۸۸۰ **ریگی** یک **میکروفون با پودر** هادی و هم چنین بلند گو ساخت که زیاد مورد توجه قرارنگرفت[۸].اوهمچنین چند ماه قبل از **واربرگ**(**Warberg**) خاصیت **هیسترزیس** را کشف کرد ولی بنام او ثبت نشد. درهمین سال **کوری**(**Curie**) اثر **پیزو الکتریسیته** را اعلام کرد.

عمل درفاصله

درسال ۱۸۸۱ هلمهولتز عمل درفاصله را بکلی مردود دانسته وتئوری ماکسول را قویا تایید کرد. هم چنین تئوری اتمهای الکتریسیته واینکه نیروهای شیمیائی در نهایت دارای طبیعت الکتریکی هستند را اعلام کرد.

درهمین زمان در کنگره بین المللی واحدهای الکتریکی در پاریس واحد جریان الکتریکی ، آمپر انتخاب شد.

بردار پوینتینگ

ازمعادلات ماکسول دریافته میشد که امواج الکترومغناطیسی دارای انرژی بوده که درجهت انتشار جاری میشود. درسال ۱۸۸۴ ،**پوینتینک** (**J.H. Poynting**) نشان داد که گذر انرژی برواحد سطح برواحد زمان برابر با $EHSin\theta$ است که E و H دامنه میدانها و θ زاویه بین آنها است. او همچنین نشان داد که وقتی قدرت توسط یک جفت سیم از منبع به بار منتقل میشود انرژی از فضای اطراف میگذرد نه در خود سیمها ، وسیمها فقط نقش هدایت کننده انرژی را دارند وهرگونه انرژی درسیم بصورت حرارت تلف میشود[۳]. موضوع برای تخلیه خازن ویا پیل ولتا نیز معتبر بود . او درمورد فشار تشعشع نیز آزمایشاتی انجام داد.

امواج الکترومغناطیسی

درسال ۱۸۸۳ **فیتز جرالد**(**G.F. Fitzgerald**) ایرلندی روشی را پیشنهاد کرد که امواج الکترومغناطیسی را با **دشارژ یک خازن** ایجاد کند [۱۶].

درسال ۱۸۸۴ **ادیسون** (**T. Edison**)مشاهده کرد که وقتی یک صفحه فلزی مقابل رشته لامپ قرار میگیرد ، بین قسمت منفی فیلامان وصفحه جریانی برقرار میشود ، درحالیکه قسمت مثبت فیلامان چنین خصوصیتی رانشان نمیدهد. ۵ سال بعد **فلمینگ** اعلام کرد که جریان در اثر بارهای منفی است.

درسال ۱۸۸۶ ، **هانریش هرتز**(**H. Hertz**) آلمانی اقدام به آزمایشاتی کرد که برای او معروفیت جهانی آورد. او در آزمایشگاه فیزیک کارلسروهه کویل های القائی یافت که توانست با آنها در گیر مساله ای که هلمهولتز

دررابطه با تئوری ماکسول برای آن جایزه آکادمی برلین را قرار داده بود ،بشود[۸]. دراین حال او بعنوان استاد کارلسروهه دستگاهی شامل یک فرستنده وگیرنده ساخت[۱۷].

To Heinrich Hertz, who invented the first antennas . . .

درسال ۱۸۸۴ هرتز روی تئوری ماکسول کار میکرد. این یک جواب نظری به مساله عمومی هلمهولتز در تصمیم انتخاب تئوریهای الکترودینامیک بود. برخلاف نظر هلمهولتز ، هرتز معتقد بود که مدار بسته نیز میتواند به تصمیم گیری جواب دهد. هرتز ثابت کرد که معادلات ماکسول با فرضیات فیزیکی همه تئوریهای الکترو دینامیکی سازگار است. او نتیجه گرفت که اگر انتخاب تنها بین معادلات ماکسول و معادلات سایر تئوریها باشد ، دراین صورت معادلات ماکسول به وضوح ارجحیت دارند؛ ولی بهر حال او ارائه فیزیکی معادلات او،و خصوصا انکار عمل در فاصله را تصدیق نکرد.

هدف از اولین آزمایشات هرتز در کارلسروهه در ۱۸۸۶ تعیین اثر عایقهائی نظیر زفت وپارافین روی ارتباط القائی جرقه ها بین نوسان اولیه ومدار القاء کننده بود[۸].

درسال ۱۸۸۶ علاقه لورنتس به موضوع اتر در مطالعه انحراف نور منجر به این شد که اونظر فرنل را بالاتر از استوکس بداند. برخلاف استوکس ، فرنل معتقد بود که اتر نزدیک زمین درحرکت آن شرکت نمیکند. لورنتس فکر میکرد که نظریه شفافی کامل ماده نسبت به اتر، تلویحا در تئوری فرنل وجود داشت[۸].

درسال ۱۸۸۸ هرتز دریافت که نکته مهم در تئوری ماکسول انتشار محدود امواج الکتریکی است. هلمهولتز میخواست امتحان شود که آیا هوا وخلا همانطور که تئوری ماکسول نیاز داشت ، ازنظر الکترومغناطیسی مانند عایقهای جامد عمل میکنند ویاخیر.اما در آن زمان آزمایش مشکل بنظر میرسید.

هرتز از تلاشهای سال ۱۸۷۱ هلمهولتز برای تعیین سرعت انتشار آثار گذرای القای الکترومغناطیسی بااستفاده از زمان تاخیر بین ارسال ودریافت ، اطلاع داشت، ترتیب آزمایشی هلمهولتز محدود بود وفقط توانسته بود حد پائینی سرعت را حدود ۴۰ مایل بر ثانیه بدست آورد. هرتز اطلاعی از بحث نظری فیتز جرالد در مورد امکان تولید امواج غیر گذرای الکتریکی در اتر وهمچنین تلاش برای آشکار سازی امواج الکترومغناطیسی درسیمها توسط لاج ، یکی از ادامه دهندگان کار ماکسول نداشت. اینکه هرتز از مشاهدات ادیسون ، تامپسون، هیوز و دیگران در مورد ارتباط آثار الکترومغناطیسی در فواصل قابل ملاحظه خبرداشته نیز اطلاعی در دست نیست، ولی بهر حال مشاهدات عموما بعنوان القای معمولی مورد توجه بوده ولذا اهمیت اساسی نداشتند[۸].

نفوذ فاصله در ارتباط آثار الکترومغناطیسی ،تازمانیکه یک تئوری اهمیت آن را روشن کرد، مورد توجه نبود. ماکسول این تئوری را ارائه نکرده بود وبیشتر بجای بررسی امواج الکترومغناطیسی غیر قابل رویت ، به نور پرداخته بود. دررساله خود در سال ۱۸۷۳ او نظریه ای برای مدارات نوسانی ویا ارتباط بین جریانها وامواج الکترومغناطیسی بیان نکرده بود. امکان ایجادامواج الکترومغناطیسی در تئوری او ذاتی بود ولی بهیچ وجه واضح نبود وجائی نیز ذکر نشده بود. اثبات چنان امواجی توسط هرتز ، درک تئوری او، از افکار ماکسول بود[۸].

اثبات تجربی تئوری ماکسول

درسال ۱۸۸۷ ***لاج (S.J. Lodge)***کشف کرد که نوسانات مربوط به تخلیه لیدن جار در سیمهای هادی امواج وهمچنین موج ساکن ایجاد میکند. او با مشخصات تعریف شده از طرف ماکسول طول موج را نیز تعیین کرد[۸].

درهمین سالها هرتز مشغول کار روی اثبات تجربی تئوری ماکسول بود. درتمام مدت اودر تماس نزدیک با هلمهولتز بود ومقالات خود را قبل از انتشار در "annalen der physic" نزد او برای طرح در اکادمی برلین میفرستاد. او ۹ مقاله دراین رابطه منتشر کرد که مورد استقبال عمومی قرارگرفت[۸]. او بین گوی های فلزی جرقه ایجاد میکرد . ودریافت که چنانچه شکاف بین گوی ها در معرض اشعه ماوراء بنفش قرارگیرد جرقه خیلی زودتر شکل میگیرد[۶].

همچنین ریگی براساس آزمایشات هرتز نشان داد که نور که یک موج الکترومغناطیسی فرکانس بالاست موجب تخلیه بین الکترودها میشود . او هم چنین دریافت که دو الکترود درمقابل تشعشع اشعه ماوراء بنفش مانند یک زوج ولتا عمل میکنند وآنرا اثر فوتوالکتریک نامید . لاج همین طور نشان داد که جرقه ناشی از دشارژ باعث چسبیدن پودر فلزات میشود که بعد ها در آشکار سازی امواج با نام (coherer) بکاررفت[۸].

درهمان سال هرتز گزارش تاریخی خود را درمورد اثر الکترومغناطیسی ایجاد شده توسط اختلالات الکتریکی در عایقها ،که طی آن اعلام کرده بود توانسته است تافاصله ۱۲ متری اثر القائی نوسانات را دریافت کند ، منتشر کرد. [۶].

درسال ۱۸۸۸ هرتز مقاله هائی با عناوین امواج الکترومغناطیسی وانعکاس آنها ، و تشعشع الکتریکی نوشت[۶].

دراین مقاله او سرعت موج را تعیین و ثابت کرد که امواج همان طور که ماکسول گفته بود میتوانند منعکس شوند. قبلا در آلمان تئوریهای وبر و نیومن که آثار الکترودینامیکی را درفاصله ، آنی میدانستند مورد قبول بود[۱۱].

هرتز اثبات خود را با مدار باز الکتریکی متصل شده بیک کویل القائی انجام داد.امواج توسط جرقه تولید شده بین دو گوی فلزی متصل شده به کویل القائی وباطری ایجاد شده وآشکار سازی آثار توسط یک حلقه که انتهای آن بسته نبود انجام میگرفت. اودستگاه آشکار ساز خود راخیلی مهم میدانست. درامتداد

سالن تاریک کارلسروهه او میتوانست جرقه های بسیارضعیف را از شکاف حلقه ببیند وبا حرکت آن به قسمت های مختلف سالن ، توانست طول موج را تعیین کند. بااین طول ودانستن فرکانس نوسانات سرعت انتشار را

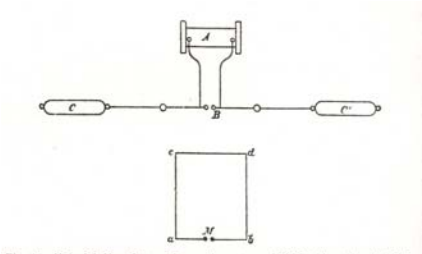


Fig. 1. Heinrich Hertz's complete radio system of 1886 with end-loaded 1/2-wavelength dipole transmitting antenna (*CC'*) and resonant loop receiving antenna (*abcd*). With induction coil (*A*) turned on, sparks at gap *B* induced sparks at gap *M* in the receiving antenna. (From Heinrich Hertz's book *Electric Waves*, MacMillian, 1893.)

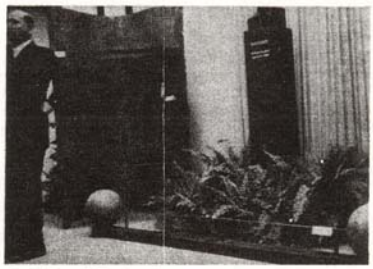


Fig. 2. Display of Hertz's radio apparatus. Sphere loaded 1/2-wavelength dipole and spark gap for 4 m is in foreground. Cylindrical parabolic reflector with transmitting dipole for 30 cm is at left (dipole with spark gap is vertical on parabola focal axis). Resonant receiving loop on wooden frame is resting inside parabola (at right). (Photo by E. C. Jordan.)

بدست آورد. بدست آوردن این سرعت که برابر سرعت نور بود برای هرتز حساس ترین لحظه آزمایشات بود.

او آزمایشاتش را در مورد محدود بودن سرعت امواج با آنالوژی بین امواج الکتریکی ونوری ادامه داد. گذر امواج الکتریکی از میان منشورهای عظیم از زفت نشان میداد که آنها نیز مانند نور منکسر میشوند. او امواج را با عبور از شبکه ای از سیمهای موازی پلاریزه و توسط سوراخی در یک صفحه مشبک متفرق کرد.

همچنین آنها را از دیوارهای اتاق منعکس وبین آن و موج تابش تداخل ایجاد کرد. بااستفاده از آینه های مقعر عظیم آنها را متمرکز ، و با هادیها در مقابل آنها مانع ایجاد کرد. آزمایشات با آینه ها ، بخصوص مورد توجه قرار گرفت زیرا رد مستقیم عمل در فاصله در الکترودینامیک بود.

این آزمایشات و محدود بودن سرعت انتشار سریعا نظر دانشمندان اروپائی را از اثر آنی در فاصل به نقطه نظرات ماکسول برگرداند[۸].

درسال ۱۸۸۹ ***موتور القائی*** توسط ***تسلا*** ساخته شد و ***استروگر*** ، ***سوئیچ تلفنی*** را اختراع کرد.

درسال ۱۸۹۰ ***برانلی(E. Branly)*** فرانسوی تغییراتی در ***کوهیرر*** داد وآنرا بیک رله وصل کرد. امواج باعث چسبندگی ذرات فلز شده وجریان جاری شده باعث بکار افتادن رله میشد. در این مورد دیگران هم کار کردند ولی در آن زمان مورد توجه قرار نگرفت [۱۵].

درهمین موقع ***لاج*** برای ***کوهیرر*** ،سیستم رفع چسبندگی یا "***دکوهیرر***" را طرح کرد که عبارت از یک ضربه زننده به شیشه ، برای جدا شدن ذرات فلز از هم بود.

درسال ۱۸۹۰ هرتز طی دو مقاله تئوری ، شکل کامل تئوری ماکسول را که بنظر خودش کامل بود ارائه کرد. نظر هرتز در مورد تئوری ماکسول روشن بود:پدیده الکترومغناطیسی در اثر پلاریزاسیون درمحیط دی الکتریک ایجاد مشود که در غیر این صورت فضای خالی را پر میکند. مساله این بود که شکل موافقی که محتوی را کاملا بیان کند ساخته شود تا فرضیات نیرو از راه دور وسیالهای الکتریکی مربوطه را از میان بردارد.

اولین مقاله مذکور درباره الکترودینامیک اجسام ساکن بود . معتقد بود که ماکسول به وجود طنابهائی در " اثر از فاصله " قائل بود. برای رسیدن به تئوری سازگار برای اثر مجاور ، او پتانسیلهای برداری را از معادلات اصلی تئوری ، که باقیمانده ای از مفهوم اثر درفاصله وچوب بستی که بدون اینکه نیازی باشد مساله را پیچیده کرده بود ، حذف کرد. او همچنین تمایز ماکسول بین پلاریزاسیون ونیروی الکتریکی در اتر آزاد را که فقط در چهار چوب اثر درفاصله قابل فهم بود ، برطرف کرد[۸].

درانکار وجود نیروهای درفاصله ، هرتز ادعا کرد که تنها چیزی که درحقیقت وجود دارد پلاریزاسیون محیط است. ودررد سیالهای الکتریکی که در اثر آنها نیزو از فاصله پیش میاید ، او الکتریسیته ، یا بار را فقط یک اختصار مناسب میدانست. درانگلستان ، هوی ساید از ۱۸۸۵ بموازات او در فرموله کردن مجدد تئوری ماکسول کارمیکرد و هرتز از آن خبر داشت ولی کار خودش شامل نقد جستجوگرانه ای از تئوری ماکسول بود[۸].

بعقیده هرتز معادلات ماکسول شامل همه چیز لازم برای تئوری او بود. در کتاب خود بانام امواج الکتریکی میگوید: تئوری ماکسول ،سیستم معادلات ماکسول است . او میگفت هرگونه جستجو برای بنیان مکانیکی الکترودینامیک باید از معادلات ماکسول شروع شود. ویا دقیقتر ، از شکلی که هرتز برای این معادلات تعیین کرده بود. همچنین معتقد بود که بررسی مکانیکی گذشته به حالت فعلی علوم نا مربوط هستند.

ازاین رو درسال ۱۸۹۰ هرتز بجای بدست آوردن معادلات تئوری از مدل مکانیکی اتر ، آنرا فرض مسلم کرد. او بین نیروی الکتریکی E ونیروی مغناطیسی H در اتر آزاد روابط متقارنی پیشنهاد کرد.

$$1/C\frac{\partial H}{\partial t} = -\nabla \times E$$
$$\nabla.B = 0$$

$$1/c\frac{\partial E}{\partial t} = \nabla \times H$$
$$\nabla.E = 0$$

که c سرعت نور است.(واحدها گوسی هستند .معادلات بعلت اینکه او قانون دست چپ را درنظرمیگرفت دارای علامت مخالف با روابط کنونی هستند. اوهمچنین آنهارا بشکل مولفه ها نوشته بود).

درمقاله دومش در ۱۸۹۰ ، هرتز معادلات ماکسول را به اجسام متحرک تغییر شکل پذیر، اعمال کرد. اوتصدیق کرد که برای بررسی الکترودینامیک اجسام متحرک ، ابتدا لازم است که مشخص شود که آیا اتر باجسم حرکت میکند یاخیز. او باید فرض میکرد که اتر بطور مکانیکی با اجسام متحرک کشیده میشود.اولین زمینه چنین فرضی درحیطه پدیده های الکترومغناطیسی ، ناسازگاری بااین فرض نداشت. زمینه دیگر برای

این انکار ، این بود که موجب میشد موضوع پیچیده شده وبه دو گروه بردار الکتریکی ومغناطیسی ، یکی برای اتر ویکی برای جسم متحرک مستقل ، درهرنقطه نیازمند میشد. او درعین حال اتر کشیده شده را مبنای غیر مطمئنی برای الکترودینامیک میدانست. واز توضیح پدیده نوری انحراف ستارگان و آزمایش فیزو ، پدیده ای که اشاره به استقلال حرکت جسم مادی واتر داشت ، عاجز بود.

او حدس میزد که یک تئوری صحیح بین حالت اتر وحالت ماده شناور در آن در هرنقطه تمایز نشان خواهد داد[۸].

درسال ۱۸۹۱ ، ***لبدوف (Lebedev)*** روسی روی ***فشار نور*** کارکرد وبراساس آن دلائلی برای وضعیت عمومی شهاب ها آورد[۸].

وضوح تئوری ماکسول توسط هرتز باعث شد که دیگران بتوانند سریعا پشت سر او حرکت کنند. کسانیکه بعد از هرتز ، تئوری ماکسول را توسعه دادند برداشت او را از اتر پس زدند زیرا قادر نبود پدیده نور والکترودینامیک را توجیه کند. یکی از آنان لورنتس بود که در سال ۱۸۹۲ تئوری الکترونی خود را در گسترش معادلات ماکسول در جواب به نارسائی الکترودینامیک هرتز در مورد اجسام متحرک بیان کرد. در تشخیص از هرتز ، لورنتس میدان الکترومغناطیسی را از ماده جرم دار با تصور اینکه اتر ثابت است وکشیده نمیشود ، متمایز دانست. این بهمراه فرضیات راهگشای لورنتس در طبیعت مولکولی الکتریسیته مهمترین اساس توسعه های بعدی تئوری ماکسول در قرن جدید شد[۸].

هرتز درسالهای بعد تقریبا همه وقت خود را وقف دریافتن اشارات ضمنی الکترو دینامیک ماکسول در سایر مباحث فیزیک کرد. درسال ۱۸۸۹ درسخنرانی خود در هیلدبرگ گفت که از این ببعد اتر اصلی ترین مساله درفیزیک است. پیشنهاد اواین بود که یک فیزیک مناسب اتری میتواند نیرورا بعنوان مفهوم اصلی حذف کند.

درسال ۱۸۹۰ لورنز مقاله ای در مورد تفرق امواج صفحه ای از کره شفاف بااستفاده از معادله موج خود با شرائط حدی مربوطه ارائه کرد. متاسفانه این مقاله بسیار مهم چون فقط به زبان دانمارکی چاپ شد ،اثری در پیشرفت های بعدی نداشت. دراینمقاله تعداد مولکولهای دریک حجم معین هوا ، بر اساس پخش نور خورشید در اتمسفر ، در نظر گرفته شده بود.

تحقیقات هرتز منجر به گشوده شدن زمینه برای تئوری الکترونی با اتر ثابت توسط عده ای واز جمله لورنتس شد که بخاطر روشنی ودوگانی الکترون ومیدان در تئوری او بیشتر مورد توجه قرار گرفت. درسال ۱۸۹۲ لورنتس مقاله ای در مورد تئوری الکترونی نوشت. او از اتر کاملا کشیده شونده هرتز در نور انتقاد واز شکل روشن ریاضی که هرتز وهوی ساید به تئوری ماکسول داده بودند تمجید کرد. لورنتس به توجیه مکانیکی که توسط ماکسول شروع شده بود ادامه داد و با استفاده از نظریه اتر ثابت والکترون خود ، با بکار گیری اصل دالامبر ، معادلات میدان وحرکت یک الکترون درمیدان را تعیین کرد. لورنتس در تئوری الکترونی خود از نظریه فرنل یعنی نفوذ اتر در ماده استفاده کرد ولی نظر او در مورد تغییر چگالی اتر از ماده ای به ماده دیگر وهمچنین نظر نیومن در مورد تغییرات الاستیسیه اتر در موادمختلف را رد کرد.

برای لورنتس اتر در همه جا دارای خصوصیت یکسان واز ماده کاملا جدا بود ولی چون بهر حال بخاطر اثر متقابل اواحتیاج به تعیین نوع این ارتباط داشت. او فرض کرد که تنها ارتباط آنها با الکترونهای مثبت ومنفی برقرار میشود که او آنها رااجسام کوچک، مادی وسخت میدانست. در ابتدا او این ذرات را ذرات شارژ شونده مینامید ودر سال ۱۸۹۵ یون و بالاخره درسال ۱۸۹۹ آنها را الکترون نامید.

برخلاف ماکسول وهرتز ، لورنتس بیان ساده وروشنی از بار وجریان الکتریکی ورابطه آنها با میدان الکترومغناطیسی ارائه کرد. جسم باردار یکی از انواع الکترونها رادارد وجریان الکتریکی در یک هادی ، گذر الکترونها است.وجابجائی در عایقها جابجائی الکترونها از حالت تعادل آنها است.

چون لورنتس ***اتر وماده*** را کاملا جداکرد ، فقط احتیاج به یک زوج از دامنه های جهت دار داشت ، یکی الکتریکی ویکی مغناطیسی ، تا بتواند میدان را در یک نقطه تعیین کند، واین به وجود ماده در آنجا بستگی نداشت وبه این ترتیب به اعتراض هرتز برای وجود دو مقدار برای تعیین میدان در یک نقطه ، یکی برای اتر ویکی برای ماده در حالت اتر ثابت پاسخ گفت . او همچنین اعتراض هرتز که سیالهای الکتریکی خاص به الکترودینامیک عمل در فاصله متعلق بوده ونه عمل در مجاور ، را پاسخ داد.

بوسیله مفهوم یک اتر ثابت ،وشفافی آن نسبت به الکترون ، لورنتس یک الکترو دینامیک سازگار که درعین حال عمل در فاصله را نقی کرده وسیالهای الکتریکی را ابقاء میکرد بنا نهاد. در الکترودینامیک وبر وکلازیوس نیروی وارده بر الکترون به محل وحرکت سایر الکترونها نیز بستگی داشت.

درمورد نور معتقد بود که علت چرخش وتاخیر آن در عبور از یک جسم ، الکترونهای مولکول جسم هستند ، تابش نور باعث نوسانات الکترونها شده ودر نتیجه تولید امواج نورانی وتداخل با امواج تابیده وخودشان میشود. او ضریب کشش فرنل را به این ترتیب بدست آورد ، مقدار حرکتی که یک جسم شفاف متحرک با نور گذرنده از آن برقرار میکند. درمیان توجیهات فیزیکی این ضریب ، یکی هم این بود که جسم متحرک تاحدودی اتر را با خود میکشد. لورنتس نشان داد که ضریب کشش از تداخل نور بوجود آمده ولذا باعث کشش واقعی اتر نمیشود.

گرچه درسال ۱۸۹۲ ، لورنتس معتقد به ارتباط دادن پدیده الکترومغناطیسی با قوانین مکانیکی بود ولی یک الکترودینامیک کاملا مکانیکی ارائه نداد. اتر او یک ماده غیر مکانیکی بود. چون اتر همان فضای الکترون و مولکولهای اجسام را اشغال میکند ، وخصوصیات آن با هم بسطی تاثیر نمی پذیرد ، پس هیچ ارتباط مکانیکی با ماده معمولی ندارد.

هرتز علیرغم اینکه دارای پایه مهندسی بوده وکشفیات خود را درهنگام تدریس در مدرسه مهندسی انجام داده بود ولی خود را بیش از این درگیر کارعملی نکرد و بزودی دیگران مانند مارکونی با مطالعه مقالات ا و امکان استفاده از کارهای وی را در ارتباطات بیسیم مورد بررسی قرار دادند.

در همان سال ۱۸۹۲ ***لاج*** درمقاله ای به انجمن فیزیک اعلام کرد که پروفسور ***فیتزجرالد*** راهی برای خروج از اشکال پیشنهاد کرده است که در آن فرض میشود ***اندازه اجسام تابعی از سرعتشان در اتر است***.

کارروی امواج-موجبرها

دراین زمان کوهیرر تکمیل شده بود و برانلی بجای فاصله هوائی از براده فلز که داخل لوله شیشه ای قرار گرفته بود استفاده کرد. لاج هم سیستم رفع چسبندگی را که با وصل شدن رله به شیشه ضربه میزد وبراده ها را دوباره از هم جدا میکرد طراحی کرده بود. اونشان داد که وسیله مذکور میتواند بعنوان دتکتور امواج هرتز بکار رود. بعد از هر بار تشعشع، باید دوباره رفع چسبندگی میشد.

درایتالیا ، ریگی ودر کلکته ، بوز(Bose) کارهای هرتز را در طول موج ۲/۵ سانتیمتر تکرار کردند .

درسال ۱۸۹۲ کروکس (Crookes) اعلام کرد که همه چیز برای یک اکتشاف مهم آماده است [۸و۱۰]. یکسال بعد انتشار در لوله ای خالی توسط تامسون بررسی شد.

درسال ۱۸۹۳ لاج با آزمایش جالبی ، با تداخل دو اشعه نورانی مخالف بین یک زوج دیسک که با سرعت میچرخیدند ، نشان داد که اتر منتقل نمیشود. این آزمایش کمکی به حذف تئوری اتر و به وجود آمدن نظریه نسبییت کرد. ضمنا او اولین کسی بود که حدس زد ستارگان تشعشع دارند ولی تاسال ۱۸۴۲ اثبات نشد[۱۶و۴].

درسال ۱۸۹۳ ، تامسون(J.J. Thomson) نشان داد که موج الکترومغناطیسی دارای ممنتمی متناسب با گذر انرژی پوینتیک است.وقتی یک موج الکترومغناطیسی به یک صفحه جاذب برخورد میکند قانون بقای ممنتم میگوید که صفحه دارای ممنتم میشود ، واگر صفحه آزاد باشد میتواند حرکت کند این با آزمایش ثابت شده بود. ممنتم خصوصیت ماده وبرابر با حاصلضرب جرم در سرعت است. چون امواج الکترومغناطیسی ممنتم دارند ، نتیجه این است که به امواج نیز جرمی وابسته است. پس امواج دارای انرژی ، ممنتم وجرم بوده ودر فضا حرکت میکنند. ذرات ماده نیز دارای انرژی ، ممنتم وجرم هستند واعتقاد براین است که ذرات در فضا بوسیله نوعی حرکت موجی حرکت میکنند که از قانون امواج مکانیکی پیروی میکنند. به این ترتیب نتیجه میشود که امواج وذرات مادی از بسیاری از نظر ها کاملا مشابه هستند[۳].

ارسال ودریافت امواج

درسال ۱۸۹۴ ***لاج*** درجلسه ای توانست باامواج تافاصله ۱۵۰ یارد در اکسفورد ارتباط برقرار کند[۱۰]. درهمین زمان ***پوپوف (A.S. Popov)*** استاد فیزیک دانشگاه سن پترزبورگ که دستگاه لاج مورد توجهش قرار گرفته بود مشغول ساختن یک کوهیرر برای مطالعه تخلیه های الکتریکی برق آسمان شد که یکسال بعد گیرنده خود را در سن پترزبورگ بنمایش گذاشت. او از یک آنتن بلند بعنوان برقگیر استفاده کرد وبااتصال یک زنگ الکتریکی به کوهیرر درحقیقت اولین دتکتور برق آسمان واختلالات الکتریکی را ساخت . اهرم زنگ طوری به شیشه پودر فلز ضربه میزد که رفع چسبندگی میکرد وبرای دفعه بعد آماده میشد[۲و۱۶و۴].

درگذشت هرتز و هلمهولتز

دراول ژانویه ۱۸۹۴ هرتز درسن ۳۶ سالگی بعلت بیماری که در گوش او پیدا شد درگذشت. او را پدر امواج الکترومغناطیسی واین امواج را بنام او امواج هرتزی نامیدند. درمراسم یادبود او ، لاج درسخنرانی تحت عنوان " کارهرتز " به اهمیت تیونینگ رزنانس یا (*syntony*) برای نتیجه گیری بهتر دردریافت امواج اشاره کرد. او برای مدار رزنانس آنتن نیز کارهائی کرد[۸].

در هشتم سپتامبر همان سال ، استاد هرتز ، هلمهولتز نیز درگذشت.درآن زمان که تمام زمینه ها دارای پیچیدگی خاص بود او تنها دانشمندی بود که در تمام علوم حتی فلسفه وهنرهای زیبا نیز دست داشت.

دراین زمان ***اشعه ایکس*** توسط ***رونتگن*** کشف شده بود.

مارکونی

درسال ۱۸۹۴ ***مارکونی (G. Marconi)*** ، مهندس ایتالیائی درحالیکه ۲۰ ساله بود در تعطیلاتش در آلپ از ازمایشات هرتز ، ***برانلی*** و ***ریگی*** باخبر شد وبه فکرافتاد که چگونه میتوان آثار رادر فواصل دورتر دریافت کرد. علاقه اش تحریک شد وبکمک پروفسور ریگی در اتاق شروع به آزمایش کرد. فرستنده اومشابه

با هرتز بود یعنی از جرقه ای که توسط بوبین رمکورف درشکافی که به آنتن دیپل متصل بود استفاده میشد. ولی گیرنده از یک کوهیرر که قبلا توسط برانلی طرح شده بود تشکیل میشد. دراولین شب موفقیت آزمایشاتش نتوانست تاصبح صبر کند ومادرش را بیدار کرده ونتیجه آزمایش را به او نشان داد. او بزودی دریافت که باافزودن طول آنتن ها میتوان فاصله را افزایش داد [۸و۱۶].

. . . and Guglielmo Marconi, who pioneered in their practical application.

درسال ۱۸۹۵ ، ***پوپوف*** درمقابل انجمن شیمی فیزیک سن پترزبورگ طی مقاله ای با عنوان "***دررابطه با پودرهای فلزی و نوسانات الکتریکی***" دریافت امواج الکترومغناطیسی را برای اولین بار در آنجا نمایش داد. درسال ۱۸۹۶ دستگاه خود را دقیقا تشریح واظهار امیدواری کرد که درصورتیکه منبع نوسانات پرقدرت یافت شود، بتوان با آن روش ، سیگنالها را به فواصل دور فرستاد.

درپائیز سال ۱۸۹۶ اولین خبرها از اختراع ***تلگراف بیسیم*** توسط ***مارکنی*** منتشر شد و***پوپوف*** مدعی شد. در روسیه کمیسیونی مشغول مطالعه شد ودر ۱۹۰۸ اورا مخترع تلگراف بیسیم شناخت .نیروی دریائی روسیه از اختراع اواستفاده زیادی برد ولی پیشرفت کند آن درارتش باعث پیشی گرفتن سایر ملل شد[۸].

درسال ۱۸۹۵ مارکونی در مزرعه خانوادگی خود در بلونا برای انتقال علائم تلگرافی بدون سیم با دستگاه خود تلاش کرد. او یک شئی فلزی بلند به یک طرف فرستنده خود اضافه کرد که در حقیقت آنتن شد ویک سردیگر سیم را به زمین متصل کرد ومتوجه شد که سیگنال در تمام باغ پخش میشود. بزودی او در گیرنده خود از کوهیرر متشکل از براده نیکل ونقره که در شکاف دو پلاک نقره ای قرار داشت استفاده کرد که بسیار حساس وقابل اطمینان بود.

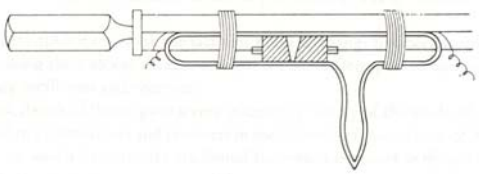


Fig. 1.

کاردیگر او استفاده از مدار تطبیق بود که به او اجازه داد علائم را تا فاصله یک مایلی دریافت کند. او کوهیرر را در مدار یک پیل ولتا ویک رله حساس تلگرافی قرارداده بود که بهمراه یک دستگاه ثبات علائم کار میکرد. یک کلید تلگراف مورس در مدار فرستنده علائم تلگرافی را روی دستگاه ثبات میآورد. ضمنا چکش رله باعث رفع چسبندگی براده ها در کوهیرر میشد[۱۶و۸و۱۸].

بااستفاده از رفلکتور او توانست جهت ارسال را مشخص کند ولی اشکال در این بود که وجود مانع مثل تپه ارتباط را قطع میکرد.سپس او با افزودن یک سطح خازنی که در ارتفاع بالای زمین واقع میشد واتصال سر دیگر به زمین ، وبهمین ترتیب در گیرنده ، فاصله ارتباط را افزایش داد [۱۸].

او به این نتیجه رسید که بااضافه کردن یک صفحه مربعی به ابعاد ۳۰ سانتیمتر وطول تیری که سیم به آن وصل شده ۲ متر، تافاصله ۳۰ متری دریافت خوب است. چنانچه طول تیر به ۴ تا ۸ متر میرسید ، فاصله به ۱۰۰ یا ۸۰۰ متر افزایش می یافت. برای صفحه به ابعاد ۱۰۰ سانتیمتر وارتفاع ۸متر فاصله دریافت با ۲۴۰۰ متر نیز میرسید[۱۸].

کشف الکترون

درسال ۱۸۹۵ تامسون الکترون را کشف کرد و با انحراف اشعه در لامپ کاتودی نسبت بار به جرم الکترون را تعیین و از قدرت نفوذ آنها دریافت که الکترونها خیلی کوچکتر از اتمها بوده وضمنا چون اتمها خنثی هستند پس شامل بار مثبت مساوی بار منفی هستند[۳].کمی بعد ازآن مدل اتمی یک هادی توسط درود ***(Drude)*** که در آن الکترونها در یک مدار از یونهای مثبت سرگردان بودند ، ارائه شد. اعمال میدان الکتریکی باعث حرکت الکترونها و بنابراین جریان شده ونتیجه برخوردهای الکترون ویون ، مقاومت هادی است.

درهمان سال ، لورنتس دردومین مقاله اساسی خود در مورد تئوری الکترون ،معادلات خود را ، نه با استفاده از اصول مکانیکی بلکه فقط با فرضیه بیان کرد. او برای اولین بارمعادلات را بصورت فشرده برداری نوشت؛ در واحد الکترومغناطیسی ، چهار معادله بیان کننده میدانها در خلاء بصورت زیرند:

$$\nabla . D = \rho$$
$$\nabla . H = 0$$
$$\nabla \times H = 4\pi(\rho v + d^{\cdot})$$
$$-4\pi c^2 \nabla \times d = \dot{H}$$

که d جابجائی الکتریکی و v سرعت بارالکتریکی و c سرعت نور است. پنجمین وآخرین معادله بیان کننده نیروی الکتریکی اتر روی ماده سنجش پذیر شامل الکترون های(bearing unit charge) است :

$$E = 4\pi c^2 d + \nabla \times H$$

چهار معادله اول، معادلات ماکسول بوده وآخرین معادله خود لورنتس در رابطه با الکترودینامیک است که به معادله لورنتس معروف بوده ورابطه میدان پیوسته با الکتریسیته ناپیوسته است.

لورنتس در سال ۱۸۹۲ بحث مختصری در مورد ***اثر حرکت زمین در اتر*** کرده بود.درسال ۱۸۹۵ موضوع را بطورکلی مورد مطالعه قرارداد. چون اتر ثابت است پس زمین نسبت به آن دارای سرعتی است. سئوال این بود که آیا این سرعت از طریق آثار نوری یا الکترومغناطیسی باد اتر قابل تشخیص است یا خیر. دامنه آثار این باد بطور تئوری با نسبت سرعت حرکت زمین و نور قابل اندازه گیری است .گرچه این نسبت کوچک است ولی بهر حال قابل تشخیص خواهد بود.

بهر حال ، آثار باد اتر ملاحظه نشد؛ ولورنتس برای اعتبار خود باید جوابی میداشت . بر اساس تئوری ، او نشان داد که جبران غیر منتظره اعمال ، تمام آثار باد اتر را با تقریب درجه اول حذف میکند. او عدم حضور آثار درجه اول باد اتر مانند انعکاس ، انکسار وتداخل در پدیده را بکمک تئوری حالات وابسته ، آنالیز کرد. نتیجه این بود که با تقریب درجه اول هیچ آزمایشی بااستفاده از نور زمینی نمیتواند حرکت زمین در میان اتر را نشان دهد. بامعرفی تبدیلات برای دامنه میدانها ، مختصات فضائی ، وزمان محلی ، لورنتس نشان داد که با تقریب درجه اول یک سیستم الکتریکی در یک چهار چوب متحرک ، مانند همان سیستم وابسته الکتریکی در یک چهار چوب ساکن در اتر است. آزمایشات با تقریب درجه دوم ، مانند آزمایش اینترفرومتر مایکلسون درسال ۱۸۸۱ ودقیقتر آن توسط مورلی درسال ۱۸۸۷ ، نتوانستند آثار درجه دوم باد اتر که از تئوری لورنتس انتظار میرفت را تشخیص دهند.

تنها راهی که بفکر لورنتس میرسید نظریه مختصری بود که او وفیتز جرالد بطور مستقل وتقریبا هم زمان در سال ۱۸۹۲ ارائه داده بودند . درسال ۱۸۹۵ او شکل دقیق آن را منتشر کرد که بر اساس آن بازوهای اینترفرومتر با ضریب $\sqrt{1-(v/c)^2}$ در جهت حرکت زمین در اتر منقبض میشدند. اونظریه را بجای سینماتیک ، دینامیک میدانست که لازم بود نیروهای مولکولی تعیین کننده شکل بازوهای اینترفرومتر در اتر ، مشابه نیروی الکتریکی منتشر شوند.

درسال ۱۸۹۶ ***اریکسون*** و ***کیت*** ، ***شماره گیر تلفن*** را اختراع کردند.

از نظریات لورنتس این بود که نوسانات ذرات باردار در اتم ماده باعث ایجاد نور میشود. اگر این درست بود ، پس یک میدان مغناطیسی قوی باید روی نوسانات اثر داشته باشد وطول موج تغییر کند . درسال ۱۹۰۲ زیمن (Zeeman) شاگر لورنتس این را کشف کرد وهر دو مشترکا جایزه نوبل را گرفتند.

درهمان سال ۱۸۹۶ همزمان با مارکنی ، ***کاپیتان جکسون*** در نیروی دریائی سلطنتی ،***رادیوتلگرافی محرمانه*** برقرار کرده بود.

درسپتامبر ۱۸۹۶ ملاقاتی بین مارکونی وجکسون برقرار شد ومعلوم شد که هردو در یک مسیر کارمیکردند[۱۰].

چون مارکونی نتوانست دولت ایتالیا را در مورد مزایای سیستم خود متقاعد کند ، درسال ۱۸۹۶ به اتفاق مادرش که ایرلندی بود به انگلستان آمد وبا **پریس (Preece)** مهندس ارشد اداره پست انگلستان که خودش هم کارهائی درمورد تلگراف کرده بود آشنا شد [۱و۸].او در آنجا برای مقامات مسئول نمایشاتی داد وبکمک دائی خود درهمان سال اختراع خود را ثبت کرد. او در سالیسبوری بااستفاده از رفلکتور وامواج کوتاه تا فاصله ۱/۷۵ مایل برای دولت انگلستان ارتباط بر قرار کرد[۱۸و۱۹]

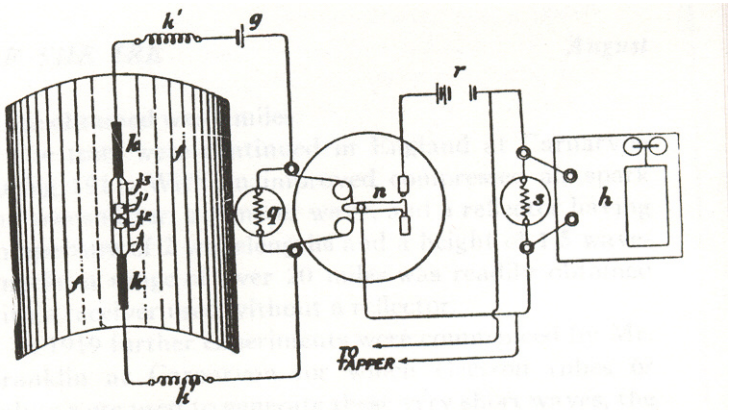


Fig. 2—Early short-wave directional receiver.

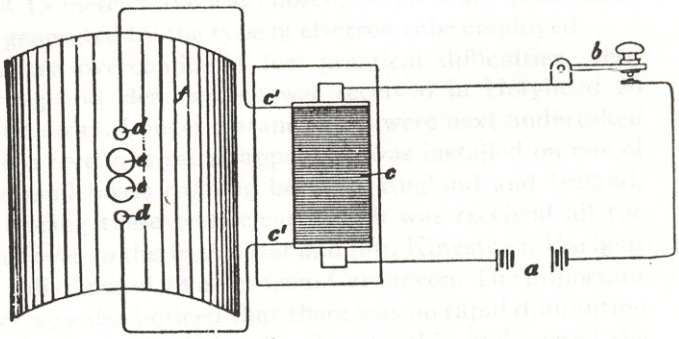


Fig. 3—Early short-wave directional transmitter.

درسال ۱۸۹۷ ، مارکونی توانست فاصله را به ۹ مایل برساند وقسمت اصلی را صفحات آویخته شده میدانست که در آن زمام خاصیت آنها نامعلوم بود وپروفسور آسکولی**(Ascoli)** روش فرستنده وگیرنده واستفاده از آنتن ها را تایید کرد. او میگوید :" بسیاری از نویسندگان فنی ذکرکرده اند که قراردادن صفحات در بالای سیمها اثری ندارد ولازم نیست . البته چنانچه طول سیمها خیلی زیاد باشد این صحیح است ولی برای ارتفاع کم سیم مفید بوده واقتصادی هم هست ". بعد ها بجای این صفحات سیمهائی در بالای آنتن قرار گرفت وضمنا صفحه زمین مصنوعی نیز بکار گرفته شد[۱۸].

درهمین سال **اسلابی (Slaby)** با روشی مشابه با مارکونی واستفاده از **بالون** با سیمی آویزان شده بطول ۳۰۰ متر فاصله ارتباط را به ۲۱ کیلومتر رساند[۲۰].

شرکت تلگراف وسیگنال بیسیم

درهمان سال ۱۸۹۷ مارکونی بکمک دائی خود شرکت تلگراف وسیگنال بیسیم را با سرمایه یکصد هزار پوند به ثبت رساند[۸و۱۰].

درهمان سال **پاکلینگتون** طی مقاله ای با عنوان نوسانات الکتریکی دوسیم ، انتگرال مورد استفاده در حل مساله آنتن ها را ارائه کرد[۲۱].

درسال ۱۸۹۸ مارکونی تغییرات در مدار کوهیرر داد و با استفاده از مدارهای رزنانسی آنرا برای سیگنال خاص تنظیم کرد. به این ترتیب گیرنده و فرستنده با یکدیگر کار میکردند واز تداخل جلوگیری میشد[۱۸].

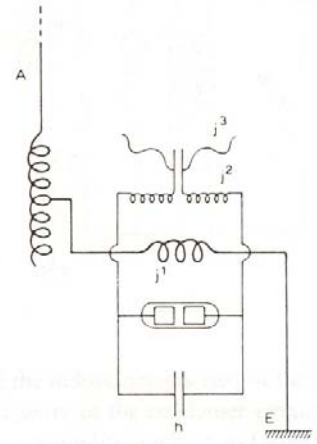


Fig. 6.

دراین سال مارکونی بکمک کاپیتان جکسون به فواصلی تاحدود ۱۰۰ کیلومتر رسیدند.

درسال ۱۸۹۹ به منظور جلو گیری از خفه شدن سریع نوسانات در فرستنده های جرقه ای ، مارکنی با افزودن ظرفیت سیمهای آنتن بکمک قراردادن سیمهای زمین شده نزدیک وبا فاصله از آنها وضع را اصلاح کرد[۱۸].

درهمان سال طی مقاله ای او امکان استفاده از رفلکتورها را برای جلوگیری از تداخل مورد بررسی قرارداد. همین طور کاربرد سیستم را در فانوسهای دریائی در حمل ونقل توضیح داد. اولین کشتی مجهز به تلگراف بیسیم توسط مارکونی ، کشتی ***سنت پال*** آمریکائی بود .درهمین زمان او مشغول ساخت وسائل بیسیم با شرکتهای آ . ا . گ ، وتلفونکن شد.

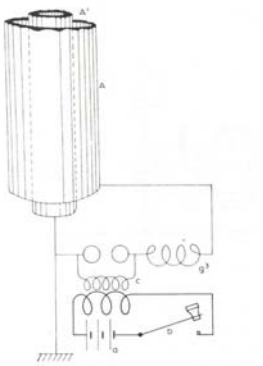


Fig. 7.

درهمین اوقات ، ***براون*** بفکر تهیه فرستنده های قوی ترشد. اززمان هرتز میدانستند که اضافه کردن طول جرقه اثرات نامطوبی داشته وجرقه تاثیر خود را از دست خواهد داد.

ازسال ۱۸۹۱ میزان خفه شدن جرقه توسط ***برکنس*** (*Bjerknes*)اندازه گیری شده بود ونشان میداد که خیلی زیاد است. عکسبرداری فدرسن در سال ۱۸۶۲ نیز مستقیما این موضوع را تایید میکرد . براون نتیجه گرفت که اگر بتوان نوسانانت بدون جرقه ساخت ، یعنی آنتن بدون جرقه از یک لیدن جار بزرگ در یک مدار بسته تحریک شده وتبدیل به نوسانات پتانسیل شود ، درمدارات مارکونی میتوان فرستنده موثرتری داشت. با توجه به این فکر ۳ مدار مستقیم ، اندوکتیو ومدار مرکب از هردو تهیه شد.

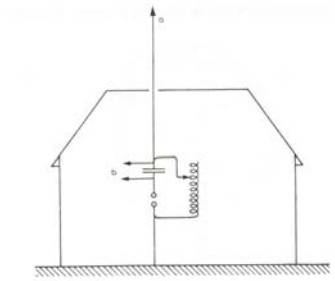


Fig. 1.

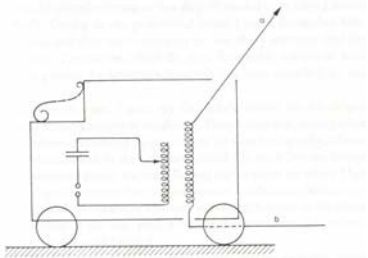


Fig. 2.

درشکل سمت چپ مدار مستقیم وفرستنده زمین شده وشکل سمت راست مدار اندوکتیو با سیم زمین تبدیل به سیم غیر مستقیم متقارن شده است. فرستنده نصف طول موج ونقطه تحریک در گره.

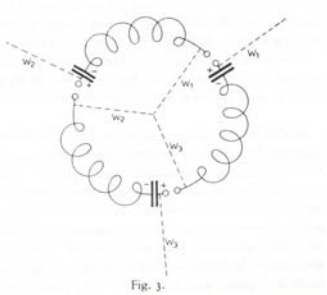


Fig. 3.

جریان آنتن ویا میتواند در وسط باشد. ولتاژ بالا را میتوان باانتخاب مناسب لیدن جار بدست آورد

نظر براون این بود که از چندین فرستنده با فرکانس یکسان استفاده شود ومساله ، همزمانی جرقه زدن نوسان ساز ها بود[۲۰].

درسال ۱۹۰۰ ***لاج*** مدارات تیونینگ را اختراع کرد که سیستم سینتوتیک(syntonic) معروف شد.

درهمین سال ماکونی یک سیستم کامل فرستنده وگیرنده با آنتن صفحه دار واتصال زمین ومدارات رزنانسی سلف وخازن در هر دو سیستم فرستنده وگیرنده ساخت . در این طرح نکته مهم رزنانس هردو مدار برای یک فرکانس بود . کوپلینگ فرستنده با تغییرات فاصله اسیلاتور ومدار آنتن انجام میشد.

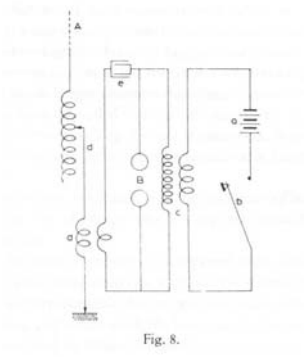


Fig. 8.

درهمان زمان ***براون*** نیز روی مدارات رزنانسی بطور مستقل کار میکرد. یکی دیگر از کارها ، اتصال چندین فرستنده ویا چندین گیرنده با مدار رزنانسی مربوط به یک آنتن بود . در آن زمان هنوز کلمه آنتن بکار برده نمیشد ومارکونی در سخنرانی خود در جلسه اعطای جایزه نوبل از آنها بعنوان هادی فرستنده ویا هادی گیرنده نام میبرد[۱۷].

درهمان سال ۱۹۰۰ مارکونی نام کمپانی خود را به ***شرکت تلگراف وبیسیم مارکونی*** تغییر داد[۸]. دراین زمان کشتیهای زیادی دارای بیسیم بودند .در ۲۳ ژانویه سال ۱۹۰۰ یک کشتی ماهیگیری توسط یک کشتی یخ شکن بااستفاده از ارتباط بیسم نجات داده شد. مارکونی پیشتاز در ارتباطات کشتی ها بود[۱۷].

درهمین زمان براون به بررسی جدی تر مدار های نوسانی پرداخت. او کوپلینگ بین مدارات رزنانسی

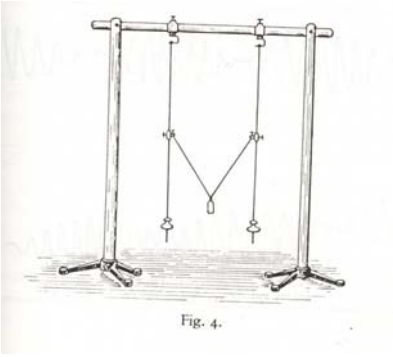


Fig. 4.

با مشابهت با مدارات مکانیکی بررسی کرد. درنوسانات دو پاندول ، نوسان از یکی به دیگری کاملا منتقل شده وعمل تکرار میشود. اگر یکی از پاندولها سنگینتر باشد ، دامنه نوسانات پاندول سبکتر خیلی زیاد میشود.

مدار لیدن جار پاندول سنگین و فرستنده میتواند پاندول سبکتر باشد که همه انرژی لیدن جار به آن رسیده است. تقویت ولتاژ میتواند بر اساس نسبت ظرفیتها تعریف شود[۲۰]

درسال ۱۹۰۱ مارکونی آزمایشات موفقیت آمیزی بین دو نقطه در ساحل جنوبی انگلستان با فاصله ۱۸۶ مایل انجام داد. ارتفاع این دستگاه ۲۰۰ متر بالای دریا بود در حالیکه برای پوشاندن کرویت زمین به ارتفاع ۱۶۰۰ متری نیاز بود.

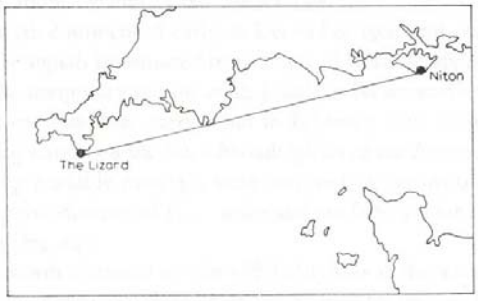


Fig. 12.

به این ترتیب نتیجه گرفتند که روش استفاده شده توسط مارکونی ***انحنای زمین*** را طی کرده وحتی در فواصل زیاد مثل اروپا تا آمریکا هم انحنای زمین مساله ساز نیست.

بااین باور مارکونی تصمیم گرفت ارتباط ماورای اتلانتیک برقرارکند. به این منظور یک فرستنده قوی در پولدهو در کورن وال انگلیس ویک گیرنده بزرگ در کیپ کاد ماساچوست نصب کرد.

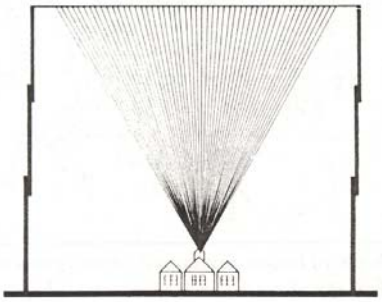


Fig. 13.

تجربیات قبلی نشان میداد که قدرت بالا کافی نیست بلکه باید سطح یاارتفاع سیمهای فرستنده وگیرنده را هم زیاد کرد. بجای استفاده از سیمها ی باارتفاع زیاد ، او تعداد وظرفیت آنها را افزایش داد. ارتفاع ۴۸ متر وفاصله ۶۰ متر بود وسیمها در پائین بهم متصل شده وبه فرستنده وصل میشدند[۱۷].
آنتن گیرنده بعلت طوفات بزمین افتاد ومنهدم شد. درعوض او در نیوفاوندلند از یک آنتن با کایت استفاده کرد وگیرنده، یک دتکتور کربن روی فولاد، وگیرنده تلفن بود. در ۱۲ دسامبر ۱۹۰۱ اولین ارتباط برفراز اتلانتیک با فاصله ۳۰۰۰ کیلومتر برقرار شد واولین حرف مخابره شده S بود. به این ترتیب او در ۲۷ سالگی معروف شد[۸].بعلت شعاع انحنای زمین ، بسیاری از دانشمندان ابتدا باور نمیکردند ، ولی شرکت کابل اقیانوس اطلس که انحصار مخابرات را بعهده داشت بسرعت با او تماس گرفت تا بطریقی از کار او جلوگیری کند. ولی مارکونی مقاومت کرد وبمدت ۲۷ سال دعوای حقوقی داشتند[۱۷]. مارکونی مساله انحنای زمین را با توجه به اینکه آنتن ها به زمین اتصال داشتند منتفی میدانست وتوجیه میکرد[۱۷]. یکماه پس از این ارتباط ، ***انجمن مهندسین برق آمریکا*** ***AIEE*** در هتل والدورف آستریا در نیویورک به افتخار او جشنی بر پا کردند که حدود ۳۰۰ نفر واز جمله اشتاین متز ، گراهام بل، پوپین، تامپسون واسپراگ نیز در آن شرکت داشتند. بسیاری از دانشمندان برجسته بخاطر اینکه نظریات آنها مورد تهدید قرار گرفته بود جشن را تحریم کردند[۹].

پس از برقراری ارتباط ماورای اتلانتیک درسال ۱۹۰۱ ، ***هوی ساید*** وجود یک ناحیه یونیزه منعکس کننده امواج را در اطراف زمین پیشگوئی کرد. چون این هم زمان با ***کنلی*** ، ازدانشگاه هاروارد انجام شد این لایه بنام ***هوی ساید- کنلی*** (امروزه همان ***ایونسفر***) نامیده شد.

هوی ساید اولین کسی بود که معادلات ولتاژ وجریان خط را بصورت

$$1/C\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = L\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + R\frac{\partial v}{\partial t}$$

بیان کرد که بنام ***معادله تلگرافچی*** ها معروف شد.

درهمین سال مطالعه تشعشع جسم سیاه توسط ***ماکس پلانک*** نشان داد که انرژی تشعشع شده بصورت پیوسته نبوده وبصورت ناپیوسته یا ***کوانتا ی انرژی*** است که فوتون نامیده میشود. انرژی هر فوتون از رابطه $W = hf$ که h ثابت پلانک است تعیین میشود.

درسال ۱۹۰۲ مارکونی آزمایشات بیشتری با کشتی فیلادلفیا انجام داد وتا فاصله ۲۰۹۹ مایلی ارتباط بسیار خوب بود. واین آزمایش او را به ارتباط درراه دور مصمم ترکرد.
نکته جالب وعلمی قابل بررسی دریافت بهتر درشب نسبت به روز بود. درآن زمان تصور میشد علت آن (dis electrification) شدن سیمهای فرستنده در اثر تابش خورشید باشد. درهمان سال او آزمایشاتی با کشتی ایتالیائی *کارلو آلبرتو* که از طرف پادشاه ایتالیا در اختیار او گذارده شده بود ، انجام داد ومشاهده کرد که برای امواج کوتاه ۱۰۰۰ فوتی وجود کوههای آلپ وپیرنه باعث کاهش دریافت سیگنال درشب نمیشود. درحالیکه برای امواج بلند با وجود قدرت بالاتر دریافت خوب نیست.

برای تکمیل آزمایشات وبا تشویق دولت کانادا ، مارکونی یک ایستگاه پرقدرت در خلیج گلیس ساخت تا ارتباط بین آمریکا وانگلستان را بررسی کند. درهمین سال او کوهیرر جدید خود را ثبت داد[۱۸].

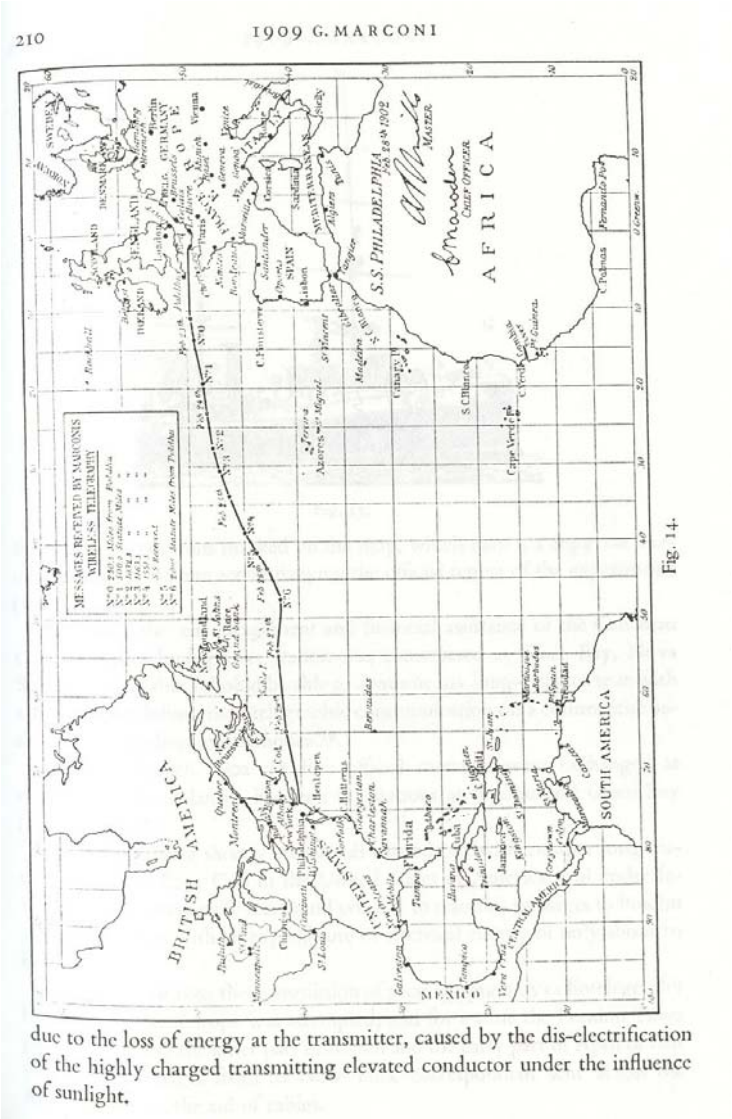


Fig. 14.

due to the loss of energy at the transmitter, caused by the dis-electrification of the highly charged transmitting elevated conductor under the influence of sunlight.

اواین وسیله جدید خود را گیرنده مغناطیسی نام گذاشت . اساس آن بر پایه کاهش هیسترزیس در آهن وقتی تحت اثر امواج فرکانس بالا قرار میگیرد ، بود.

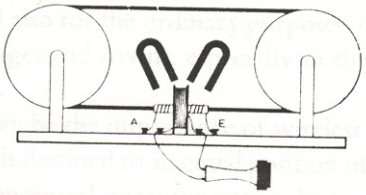


Fig. 25.

در۱۶ دسامبر ۱۹۰۲ اولین پیامها درشب بین دو ایستگاه پولدهو وگلیس مبادله شد.

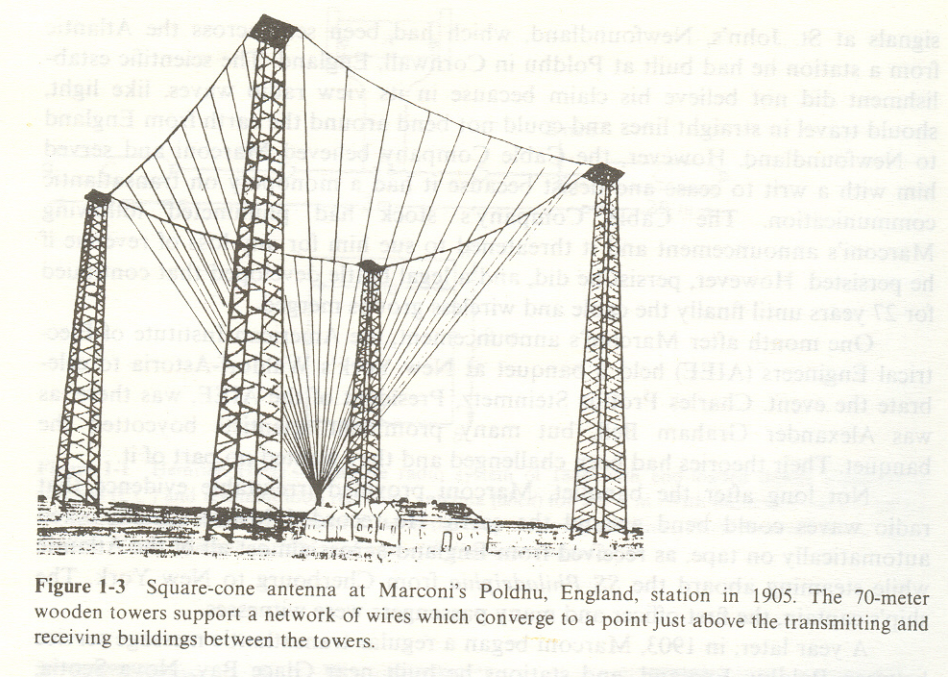


Figure 1-3 Square-cone antenna at Marconi's Poldhu, England, station in 1905. The 70-meter wooden towers support a network of wires which converge to a point just above the transmitting and receiving buildings between the towers.

آنتن ایستگاه پولدهو بادبزنی با دکلهای ۶۰ متری چوبی وبرای گیرنده یک سیم ۲۰۰ متری برافراشته شده با کایت بود . آنتن بعدی شکل مخروطی داشت که با ۴ پایه چوبی ۷۰ متری نگهداری میشدند. قدرت حدود ۵۰ کیلووات بود که شبها با کرونا روشن میشد وصدای مخصوص میکرد بطوریکه معتقد بودند که این در آب وهوا تاثیر خواهد گذاشت [۱۷].

درهمین زمان براون بهمراه ***فرانک(Franke)*** از شرکت زیمنس روی کوپلینگ فرستنده وگیرنده به آنتن کار کردند ونوسانات را بطور ***اندوکتیو*** به آنتن تزویج کرده ونتایج خیلی بهتری گرفتند واز این ببعد مدارات رزنانس ووابسته روی دستگاهها تعبیه شد[۲۰].

درسال ۱۹۰۳ ، ***لرد رالی(Rayleigh)*** دررابطه با ارتباط ماورای اتلانتیک اظهار داشت که موفقیت مارکونی در این ارتباط ، خمش بیش از حد انتظاری را برای موج دور زمین بدست میدهد که قابل بررسی تئوری است. فلمینگ در کتاب اصول تلگراف با موج الکتریکی خود انتشار روی سطح زمین را با منحنی هائیکه بیان کننده شکل میدانها است توجیه کرده وحرکت آنها را همراه با حرکت الکترونها درزمین ، در اثر موج بالای آنها میداند[۱۸].

همچنین درسال ۱۹۰۳ اولین اقدام برای ***کنترل فرکانس*** در ارتباطات به منظور جلوگیری از کارهای اپراتورها در تداخل سیگنالها انجام شد. در آن زمان مارکونی که انحصار ارتباطات دریائی را از آن خود میدانست دستور داده بود که اپراتورهای کشتی های تجهیز شده بادستگاههای او فقط به ایستگاه مشابه جواب دهند واین مخالفت شدیدی را بر انگیخته بود[۱۶

درهمین زمان ***براون*** دریافته بود که آنتن باانحراف ۱۰ درجه نسبت به زمین تشعشع جهت دار میدهد . او از یک ***گروه آنتن*** مطابق شکل زیر استفاده کرد

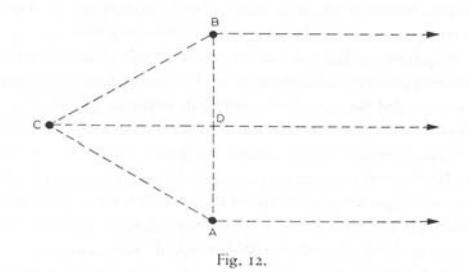


Fig. 12.

.

آنتن های A و B همفاز بوده ولی نسبت به C دارای ۱/۴ سیکل فازتاخیری بودند.فاصله CD هم برابر ربع طول موج بود. بااین آرایش ، تشعشع درجهت CD بیشترمیشد.مساله این بود که این اختلاف فاز را در فرکانس بالا چگونه بوجود بیاورند[۲۰].

درهمان سال ***ریگی*** همراه با ***دسائو*** اولین مقاله در مورد تلگراف بیسیم را نوشت.

درسال ۱۹۰۴ لورنتس مقاله ای منتشر کرد که به ***تبدیل لورنتس*** معروف شد ودر آن از تغییر الکترون وبعد هم همه جرمها در اثر سرعت صحبت شده بود. انحراف اشعه در لامپهای کاتودیک توسط میدانهای الکتریکی ومغناطیسی تئوری الکترونی او را تایید میکرد.

درهمین سال او مقاله ای تحت عنوان پدیده الکترومغناطیسی در سیستمی متحرک با سرعتی کمتر از سرعت نور منتشر کرد که محتوای آن همان تئوری نسبیت خاص اینشتین در سال ۱۹۰۵بود .درآن نشان داد که هیچ آزمایشی ، هرقدر هم دقیق ، نمیتواند انتقال دستگاه را ازمیان اتر آشکار کند. بااین مقاله لورنتس تقریبا مساله حرکت زمین در اتر ثابت را حل کرد. دراین مقاله چند مطلب صراحت داشت. اول اینکه جرم همه ذرات بارشده ویا نشده ، باحرکتشان در اتر، با قانون واحدی تغییر میکند. دوم آنکه وزن الکترون مطلقا بعلت خود القائی آنست ودارای وزن مکانیکی ثابت نیست.سوم اینکه ابعاد الکترون وهم چنین اجسام ماکروسکپیک درجهت حرکت منقبض میشود.چهارم اینکه نیروهای مولکولی متصل کننده الکترون وذرات مادی درحرکت مانند نیروی الکتریکی تاثیر میپذیرند. وسرانجام اینکه سرعت نور حد بالائی سرعت هرجسم نسبت به اتر است، انرژی واینرسی اجسام در آن سرعت بینهایت میشود. او و دیگران معتقد بودند که باید مکانیک با الکترودینامیک جایگزین شود وقوانین ومفاهیم مکانیکی احتمالا حالت خاصی از تئوری الکترون هستند.

آنها جهانی فیزیکی تشکیل شده از اتر وذرات باردار ویااحتمالا فقط اتر را پیش رو میدیدند. جرم الکترون را دارای طبیعت الکترومغناطیسی ومولکول ونیروی جاذبه را قابل توجیه با الکترومغناطیس میدانستند.

لورنتس درآخر عمر معتقد بود که وجود اتر یک واقعیت است و فضا وزمان مطلق مفاهیم بدون معنی هستند. درسال ۱۹۱۰ ***تئوری نسبیت اینشتین*** بطور گسترده ای مورد قبول واقع شد وتفکر الکترومغناطیسی بودن کل فیزیک را با زیر سئوال قراردادن نیاز به اتر تضعیف کرد.

درهمان سال ۱۹۰۴ ***فلمینگ*** دیود ترمو یونیک را بعنوان دتکتور فرکانس بالا به ثبت رساند[۱۰]. این اولین لامپ دیود بود که میتوانست جایگزین دتکتورهای نامناسب آن روزی شود. هم چنین **هالسمیر** ***اولین رادار*** را برای ***تشخیص کشتی*** ها بکاربرد[۲۲].

درسال ۱۹۰۵ ، ***مارکونی*** آنتن جهت دار افقی خودرا به ثبت رساند ودرهمان زمان ***براون*** بکمک دستیارش ، در زمین رژه استراز بورگ گروه آنتن خود را عملا پیاده کرده وبه نتایج منطبق با تئوری مناسبی دست یافت. با تغییرات توزیع جریان در ۳ فرستنده شکلهای مختلقی بدست آمد وبا تعویض محل ویا اتصال فرستنده ها جهت تشعشع بین ۶۰ و۱۲۰ درجه عوض میشد[۲۰].

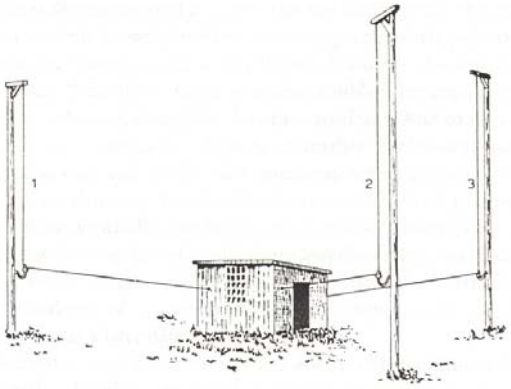


Fig. 13.

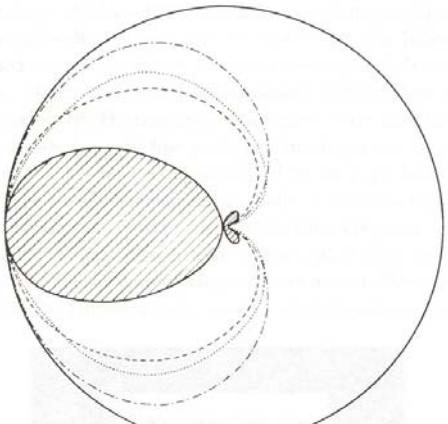


Fig. 14.

درسال ۱۹۰۶ مارکونی طی مقاله ای چگونگی ساخت آنتن جهت دار را در انجمن سلطنتی مطرح کرد[۱۸].

درهمان سال ، ***دوفارست (De Forest)*** بطور مستقل از فلمینگ با افزودن یک شبکه بین فیلامان وصفحه ، ***لامپ الکترونی تریود*** را ساخت و به این ترتیب ساخت لامپهای الکترونی با سرعت افزایش یافت بطوریکه در اواسط قرن بیستم حدود ۲۰۰ میلیون لامپ ساخته شده بود.

درهمان سال ***دان وودی(Dunwoody)*** دتکتور کریستالی را ارائه کرد.

اولین فرستنده رادیوئی

اولـین فرسـتنده رادیـوئی بـرای سـخن پراکنـی (Radio broadcasting) توسـط فـسندن (Fessenden) درسال ۱۹۰۶ با ارسال موزیک و با فرکانس ۵۰ کیلو هرتز شروع بکار کـرد. میکروفـون ایـن فرستنده با آب خنک شده ومدولاسیون توسط خود میکروفون که سرراه آنتن قرار گرفته بود انجام میشد.

درسال ۱۹۰۷ مارکونی ایستگاههای *گلیفدن* را تاسیس و*گلیس* را گسترش داد. بطوریکه ارتباط تجاری بین ***انگلستان وکانادا*** برقرار شد. همین طور آنتن های مورد استفاده تغییراتی کرده وبهره بیشتری داشت.

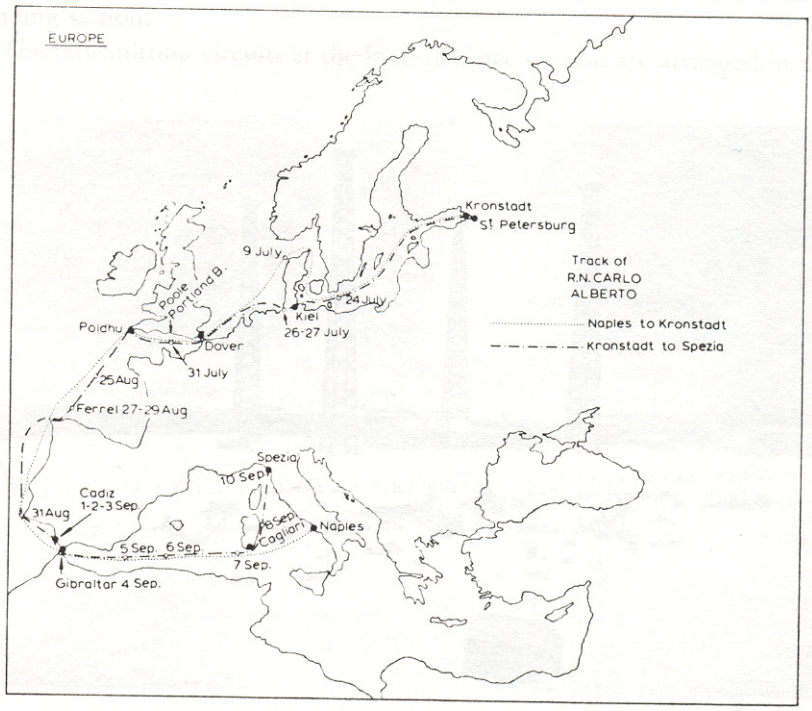


Fig. 16.

درشکل زیر سیمهای قسمت میانی با ارتفاع ۲۲۰ پا از ۴ تیر آویزان شده ودر بالا تعداد ۲۰۰ سیم بطول ۱۰۰۰ فوت افقی بشکل شعاعی ادامه پیدا کرده وبا ۱۶ پایه نگهداری میشوند. فرکانس طبیعی نوسانات این آنتن طول موجی برابر با ۱۲۰۰۰ فوت را میدهد.

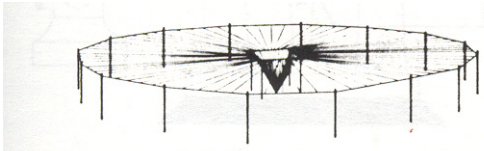


Fig. 21.

مارکونی آنتن نهائی مورد استفاده خود را که دارای عرض باند وسیع بود مطابق شکل زیر ساخت که دارای جهت تشعشعی نیز بود.

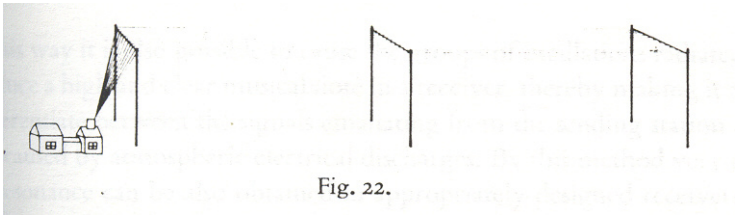


Fig. 22.

درسال ۱۹۰۷ ، ***وایز (P.F. Weiss)*** ترتیبی جدید برای اجسام مغناطیسی که اززمان فاراده تعریف شده بود مشخص کرد. او بیان کرد که مغناطیس خود بخود در اجسام با مغناطیس بالا در غیاب یک میدان خارجی وجوددارد واین را ***فرو مغناطیس*** نامید. وایز از امکان حالت دمغناطیس شدن عمده یک ماده فرومغناطیس با فرض وجود نواحی که هریک از آنها همیشه برای اشباع مغناطیس شده است ، خبر داد. اوفرض کرد که جهات مغناطیس شدن درنواحی مختلف در غیاب یک میدان خارجی اتفاقی هستند ، بطوریکه اثر مغناطیسی مجموع صفر است .برای توجیه اشباع مغناطیسی هم جهت در هر حوزه ، نظر او این بود که یک میدان محلی مولکولی قوی باعث هم جهت کردن حلقه های جریان آمپر میشود. درنتیجه او قادر بود نشان دهد که یک ماده فرومغناطیس ، وقتی به درجه حرارت معین بحرانیTc برسد (نقطه کوری) از حالت فرومغناطیس باز می ایستد.

درسال ۱۹۰۸ مارکونی مداری برای فرستنده های با نوسانات دائم با میرائی خیلی کم ارائه داد.

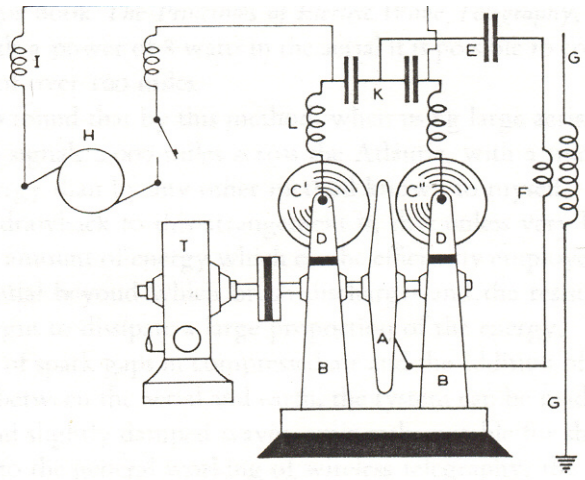


Fig. 23.

یک دیسک فلز A عایق شده ، بکمک موتور الکتریکی ویا توربین بخار با سرعت زیاد دوران میکند. دو دیسک C' و C'' در نزدیکی این دیسک نیز میچرخند وضمنا بیک ژنراتور با ولتاژ زیاد H متصل

هستند. یک کفشک ، دیسک A را با مدار مربوطه به نقطه K متصل میکند. خازنE وسلف F مدار رزنانسی را تشکیل داده وکوپلینگ از طریق F به آنتن اعمال میشود. روش کار به این ترتیب است که ژنراتور دوخازن را شارژکرده وپتانسیل 'Cرا بطورمثبت و "C را بطور منفی بالا میبرد. اگر ولتاژ بالا باشد بین یکی از شکافها مثلاA و 'C جرقه میزند واین باعث بکار افتادن اسیلاتور متشکل از E و F میشود. شارژ F در برگشت باعث جرقه بین A و"C که دارای پتانسیل مخالف است شده واز این طریق تخلیه میشود. وعمل بهمین ترتیب تکرار و نوسانات برقرار میشود[۱۸].

طرح بعدی مارکونی درشکل زیر آمده است که در آن سطح دیسک A صاف نبوده بلکه با تعدادی از

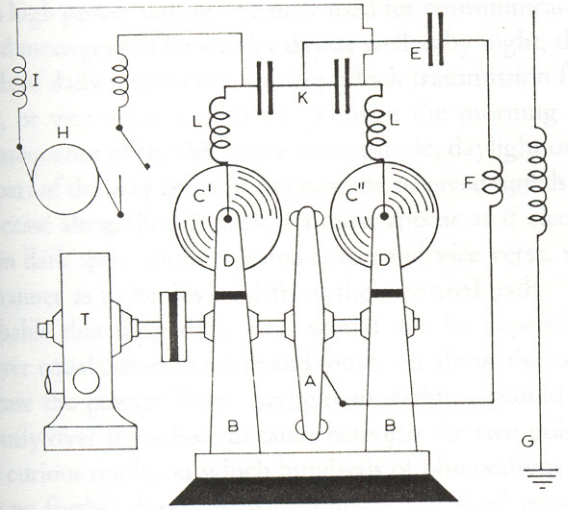


Fig. 24.

تکمه های مسی برآمدگی پیدا کرده تاجرقه ها با فاصله زمانی معینی روی تکمه ها انجام شود. مارکنی اعلام میکند که این روش دارای کاهشی کمتراز ۲٪ بوده وضمنا میتوان کاری کرد که یک نت موسیقی بخصوصی ایجاد شود تا گیرنده ها آنرا از نویز آتمسفریک تشخیص دهند[۱۸].

کنتور گایگروتلویزیون

درهمان سال ۱۹۰۸ کنتور گایگر توسط *راترفورد* و *گایگر* وهمین طور تلویزیون توسط *کمپبل* انگلیسی ساخته شد

جایزه نوبل برای مارکونی وبراون.

درسال ۱۹۰۹ مارکونی بهمراه براون جایزه نوبل درفیزیک را دریافت کردند ودرآن جلسه تاریخچه-فعا لیتهای خود ونتایج وپیشرفت های حاصله را بیان کردند[۲۰و۱۸]. درضمن نکات دیگری را نیز تذکر دادند. درمورد دریافت ضعیف سیگنال درروز ، مارکونی معتقد بود این بعلت الکترونهائی است که توسط خورشید در

فضا منتشر میشوند و بنابراین قسمت روشن آتمسفردارای شفافیت کمتری برای امواج است . اوهمچنین نظر تامسون را این طور بیان میکند که وجود الکترونها درفضا باعث جذب انرژی موج برای حرکت آنهاشده وافت ایجاد میشود.فلمینگ همکار او نیز معتقد بوده است که محیطی دارای الکترون ویا یون درمقابل امواج کمی کدر است. سپس مارکونی به دخالت طول موج ودامنه در این مساله اشاره کرده واثر روی امواج بلند با دامنه کم را کمتر ازامواج کوتاه با دامنه زیاد میداند. فلمینگ همچنین معتقد به اثر بیشتر نور درروز روی امواج بلند است درصورتیکه مارکنی تجربه خود راخلاف این دانسته ودر طول موج ۸۰۰۰ متر سیگنال رسیده درروز را بیشتر از شب دریافت کرده است . بهر حال او هوای آفتابی و صاف را برای امواج کوتاه که برای کشتیها بیشتر مصرف میشود ،کدر میداند وهوای انگلستان را بسیار مناسب برای ارتباط قلمداد میکند.

مارکونی همچنین نظر فلمینگ را که فقط با ۸ وات میتوان تا ۱۰۰۰ کیلومتر ارسال کرد تایید میکند. او میگوید که دیده شده فرستنده کشتی که برای فاصله ۲۰۰ مایلی طرح شده توانسته تا ۱۲۰۰ مایل بفرستد وگاهی اوقات سیگنال در فاصله دور بهتر از نزدیک بوده است.

مارکونی درپایان سخنرانی جایزه نوبل خود ، از امکان گردش امواج دورزمین صحبت کرده وپیش بینی میکند که در این صورت درنقاط *متقاطر* امواج باهم جمع شده وبنابراین با سیگنال خیلی ضعیفی میتوان ارسال ودریافت کرد.

ازحوادث قابل ذکر دررابطه با استفاده از تلگراف بیسیم میتوان تصادف دو کشتی۱۵۰۰۰ تنی جمهوری وکشتی بخار ایتالیائی فلورید با ۸۰۰ سرنشین درسال ۱۹۰۹ در ۲۸۰ کیلومتری ساحل شرقی آمریکا نام برد. کشتی ها با ارسال کد CQD(Come Quick Danger) کمک خواستند و۳۰ دقیقه بعد کشتی بالتیک به کمک آنها اقدام وهمه ۱۷۰۰ سرنشین دو کشتی را نجات داد.

درهمین سال سامرفلد *(A. Sommerfeld)* انتشار امواج دربالای زمین باافت را بررسی کرد.

همچنین فریت ها در فرکانس بالا توسط هیلبرت واسنوک*(Snoeck)* هلندی در شرکت فیلیپس مورد بررسی وتوجه قرار گرفت.

ابر هادیها

درسال ۱۹۱۱ تئوری ابرهادیها (Super conductors)در لیدن (Leiden) بیان شد. همچنین آستین *(L.W. Austin)* رابطه تجربی $I\alpha \frac{Z_1 Z_2}{2\lambda} e^{-\alpha r/\sqrt{\lambda}}$ را که در آن Z_1 و Z_2 ارتفاع آنتن ها اززمین و r فاصله آنها و λ طول موج و $\alpha = 1.53\times10^{-3}$ برای انتشار امواج بالای آب است را ارائه کرد[۲۳].

کشتی تایتانیک

در۱۴ آوریل سال ۱۹۱۲ کشتی معروف تایتانیک(Titanic) که مجهز به دستگاههای بیسیم کامل مارکونی بود ،ساعت ۱۱/۲۰ شب خبر برخورد خود با کوه یخ را مخابره کرد وتاساعت ۱۲/۲۰ صدا بسیار ضعیف شد بطوریکه در ۱۲/۲۵ شب ارتباط بکلی قطع شد. درآخر روز بعد کشتی کارپاتیا (Carpatia)توانست فقط ۷۱۰ نفر را نجات دهد.

درهمان سال مرکز تلفن اتوماتیک رله ای توسط بتولاندر*(Betolander)* بکار افتاد . همچنین اکلس *(W.H. Eccles)* بطور قطعی بیان کرد که نورخورشید لایه یونیزه در آتمسفر ایجاد میکند.

ضمنا ***انجمن مهندسین رادیو (IRE)*** تاسیس ودر اولین مقاله درمورد امپدانس آنتن صحبت شد وتئوری جدید مگنتو استاتیک توسط ***پیج(L. Page)*** بیان شد.

درهمین سال او روشی برای بدست آوردن روابط الکترودینامیک از الکترواستاتیک بیان کرد[۲۴].

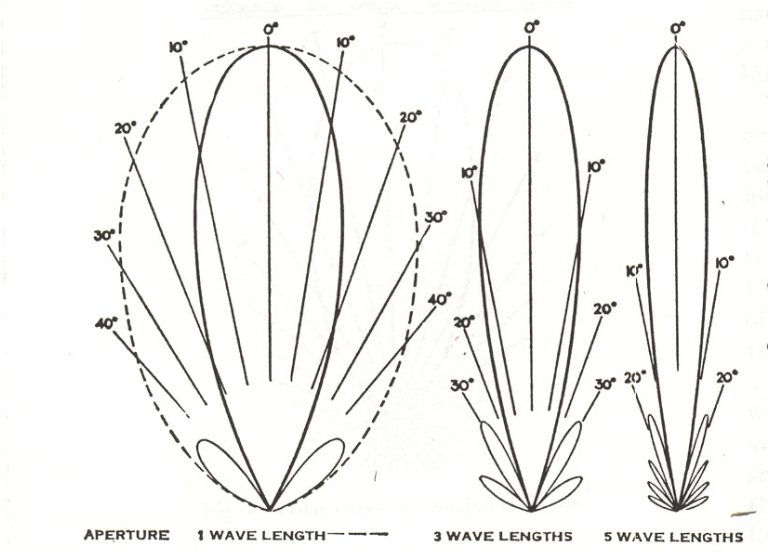
ازسال ۱۹۰۹ تا ۱۹۱۴ مارکونی بیشتر دقت خود را صرف شرکتها یش که جای مهمی را در ناوبری انگلستان وآمریکا بدست آورده بود ، کرد. او در این دوران از همکاری اشخاص بسیارمعتبری چون فلمینگ ، راوند (کسی که از تریود بعنوان اسیلاتور وتقویت کننده استفاده کرد)، ویویان (کسی که بسیاری از ایستگاهها را نصب کرده بود) و فرانکلین طراح آنتن های جهت دار ، برخورداربود[۸].

درسال ۱۹۱۴ ***استفاده از لامپها بجای جرقه*** بعنوان اسیلاتور معمول شد .

درسال ۱۹۱۵ پس از غرق کشتی تایتانیک ، ***لانگوین*** دستگاه ***سونار*** را اختراع کرد.

رادیوی SSB نیز درهمین سال توسط ***کارسون (J.R. Carson)*** بررسی شد.

درسال ۱۹۱۶ مارکونی باهمکاری ***فرانکلین(C.S. Franklin)*** درایتالیا شروع به کارروی امواج خیلی کوتاه و با استفاده از رفلکتور، بیشتر برای مقاصد جنگی کرد که نتایج آن تاسال ۱۹۲۲ منتشر نشد. او باطول موجهای ۲تا ۳ متر کارکرده واختلالات اساسی روی سیگنال را جرقه موتور اتومبیلها ویا قایقها میدانست. او درآن سال از فرستنده جرقه ای هوای فشرده ورفلکتورهای پارابولوئیدی سیمی استفاده کرده ونتایج بسیار خوبی گرفته بود. پرتو آنتن ها که توسط فرانکلین محاسبه وبعد اندازه گیری شده بود بسیار مناسب و قابل قبول اعلام شد[۱۹].



درسال ۱۹۱۷ ***مارکونی*** آزمایشات با رفلکتور را درانگلستان ادامه داد وبا رفلکتور ۲در ۱/۵ متری وطول موج ۳ متر تافاصله ۲۰ مایلی ارتباط برقرار کرد[۱۹].

درسال ۱۹۱۸ انتشار امواج زمینی توسط ***واتسون (G.N. Watson)***مورد بررسی قرارگرفت واسیلاتورهای مایکروویو توسط ***کروتز(Krutz)*** ساخته شد.

درسال ۱۹۱۹ ***مارکونی*** بااستفاده از لامپ الکترونی وامواج کوتا ه ۱۵ متر، توانست با یک گیرنده که درقایق نصب شده بود تا فاصله ۷۸ مایلی ارتباط بسیار خوب رادیو تلفنی برقرارکند.

سپس او آزمایشات را بین ***هندن*** و ***بیرمنگهام*** تافاصله ۹۷ مایلی بالامپی باقدرت ۷۰۰ وات وبهره ۵۰ درصد با رفلکتور وآنتن های با مقاومت تشعشعی بالا ادامه و به نتایج بسیار خوبی رسید. بنظر او استفاده از رفلکتور سیگنال را ۲۰۰ بار قوی ترکرده بطوریکه بااتصال مقاومت ۲ یا ۳ اهمی بدو سرگوشی ۶۰ اهمی بازهم صدا قابل تشخیص است. او نامتقارنی پرتو بدست آمده آنتن را وجود درختها وسیمهای اطراف میداند[۱۹].

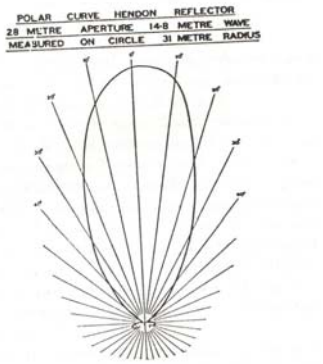


Fig. 7—Polar curve of Hendon reflector.

درسال ۱۹۲۰ ***مارکونی*** کارهای آزمایشی با رفلکتور گردان را روی کشتی بخاری ***فاروس*** (*Pharos*) با طول موج ۴ مترتافاصله ۷ مایلی باسرعت یکبار در۲ دقیقه آغاز کرد. درگیرنده فقط از یک لامپ استفاده میشد[۱۹].

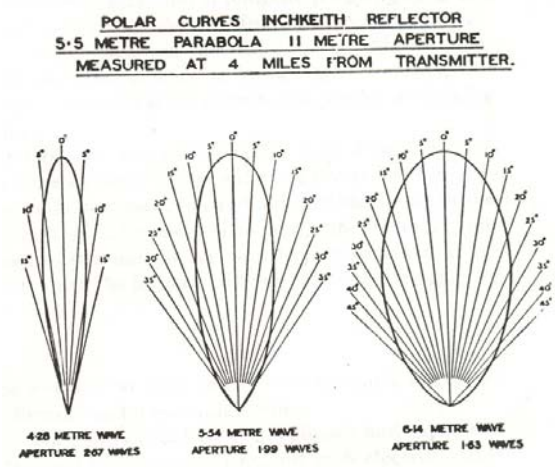
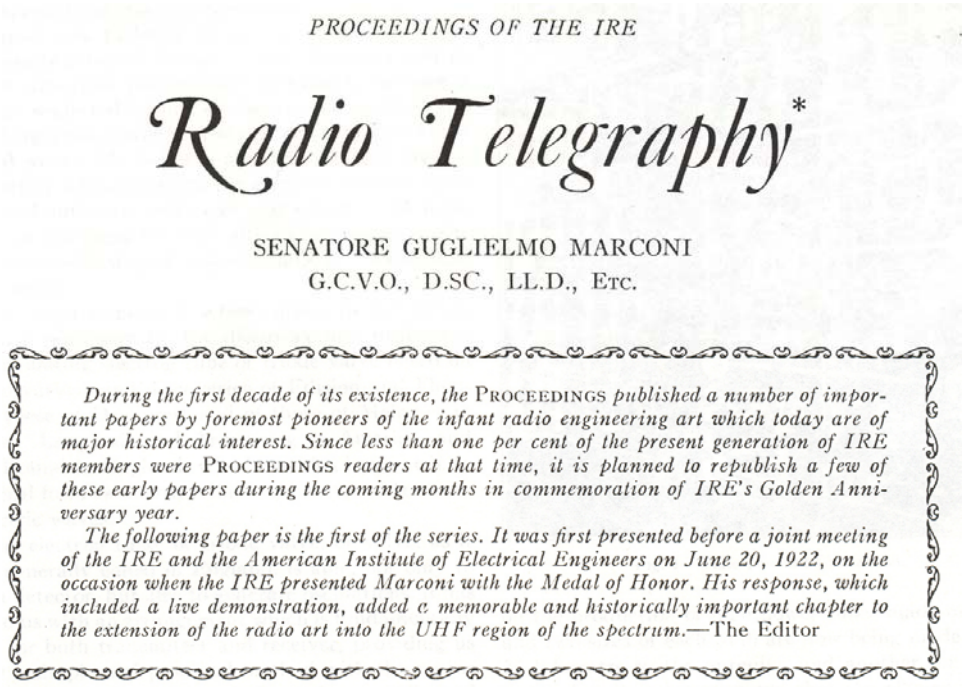


Fig. 10—Polar curves of Inchkeith reflector.

درهمین سال ***فرانکلین*** همکار مارکونی با آنتن جهت دار ، ارتباط تلفنی **لندن** – **بیرمنگهام** درفرکانس ۲۰ مگاهرتز را برقرارکرد.و***مارکنی*** ایستگاه رادیوئی ارتباط همگانی ***چلمزفورد*** (*Chelmsford*) رادر دو سال قبل ***ازبی بی سی*** (*BBC*) افتتاح کرد.

درسال ۱۹۲۱ کنترل فرکانس با کریستال توسط ***کیدی*** (*Cady*) بکار گرفته شد.وآرمسترانگ (*Armstrong*) گیرنده سوپر هترودین رااختراع وامواج کوتاه را بکاربرد.

درسال ۱۹۲۲ از طرف ***انجمن مهندسین رادیو*** (*IRE*) طی مراسمی به ***مارکنی*** مدال افتخار داده شد واو در سخنرانی خود به نکاتی اشاره کرد.او از کشفیات ***ادیسون ، فلمینگ ، مسی نر، لانگمیر، آرمسترانگ وراوند*** بعنوان جهش عظیم در پیشرفت رادیو تلگرافی صحبت کرد. او ذکرکرد که در حال حاضر لامپهای موازی با ولتاژ ۱۲۰۰۰ ولت وتاقدرت ۵۰۰ کیلووات تولید میشوند."تثبیت فرکانسی سرعت را تا ۲۰۰ کلمه دردقیقه افزایش داده واستفاده از یک



PROCEEDINGS OF THE IRE

Radio Telegraphy*

SENATORE GUGLIELMO MARCONI
G.C.V.O., D.SC., LL.D., ETC.

During the first decade of its existence, the PROCEEDINGS *published a number of important papers by foremost pioneers of the infant radio engineering art which today are of major historical interest. Since less than one per cent of the present generation of IRE members were* PROCEEDINGS *readers at that time, it is planned to republish a few of these early papers during the coming months in commemoration of IRE's Golden Anniversary year.*

The following paper is the first of the series. It was first presented before a joint meeting of the IRE and the American Institute of Electrical Engineers on June 20, 1922, on the occasion when the IRE presented Marconi with the Medal of Honor. His response, which included a live demonstration, added a memorable and historically important chapter to the extension of the radio art into the UHF region of the spectrum.—The Editor

آنتن برای ۲ طول موج در قدرت پائین معمول شده است. ***سیستم دوپلکس*** در پاریس وبرن کارمیکند وکلیه ترافیک با ماشین های چاپ انجام میشود". " از مسائل مهم مورد بررسی تعیین قدرت لازم در ارسال ورفع اختلالات الکترومغناطیسی است". او سپس مجددا به امکان ارتباط درنقاط متقاطر جهان اشاره کرد وبه اندازه گیری های انجام شده درنقاط متقاطر انگلستان و برزیل اشاره و اعلام کرد که در فواصل دور سیگنالها همیشه جهت خود را دریک دایره حفظ نکرده و از راههای مختلف بگیرنده میرسند. آزمایشات با آنتن جهت یاب حلقوی انجام شده بود. مارکونی دراین جلسه از امکان استفاده از یک آنتن بعنوان فرستنده وگیرنده تواما نیز صحبت کرد. اوهمین طور از سیستمهای کاملا

سری در مصارف نظامی خبر میدهد. استفاده از سیستم فرستنده وگیرنده بعنوان فانوس دریائی برای کشتیها وکاربرد آنتن رفلکتوردار گردان نیز یکی از نقطه نظرهای کاری او بود. یکی دیگر از موارد، اشاره استفاده از رادار بود.

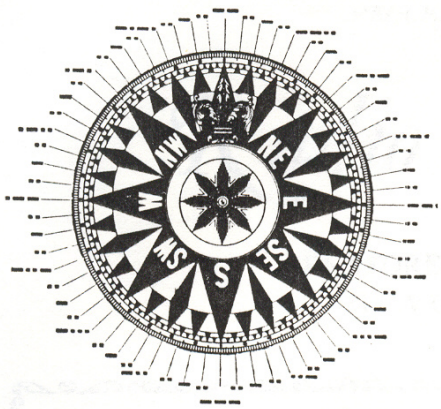


Fig. 11—Compass bearings with letter designations for radio direction finding.

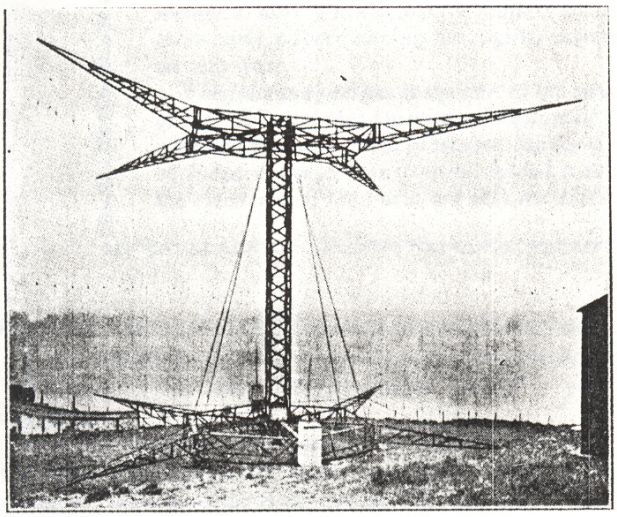


Fig. 12—Rotating short-wave directional transmitter, Inchkeith.

" باتوجه به آزمایشات هرتز در انعکاس موج از صفحات فلزی بنظر من میرسد که میتوان دستگاهی طرح کرد که بوسیله آن یک کشتی میتواند اشعه ای را درجهت دلخواه منتشر کرده واین اشعه در صورت برخورد با یک جسم فلزی ، مثلا یک کشتی دیگر ، به یک گیرنده که از فرستنده شیلد شده باشد منعکس وبنابراین به سرعت وجود و وضعیت کشتی دیگر ، حتی در هوای غلیظ یا مه آلود تشخیص دهد. و یا اینکه کشتی هائی که اصولا فاقد وسائل رادیوئی هستند آشکار شود".

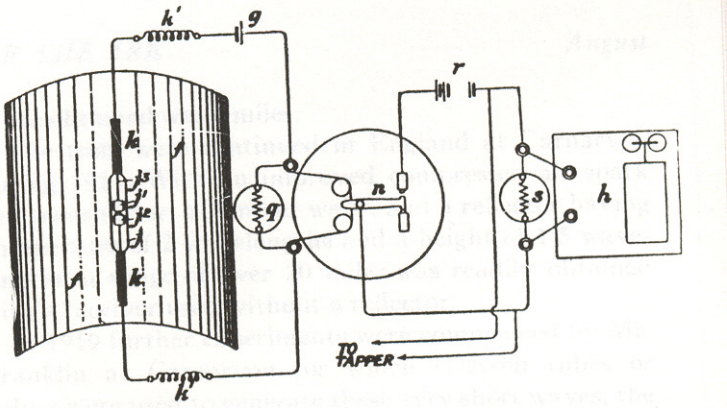


Fig. 2—Early short-wave directional receiver.

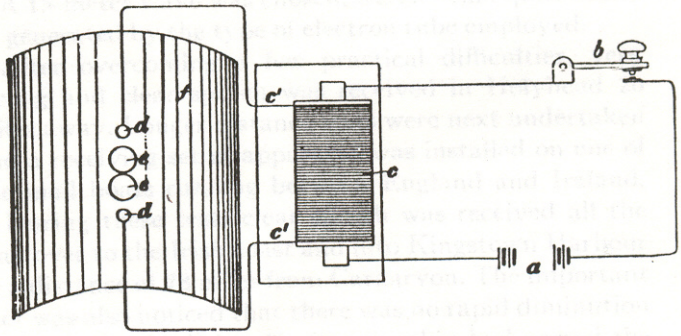


Fig. 3—Early short-wave directional transmitter.

او سخنرانی خود را با آرزوی کاربرد این وسائل در بهبود زندگی بشر بپایان برد[۱۹].

درهمین سال ***اولین فرستنده ارتباط جمعی آمریکا*** افتتاح شد.

درسال ۱۹۲۳ اولین ***مخابره تلفنی بین نیوجرسی وانگلستان*** در فرکانس ۶۰ مگا هرتز وقدرت ۶۰ کیلووات توسط ***ای تی تی*** (*ATT*) وباهمکاری ***آر سی ای*** (*RCA*) برقرارشد[۱۶].

درهمین سال ***اولین فرستنده ارتباط همگانی انگلستان با نام تو ال او*** (*2LO*) که درسال۱۹۲۷ به ***بی بی سی*** (*BBC*) تغییر نام یافت شروع به کار کرد[۱۶].

درسال ۱۹۲۴ رادار توسط ***اپلتون*** (*Appelton*) ، ***بریت*** (*Briet*) ، و ***واتسون وات*** (*Watt*) برای اولین بار بکار گرفته شد. آنها یک سیگنال پیوسته (*CW*) میفرستادند وبا تغییر فاز آن دریک گیرنده تداخل را آشکار میکردند وبه این ترتیب معلوم شد که در حقیقت آنها دو موج دریافت میکرده اند که یکی از آنها انعکاس بوده است[۲۵و۲۶].
درسال بعد اپلتون با رادار خودش مشخص کرد که ضخامت لایه آتمسفر ۵۰۰ کیلومتر است.
درسال ۱۹۲۵ *رادیوی موج کوتاه* بصورت تجارتی درآمد و ***جانسون*** (*Johnson*) نویز حرارتی را کشف کرد.

درهمین سال ***آنتن یاگی*** ارائه شد . قبلا این آنتن توسط ***اودا*** (*Uda*) طرح شده وبزبان ژاپنی اعلام شده بود ولی بعدا همکار او یاگی (*Yagi*) آنرا تکمیل وبزبان انگلیسی ارائه کرد که به نام او معروف شد ودرسال بعد مدال طلائی گرفت [۱۶و۲۶].

در همان سال ***بریت*** و ***توو*** (*Tuve*) بااستفاده از ***رادار پالسی*** سعی در تعیین ارتفاع لایه اتمسفر کردند.
درسال ۱۹۲۶ ***رکتیفایر مسی*** توسط ***گروناهل*** (*Grunahl*) و ***گایگر***، واسیلاتورترانزیستوری توسط ***واندرپول*** (*Vanderpool*) ساخته شد[۲۶]. همچنین رادیو تلفنی با هواپیما مورد استفاده قرار گرفت[۱۶].

درسال ۱۹۲۷ ***جذب اتمسفریک*** توسط ***کرامرز*** (*Kramers*) بررسی شد[۲۳].
درسال ۱۹۲۸ گیرنده دایورسیتی توسط ***مور*** (*Moore*) وهمکارانش مورد استفاده قرار گرفت[۲۶].
درسال ۱۹۲۹ ارتباطات مایکروویو توسط ***کلاویه*** (*Clavier*) مورد بررسی قرار گرفت ویکسال بعد با ***آنتن پارابولیک*** ۱۰ متری توسط ***ربر*** (Re*ber*) عملی شد.
درهمین سال ***تلویزیون رنگی*** در ***آزمایشگاه بل*** تحت بررسی بود.
همین طور ***پیستولکورس*** (*Pistolkors*) مقاله ای در مورد مقاومت تشعشعی آنتن ها نوشت.و ***استون*** (*Stone*) ***رشته آنتن باینومیال*** را ثبت داد که درسال ۱۹۳۸ تئوری آن توسط ***جوردن*** (*E.C.Jordan*) بیان شد[۲۴].
همچنین ***آنتن های موج متحرک*** توسط ***اوریت*** و ***بایرن*** مورد بررسی قرار گرفت .

رادیو آسترونومی

بعلت اختلالات اتمسفریک در موج بلند وکوتاه درسال ۱۹۳۰ آزمایشگاه بل ، ***جانسکی*** (*Jansky*)را مامور

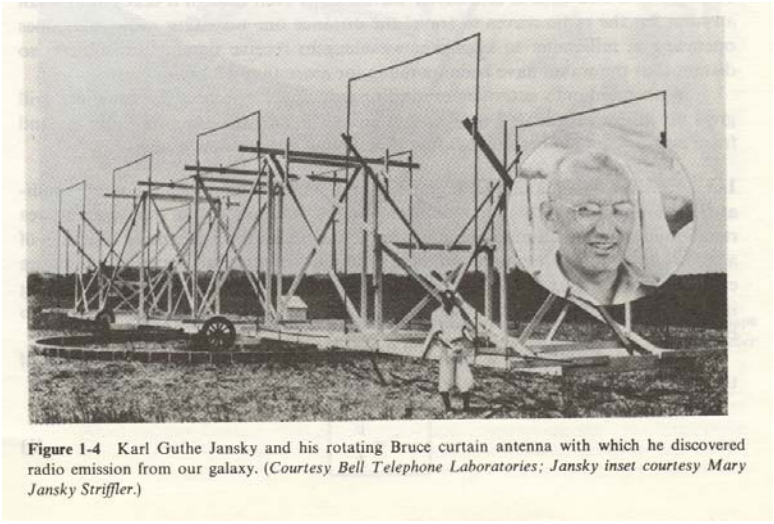


Figure 1-4 Karl Guthe Jansky and his rotating Bruce curtain antenna with which he discovered radio emission from our galaxy. (*Courtesy Bell Telephone Laboratories; Jansky inset courtesy Mary Jansky Striffler.*)

کرد تامشخص کند که منابع نویز دراین باند ها آیا جهت خاصی دارند یا خیر. و چنانچه این جهات تعیین میشدند باید آنتن ها در آن جها ت دارای دامنه صفر(نول) باشند. جانسکی یک آنتن گردان ۸ عنصری پرده ای رفلکتور دار که درطول موج ۱۴ متر کارمیکرد تهیه وضمن کسب اطلاعات از نویز اتمسفر، متوجه شد که وقتی اختلالات اتمسفریک هم وجود نداشته باشند ، یک نویز استاتیک شبیه هیس که در ۲۴ ساعت کاملا گردش میکند وجود دارد. پس از ماهها

بررسی به این نتیجه رسید که این اختلالات از فوق زمین وخورشید بوده ومربوط به کهکشان است.به این ترتیب جانسکی پدر رادیو آسترونومی شد[۱۷و۲۵]. درسال ۱۹۳۳ ایستگاه رادیو استرونومی جانسکی افتتاح شد[۱۶].

سال ۱۹۳۰ آخرین مهلت استفاده از ***فرستنده های جرقه ای*** بود [۱۶].

تاسالها بعد کار جانسکی توسط ***ربر*** بایک آنتن پارابولیک ۹ متری ادامه یافت واو اولین نقشه رادیوئی آسمان را ترسیم کرد.

درهمان سال ***بکمن*** (*Bechman*) مقاومت تشعشعی آنتن ها را مورد بررسی قرارداد[۲۱].

انعکاسات تروپسفریک

درسال ۱۹۳۲ ***مارکنی*** کشف کرد که باامواج مایکروویو میتوان خیلی دورتر از افق دریافت داشت واین خصوصت ***انعکاسات تروپسفریک*** بود[۸]. دراین سال او با فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز بین واتیکان ومقر تابستانی پاپ در ۲۰ کیلومتری بااستفاده از آنتن رفلکتور پارابولوئیدی سیمی ارتباط برقرار کرد[۱۶].

درهمان سال تئوری ***آنتن فرومغناطیس*** توسط ***نیل*** (*Neel*) و***بیتر*** (*Bitter*) ارائه شد. و***کارتر*** (*Carter*) روابط مداری در سیستمهای تشعشعی وکاربرد آن در آنتن ها را بیان کرد[۲۴].

درسال ۱۹۳۳ مشخصات غیر خطی ایونوسفر در لوکزامبورک مورد بررسی قرارگرفت.

درهمین سال ***ارتباط مایکروویو*** بین انگلستان وفرانسه برقرارشد و ***آرمسترانگ*** برای اولین بار از ***مدولاسیون فرکانس*** استفاده کرد.

همچنین ***لابوس*** (*Labus*)روشی برای محاسبه ریاضی امپدانس آنتن ها ارائه کرد[۲۴]. ***کارتر*** نیز مداری در سیستمهای تشعشعی وکاربرد آن در آنتن ها بررسی نمود[۲۴].

درسال ۱۹۳۴ نوعی ***رادار*** روی ***کشتی نورماندی*** نصب شد[۱۶].

درهمین سال ***کینگ و براون*** روشهای فرکانس بالا درحل مسائل آنتن را ارائه کردند[۲۴].

درسال ۱۹۳۵ ***لامپ مگنترون*** توسط ***هیل*** (*Heil*) آلمانی اختراع شد[۲۶]. همین طور ***ولف*** (*Wolf*) انتقال امواج ۹ سانتیمتری را بررسی کرد[۲۳].و ***رادار*** توسط ***واتسون وات*** مورد آزمایش قرار گرفت[۲۲].

درسال ۱۹۳۶ ***پلامپتون*** (*Plampton*) و***لاوتون*** (*Lawton*) ، دقیق ترین آزمایش تعیین قانون جاذبه را در پلی تکنیک ورسستر انجام دادند. آنها توان فاصله را یک بیلینیوم کمتر از ۲ بدست آوردند[۹].

درهمین سال در انگلستان رادار بطور محرمانه ساخته وآزمایش شد[۱۶]. آنها یک سیستم متشکل از ۵ رادار هرکدام بفاصله ۲۵ مایل داشتند[۲۲].

همچنین تلویزیون از حالت یک وسیله آزمایشی خارج شد.

تئوری موجبرها نیز توسط ***کارسون*** (*Carson*)، ***مید*** (*Meade*)،***شلکونوف*** (*S.A.Schelkunoff*) و ***ساوث ورث*** (*Southworth*) ارائه شد.

درهمان سال ۱۹۳۶ رصد خانه رادیوئی ***آرسیبو*** (*Arecibo*) ساخته شد. این رصد خانه با آنتن بقطر سیصد متر خود میتواند نقشه ونوس درفاصله نزدیک به ۱۰ دقیقه نوری را با دقت ۲۰ کیلومتر رسم کرده وتافاصله ۱۰ بیلیون سال نوری جهان را بررسی کند[۲۵و۱۶].

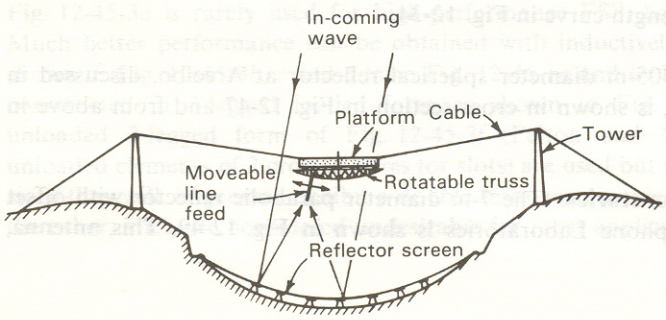


Figure 12-47 Elevation cross section of 305-m diameter fixed spherical reflector suspended in mountain valley at Arecibo, Puerto Rico.

Figure 12-48 Air view of 305-m Arecibo dish. Feed structure is supported by cables from 3 towers. Beam steering by moving the line feed allows observations at angles up to 20° from the zenith. Away from the zenith, only part of the reflector can be used with resulting decrease in aperture efficiency. (*Cornell University.*)

همچنین ***مولین*** (*Moullin*) مقاله ای در مورد مقاومت تشعشعی آنتنهای بلند نوشت و ***نورتون*** (*Norton*) با خلاصه کردن معادلات ***سامرفلد*** انتشار بالای زمین را قابل استفاده مهندسی کرد[۲۴].

ضمنا تئوری معادل بودن در الکترومغناطیس وکاربرد آن در مسائل تشعشع توسط ***شلکونوف*** بیان شد.

درسال ۱۹۳۷ ***براون*** (*G.H.Brown*) از شرکت (*RCA*) مقاله ای درمورد آنتن های جهت دار منتشر کرد.این مقاله مورد توجه ***کراس*** (*J.D.Kraus*)استاد دانشگاه اوهایو قرار گرفت ودر ایستگاه آماتوری خود با نام (*W & JK*) شروع به آزمایش کرد. او متوجه شد که بافاصله ۱/۸ طول موج ویاکمتر گین بیشتر است ویک رشته ۴ تائی درطول موج ۲۰ متر ساخت . نتیجه بسیار عالی بود وآنرا منتشر کرد. بزودی همه از آنتن (*W & JK*) استفاده کردند . سپس او به کار روی آنتن های دی پل تاشده و دی پل چند سیمه ادامه داد[۱۷].

درهمین سال ***ولف*** (*Wolf*) روشی برای طرح رشته آنتن با پرتو دلخواه بااستفاده از سری فوریه ارائه کرد[۲۴]. همین طور ***انتشار امواج رادیوئی بالای یک صفحه زمین صاف*** توسط ***باروز*** (*Burrows*) مورد بررسی قرار گرفت[۲۴].

درسال ۱۹۳۸ ، ***هالن*** (*Hallen*) سطح مقطع معادل آنتنهای با سطوح مختلف را بیان کرد. همچنین ***هانزن*** (*Hansen*) و ***وودیارد*** (*Woodyard*) روشی جدید برای طرح رشته آنتن های جهت دار ارائه کردند. همین طور اولین ***آنتن فرومغناطیس*** که اکسید منگنز بود توسط ***بیتر*** وهمکارانش ساخته شد.

درهمین سال ،***شلکونوف*** (*S.A.Schelkunoff*) تئوری انتقال امواج کروی را بیان کرد .موجبر بیضی نیز در همین سال توسط ***چو*** (*Chu*)آنالیز شد[۲۷].

درسال ۱۹۳۹ ***کارتر*** (*Carter*) آنتن دی پل تاشده را با امپدانس بالا مورد بررسی قرارداد [۲۴]. درهمین سال ***کلایسترون*** توسط ***هاهن*** (*Hahn*) و ***واریان*** (*Varian*) ساخته و***مگنترون*** توسط ***راندال*** (*Randall*) و ب***وت*** (*Boot*) تکمیل شد. هم چنین ***ربر*** ، ***نقشه آسمانی رادیوئی*** در فرکانس ۱۴۴ مگاهرتز را توسط رادیو تلسکوپ خانگی خود ترسیم کرد.

دراین سال ***آزمایشگاه بل*** ، ارتفاع سنج راداری ساخت ورادار در نیروی هوائی آمریکا آزمایش شد.

درسال ۱۹۴۰ ***کراس*** با کاربرد آنتن های دی پل تاشده و رفلکتورهای زاویه ای که ساختشان خیلی ساده تر از رفلکتور های پارابولوئیدی بود نتایج جالبی برای گین وعرض باند بدست آورد[۱۷]. همین طور ***آنتن حلقوی*** (لوپ) توسط ***آلفورد*** (*Alford*) ساخته شد[۲۱].

درسال ۱۹۴۱ توزیع ولتاژ وجریان روی آنتن ها توسط ***زینک*** (*Zinke*)بررسی شد و ***شلکونوف*** تئوری آنتن های با شکل دلخواه را بیان کرد[۲۴].

درهمین سال اثر ***انحنای زمین روی انتشار امواج زمینی*** توسط ***باروز*** و شدت میدان روی زمین کروی با هدایت محدود توسط ***نورتن*** مورد بررسی قرار گرفت[۲۳ و۲۲].

درسال ۱۹۴۲ مطالعاتی روی ***تبدیلات موجبر*** به کوآکسیال و هم چنین تطبیق توسط ***استابها*** انجام گرفت.

درسال ۱۹۴۳ ***لامپ موج متحرک*** توسط ***پیرس*** و ***هاف*** (*Haeff*) ساخته شد . درهمین سال ***شلکونوف*** تئوری ***ریاضی رشته آنتن های خطی*** را بیان کرد. هم چنین مطالعاتی روی ***موجبر های با مقطع متغیر*** (*Taper*) واتصالات گردان موجبری انجام شد [۲۷].

درسال ۱۹۴۴ ***برگز*** (*Bergess*) روش نیروی الکتروموتوری القائی را در تعیین امپدانس آنتنها ارائه کرد.

درهمین سال ***هایزنبرگ*** نسبت ممان مغناطیسی به ممنتم زاویه ای راتعیین کرد. دراین سال وسالهای بعد مطالعات زیادی روی تفرق امواج ، انعکاس از هدفها ورفلکتور های زاویه ای انجام گرفت.

هم چنین ***اسمیت*** (*P.H.Smith*) دیاگرام معروف خود ، ***اسمیت چارت*** را در آزمایشگاه بل ارائه کرد[۲۷].

همین طور مطالعاتی روی خصوصیات ***موجبرهای کنگره دار*** (*Ridge*) توسط ***کهن*** (*Cohn*) و*موجبرهای دندانه دار* توسط ***کاتلر*** (*Cuttler*) وهمچنین فیلترهای مایکروویو انجام شد[۲۷].

درسال ۱۹۴۵ ***کلارک*** (*A.C.Clark*) پیشنهاد ارتباط مخابراتی همه جانبه بااستفاده از ***۳ ماهواره*** با زاویه ۱۲۰ درجه در ***مدار سنکرون*** زمین را داد .

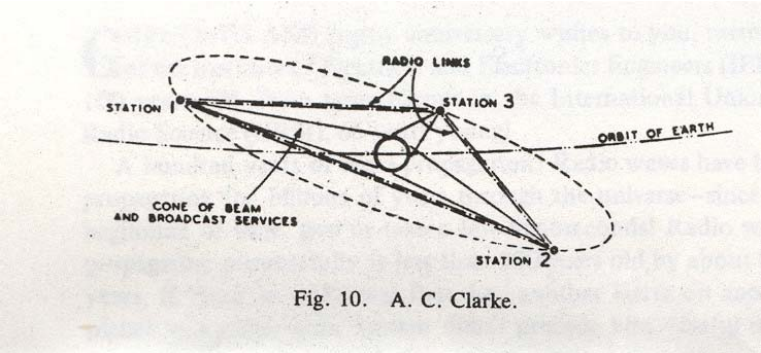


Fig. 10. A. C. Clarke.

درهمین سال ۱۹۴۵ دولت شوروی ادعا کرد که ***پوپوف*** را مخترع رادیو دانسته واز آن سال جشنی بنام او برگزارمیکند.

همچنین موجبرهای دی الکتریک توسط ***ویتمیر*** (*Whitmer*) وموجبر قابل انعطاف توسط ***یونکر*** (*Youn*ker) مورد بررسی قرار گرفت ومطالعاتی روی انعکاس از باران وبرف انجام شد[۲۱و۲۷].

بوکامپ (*Bwkamp*) نیز نشان داد که از نظر تئوری حدی برای دایرکتیویته بالای آنتن ها نیست و ***وودیارد*** برای تعیین میدان روی پنجره بمنظور تشعشع یک میدان دلخواه روشی ارائه کرد.

همین طور تئوری آنتن یاگی توسط ***ویلکینشاو*** (*Wilkinshaw*)بررسی شد و***کاندویان*** (*Kandoian*) آنتن دیسکون را درطرحهائی ارائه کرد. ورفلکتور کروی برای جاروی گردان موج توسط ***آشمید*** (*Ashmid*) بررسی شد[۲۱].

درسال ۱۹۴۶***کراس*** استاد دانشگاه اوهایو درسخنرانی مربوط به لامپ موج متحرک شرکت کرد. وقتی

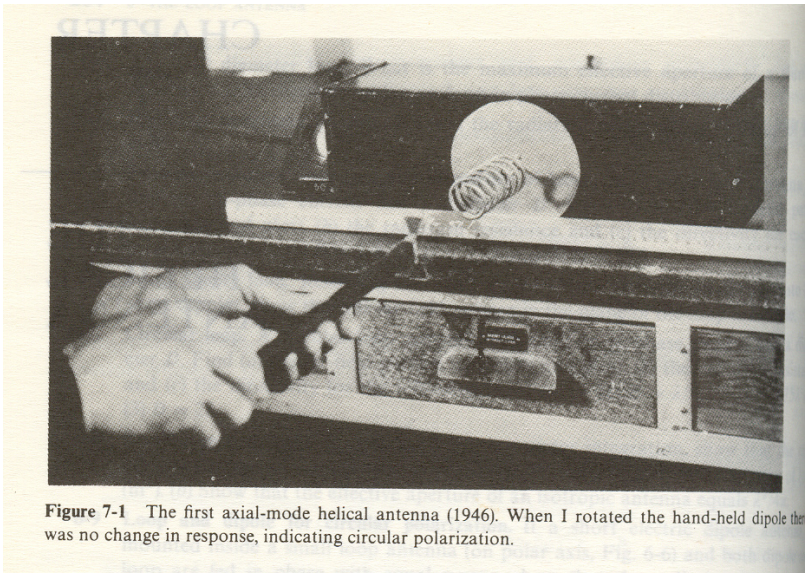


Figure 7-1 The first axial-mode helical antenna (1946). When I rotated the hand-held dipole the was no change in response, indicating circular polarization.

سخنران راجع به لامپ هلیس صحبت میکرد، او بفکر ساختن ***آنتن مارپیچی (هلیکال)*** افتاد. پس از پایان سخنرانی وشنیدن جواب منفی از سخنران در مورد تشعشع هلیس ، به منزل رفت وهمان شب شروع به آزمایش کرد .اوابعاد را مناسب انتخاب کرد. یک هلیس ۷ دوری با محیطی برابر با طول موج تشعشع بسیار خوبی را نشان میداد وضمنا عرض باند آن نیز زیاد بود. اوسالهای بعد روی این آنتن کار کرد وتئوری آن را تکمیل کرد[۱۷].

درهمان سال ***دلف*** (*Dolph*) استفاده از چند جمله ایهای چپی چف ، رشته آنتنی با عرض لوب ودامنه اولین لوب فرعی اپتیمم را عرضه کرد. همین طور آنتن های اسلات ورابطه آن ها با آنتن های سیمی مکمل خودشان توسط ***بوکر*** (*Boo*ker) بیان شد. ضمنا آنتن های سیلندری نازک با تئوری های مختلف توسط ***کینگ*** (*R.W.P.King*) و***میدلتون*** (*Middleton*) مورد بررسی قرار گرفت [۲۴].

درهمین سال ***ریبلت*** (*Riblet*) نشان داد که رشته آنتن چپی چف با فاصله کمتر از نصف طول موج میتواند هر ،،دایرکتیویته ای را بدهد[۲۸].

همین طور ***ویلر*** (*Wheller*) محدودیت آنتن های کوچک تا حد خازن آنها را ، مورد بررسی قرارداد واین کار درسال بعد توسط چو دنبال شد.

درسال ۱۹۴۷ *امپدانس آنتن های دی پل تاشده* توسط ***رابرتز*** (*Roberts*) بررسی شد و***جوردن*** ***سینکلر*** (*Sinclair*) برای اولین بار بااستفاده از مدل ، پرتو آنتن هواپیما را اندازه گیری کردند وتئوری مدل در الکترومغناطیس بیان شد. همچنین ***گابور*** (*Gabor*) ***هولوگرافی*** یا تصویر سه بعدی را با استفاده از ***اصل هایگنس*** مورد بررسی قرارداد[۲۴].

درسال ۱۹۴۸ ***وودوارد*** (*Woodward*)روشی برای طراحی رشته آنتن با پرتو دلخواه را ارائه کرد[۲۱].

درهمین سال ***انجمن مهندسین رادیو*** (*IRE*) استانداردی برای آنتن ها معین کرد. همین طور ***کینگ*** و ***میدلتون*** امپدانس وجریان آنتن های استوانه ای ، و ***هالن*** (*E.Hallen*) دیاگرامهای امپدانس آنتن ها و روابط آن با تئوریهای مختلف را عرضه کردند.و نیز ***کراس*** تئوری مدونی برای ***آنتن های هلیکال*** ارائه کرد [۲۴].این آنتن درسالهای بعد بشدت مورد استفاده ، حتی در ماهواره ها قرار گرفت بطوریکه ماهواره ها ئی با چندین آنتن هلیکال مورد استفاده قرار گرفته اند[۱۷].

درسال ۱۹۴۹ ***برمر*** (*Bremer*) ***امواج رادیوئی فوق زمینی*** را بررسی کرد[۲۴]. و***کینگ*** تئوری آنتنهای تغذیه شده با دوسیم را بررسی و ***سیلور*** اطلاعاتی در مورد آنتن های مایکروویو ارائه کرد[۲۳].

درسالهای ۱۹۵۰ ***شبکه های دید مستقیم مایکروویو*** بیشترین مصرف را داشت[۲۵]. همین طور ***بوکر تفرق رادیوئی از تروپسفر*** را مورد بررسی قرار داد [۲۴]. و ***شور*** (*Schorr*) و***کینگ*** مشخصات آنتن بوقی مخروطی را مورد بررسی قراردادند.

درسال ۱۹۵۱ اولین ***رادیو تلسکوپ دردانشگاه اوهایو*** که شامل ۹۶ آنتن هلیکال دررشته ای بطول ۵۰ متر در فرکانس ۲۵۰ مگا هرتز بود زیر نظر کراس ساخته شد[۱۷]. درهمین سال ***یارو*** (*Yaru*) نکته ای درمورد آنتن های سوپر گین ۹ تائی با فاصله ۱/۳۲ طول موج (باطول کلی آنتن برابر ۱/۴ طول موج) که میتواند نسبت لوب اصلی به فرعی

dB ۲۵/۸ داشته باشد ولی جریان باید تا ۱۴ میلیون آمپر ودقت تا ۱/. میکرو آمپر بالا برود ، بیان کردو نشان داد که تشعشع آن مانند یک آنتن ساده با جریان ۱۹،۵ میلی آمپر وبهره حدود ۱۰ بتوان -۱۴ درصد است[۲۱].

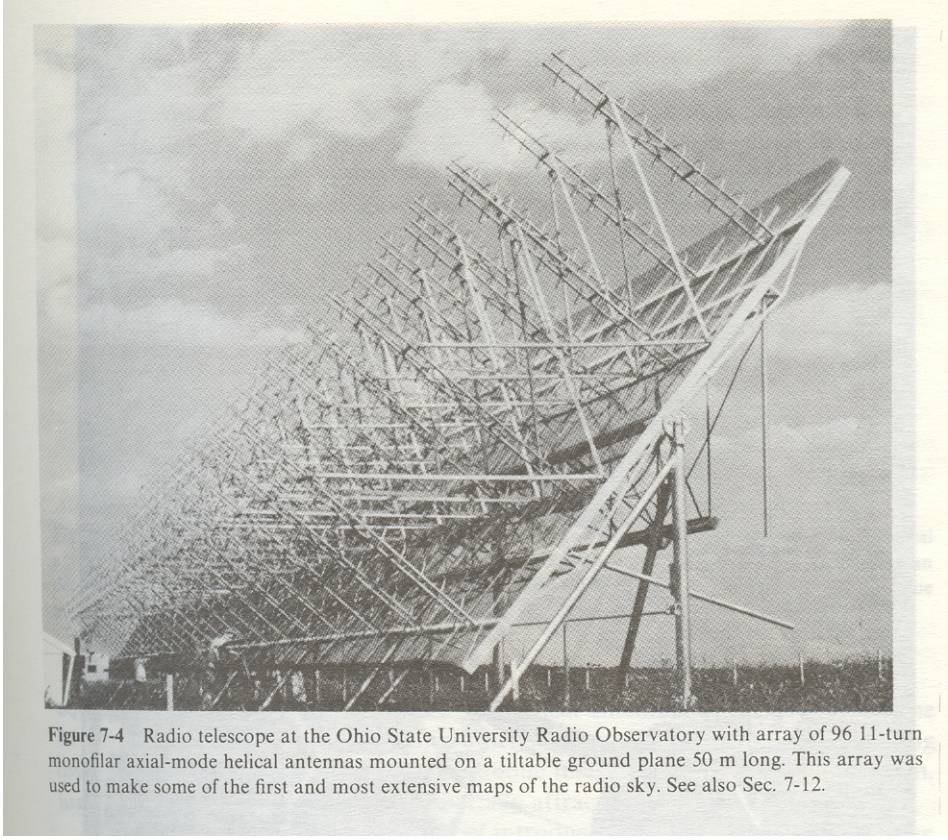


Figure 7-4 Radio telescope at the Ohio State University Radio Observatory with array of 96 11-turn monofilar axial-mode helical antennas mounted on a tiltable ground plane 50 m long. This array was used to make some of the first and most extensive maps of the radio sky. See also Sec. 7-12.

درسال ۱۹۵۲ روشی ساده برای محاسبه ضرائب ***رشته آنتن دلف- چپی*** چف توسط ***استگن*** (*Stegen*)ارائه شد[۲۴].ونیز ***فریت ه***ا که مواد مغناطیسی با مقاومت الکتریکی بالا بودند در آزمایشگاه ***فیلیپس*** توسط ***اسنوک*** (*Snoek*) ساخته شد[۹].

درسال ۱۹۵۳ ***رشته آنتن های سوپر دایرکتیو*** توسط ***بلوخ*** (*Bloch*)مورد بررسی قرار گرفت و ***نورتون*** مقاله ای در مورد افت انتقال در انتشاراموج رادیوئی نوشت[۲۴].همین طور ***میزر***(*Maser*) یا تقویت کننده های مایکروویو با نویز کم ،توسط ***وبر*** و ***تاونس***(*Towens*) ساخته شد[۱۶].

همچنین ***تیلور***(*T.Y.Taylor*) روشی برای طرح پرتوی که با نام خودش معروف است ارائه کرد.

درسال ۱۹۵۴ اولین ***رادیوی ترانزیستوری*** ساخته شد. و***ماس*** (*Mass*) روشی ساده برای تعیین ضرائب جریان رشته آنتن های چپی چف ارائه کرد. و ***رامزی***(*Rumsey*) ازدانشگاه ایلینوی ***تئوری راکسیون*** یا قضیه هم پاسخی درامواج را بیان کرد[۲۴].همچنبن ***الیوت*** (*Elliot*) تئوری برای صفحات دندانه دار (*Corrugated*) ارائه کرد که بعد ها مورد استفاده درطراحی آنتن قرار گرفت.

درسال ۱۹۵۵ ***باطری خورشیدی*** ساخته شد ***ومشخصات انتشار رادیوئی زیر افق*** مورد بررسی قرار گرفت [۲۴].

درسال ۱۹۵۶ ر***فلکتور ۱۱۰ متری دانشگاه اوهایو*** با نظر کراس که به ***گوش بزرگ*** $(Big-ear)$ معروف شد برای دریافت تشعشعات کیهانی ساخته شد. دردو دهه بعد با این تلسکوپ رادیوئی تا ۲۰۰۰ منبع فضائی کشف شد که تا فاصله ۱۵ بیلیون سال نوری بود. بعد ها آنتن های ۳۰۰ و ۹۰۰ متری درفرانسه وشوروی ساخته شد.

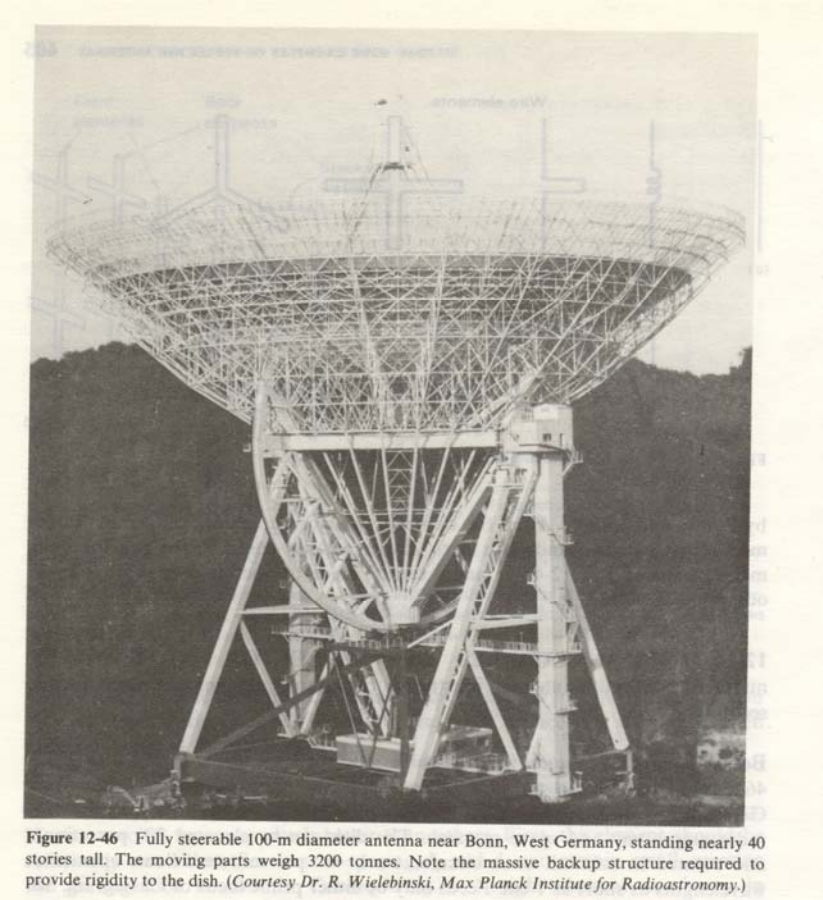


Figure 12-46 Fully steerable 100-m diameter antenna near Bonn, West Germany, standing nearly 40 stories tall. The moving parts weigh 3200 tonnes. Note the massive backup structure required to provide rigidity to the dish. (*Courtesy Dr. R. Wielebinski, Max Planck Institute for Radioastronomy.*)

همچنین فریت ***ییگ*** (YIG) که در فیلتر ها وکلید های مایکروویو مورد استفاده است توسط ***فرات*** $(Forrat)$وبرتانت $(ber\tan t)$ ساخته شد.

وهمین طور آنتن های حلقوی گرد ومربعی توسط ***استورر*** $(Storer)$ و***کینگ*** ، و آنتن حلقوی فریتی توسط ***رامزی*** مورد بررسی قرار گرفت.

درسال ۱۹۵۷ ***ماهواره اسپوتنیک*** $(Sputnik)$ بمدت ۲۱ روز به مطالعه ایونوسفر پرداخت ودر چهارم ژانویه ۱۹۵۸ سقوط کرد.

درهمین سال در دانشگاه ایلینوی ***آنتنهای حلزونی*** با زاویه یکنواخت $(Equiangular-spiral)$ توسط ***دایسون*** $(Dayson)$ مورد بررسی قرار گرفت که دارای خصوصیت مستقل از فرکانس بود. همین طور تئوری آنتن های با ***پریود لگاریتمی*** $(LOG-periodic)$توسط ***دوهامل*** $(Duhamel)$ و***ایزبل*** $(Isbell)$ که دارای باند وسیع بود ارائه شد [۲۴].

درهمین سال تئوری ***آنتن های مستقل از فرکانس*** توسط ***رامزی*** مورد بررسی قرار گرفت.

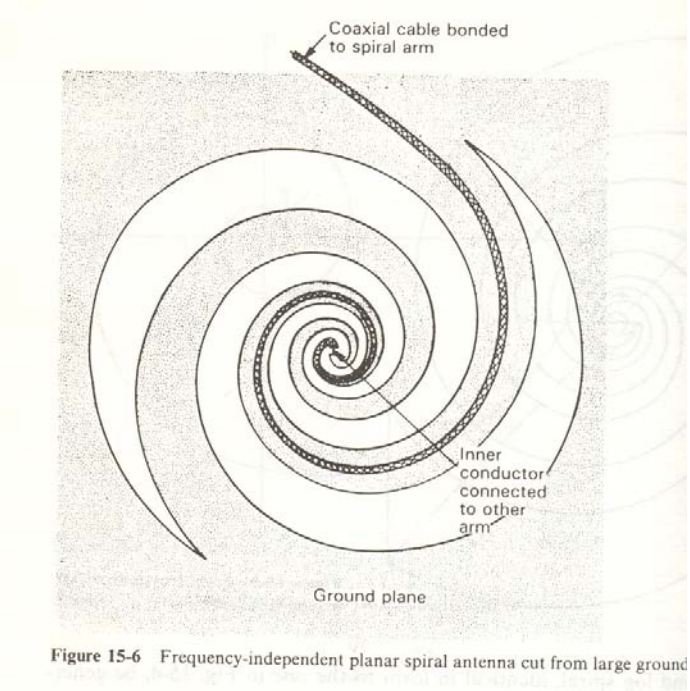


Figure 15-6 Frequency-independent planar spiral antenna cut from large ground

درسال ۱۹۵۸ آنتن های با پریود لگاریتمی غیر صفحه ای توسط ***ایزبل*** ونوع رشته ای آن توسط ***دوهامل*** بررسی شد[۲۴].

درسال ۱۹۵۹ آنتن یک جهته توسط ***دایسون*** طراحی شد[۲۴].

درسال ۱۹۶۰ ***ایزبل*** آنتن لوگپریودیک با دی پل را ارائه کرد[۲۴]. همچنین آنتن لوپ با جریان غیر یکنواخت توسط ***لیندسی*** (*Lindsay*) بررسی شد.

درسال ۱۹۶۱ آنتن های باساختمان پریودیکی ومستقل از فرکانس با تشعشع از عقب توسط ***مایز*** (*Mayes*) ، ***دوشامپس*** (*Deschamps*)، و ***پاتون*** (*Paton*) مورد بررسی قرار گرفت. همین طور آنتن های لگپریودیک با طرح زیگزاگ و پلاریزاسیون عمودی توسط ***گریزر*** (*Greiser*) وآنتن با طرح (*v*)شکل توسط ***مایز*** و***کارل*** (*Carrel*)ارائه شد. همین طور ***حنان*** (*Hannan*) طرح استفاده از تلسکوپ کاسگرین را برای آنتن های مایکروویو پیشنهاد کرد. ***براون*** نیز پیشنهاد میدان دور از میدان نزدیک را مطرح کرد[۲۱].

درسال ۱۹۶۲ ***کلر*** (*Keller*) روش ***تئوری دیفراکسیون هندسی***(GTD) را ارائه کرد.

درسال ۱۹۶۳ ***هولوگرافی*** توسط ***لیت*** (*Leith*)باکمک لیزر انجام شد.

درسال ۱۹۶۴ **ماهواره اکو۲** $(ECHO2)$ پرتاب شد. درهمین سال **رودس** $(Rhodes)$ اصول آنتن های صفحه ای را ارائه داد . و **کی** (Kay) دریافت که ایجاد شبکه در آنتن های بوقی نتایج مطلوبی دارد.

درسال ۱۹۶۵ **انجمن مهندسین برق والکترونیک** $(IEEE)$ دستوری برای تست آنتن ها منتشر کرد. و**می** (Mei) وجمعی دیگر رشته آنتن جهت دار مستقل از فرکانس را ارائه کردند .

و **ریچموند** $(Richmond)$ حل مسائل اسکترینگ را با کامپیوتر آغاز کرد.

درسال ۱۹۶۶ ، سطح مقطع راداری صفحات صاف توسط **راس** $(Ross)$ نسبت به زاویه تابش بیان شد و **رامزی** تئوری آنتن های مستقل از فرکانس را ارائه کرد. همین طور اندازه گیری آنتن با درنظر گرفتن اثر زمین ومیدان آزمایش آنتن $(Slant)$ توسط **همینگ** $(Ham\min g)$ و**آرنولد** $(Arnold)$ بررسی شد.

درسال ۱۹۶۷ **هارینگتون** $(Harrington)$ روش ماتریسی برای حل مسائل میدان که بعدا به **روش ممان** $(Moment-method)$ معروف شد را بکار گرفت.

درسال ۱۹۷۲ آنتن های با کنترل فاز توسط **آمی تی** $(Amitay)$ بررسی شد.

درسال ۱۹۷۶ آنالیز پرتو آنتن های بوقی شیاری توسط **منتزر** بررسی شد.

درسال ۱۹۷۷ **کمپبل** $(Campbell)$ **آنتن های مایکرواستریپ** را با طرح لگپریودیک ارائه کرد.

منابع ومآخذ

[1] Electromagnetics, Holt
[2] Encyclopedia Americana
[3] Introduction to electromagnetic fields and waves, Holt
[4] Encyclopedia Britanica
[5] Electormagnetics,Elliot
[6] World's biography
[7] Electormagnetics,Compton
[8] Dictionary of science biography
[9] Electormagnetics,Elliot
[10] Words and waves,A.H.W.Beck
[11] Electormagnetics,King
[12] Lightenning, Glode
[13] Physics
[14] Encyclopedia Britanica
[15] Electrical Eng. Reference book
[16] From semaphore to satellites
[17] Antennas since Hertz and Marconi,Kraus,IEEE ant & prop,ap-33,No. 2 Feb . 1985
[18] Elec. inventions and discovery
[19] Radio telegraphy, Marconi,proc. of the IRE, Aug. 1922
[20] Nobel prizez
[21] Antennas theory and design, Balanis
[22] Int. to Radar, Skolnic
[23] Electromagnetics, Kerr
[24] E.M. fields and rad . systems, Jordan
[25] A hundred years of radio propag. W.E.Gordon,IEEE,ap-33,Feb. 1985
[26] Elec. inventions and discovery
[27] Electomagnetics, Stratton & Chu
[28] Ant. Theory and des. , Stutzmann